

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA RED 10G-PON PARA EL BARRIO DE CARCELÉN  
ALTO 3D**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA  
Y REDES DE INFORMACIÓN**

**ANDREA CAROLINA VILLACÍS VALENCIA**

**andrevill29@gmail.com**

**DIRECTOR: MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ**

**maria.jimenez@epn.edu.ec**

**Quito, Marzo 2013**

## **DECLARACIÓN**

Yo Andrea Carolina Villacís Valencia, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Andrea Carolina Villacís Valencia

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Andrea Carolina Villacís Valencia, bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez  
DIRECTOR DE PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

Cuando de alguna manera cada uno de nosotros comprende que hay situaciones en la vida en las que no hay manera alguna de compensar a las personas que le han ayudado solo puede decir:

Quisiera agradecer,

A mi madre que es el ser que con su preocupación y paciencia de una u otra manera me ha impulsado a cumplir todas las metas que me he propuesto.

A mis hermanos, que siempre han estado a mi lado.

A mis amigos, que me han ayudado de la manera más valiosa, brindándome su tiempo.

A mi padre que ha intentado ser el auspiciante de mis proyectos.

Y por último al Ingeniero Raúl Barragán.

## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a todas las personas que me han apoyado durante todo el tiempo que me ha tomado terminarlo.

## ÍNDICE

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii

DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN .....	xii
PRESENTACIÓN .....	xiii
CAPÍTULO 1 .....	1
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICA .....	1
1.1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICA .....	1
1.1.2 TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICO .....	6
1.2 REDES ÓPTICAS DE ACCESO .....	9
1.2.1 FTTx ( <i>Fiber – To - The x</i> ) .....	9
1.3 REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON) .....	12
1.3.1 SUBSISTEMAS DE REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON).....	12
1.3.2 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON) .....	14
1.3.3 TIPOS DE REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON).....	16
1.4 ESTUDIO DEL ESTÁNDAR 10G-PON .....	25
1.4.1 10-GPON ( <i>10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (XG-                 PON)</i> ) .....	25
1.5 COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES G-PON Y 10G-PON .....	48
CAPÍTULO 2	
DISEÑO DE LA RED.....	50
2.1 INTRODUCCIÓN .....	50
2.2 PLANTEAMIENTO DE LA ENCUESTA .....	51
2.3 TABULACIÓN DE LA ENCUESTA .....	53
2.4 CAPACIDAD REQUERIDA EN LA RED <sup>1</sup> .....	58
2.4.1 Telefonía.....	59

2.4.2	Internet .....	59
2.4.3	Televisión en Alta Definición.....	61
2.4.4	Proyección de la capacidad requerida.....	65
2.5	SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA FTTx.....	69
2.6	CARACTERÍSTICAS Y UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED .....	70
2.6.1	OLT ( <i>Optic Line Terminal</i> ) .....	71
2.6.2	ONU ( <i>Optic Network Unit</i> ) .....	75
2.6.3	MDU ( <i>Multi Dwelling Unit</i> ).....	76
2.6.4	SPLITTER .....	76
2.6.5	SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN.....	82
2.6.6	PRESUPUESTO DE POTENCIA .....	102
CAPÍTULO 3		
	PRESUPUESTO REFERENCIAL .....	112
3.1	SELECCIÓN DE EQUIPOS ACTIVOS.....	112
3.1.1	Comparación técnica y económica de la OLT .....	112
3.1.2	Comparación técnica y económica de la ONU .....	115
3.1.3	Comparación técnica y económica del MDU .....	117
3.2	SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO PASIVO .....	119
3.3	CÁLCULO DEL PRESUPUESTO REFERENCIAL DE LA RED .....	125
CAPÍTULO 4		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	130
4.1	CONCLUSIONES.....	130
4.2	RECOMENDACIONES .....	132
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	134
	Direcciones Electrónicas .....	134
	Libros .....	136
	Artículos Técnicos .....	136
	Estándares .....	137
	Proyectos de Titulación .....	137
	ANEXOS .....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1.1-1 Esquema de un enlace básico punto a punto de comunicaciones.....	2
Figura 1.1-2 Fotodiodo PIN .....	5



Figura 1.1-3 Fotodiodo de avalancha o APD .....	6
Figura 1.1-4 Multiplexación por División de Código (CDM).....	8
Figura 1.1-5 Multiplexación WDM <sup>1</sup> .....	9
Figura 1.2-1 Red FTTx .....	10
Figura 1.2-2 Red FTTH .....	10
Figura 1.2-3 Red FTTC .....	11
Figura 1.2-4 Red FTTB .....	11
Figura 1.2-5 Red FTTN .....	12
Figura 1.3-1 Componentes de una Red óptica Pasiva (PON).....	13
Figura 1.3-2 Elementos de una red PON .....	15
Figura 1.3-3 Red APON .....	17
Figura 1.3-4 Red BPON .....	18
Figura 1.3-5 Red GPON.....	20
Figura 1.3-6 Red EPON .....	22
Figura 1.3-7 Red 10G EPON.....	24
Figura 1.4-1 Arquitectura de red.....	26
Figura 1.4-2 Esquema de la capa XGTC .....	35
Figura 1.4-3 Cabecera XGEM .....	36
Figura 1.4-4 Formato de la trama XGTC descendente .....	40
Figura 1.4-5 Formato y sobrecarga de la ráfaga ascendente XGTC.....	41
Figura 1.4-6 Trama PHY descendente.....	42
Figura 1.4-7 Trama y ráfagas PHY ascendentes .....	43

## Capítulo 2

Figura 2.1-1 Ubicación del Barrio CARCELÉN ALTO 3D.....	50
Figura 2.1-2 Esquema de distribución de viviendas del barrio CARCELÉN ALTO 3D.....	51
Figura 2.3-1 Gráfico de barras con los resultados de la pregunta No.1 .....	54
Figura 2.3-2 Gráfico de resultados de la pregunta No.2.....	54
Figura 2.3-3 Gráfico de resultados de la pregunta No.3.....	55
Figura 2.3-4 Gráfico de resultados de la pregunta No.4.....	55
Figura 2.3-5 Gráfico de resultados de la pregunta No.5.....	56
Figura 2.3-6 Gráfico de resultados de la pregunta No.6.....	57
Figura 2.4-1 Porcentaje de abonados de Internet en el tercer trimestre del año.....	60
Figura 2.4-2 Abonados de Internet a nivel nacional .....	67
Figura 2.4-3 Abonados residenciales y corporativos de Internet en la Provincia de Pichincha .....	67
Figura 2.4-4 Proyección a 5 años de la cantidad de abonados de Internet.....	68

Figura 2.4-5 Proyección a 20 años de la cantidad de abonados de Internet.....	69
Figura 2.5-1 Principales tendencias FTTx.....	70
Figura 2.6-1 Arquitectura de una red 10G-PON.....	71
Figura 2.6-2 Posibles ubicaciones de la OLT.....	72
Figura 2.6-3 Zonas del barrio Carcelén Alto 3D.....	79
Figura 2.6-4 Diagrama de división de splitters.....	81
Figura 2.6-5 Herraje de Retención o Terminal.....	90
Figura 2.6-6 Herraje de Paso o Suspensión.....	90
Figura 2.6-7 Herraje tipo A.....	91
Figura 2.6-8 Distancia entre la OLT y el armario de distribución de la CNT.....	94
Figura 2.6-9 Casas en conjuntos residenciales y edificios del barrio Carcelén Alto 3D.....	101
Figura 2.6-10 Diagrama de los elementos de la red hacia la ONU más lejana.....	106
Figura 2.6-11 Diagrama de los elementos de la red hacia la ONU más cercana....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 1

Tabla 1.3-1 Velocidades de transmisión de GPON .....	19
Tabla 1.4-1 Parámetros de asignación de longitudes de onda .....	28
Tabla 1.4-2 Estructura de capas para una red XG-PON .....	29
Tabla 1.4-3 Servicios NG-PON .....	30
Tabla 1.4-4 Requerimientos de capa física .....	31
Tabla 1.4-5 Requerimientos de la capa PMD .....	34
Tabla 1.4-6 Valores de ONU-ID .....	45
Tabla 1.4-7 Valores de XGEM Port-ID .....	45
Tabla 1.5-1 Principales diferencias entre G-PON y 10G-PON .....	49

## Capítulo 2

Tabla 2.3-1 Resultados de la pregunta No. 1 .....	53
Tabla 2.3-2 Resultados de la pregunta No. 2 .....	54
Tabla 2.3-3 Resultados de la pregunta No. 3 .....	55
Tabla 2.3-4 Resultados de la pregunta No. 4 .....	55
Tabla 2.3-5 Resultados de la pregunta No. 5 .....	56
Tabla 2.3-6 Resultados de la pregunta No. 6 .....	56
Tabla 2.4-1 Capacidad requerida para el estándar MPEG-4 .....	61
Tabla 2.4-2 Porcentaje de casas que disponen de Servicios básicos .....	63
Tabla 2.4-3 Capacidad para televisión .....	63
Tabla 2.4-4 Capacidad de la red por abonado .....	64
Tabla 2.4-5 Número de usuarios en los próximos 5 años .....	68
Tabla 2.6-1 Comparación de los proveedores de servicios de telecomunicaciones .	73
Tabla 2.6-2 Pérdida de potencia por inserción de los splitters en redes PON .....	78
Tabla 2.6-3 Cantidad total de splitters de la red .....	79
Tabla 2.6-4 Spliter y tipos de cajas de almacenamiento de fusiones .....	82
Tabla 2.6-5 Tipos de fibra óptica considerando la composición que tengan .....	83
Tabla 2.6-6 Cables de fibra óptica para instalación terrestre .....	85
Tabla 2.6-7 Tipos de Cables de Fibra Óptica para tendido Aéreo.....	87
Tabla 2.6-8 Comparación del cable ADSS con el cable Figura 8.....	89
Tabla 2.6-9 Parámetros de operación de los estándares G.652 .....	94
Tabla 2.6-10 Descripción de la cantidad y ubicación de la Fibra Óptica en la red ...	100
Tabla 2.6-11 Cantidad de cable de cobre para los edificios del barrio .....	101
Tabla 2.6-12 Cantidad de fibra óptica para los conjuntos residenciales del barrio..	102
Tabla 2.6-13 Clases de Pérdidas para el estándar GPON .....	102
Tabla 2.6-14 Clases de Pérdidas para el estándar 10 GPON .....	103
Tabla 2.6-15 Distancia de cada ONU hacia la OLT (Z1, Z2, Z3 y Z4).....	104
Tabla 2.6-16 Distancia de cada ONU hacia la OLT (Z5, Z6, Z7 y Z8).....	104
Tabla 2.6-17 Cálculo de la atenuación de la ONU más lejana en la banda de	

1310 –1625 nm.....	106
Tabla 2.6-18 Cálculo de la atenuación de la ONU más lejana en la banda de .....	107
Tabla 2.6-19 Cálculo de la atenuación de la ONU más cercana en la banda de 1310-1625 nm .....	108
Tabla 2.6-20 Cálculo de la atenuación de la ONU más cercana en la banda de ....	109
Tabla 2.6-21 Parámetros de la interfaz óptica en sentido descendente.....	111
Tabla 2.6-22 Parámetros de la interfaz óptica en sentido ascendente.....	111

### Capítulo 3

Tabla 3.1-1 Requerimientos técnicos mínimos de la OLT.....	113
Tabla 3.1-2 Comparación técnica y económica de la OLT .....	115
Tabla 3.1-3 Requerimientos técnicos mínimos de la ONU.....	115
Tabla 3.1-4 Comparación técnica y económica de la ONU .....	117
Tabla 3.1-5 Requerimientos técnicos mínimos del MDU.....	117
Tabla 3.1-6 Comparación técnica y económica del MDU.....	119
Tabla 3.2-1 Comparación y técnica y económica del patch cord de fibra óptica .....	120
Tabla 3.2-2 Comparación técnica y económica del cable de fibra óptica.....	121
Tabla 3.2-3 Comparación y técnica y económica del ODF .....	121
Tabla 3.2-4 Comparación técnica y económica del splitter 1x4.....	122
Tabla 3.2-5 Comparación técnica y económica del splitter 1x16.....	122
Tabla 3.2-6 Comparación técnica y económica de la caja para alojar fusiones y splitter 1x4 .....	123
Tabla 3.2-7 Comparación técnica y económica de la caja para alojar fusiones y splitter 1x16 .....	124
Tabla 3.2-8 Comparación técnica y económica de la caja para alojar fusiones en el edificio del abonado.....	124
Tabla 3.3-1 Presupuesto referencial para el equipamiento activo.....	125
Tabla 3.3-2 Presupuesto referencial para el equipamiento pasivo.....	126
Tabla 3.3-3 Presupuesto referencial para la instalación del cable de fibra óptica ...	127
Tabla 3.3-4 Presupuesto referencial de los servicios al proveedor .....	127
Tabla 3.3-5 Presupuesto referencial de la red.....	128

## ÍNDICE DE ECUACIONES

### Capítulo 2

Ecuación 2.2-1 Ecuación para determinar una muestra de encuesta .....	52
---	----

Ecuación 2.4-1 Ecuación del crecimiento de abonados de internet en los próximos 5 años .....	67
Ecuación 2.6-1 Combinación de los herrajes S y R .....	90
Ecuación 2.6-2 Balance de Potencias .....	109

## **RESUMEN**

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo principal el diseño de una red 10G-PON para el Barrio Carcelén Alto 3D que ofrezca servicios de Internet, telefonía

y televisión en alta definición. Inicialmente se realizará una explicación sobre los fundamentos teóricos que se necesitan para comprender el funcionamiento de un sistema óptico.

A continuación se detallarán los elementos de una red óptica pasiva así como los distintos tipos de redes PON que existen actualmente. Para finalizar el marco teórico se realizará un estudio del estándar 10G-PON, el cual incursionó en las redes ópticas de acceso a partir del 2010.

Se realizará una encuesta a los habitantes del barrio para conocer la demanda, esto es el estado actual de los requerimientos y servicios que tienen los posibles usuarios de la red que se pretende diseñar; una vez que se tabulen los datos de la encuesta se procederá a determinar la capacidad requerida de la red.

Como siguiente paso, se procederá a hacer el diseño de la red óptica pasiva, estableciendo los parámetros mínimos para el equipamiento activo y el equipamiento pasivo.

Luego se realizará una comparación técnica y económica entre dos fabricantes para determinar cuáles son los equipos activos y pasivos que mejor se acoplen a las características de diseño obtenidas anteriormente. También se escogerá el proveedor de servicios de telecomunicaciones que brinde la capacidad calculada. Una vez que se hayan escogido los equipos y componentes de la red se elaborará un presupuesto referencial del diseño planteado.

Por último se establecerán un grupo de conclusiones y recomendaciones sobre el diseño realizado.

## **PRESENTACIÓN**

Las tecnologías de comunicación se encuentran en constante evolución, día a día se van desarrollando nuevas aplicaciones que tratan de integrar los diversos aspectos

de la vida personal de los seres humanos, sea mediante la domotización del hogar, la integración de servicios en la nube, videoconferencias en la web, juegos en línea, descarga de videos en alta definición o en 3D, etc.

Para que se puedan implementar y desarrollar estas nuevas aplicaciones se requiere un aumento de la velocidad de transmisión de las redes, es por esto que los organismos internacionales de estudio y desarrollo de tecnologías de telecomunicaciones y datos se han preocupado por elaborar nuevos estándares de tecnologías que ofrezcan mayores capacidades. De ahí que ha nacido el estándar 10G-PON el cual, ofrece tasas de transferencia de datos de hasta 10 Gbps de subida y 2.5 Gbps de bajada, utilizando como medio de transmisión la fibra óptica.

Así como se produce el desarrollo de nuevas aplicaciones que requieren mayores capacidades de la red, van apareciendo tecnologías que permiten a los usuarios acceder a las nuevas aplicaciones desarrolladas, tal como la tecnología FTTx, que permite que la fibra óptica llegue hasta la casa o el edificio del abonado.

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICA [2], [13], [14], [15], [16], [17]

Un sistema de comunicación óptica es análogo a cualquier otro sistema de comunicación tradicional. La principal diferencia radica en que la longitud de onda empleada está en el orden de los nanómetros y la frecuencia de transmisión en el orden de los THz, y como la señal moduladora es un cierto porcentaje de la señal portadora se generarán capacidades que podrían llegar a los Tbps.

En un sistema de comunicación óptica, al transmisor llega una señal eléctrica la que es convertida en un pulso de luz modulado y se envía por el medio de transmisión (fibra óptica) hacia el receptor en donde se demodula la señal y se convierte nuevamente en una señal eléctrica.

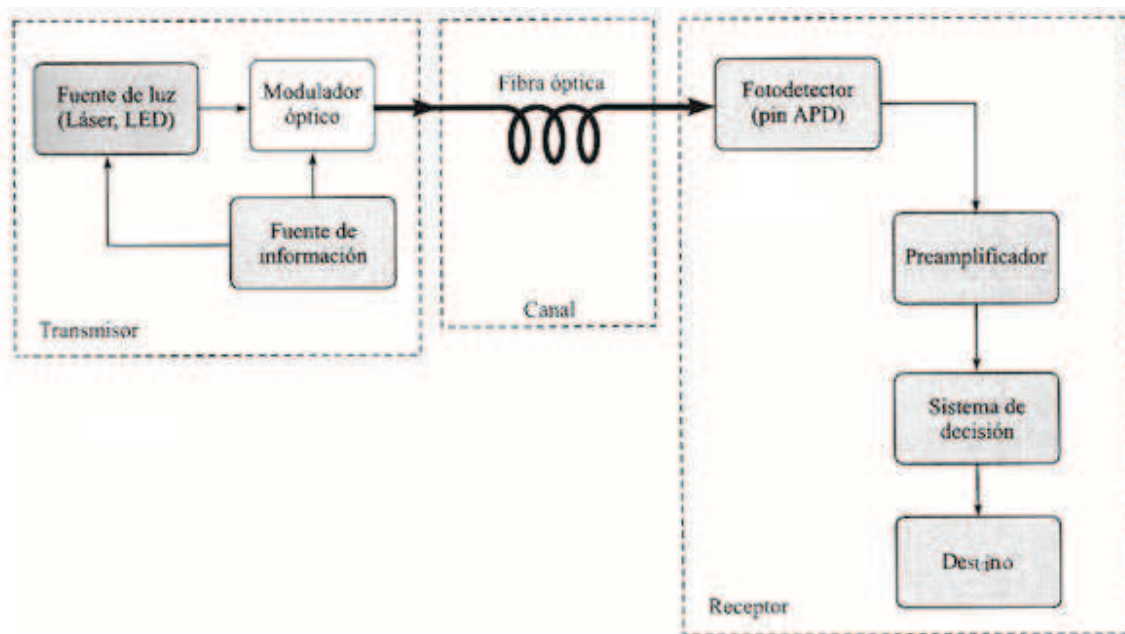
#### 1.1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICA

Un sistema de comunicación óptica está formado básicamente por 3 elementos: transmisor, canal de comunicación y receptor.

Cada uno de los elementos que forman parte del sistema, está compuesto a su vez, por un conjunto de dispositivos y procesos que permiten el completo funcionamiento del sistema de comunicación.

En la figura 1.1-1 se muestra el esquema de un sistema de comunicación óptica. Para este caso específico, el único medio de transmisión que se utiliza como canal de comunicaciones es la fibra óptica.





**Figura 1.1-1** Esquema de un enlace básico punto a punto de comunicaciones ópticas <sup>[2]</sup>

### 1.1.1.1 Transmisor

El transmisor debe tener un emisor de luz capaz de cumplir con características como: generar un haz de luz monocromático, fácil acoplamiento de la radiación a la fibra óptica, potencia óptica modulable por medios electrónicos y respuesta rápida.

Los dispositivos más utilizados como emisores de luz en un sistema de comunicación óptico son los diodos LED y los láseres (LD).

#### 1.1.1.1.1 Diodo Led (LED, Light Emitting Diode)

Un LED es un dispositivo semiconductor formado por una unión P-N directamente polarizada, es un emisor de luz no coherente y escasamente monocromático limitado para anchos de banda pequeños.

Existen básicamente dos tipos de diodos LED:

- ✓ LED de emisión superficial (SLED, *Surface Emitting LED*).- La emisión de la luz es perpendicular al plano P-N.

- ✓ Led de emisión lateral (ELED, *Edge Emitting LED*).- La emisión de la luz se realiza en el plano P-N, los materiales que cubren el plano tienen un mayor índice de refracción, por lo que se comporta como guía de onda y encamina la luz de mejor manera al exterior.

#### 1.1.1.1.2 Láser (LD, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

Un láser es una fuente de luz coherente, que además de tener la estructura básica de un diodo LED posee dos espejos semireflejantes que forman una cavidad resonante, lo que le permite realizar retroalimentación óptica, es más veloz que el LED por lo que puede trabajar con fibras ópticas monomodo.

Los tipos más comunes de laser que existen son:

- ✓ Láser de Emisión con Cavidad Superficial Vertical (VCSEL, *Vertical Cavity Surface Emitting Lasers*).- Emite luz en un haz cilíndrico vertical, se lo utiliza para velocidades de hasta 1Gbps.
- ✓ Láser de Retroalimentación Distribuida (DFB, *Distributed FeedBack*).- Permite tener un espectro de salida casi monocromático, debido a la luz propagada en la cavidad se genera una variación periódica del índice de refracción. Es utilizado para cubrir grandes distancias.
- ✓ Láser con reflector de Bragg Distribuida (DBR, *Distributed Bragg Reflector*).- Es un dispositivo que se encuentra formado por multisecciones perfectamente alineadas, por ejemplo existe la sección de Bragg que determina la longitud de onda a la que se transmitirá. Emite un haz de luz casi monocromática. Se utiliza especialmente en sistemas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).

#### 1.1.1.2 Receptor

El receptor en un sistema de comunicación óptica está formado básicamente por dos secciones: el circuito de recepción y el detector.

#### 1.1.1.2.1 Circuito de recepción

Es el encargado de amplificar y depurar la señal recibida. Puede estar formado por módulos de amplificación, filtro, comparación, etc.

##### a) Filtro Óptico

Un filtro óptico es un dispositivo que permite el paso de la luz sólo a ciertas longitudes de onda y el resto lo atenúa. Existen tres funciones principales que realizan los filtros ópticos: eliminación del ruido<sup>1</sup> causado por etapas anteriores del receptor, ecualización de la respuesta de amplificadores ópticos y la selección de canales WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).

##### b) Amplificador Óptico

Es un dispositivo que produce una réplica amplificada de la señal óptica de entrada sin la necesidad de convertirla en señal eléctrica. Las principales ventajas que ofrecen los amplificadores ópticos son: trabajan independientemente de la modulación utilizada, pueden ser utilizados en el transmisor y tienen un gran ancho de banda por lo que amplifican varias longitudes de onda.

Los tipos de amplificadores más comunes son:

- ✓ Amplificador de línea, se utiliza con fibra monomodo para elevar el nivel de la señal y compensar las pérdidas de atenuación en largos tramos de fibra.
- ✓ Preamplificador *front-end*, amplifica la señal antes de que llegue al fotodetector para mejorar la relación señal a ruido.

#### 1.1.1.2.2 El Detector

Está formado por un dispositivo optoelectrónico semiconductor que se encarga de transformar la señal luminosa que recibe en una señal eléctrica.

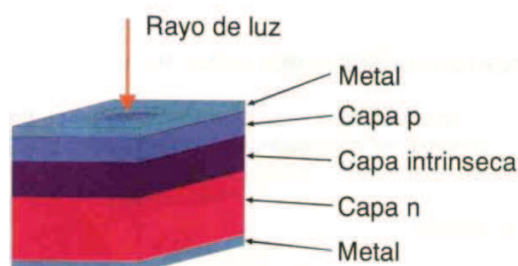
---

<sup>1</sup> Frecuencias indeseadas que se encuentran cerca de la frecuencia que se requiere transmitir.

Un detector debe cumplir tres características importantes: alta sensibilidad a la longitud de onda de operación, agregar el menor ruido posible al receptor total y grandes anchos de banda.

Los principales tipos de fotodetectores son: El fotodiodo PIN y el fotodiodo de avalancha o APD.

**a) Fotodiodo PIN (Positive Intrinsic Negative)**



**Figura 1.1-2** Fotodiodo PIN <sup>[15]</sup>

El diodo PIN está compuesto por una capa P, una capa N y una zona intrínseca I, semiconductor, formada por cristal de silicio o germanio, tal como se puede ver en la figura 1.1-2. Los fotones ingresan en la zona intrínseca generando huecos, el diodo se polariza inversamente para acelerar las cargas en la zona intrínseca que se dirigen hacia los electrodos.

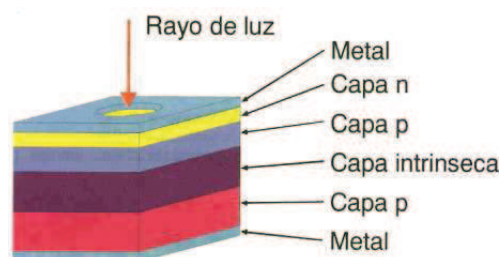
El diodo PIN es el más utilizado en comunicaciones ópticas debido a su fácil fabricación, poca generación de ruido y son altamente eficientes ya que su tiempo de respuesta está en el orden de los nanosegundos.

En algunos casos para aumentar la sensibilidad del PIN se utiliza fotodiodos PIN con preamplificador FET que tienen un ancho de banda amplio y pueden ser utilizados en varias longitudes de onda y tipos de fibra óptica.

**b) Fotodiodo de avalancha o APD (Avalanche Photo Diode)**

El APD está formado por una capa de material intrínseca casi pura entre la unión de dos capas P y N, como se muestra en la figura 1.1-3. Igual que el diodo PIN, el APD se polariza inversamente pero las tensiones aplicadas son elevadas lo que origina un

campo eléctrico tal que acelera a los portadores generados, éstos colisionan con otros átomos del semiconductor y por ende se producirán más huecos, este fenómeno generará una ganancia de avalancha.



**Figura 1.1-3** Fotodiodo de avalancha o APD <sup>[15]</sup>

El APD ofrece mejores tiempos de respuesta que el fotodiodo PIN, pero su tiempo de vida es más corto comparado con el PIN.

### 1.1.2 TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICO

Una técnica de multiplexación adecuada permitirá obtener un mayor aprovechamiento del ancho de banda de un canal. En sistemas ópticos se utilizan las siguientes técnicas, que pueden trabajar también combinadas:

- ✓ *Time Division Multiplexing (TDM)*
- ✓ *Frequency Division Multiplexing (FDM)*
- ✓ *Code Division Multiplexing (CDM)*
- ✓ *Wavelength Division Multiplexing (WDM)*

#### 1.1.2.1 Time Division Multiplexing (TDM)

Para este tipo de multiplexación a cada usuario se le asigna el canal de comunicación durante un tiempo (slot de tiempo), un conjunto de slots de tiempo formarán una trama que es la que se enviará por el canal de comunicaciones. Es necesario que exista una sincronización en los relojes de transmisión. Entre los slots

que ocupan los usuarios suelen existir slots de tiempo vacíos que sirven como tiempos de guarda por si existe algún percance en el proceso de comunicación.

Utilizando TDM en sistemas ópticos se puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 10 Gbps debido a que se presentan pérdidas por dispersión cromática y por polarización, pero se puede mejorar esta velocidad utilizando técnicas OTDM (*Optical Time Division Multiplexing*).

La multiplexación OTDM (*Optical Time Division Multiplexing*) es similar a la multiplexación TDM, es decir, a cada usuario se le asigna un canal de comunicación durante un slot de tiempo, un conjunto de slots de tiempo formará una trama, la cual se enviará por el canal de comunicación. La principal diferencia entre las técnicas de multiplexación TDM y OTDM es que la segunda es utilizada únicamente en sistemas ópticos, ya que ésta, puede trabajar con tasas de transmisión mucho más altas.

Las transmisiones empleando OTDM requieren la generación de pulsos ópticos estrechos y con retorno a cero (RZ); este hecho en condiciones reales de transmisión es vulnerable a la dispersión cromática.

#### **1.1.2.2 Frequency Division Multiplexing (FDM)**

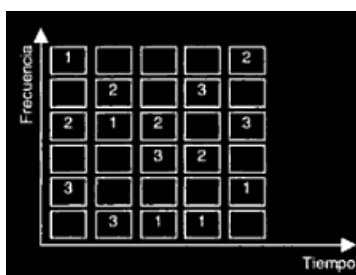
Para la multiplexación FDM, se divide el espectro de frecuencia de la señal entre el número de canales lógicos; a cada usuario se le asigna una banda de frecuencia diferente. Se puede agrupar a usuarios en bandas de frecuencias disjuntas durante todo el tiempo de transmisión. Para evitar interferencias entre bandas de frecuencias adyacentes, se utiliza bandas de guarda.

#### **1.1.2.3 Code Division Multiplexing (CDM)**

Esta forma de multiplexación combina la multiplexación por división de frecuencia y la multiplexación por división de tiempo. Se asignan bandas de frecuencia durante slots de tiempo, como se muestra en la figura 1.1-4.

Para lograr la multiplexación por división de código se utilizan dos técnicas de espectro extendido:

- ✓ Secuencia directa.- La señal modulada se multiplica por un código pseudoaleatorio, lo que produce un ensanchamiento en el margen de frecuencias de la señal.
- ✓ Salto de frecuencias.- La señal de información modula una portadora de frecuencia variable. A cada usuario se le asigna un código pseudo-aleatorio ortogonal al resto de códigos, que marca el salto en la asignación de frecuencia, en cada slot de tiempo se reasignan las bandas de frecuencia.



**Figura 1.1-4** Multiplexación por División de Código (CDM) <sup>[17]</sup>

#### 1.1.2.4 Wavelength Division Multiplexing (WDM)

Debido a la relación que existe entre la longitud de onda y la frecuencia, WDM es una variación de FDM (*Frequency Division Multiplexing*). El objetivo de esta técnica de multiplexación es el de transmitir las señales de varias fibras ópticas a través de una sola fibra, asignando a cada señal diferente longitud de onda, para lo cual se utilizan típicamente prismas de difracción como se puede observar en la figura 1.1-5.

La ventaja de la utilización de los prismas de difracción es que el proceso de separación de señales es totalmente pasivo por lo que no es necesario emplear alimentación, además del hecho de que no se requieren elementos opto-electrónicos para la conversión de la señal luminosa en eléctrica, lo que permite trabajar con señales de grandes anchos de banda.

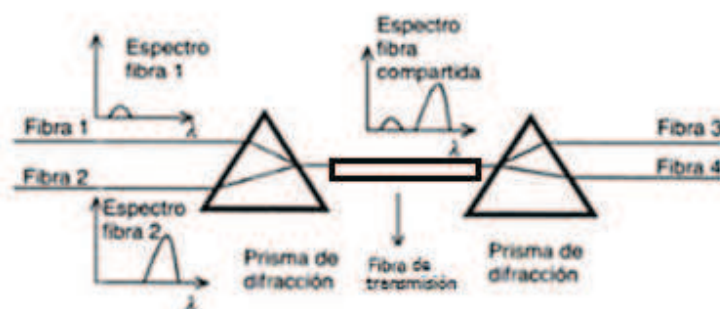


Figura 1.1-5 Multiplexación WDM <sup>[17]</sup>

## 1.2 REDES ÓPTICAS DE ACCESO <sup>[18], [19]</sup>

Una red óptica de acceso está formada por todos los elementos que conectan los dispositivos del usuario con los equipos terminales de la red de transporte.

Básicamente se diferencian dos tipos de arquitecturas para redes ópticas de acceso:

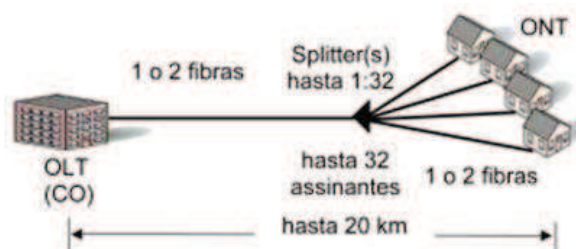
- ✓ Arquitecturas activas: En este tipo de arquitecturas se tiene un ancho de banda dedicado por usuario y por fibra, esto gracias a la existencia de varios elementos activos entre la central y el usuario, algunos ejemplos de arquitecturas activas son las redes PTP (*Point To Point*) y las redes Ethernet Activas (*Active Star Ethernet*).
- ✓ Arquitecturas pasivas: En las arquitecturas pasivas todos los componentes de la red son pasivos, el ancho de banda disponible se multiplexa en una misma fibra para todos los usuarios en partes iguales o diferenciándose por calidad de servicio. Un ejemplo de arquitecturas pasivas es PON (*Passive Optical Network*).

La tecnología que se utiliza en la implementación de redes ópticas de acceso es FTTx (*Fiber - To - The x*).

### 1.2.1 FTTx (*Fiber – To - The x*)

Es un término genérico que se utiliza para designar a redes ópticas pasivas que brindan un alto desempeño y grandes anchos de banda.





**Figura 1.2-1** Red FTTx<sup>[19]</sup>

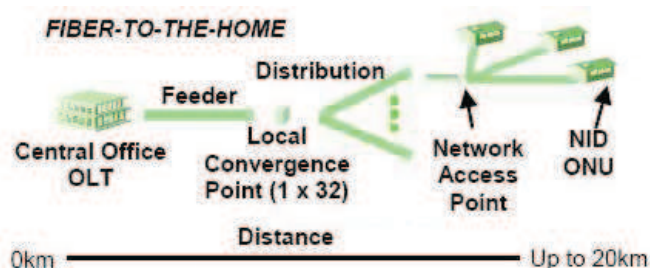
En una red FTTx el procedimiento básico que se realiza es el que se muestra en la figura 1.2-1, es decir, desde el CO (*Central Office*) se transmite la señal a través de una red óptica, al llegar a una región cercana a los suscriptores se divide la señal, utilizando un splitter, y se transmite a la ONT (*Optical Network Terminal*) que posee cada abonado.

Las arquitecturas FTTx más importantes son:

- ✓ FTTH (*Fiber to the Home*)
- ✓ FTTC (*Fiber to the Curb*)
- ✓ FTTB (*Fiber to the Building*)
- ✓ FTTN (*Fiber to the Node*)

#### 1.2.1.1 FTTH (*Fiber To The Home*)

En la arquitectura de fibra hasta el hogar se lleva el enlace de fibra óptica desde la CO hasta el interior o fachada de la casa u oficina del abonado. La UIT especifica una distancia máxima de 20 km del enlace entre el CO y el punto de acceso a la red.



**Figura 1.2-2** Red FTTH<sup>[19]</sup>

### 1.2.1.2 FTTC (*Fiber To The Curb*)

La arquitectura de fibra hasta la vereda define el enlace de la CO hasta un cajetín cercano al usuario, pudiendo ser el cajetín telefónico, ubicado aproximadamente a 300 metros del abonado. Para la porción de red entre el cajetín y el usuario final se utiliza generalmente cable de cobre.

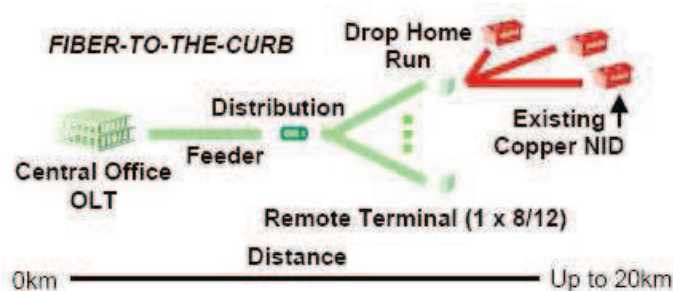


Figura 1.2-3 Red FTTC <sup>[19]</sup>

### 1.2.1.3 FTTB (*Fiber To The Building*)

En la arquitectura de fibra hasta el edificio, la fibra óptica típicamente termina en un punto de distribución fuera o dentro del edificio de los abonados.

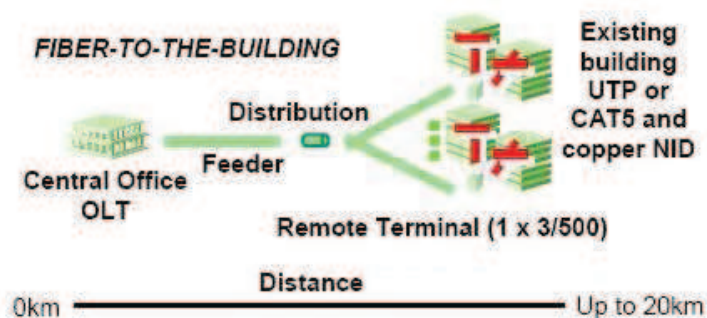
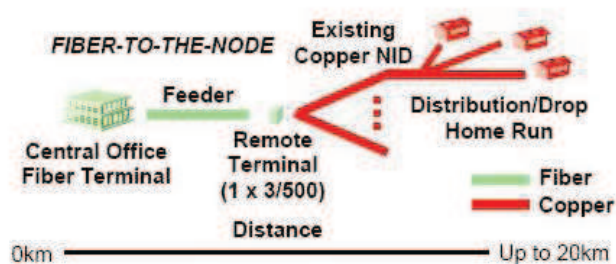


Figura 1.2-4 Red FTTB <sup>[19]</sup>

### 1.2.1.4 FTTN (*Fiber To The Node*)

Para la arquitectura de fibra hasta el nodo, la fibra óptica llega hasta el vecindario a un lugar más lejano que en FTTH o FTTB, típicamente ubicado en las inmediaciones del vecindario.



**Figura 1.2-5** Red FTTN <sup>[19]</sup>

### 1.3 REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON) <sup>[20], [21], [22], [26]</sup>

Una red PON es aquella que posee únicamente elementos pasivos entre la Oficina Central y el usuario, por lo que puede ofrecer mayores anchos de banda a los suscriptores gracias a la gran capacidad que ofrecen las fibras ópticas como medio de transmisión. El principal elemento pasivo en una red PON es el dispositivo divisor óptico (splitter) que es el encargado de separar y guiar el tráfico hacia los usuarios.

Una red óptica pasiva generalmente se presenta en topología de estrella-distribuida, permite una distancia de 20 Km entre la OLT (*Optical Line Terminal*) y la ONT (*Optical Network Terminal*).

#### 1.3.1 SUBSISTEMAS DE REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON)

Una red óptica pasiva consta de los siguientes subsistemas:

- ✓ Sala de equipos/Cabecera
- ✓ Red Óptica Troncal/Feeder
- ✓ Centros de Distribución
- ✓ Red Óptica de distribución
- ✓ Red Óptica de Acometida
- ✓ Red Interna

En la figura 1.3-1 se puede visualizar los subsistemas de una red PON:

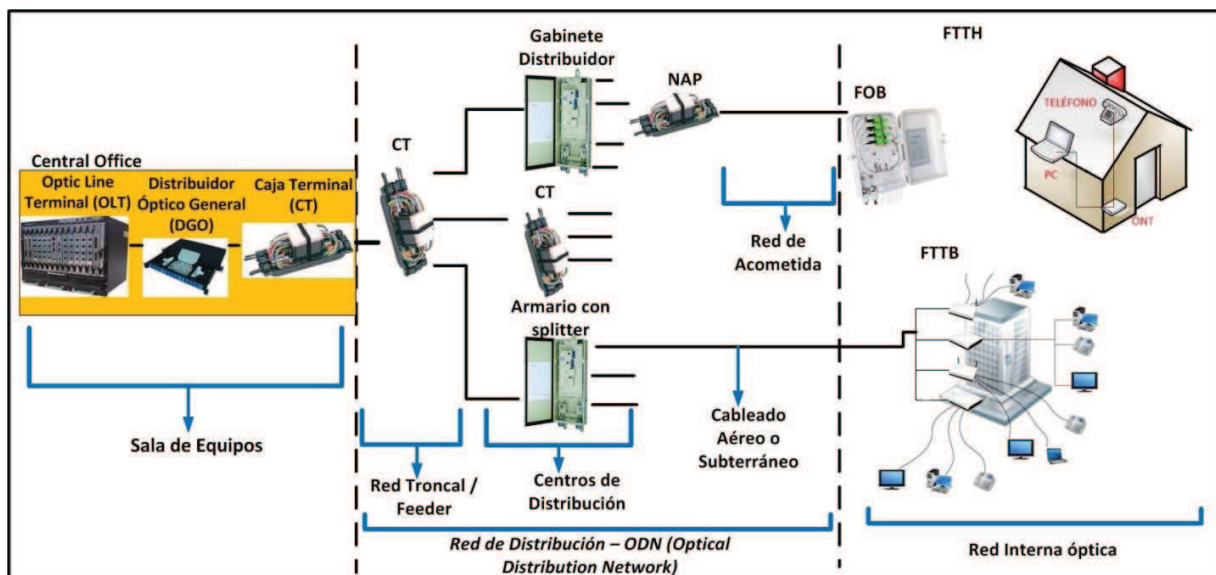


Figura 1.3-1 Componentes de una Red óptica Pasiva (PON) [22]

- ✓ *Sala de Equipos/Cabecera:* Lugar en el que están instalados los equipos de transmisión óptica (OLT, *Optical Line Terminal*), el Distribuidor Óptico General (DGO, *Distributor General Optical*) y la CT (Caja Terminal). El DGO es el encargado de la transición entre el equipo de transmisión y los cables ópticos troncales de transmisión, en la CT (Caja Terminal) se ubica el punto de distribución desde la sala de equipos hacia la red óptica troncal.
- ✓ *Red Óptica Troncal/Feeder:* Está formada por todos los cables ópticos que llevan la señal desde la Sala de Equipos hasta los centros de distribución. Es aconsejable que estos cables ópticos vayan enterrados subterráneamente en el interior de líneas de conductos o subconductos y tendidos en instalaciones aéreas. Para redes PON se utiliza fibra óptica monomodo.
- ✓ *Centros de Distribución:* Dividen la señal óptica en áreas más distantes de la central, disminuyendo el número de fibras ópticas para atender a estos accesos, además, realizan la distribución y gerencia de la señal en su área determinada. En los Centros de Distribución se instalan pequeños armarios

ópticos de distribución, los cuales, están asociados a divisores ópticos. En ciertas ocasiones, los armarios pueden ser cambiados por cajas de empalme.

- ✓ *Red Óptica de Distribución (ODN, Optical Distribution Network)*: Lleva la señal de los centros de distribución a las áreas específicas de atención. Los cables de fibra óptica que se utilizan en esta red son auto soportados con núcleo seco<sup>2</sup>. Se utilizan cajas de empalme (NAP, *Network Access Point*) para la derivación de fibras y obtener una mejor distribución de la señal. Las NAP distribuyen la señal realizando la transición de la red óptica de alimentación a la red terminal.
- ✓ *Red Óptica de Acometida*: Está compuesta por cables ópticos auto soportados de baja cantidad de fibras. Llevan la señal óptica desde el NAP hasta el abonado. Se utiliza un elemento de sustentación para sujetar el cable de la casa/edificio del abonado.
- ✓ *Red Interna*: Utiliza extensiones o cordones ópticos para realizar la transición de la señal de fibra desde el distribuidor interno óptico hasta el receptor interno del abonado.

### **1.3.2 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON)**

Una red óptica pasiva está formada por los siguientes elementos:

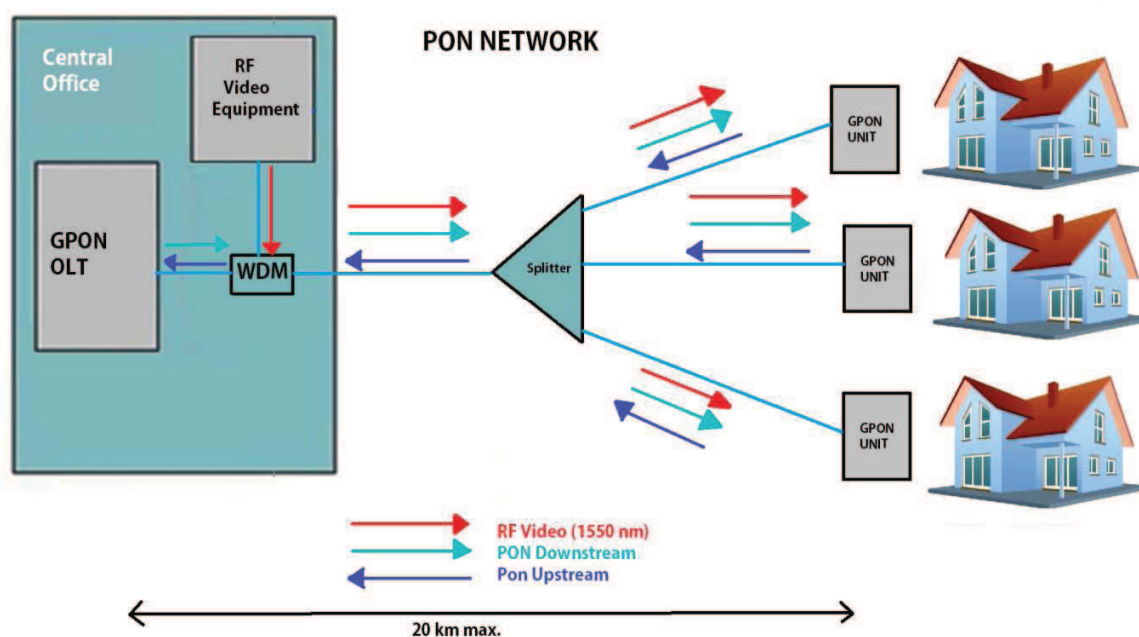
- ✓ *OLT (Optical Line Terminal)*: Se encuentra en el CO (Central Office), desde la OLT parten las fibras ópticas hacia los abonados.
- ✓ Divisor óptico o Splitter.

---

<sup>2</sup> Los cables de fibra óptica autosportados con núcleo seco, son los más utilizados en la construcción de la Red de Distribución Óptica, debido a que no necesitan instalación a tierra y al no tener ningún tipo de núcleo de la fibra es posible realizar el empalme rápidamente y reducir el tiempo en el proceso de instalación de la fibra.

- ✓ Varias ONTs (Optical Network Terminal) u ONUs (Optical Network Unit)<sup>3</sup>: Ubicadas en el hogar/edificio del abonado.

Un esquema de la distribución de los elementos de una red PON se puede ver en la figura 1.3-2.



**Figura 1.3-2** Elementos de una red PON <sup>[23]</sup>

La transmisión se realiza entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor óptico, cuya función depende de si el canal es ascendente o 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 ONUs, cuyo objetivo es el de filtrar y sólo enviar al usuario aquellos contenidos que vayan dirigidos a él. En este procedimiento se utiliza TDM para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

<sup>3</sup> Según la ITU-T Rec. G.983.1, ambos términos corresponden el punto de conexión del usuario hacia la ODN, aunque generalmente se utiliza ONT cuando se habla de una red óptica pasiva FTTH.

En canal ascendente una red PON es una red punto a punto donde las diferentes ONUs transmiten contenidos a la OLT. A diferencia del canal descendente se utiliza TDMA para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la OLT, esto debido a que el ancho de banda requerido por cada usuario en este sentido de la transmisión es pequeño, comparado con el ancho de banda en sentido descendente. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como "*ranging*"<sup>4</sup>.

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

Las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central; un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor para la transmisión de la ráfaga de contenidos<sup>5</sup> y así evitar que se sature su fotodiodo, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia más grande.

### 1.3.3 TIPOS DE REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON) <sup>[23], [26]</sup>

#### 1.3.3.1 APON (*Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network*)

Está definida por el estándar ITU-T G.983. Utiliza el estándar ATM para la señalización en la capa de Enlace de Datos. APON se adecúa a varias tecnologías de redes de acceso como FTTH, FTTC y FTTB.

En la figura 1.3-3 se puede visualizar el esquema de interconexión desde la OLT hacia la ONU en una red APON.

---

<sup>4</sup> Ranging: Es el procedimiento mediante el cual se determina la distancia lógica entre la OLT y una ONU que requiere tener acceso a la red.

<sup>5</sup> Ráfaga de contenidos: Conjunto de bits que se transmiten en un instante de tiempo, pueden ser bits de voz, datos, televisión etc.

En redes APON la transmisión de datos en el canal descendente se realiza en ráfagas de celdas ATM con un tamaño máximo de 53 bytes, a una velocidad de 155.52 Mbps; 3 bytes están dedicados a identificar la ONU (*Optical Network Unit*). Mientras que en el canal ascendente la trama de transmisión está formada por máximo 54 celdas ATM, en las cuales hay dos celdas PLOAM (*Physical Level Operations, Administration and Maintenance*), las cuales guardan información sobre los destinos de cada celda, operación, administración y mantenimiento; a una velocidad de 622 Mbps.

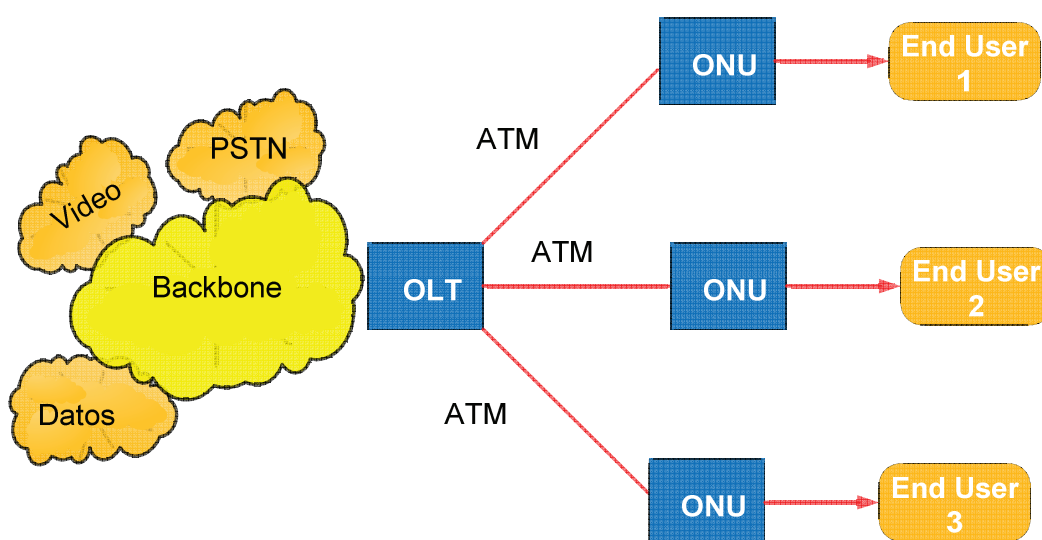


Figura 1.3-3 Red APON <sup>[24]</sup>

### 1.3.3.2 BPON (*Broadband Passive Optical Network*)

Se basa en la tecnología APON, se especifica en el estándar ITU-T G.983, aunque a éste se le agregaron apartados para permitir que BPON soporte más servicios como distribución de video, tecnologías como Ethernet, mejores características de transmisión con multiplexación por longitud de onda (WDM) y por lo tanto mayores anchos de banda.

Inicialmente BPON se definió con una velocidad de canal simétrica de 155 Mbps, pero para lograr mayores velocidades de transmisión se definió una velocidad de 155 Mbps en el canal ascendente y 622 Mbps en el canal descendente.



La figura 1.3-4 muestra la infraestructura completa de una red BPON, en la cual se utilizan las tecnologías FTTH Y FTTB para llegar hacia cada usuario de la red, independientemente de si se encuentra en una vivienda o en un edificio.

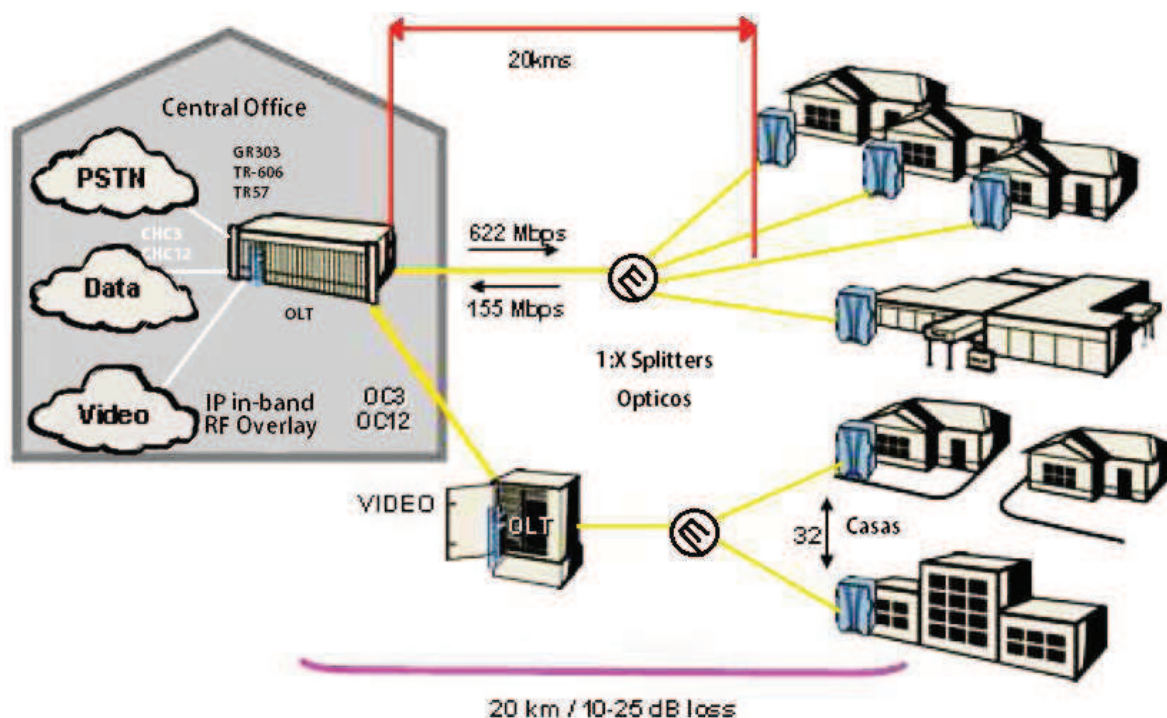


Figura 1.3-4 Red BPON [20]

### 1.3.3.3 G-PON (*Gigabit – capable Passive Optic Network*) [20], [22], [23], [26]

Se encuentra estandarizado por la ITU.T G.984 en las siguientes recomendaciones G.984.1<sup>6</sup>, G.984.2<sup>7</sup>, G.984.3<sup>8</sup>, G.984.4<sup>9</sup>, G.984.5<sup>10</sup>, G.984.6<sup>11</sup>. G-PON es la primera tecnología PON que provee velocidades mayores a 1Gbps.

Actualmente un segmento de red sirve a 32 y hasta 64 suscriptores, aunque en un futuro, los equipos de la red tendrían capacidades para servir a 128 abonados, pero

<sup>6</sup> G.984.1 – Características Principales

<sup>7</sup> G.984.2 – Capa Física Dependiente del Medio (*PMD – Physical Medium Dependent*)

<sup>8</sup> G.984.3 – Capa de Convergencia de Transmisión

<sup>9</sup> G.984.4 – Especificación de la Interfaz de Gestión y Control (*OMCI – ONU Management and Control Interface Specification*)

<sup>10</sup> G.984.5 – Mejora del Ancho de Banda

<sup>11</sup> G.984.6 – Extensión del alcance

sería necesario utilizar un splitter más grande y por ende aumentar la potencia de transmisión. Normalmente se permiten distancias de hasta 20 km, aunque la máxima distancia lógica<sup>12</sup> de G-PON es de 60 km.

G-PON emplea velocidades asimétricas de transmisión, siendo las más utilizadas las velocidades de 1.25 Gbps para el canal ascendente y 2.4 Gbps para el canal descendente, en la tabla 1.3-1 se listan todas las posibles velocidades de transmisión de GPON:

Velocidad Canal Ascendente [Gbps]	Velocidad Canal Descendente [Gbps]
0.155	1.2
0.622	1.2
1.2	1.2
0.155	2.4
0.622	2.4
1.25	2.4
2.4	2.4

**Tabla 1.3-1** Velocidades de transmisión de GPON <sup>[20]</sup>

G-PON garantiza la entrega de servicios de voz, video RF<sup>13</sup>, TDM (*Time Division Multiplexing*), Ethernet (10/100 BaseT), líneas dedicadas, redes inalámbricas inalámbricas y más. Además posee su propio método de encapsulamiento (GEM, *G-PON Encapsulation Method*)<sup>14</sup>, el cual encapsula en G-PON cualquier tipo de servicio

<sup>12</sup> Distancia Lógica GPON: Es la máxima distancia a la que se podría encontrar la ONU más lejana desde la OLT, para alcanzar una distancia mayor a 20 km con la tecnología GPON es necesario utilizar un equipo especial denominado GPON Extender, el cual permite ampliar la red a 20 km más desde donde se coloque.

<sup>13</sup> Video RF: Es el servicio de televisión por cable tradicional en el cual la señal de televisión llega hacia el CO a través de conexiones de radio frecuencia y la señal analógica es transmitida hacia cada abonado a través de cable coaxial.

<sup>14</sup> GEM (*GPON Encapsulation Method*): Método de encapsulamiento de GPON que puede encapsular cualquier tipo de servicio (voz sobre TDM, líneas alquiladas, televisión, etc), a través de un protocolo de transporte síncrono con tramas periódicas de 125 us. Soporta mayores capacidades comparado con el método de encapsulamiento de APON y BPON.

basado en paquetes, lo que permite que G-PON cubra un mayor número de servicios que redes PON anteriores.

Las longitudes de onda usadas por G-PON son: 1490 nm para el enlace descendente y 1310 nm para el enlace ascendente, mientras que 1550 nm está reservado para video RF (televisión).

#### 1.3.3.3.1 Configuración de una Red G-PON

En la figura 1.5-5 se muestra la configuración básica de una red G-PON:

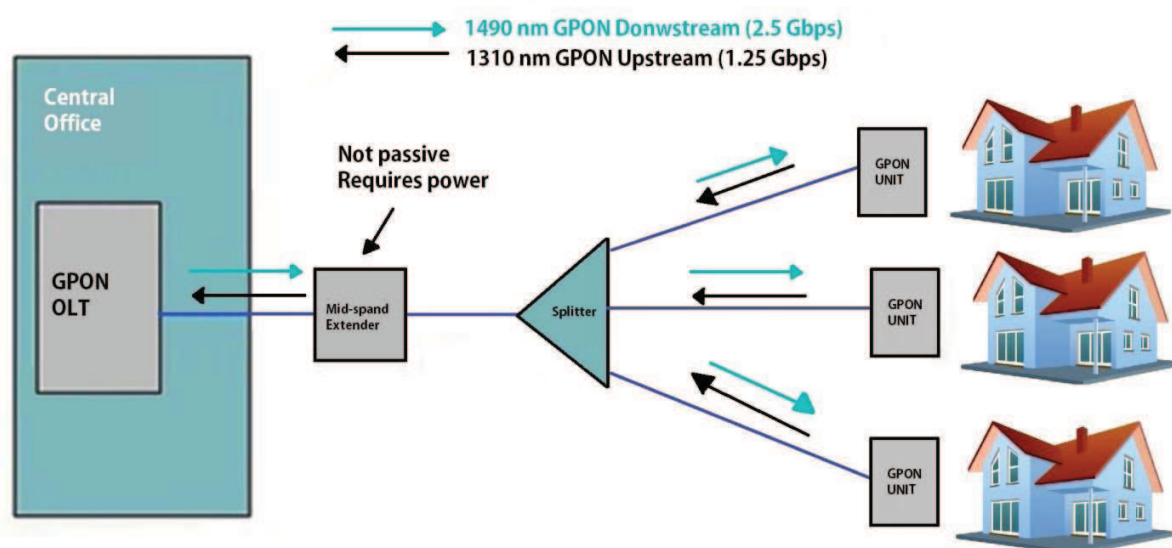


Figura 1.3-5 Red GPON [23]

*Optical Line Terminal (OLT):* Se conecta a la red por medio de interfaces normalizadas. En el lado de distribución posee interfaces de acceso ópticas que están de conformidad con normas G-PON, velocidad binaria, balance de potencia, etc.

La OLT posee tres elementos importantes:

- ✓ Función de interfaz de puerto de servicio: Sirve como interfaz hacia la red de distribución óptica y además se encarga del entramado, control de acceso al medio, operación, administración y mantenimiento para la función de conexión cruzada.

- ✓ Función de conexión cruzada: Permite el tránsito de la información por la red, utilizando el servicio G-PON seleccionado.
- ✓ Interfaz de Red de Distribución Óptica (ODN, *Optical Distribution Network*): Punto a través del cual la información se distribuye por la red óptica.

Además, la OLT está formada por tres bloques funcionales:

- ✓ *Bloque Núcleo de PON*: Cumple dos funciones, la de Interfaz de Red de Distribución (ODN) y la de TC (*Transmission Convergence*) PON que incluye entramado, control de acceso al medio, administración, operación, mantenimiento y gestión de la ONU. Cada TC PON escoge entre utilizar ATM o GEM, como métodos de encapsulamiento y fragmentación de tramas.
- ✓ *Bloque de Conexión Cruzada*: Es el encargado de proveer un camino de comunicación entre el bloque núcleo de PON y el bloque de servicio. Las tecnologías que se empleen en este trayecto dependen del tipo de aplicación que se desee transportar, pudiéndose escoger entre ATM o GEM, como métodos de encapsulamiento y fragmentación de tramas.
- ✓ *Bloque de Servicio*: Proporciona la traducción entre las interfaces de servicio y la interfaz de trama TC de PON.

*Optical Network Unit (ONU)*: Posee los mismos bloques que la OLT excepto por la conexión cruzada ya que su función únicamente involucra hacer llegar la información al abonado.

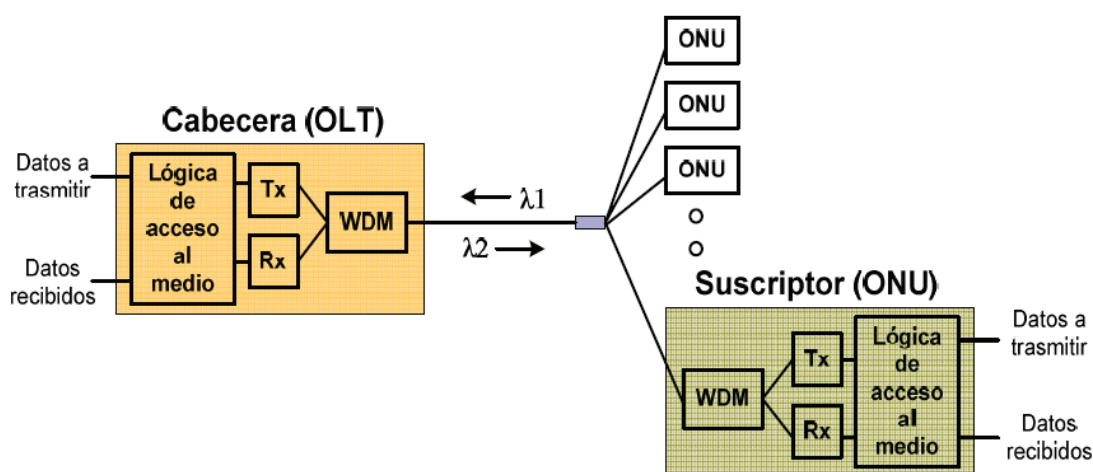
#### 1.3.3.4 EPON (*Ethernet Passive Optical Network*)<sup>[22], [26], [27], [28]</sup>

EPON está definido por la recomendación IEEE 802.3 ah. Se basa en una red óptica pasiva que encapsula el tráfico en tramas Ethernet (IEEE 802.3). La recomendación define las especificaciones de la capa física y la subcapa de operación, administración y mantenimiento (OAM, *Operation Administration and Maintenance*).

Para esta tecnología se ha designado una velocidad de transmisión simétrica de 1.25 Gbps.

#### 1.3.3.4.1 Elementos de una red EPON

El uso del protocolo Ethernet en el enlace de datos evita la implementación de conversiones innecesarias ya que todo el tráfico fluye en el mismo formato. En la figura 1.3-6 se puede observar los elementos de una red EPON que son los mismos elementos que los de una red PON.



**Figura 1.3-6** Red EPON <sup>[21]</sup>

Tanto en el canal ascendente como en el descendente se transportan tramas Ethernet en ráfagas de una o varias tramas (IEEE 802.3). El canal descendente es de difusión mientras que el ascendente es compartido por todos los usuarios. Cada usuario dispone de un tiempo determinado por la OLT en el que puede transmitir una o varias tramas.

Uno de los aspectos que debe ser tomado en cuenta para obtener un funcionamiento más adecuado de la red es el protocolo para el acceso al medio compartido, el cual además provee calidad de servicio (QoS) a cada tipo de tráfico.

El protocolo MAC (*Medium Access Control*) determina qué ranuras de tiempo (slots) se asignan a las terminales para evitar colisiones. Los valores típicos que toman los slots pueden ser:

- ✓ *Guard Time*: Es el tiempo de guarda que existen entre las transmisiones de las ONUs.
- ✓ *IFG*: 96 bits (conforme al estándar Ethernet IEEE 802.3)
- ✓ Preámbulo: 64 bits (adicional a la trama básica IEEE 802.3)

#### 1.3.3.4.2 Protocolo de Control Multipunto MPCP (*Multi-Point Control Protocol*)

Este protocolo fue desarrollado por el grupo IEEE 802.3 ah para el control de acceso al canal de comunicaciones debido a que el protocolo MAC (*Medium Access Control*), propio de Ethernet, no trabajaba correctamente en el canal ascendente.

Las principales funciones que realiza MPCP son:

Autodescubrimiento, registro y ranging para las ONUs recientemente conectadas a la red.

Un plan de control para la transmisión de datos en el canal ascendente.

#### 1.3.3.5 10G EPON (10 Gbit/s *Ethernet Passive Optical Network*)<sup>[27], [28], [29]</sup>

Se encuentra estandarizada en IEEE 802.3av y apareció para aumentar la velocidad de transmisión de EPON. EPON y 10G EPON comparten varios protocolos, además utilizan CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*)<sup>15</sup> y TDM (*Time Division Multiplexing*) como técnicas de multiplexación para poder coexistir en la misma infraestructura de red óptica pasiva.

---

<sup>15</sup> CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*): Es un tipo de WDM en el cual se tienen 18 longitudes de onda en el intervalo de 1310 a 1610 nm, con espacios de 20 nm. Cada canal por separado puede llevar señales con altas. No es posible utilizar amplificadores de erbio (EDFA, *Erbium Doped Fiber Amplifier*), por lo que, el alcance máximo para este tipo de multiplexación de 60km a 2.5 Gbps.

10G EPON define dos formas de transmisión:

- ✓ Simétrica, a una velocidad de 10 Gbps
- ✓ Asimétrica, con velocidades de 1 Gbps para el canal ascendente y 10 Gbps para el canal descendente.

#### 1.3.3.5.1 Coexistencia EPON – 10G EPON

Para transmisiones en sentido descendente se separan en el dominio de la frecuencia los canales para 1Gbps y 10 Gbps. Asignándose las longitudes de onda de 1480-1599 nm para 1 Gbps y de 1575-1580 nm para 10 Gbps. En sentido ascendente se sobreponen las bandas de 1Gbps y 10 Gbps, esto les permite compartir un espacio del espectro con baja dispersión cromática, pero será necesario que se separen en el dominio del tiempo. La banda para 1 Gbps se propaga en el intervalo de 1260-1360 nm, mientras que la banda para 10 Gbps lo hará entre 1260 y 1280 nm.

En la figura 1.3-7 se ilustra el esquema de una red que soporta EPON y 10G EPON, se utiliza multiplexación WDM para separar los canales de 1 Gps y 10 Gbps en sentido descendente y una combinación de multiplexación WDM y multiplexación TDM en sentido ascendente.

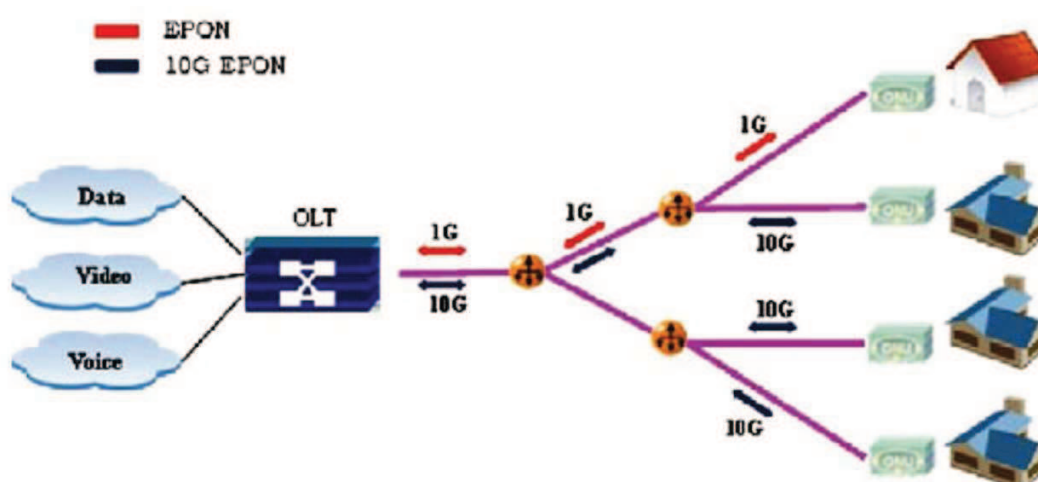


Figura 1.3-7 Red 10G EPON<sup>[27]</sup>

## 1.4 ESTUDIO DEL ESTÁNDAR 10G-PON <sup>[31], [32], [33], [34], [35]</sup>

### 1.4.1 10-GPON (10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (XG-PON))

10G-PON (XG-PON<sup>16</sup>) es un estándar para transmisiones de banda ancha capaz de entregar una velocidad de Internet de 10 Gbps sobre redes PON y con cualquier tipo de arquitectura FTTx.

La principal premisa de 10G-PON es la de coexistir con redes G-PON, además del hecho de favorecer al desarrollo de servicios de nueva generación como televisión en alta definición (HDTV), televisión IP (IPTV), video conferencias, etc; incentivando la implementación de servicios triple play.

El estándar G.987 incluye las siguientes recomendaciones:

G.987: Sistemas 10-Gigabit-capable *Passive Optical Network* (XG-PON):  
Definiciones, Abreviaciones y Acrónimos.

G.987.1: 10-Gigabit-capable *Passive Optical Network* (XG-PON):  
Requerimientos Generales.

G.987.2: 10-Gigabit-capable *Passive Optical Networks* (XG-PON):  
Especificaciones de la capa PMD (*Physical Media Dependent*).

G.987.3: 10-Gigabit-capable *Passive Optical Networks* (XG-PON):  
Especificaciones de la capa TC (*Transmission Convergence*).

Para el caso particular del estudio y diseño que se realizará en el presente trabajo, se utilizarán los primeros borradores de las recomendaciones del estándar G.987, debido a que las publicaciones finales no son de libre acceso.

---

<sup>16</sup> XG-PON: Es ún término que se utiliza para hablar de las redes PON de nueva generación velocidades de transmisión mayores a 1 Gbps, para el caso de este proyecto de titulación se utilizará este término apra referirse a 10G-PON.



La descripción de la recomendación G.987: Sistemas 10-Gigabit-capable *Passive Optical Network* (XG-PON): Definiciones, Abreviaciones y Acrónimos; se encuentra detallada en el anexo 1-2.

#### 1.4.1.1 G.987.1: 10-Gigabit-capable *Passive Optical Network* (XG-PON): Requerimientos Generales

Esta recomendación cubre los requerimientos generales de sistemas 10G-PON con la finalidad de motivar la elaboración de especificaciones de las capas PHY y TC; incluye los requerimientos operacionales y del sistema para dar soporte a aplicaciones de negocios y residenciales.

##### 1.4.1.1.1 *Arquitectura de la red óptica de acceso*

El estándar 10G-PON, puede ser aplicado sobre cualquier tipo de arquitectura para redes ópticas pasivas. En la figura 1.4-1 se muestran los distintos tipos de arquitecturas PON, considerando el punto hasta el que se da el despliegue de fibra óptica, es decir, hasta donde se encuentra la ONU.

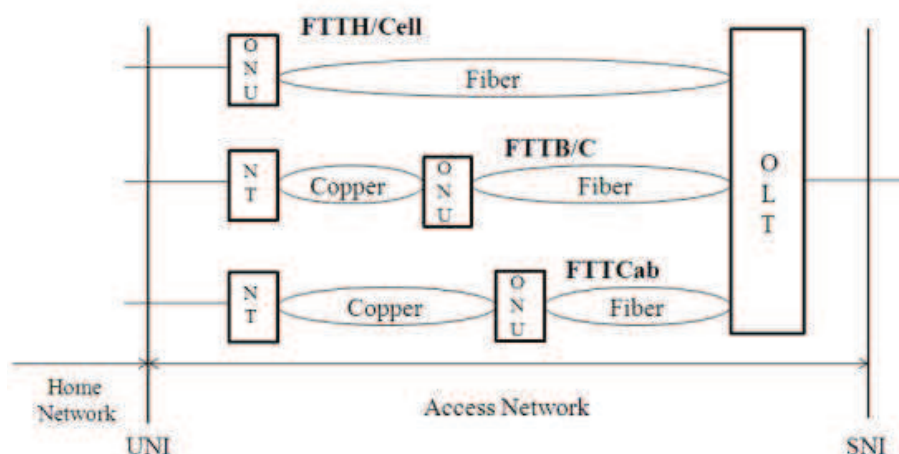


Figura 1.4-1 Arquitectura de red <sup>[31]</sup>

De donde:

ONU	<i>Optical Network Unit</i>	FTTH/Cell <sup>17</sup>	<i>Fiber to the Home/Cell</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>	FTTB/ Cab <sup>18</sup>	<i>Fiber to the Building/Cabinet</i>
NT	<i>Network Termination</i>		
UNI	<i>User Network Interface</i>		
SNI	<i>Service Node Interface</i>		

#### 1.4.1.1.2 Longitudes de onda de operación de G-PON y XG-PON

Una de las principales características de la tecnología XG-PON es la de permitir la coexistencia con la G-PON existente, para lo que es necesario que exista un adecuado uso de las bandas de frecuencia. En la tabla 1.4-1 se muestra la distribución de frecuencias para XG-PON y G-PON, tanto en sentido ascendente como en sentido descendente.

#### 1.4.1.1.3 Estructura de capas para las redes ópticas XG-PON

El modelo del protocolo de referencia en una red óptica XG-PON se divide en 3 capas principales: PHY, TC y capa de trayectoria (capa de encapsulamiento XGEM), tal como se muestra en la figura 1.4-2.

La capa XTC se divide en dos subcapas:

- ✓ Subcapa de transmisión PON, efectúa las funciones PON y termina las funciones de transmisión en la ODN.
- ✓ Subcapa de adaptación, corresponde a la subcapa TC de X-GEM y maneja varios tipos de datos.

---

<sup>17</sup> FTTCCell (*Fiber To The Cell*): Infraestructura de fibra óptica que va desde el punto de demarcación de una celda inalámbrica y se distribuye hacia varios operadores de redes inalámbricas.

<sup>18</sup> FTTCab (*Fiber To The Cabinet*): Es el término que utiliza la UIT para infraestructuras FTTN.

Items	Notation	Unit	Nominal value	Application examples
XG-PON1 Upstream				For use in XG-PON1 upstream.
Lower limit	-	nm	1260	
Upper limit	-	nm	1280	
Enhancement band (option 1)				For use in G-PON upstream (Reduced option: 1290-1330nm).
Lower limit	$\lambda_1$	nm	1290	
Upper limit	-	nm	1330	
Enhancement band (option 2)				For future use. Note: The values are informative. The loss in this band is not guaranteed in optical branching components for PON (i.e. power splitters) specified in [ITU-T G.671] nor in optical fibres specified as [ITU-T G.652] A&B (non-low-water-peak fibres).
Lower limit	-	nm	1360 <i>(Informative)</i>	
Upper limit	-	nm	1480 <i>(Informative)</i>	
Enhancement band (option 3)				For use in G-PON downstream (1480-1500nm) and/or video distribution service (1550-1560nm).
Lower limit	-	nm	1480	
Upper limit	-	nm	1560	
XG-PON downstream (Basic band)				For use in XG-PON1 downstream (Note 2)
Lower limit	-	nm	1575	
Upper limit	-	nm	1580	
Enhancement band (Option 4)				For future use. Note: The upper-limit value is determined as an operator choice from TBD to 1625 nm considering the following factors. - Bending loss of optical fibre that increases at longer wavelengths - Loss of a filter that separates/combines a monitoring signal and user signal(s) (if an optical monitoring system is used)
Lower limit	$\lambda_5$	nm	TBD	
Upper limit	$\lambda_6$	nm	TBD to 1625	
NOTE 1 – Proper guard bands should be considered in the case of multiple wavelengths in the same Enhancement band.				
NOTE 2 - Enhanced wavelength band of 1575 – 1581 nm is allowed in the case of outdoor OLT operations.				

**Tabla 1.4-1** Parámetros de asignación de longitudes de onda <sup>[31]</sup>

Path layer			
Transmission medium layer (Note)	XTC layer	Adaption	X-GEM encapsulation
		PON transmission	DBA X-GEM port bandwidth allocation QoS handling & T-CONT management Privacy and security Frame alignment Ranging Burst synchronization Bit/rate synchronization
	Physical medium layer		E/O adaptation Wavelength division multiplexing Fiber connection
NOTE - The transmission medium layer must provide the related OAM function.			

**Tabla 1.4-2** Estructura de capas para una red XG-PON <sup>[31]</sup>

#### 1.4.1.1.4 Escenarios de Migración

En este estándar se cubren únicamente las condiciones que permitan la co-existencia entre G-PON y XG-PON. La migración y/o co-existencia entre estas dos tecnologías debe realizarse de manera que resulte imperceptible para el usuario.

Existen dos tipos de escenarios que se diferencian en el proceso de migración:

- ✓ En el primer escenario se considera que el operador de servicios de telecomunicaciones tiene montada una infraestructura G-PON, pero que ciertos usuarios requieren servicios con un mayor ancho de banda, por lo que migrarán a XG-PON. En ese caso, es importante que a pesar de que la red sufra cambios, en la etapa de transición de G-PON a XG-PON se evita en lo posible la interrupción de los servicios a los usuarios que no requieren grandes anchos de banda.
- ✓ El segundo escenario corresponde al caso en que no exista una infraestructura G-PON en un área determinada, por lo que se realizará la construcción completa de la red utilizando la tecnología XG-PON.

#### 1.4.1.1.5 Servicios

En la tabla 1.4-3 se muestra un resumen de los principales servicios que pueden ser ofrecidos sobre redes NG-PON:

Servicio	Observación
POTS	Retardo de recepción menor a 1.5 ms.
TV (tiempo real)	IPTV: Usando transmisiones IP unicast o multicast. TV digital: Transmisión RF.
Líneas dedicadas	T1: Con una velocidad de transmisión de 1.544 Mbps, retardo en recepción menor a 1.5 ms. E1: Con una velocidad de transmisión de 2.048 Mbps, retardo en recepción menor a 1.5 ms.
Acceso de Internet	Con velocidades de transmisión en el orden de los Gbps.
Redes móviles	Soporte en la sincronización de fase, tiempo y frecuencia.
Servicios de Capa 2	VPN a través de Ethernet
Servicios de Capa 3	VPN a través de IP, VoIP, etc.

**Tabla 1.4-3** Servicios NG-PON <sup>[31]</sup>

XG-PON debe soportar múltiples servicios existentes o que podrían emerger en los próximos años. Para servicios en tiempo real se espera mayores velocidades, mientras que para servicios de voz, sobre todo en POTS, se espera ofrecer servicios de voz con retornos menores a 1.5 ms.

Para cubrir la mayor gama de posibles servicios, XG-PON debe proveer al menos 4 clases de servicios, que cubran la demanda de servicios como IPTV, VoIP, VPNs y accesos a velocidades de Internet mayores a 30 Mbps. En un futuro se esperarían 6

clases de servicios que permitan cubrir los servicios mencionados anteriormente además de otros servicios tales como: voz E1/T1 y carrier en redes MetroEthernet.

#### 1.4.1.1.6 Requerimientos de capa física

En la tabla 1.4-3 se detallan los requerimientos generales para la capa física de una red 10G-PON.

Parámetro	Requerimiento
Características de Fibra	Fibra óptica monomodo, características similares a G-PON
Longitudes de onda	Upstream: 1260-1280 nm Downstream: 1575-1581 nm
Tasas de transferencia	XG-PON1: 10 Gbps down, 2.5 Gbps up  XG-PON2: 10 Gbps down, 10 Gbps up
Relación de división	1:64
Distancia de fibra	XGPON1 <sup>19</sup> : Máxima distancia de fibra: 20 km  Capa TC <sup>20</sup> : Máxima distancia lógica de fibra: 60 km

**Tabla 1.4-4** Requerimientos de capa física <sup>[31]</sup>

Si bien el estándar se ha desarrollado tanto para las tasas de transferencia XG-PON1 como XG-PON2, actualmente sólo se considera XG-PON1 para realizar

<sup>19</sup> XG-PON1: Es un parámetro dentro del estándar XG-PON que especifica que la máxima velocidad que ofrece el estándar en sentido descendente es de 10 Gbps mientras en sentido ascendente es igual a 2.5 Gbps.

<sup>20</sup> Capa TC: Se refiere a la capa TC (*Transmission Convergence*) de la tecnología XG-PON, tal como en el caso de G-PON se puede ampliar la máxima distancia física a 20 km agregando 10G-PON extenders.

diseños de redes 10G-PON ya que únicamente existen equipos que soportan esta tasa de transmisión.

#### *1.4.1.1.7 Ahorro de potencia y eficiencia de energía*

En una red 10G-PON que se encuentre en funcionamiento normal se puede utilizar cualquiera de los siguientes modos:

- ✓ Servicio completo: Cada elemento de la red está encendido.
- ✓ Dormitando: La ONU que actúa como transmisor está apagada por intervalos largos de tiempo, mientras que el receptor se mantiene prendido.
- ✓ Dormido: Tanto la ONU transmisora como la ONU receptora se mantienen apagadas por largos periodos.

#### *1.4.1.1.8 Autenticación, identificación y encriptación*

La utilización de mecanismos de autenticación, identificación o encriptación es opcional y depende del proveedor de servicios. Por lo general se utiliza encriptación para la transmisión de la información en sentido descendente. Así como algún medio de identificación para que la red se recupere del modo “dormido”, cuando se utiliza ahorro de energía.

#### *1.4.1.1.9 Asignación Dinámica de Ancho de banda (DBA, Dynamic Bandwidth Assignment)*

La OLT XG-PON debe soportar DBA<sup>21</sup> para realizar una compartición eficiente del ancho de banda en *upstream* a través de todas las ONUs conectadas. Para indicar el comportamiento dinámico se puede utilizar cualquiera de los siguientes métodos:

---

<sup>21</sup> Método dinámico de asignación de ancho de banda, que basado en la observación de las tramas GEM vacías transmitidas durante las asignaciones de ancho de banda en sentido ascendente, infiere el comportamiento de las entidades de tráfico en las ONUs.

- ✓ Reporte de estado (SR, *Status Reporting*): El DBA solicita a la OLT los reportes de ocupación del buffer y le entrega esta información a las ONUs.
- ✓ Monitoreo de Tráfico (TM, *Traffic Monitoring*): El DBA compara las oportunidades asignadas en las transmisiones ascendentes con la cantidad de tráfico de la OLT.

#### **1.4.1.2 G.987.2: 10-Gigabit-capable Passive Optical Networks (XG-PON): Especificaciones de la capa PMD (*Physical media dependent*)**

Esta recomendación describe las características de la capa PMD de una red óptica de acceso con la capacidad de transmitir varios servicios entre la interfaz del usuario de red y la interfaz del nodo de servicio, también cubre las extensiones que se requieran para PMDs de XG-PON, y además, describe el mejoramiento en la distribución de longitudes de onda que permitan la co-existencia entre G-PON y XG-PON. En la tabla 1.4-5 se condensa un resumen de los principales requerimientos de la capa PMD.

<b>Parámetro</b>	<b>Requerimiento</b>
Velocidad de línea	Downstream: 9.95328 Gbps. Upstream: 2.48832 Gbps.
Codificación de línea	NRZ
Frecuencia de operación	Downstream: 1575-1580 nm Upstream: 1260-1280 nm
Código FEC	Downstream: FEC fuerte <sup>22</sup> Upstream: FEC débil <sup>23</sup>

<sup>22</sup> FEC fuerte: Código RS (25c, 23d, 16), es decir, se generan 25 por “c” símbolos código, por cada bloque de 23 por “d” símbolos de información en la entrada del codificador. Los primeros 23 por “d” símbolos son de información y los 16 símbolos restantes, son símbolos de paridad.



Características de Fibra Óptica	Compatible con IUT-T G.952 Transmisiones bidireccionales, utilizando la técnica WDM.
Tipo de Fuente	Láser SLM (Sigle-Longitudinal Mode).

**Tabla 1.4-5** Requerimientos de la capa PMD <sup>[32]</sup>

En el anexo 1-3 se puede encontrar más información acerca de los requerimientos de la capa PMD, tanto en sentido ascendente como descendente.

#### **1.4.1.3 10-Gigabit-capable Passive Optical Networks (XG-PON): Especificaciones de la capa TC (*Transmission Convergence*)**

Esta recomendación describe la capa TC para un sistema 10G-PON, especificando la estructura de la capa de convergencia (XGTC), funcionalidades de las subcapas de servicio de adaptación, de entramado, PHY, así como el servicio de administración integrado, la capa física OAM y el proceso de activación de la ONU.

##### *1.4.1.3.1 Capa XGTC (XG-PON Transmission Convergence)*

Especifica los formatos y procedimientos de asignación entre la capa superior SDU y el flujo de bits más adecuado para modular la portadora óptica.

En sentido descendente la interfaz entre la capa XGTC y la capa PMD se representa por una trama de 125 us de duración, en sentido ascendente la interfaz entre la capa XGTC y la capa PMD se representa por un una secuencia ráfagas de bits.

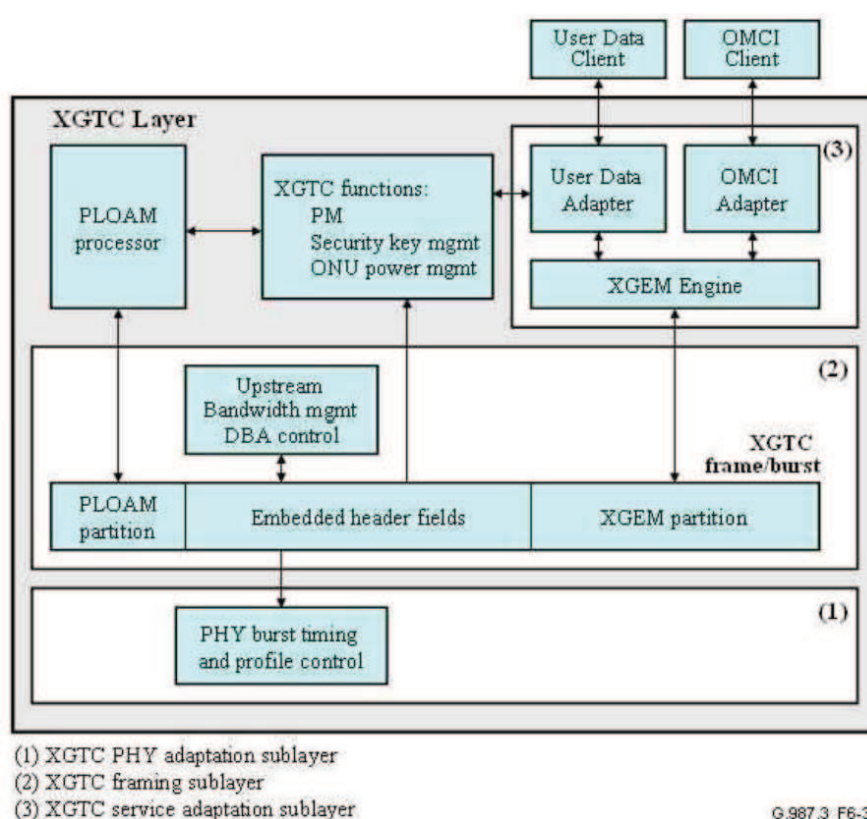
La capa XGTC está formada por 3 subcapas:

---

<sup>23</sup> FEC débil: Código RS (25a, 22b, 32), es decir, se generan 25 por "a" símbolos código, por cada bloque de 22 por "b" símbolos de información en la entrada del codificador. Los primeros 22 por "b" símbolos son de información y los 32 símbolos restantes, son símbolos de paridad.  
RS (Reed Solomon): Tipo de código FEC, en el que se divide a la información en grupos, por cada grupo se genera un conjunto de bits de redundancia, de tal manera de que en el lado de recepción se puede reconstruir el mensaje original si no se han perdido tantos grupos de redundancia como el tamaño del mensaje original.

- ✓ Subcapa XGTC de adaptación de servicio
- ✓ Subcapa XGTC de entramado
- ✓ Subcapa XGTC de adaptación PHY

En la figura 1.4-2 se muestra la estructura de subcapas que forman parte de la capa XGTC, cada subcapa recibe un servicio de la capa inferior hasta lograr transmitir tanto los datos del usuario como la información necesaria sobre la operación y mantenimiento de la red.



**Figura 1.4-2** Esquema de la capa XGTC [33]

*a) Subcapa XGTC de servicio de adaptación*

La subcapa XGTC de servicio de adaptación realiza básicamente dos funciones:

En el lado del transmisor, acepta las tramas de usuarios o el tráfico OMCI de la capa SDU, fragmenta los datos si es necesario, asigna un Port-ID XGEM al SDU o al

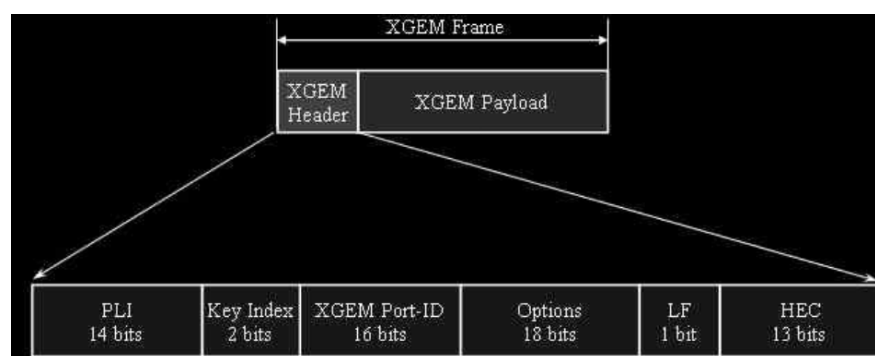
fragmento SDU y aplica el método de encapsulación XG-PON para obtener la trama XGEM. El payload de la trama XGEM puede o no ser encriptado.

Un conjunto de tramas XGEM forman el payload de la trama XGTC (135432 bytes) en sentido descendente o una ráfaga XGTC en sentido ascendente.

En el lado del receptor, acepta el payload de las tramas o ráfagas XGTC, realiza la delineación de la trama XGEM, filtra las tramas XGEM utilizando el Port-ID XGEM, desencripta el payload XGEM (si se ha encriptado en el transmisor), re-ensambla el SDU fragmentado y entrega el SDU al cliente respectivo.

### **Entramado XGEM**

Cada trama XGEM está compuesta por una cabecera de 8 bytes y un payload variable, tal como se muestra en la figura 1.4-3:



**Figura 1.4-3** Cabecera XGEM <sup>[33]</sup>

A continuación se presentan un detalle de cada uno de los campos de la trama XGEM:

- ✓ *Payload Length Indication (PLI)* [14 bits]: Se basa en el valor de L que indica el tamaño del SDU o del *fragment* SDU que contiene el *payload*.
- ✓ Índice de la llave (*Key Index*) [2 bits]: Indica la llave para encriptar datos utilizada en la encriptación del payload XGEM. El valor 01 indica que es la primera llave, 10 corresponde a la segunda llave, 00 muestra que no se utiliza encriptación y 11 se utilizará en aplicaciones futuras.

- ✓ *XGEM Port-ID* [16 bits]: Indica el identificador del puerto XGEM al que pertenece la trama.
- ✓ *Options* [18 bits]: El uso de este campo se especificará en futuras aplicaciones, en el transmisor toma el valor de 0x00000 y en el lado del receptor se ignora.
- ✓ *Last Fragment (LF)* [1 bit]: Indica el último fragmento, si el fragmento encapsulado en la trama XGEM es el último fragmento SDU o es el SDU completo toma el valor de 1, caso contrario el valor de 0.
- ✓ *Hybrid Error Correction (HEC)* [13 bits]: Realiza el chequeo y corrección de errores en la cabecera XGEM que es una combinación de BCH<sup>24</sup> (63, 12, 2), código que opera en los 63 bits iniciales de la cabecera y 1 bit de paridad.
- ✓ *Payload XGEM*: Puede contener de 0 a 7 bytes de *Padding*, además de la información que se transmitirá. El transmisor coloca el valor de 0x55 en los bytes de *padding*, mientras que el receptor los descarta.

Cuando no existe un SDU para transmitir, se utiliza una trama de relleno conocida como *XGEM Idle* que llenará el payload de la trama XGTC. La trama *Idle* XGEM se caracteriza por: contener el valor de 0xFFFF en Port-ID, el valor de PLI es múltiplo de 4 incluyendo el 0, no se utiliza encriptación para transmitir la trama, el payload será llenado con los bits que considere el transmisor ya que será descartado en el receptor. Si el payload de la trama *Idle* XGEM no coincide con el valor puesto en la cabecera se rellenará con cuatro bytes de 0 lógicos.

### ***Delineación de la trama XGEM***

El proceso de delineación en XG-PON se basa en la inserción de la cabecera XGEM en el payload de las transmisiones ascendentes y descendentes. En el receptor se chequea el campo FEC de la trama recibida para ver si se ha realizado

---

<sup>24</sup> BCH (*Bose Chaudhuri Hocquenghem*): Tipo de código FEC, óptimo para trabajar con información de hasta cientos de bits.

correctamente el proceso de delineación, si existe algún error en la comprobación la trama es descartada.

### ***Fragmentación SDU***

El proceso de fragmentación se realiza de la siguiente manera:

- ✓ En sentido descendente, si el *payload* XGTC es de al menos 16 bytes y el tamaño del SDU listo para transmitirse incluida la cabecera XGEM excede este valor, se particionará el SDU, si el último fragmento de SDU tiene un valor inferior a 8 bytes será necesario agregar 8 bytes para cumplir el tamaño mínimo de trama. Los fragmentos SDU deben ser transmitidos en orden y con mayor prioridad que el resto de información.
- ✓ En sentido ascendente, se realiza el mismo procedimiento que en el sentido descendente, solamente se debe chequear que los fragmentos que se vayan enviando coincidan con el mismo Alloc-ID<sup>25</sup>.

### ***Asignación de servicios en XGEM***

Para la transmisión de Ethernet sobre XGEM, el *payload* XGEM es ocupado por la trama Ethernet discriminando los campos preámbulo y SFD. Solamente se puede transmitir una trama en el *payload*, en caso de ser necesario se fragmentará la trama.

Para la transmisión de MPLS sobre XGEM, el *payload* XGEM es ocupado por la trama completa MPLS, al igual que en el caso anterior, sólo se puede colocar una trama en el *payload* y se fragmentará si es necesario.

#### *b) Subcapa XGTC de entramado*

Es la responsable de la construcción y análisis de los campos de sobrecarga que soportan la funcionalidad de administración en redes PON.

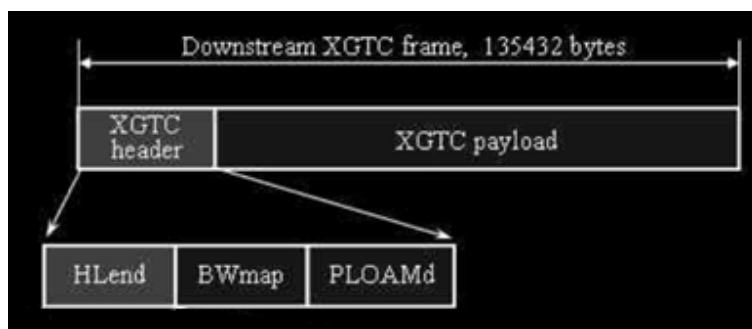
---

<sup>25</sup> Alloc-ID: Campo de la trama XGEM que identifica a un host de la red al que se le ha asignado un valor de ancho de banda.

- ✓ En el lado del transmisor, acepta múltiples tramas XGEM formando el *payload* XGTC para la capa XGTC de servicio de adaptación y construye la trama descendente o la ráfaga ascendente proporcionando los campos de sobrecarga del OAM embebido y el canal de mensajería PLOAM. El tamaño del *payload* de la trama XGTC descendente se obtiene restando el tamaño variable de la sobrecarga de administración de ancho de banda en sentido ascendente y la carga del canal PLOAM del tamaño fijo de la trama XGTC descendente. En dirección ascendente, la ráfaga XGTC multiplexa el *payload* XGTC asociado con muchas Alloc-IDs, el tamaño del *payload* es determinado en base a la información de administración de ancho de banda entrante.
- ✓ En el lado del receptor, acepta las tramas XGTC o las ráfagas XGTC, analiza los campos de sobrecarga, extrae los flujos entrantes de administración y PLOAM y entrega el *payload* XGTC a la subcapa de adaptación. El flujo de mensajería de PLOAM es entregado al motor PLOAM. La información OAM embebida requerida es entregada al administrador de ancho de banda ascendente (analizador BWmap) y la señalización de asignación dinámica de ancho de banda (DBA) es procesada proveyendo un control parcial de la subcapa PHY. El resto de la información de OAM embebido es entregada a las entidades de control externas a la subcapa de entramado como el administrador de potencia de la ONU.

### ***Entramado XGTC descendente***

La trama XGTC tiene un tamaño fijo de 135432 bytes y está formada por una cabecera XGTC y el *payload* XGTC. En la figura 1.4-4 se muestra la distribución de la trama XGTC:



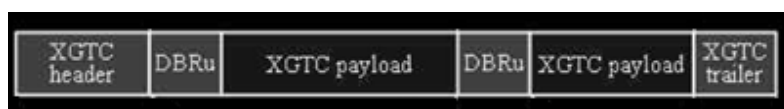
**Figura 1.4-4** Formato de la trama XGTC descendente <sup>[33]</sup>

A continuación se muestra un detalle los campos de la trama XGTC descendente

- ✓ Estructura HLend [4 bytes]: Controla el tamaño de las particiones de longitud variable de la cabecera XGTC, consta de tres campos:
- ✓ Longitud BWmap<sup>26</sup> [11bits]: Entero sin signo (N), que indica el número de estructuras asignadas en el campo BWmap.
- ✓ Conteo PLOAM [8 bits]: Entero sin signo (P), que indica el número de mensajes PLOAM en el campo PLOAM.
- ✓ HEC [13 bits]: Detección y corrección de errores en HLend.

### **Entramado XGTC ascendente**

La interfaz entre la subcapa XGTC de entramado y la subcapa XGTC de adaptación PHY está representada por la ráfaga XGTC ascendente; la cual tiene un tamaño determinado dinámicamente y consta de la cabecera de la ráfaga XGTC, uno o más intervalos de ancho de banda asignados (asociados con un Alloc-ID) y la cola de la ráfaga, tal como se muestra en la figura 1.4-5.



<sup>26</sup> BWmap: Conjunto de estructuras de asignación de 8 bytes, tomando el valor de N de la cabecera HLend, la longitud del campo BWmap es de  $8 \cdot N$  bytes. Cada estructura especifica un ancho de banda asignado a un Alloc-ID particular. La secuencia de una o más estructuras asignadas asociadas con Alloc-IDs, que pertenecen a la misma ONU y que están destinadas a ser transmitidas contiguamente en sentido ascendente, formará un conjunto de ráfagas asignadas.

**Figura 1.4-5** Formato y sobrecarga de la ráfaga ascendente XGTC <sup>[33]</sup>

Las funciones de cada campo de la trama se explican a continuación:

- ✓ Cabecera XGTC: Formada por una sección fija de 4 bytes y una sección no fija, la cual puede tener el tamaño de 0 o de 48 bytes.
- ✓ Sobrecarga asignada: Si existe, está compuesta por la estructura DBRu, la cual tiene un tamaño 4 bytes y lleva un reporte del estado del buffer asociado con un Alloc-ID específico. La presencia de DBRu es controlada por la OLT a través de la bandera DBR de la estructura asignada por BWmap.
- ✓ Cola de la ráfaga [4 bytes]: Contiene un campo BIP (*Bit Interleaved Parity*) el cual se realiza sobre toda la ráfaga XGTC. La OLT receptora verifica el BIP para determinar el BER en el enlace óptico ascendente.

Una explicación más detallada del entramado, tanto en sentido ascendente como descendente, se puede encontrar en el Anexo 1-4.

*c) Subcapa XGTC de adaptación PHY*

Abarca todas las funciones que modifican el flujo de bits modulado en el transmisor para mejorar la detección, recepción y delineación de las propiedades de la señal transmitida.

En el lado del transmisor, acepta tramas XGTC o ráfagas XGTC, las divide en bloques para ejecutar el cómputo del FEC, agrega un campo de paridad FEC a cada bloque, desordena (*scrambling*) el FEC protegido, antepone un bloque de sincronización para flujo ascendente (PSBu) y descendente (PSBd) y provee el alineamiento de tiempo para el flujo de bits resultante.

En el lado del receptor, realiza la sincronización física y la delineación del flujo entrante, ordena (*descrambling*) el contenido de la trama o ráfaga PHY, ejecuta el FEC, elimina los bits de paridad, y entrega la trama o ráfaga resultante a la subcapa de entramado.

***Trama PHY descendente***



Cada trama tiene una duración de 125  $\mu$ s con un tamaño es de 155520 bytes, en la figura 1.4-6 se puede apreciar el esquema de la trama PHY descendente.

Los campos de la trama PHY descendente son:

- ✓ Bloque de Sincronización Física Descendente (*Downstream Physical Synchronization Block - PSBd*): Tiene un tamaño de 24 bytes. Este campo permite la sincronización de la ONU con la trama PHY descendente, además aplica el HEC<sup>27</sup> sobre la cabecera de la trama.
- ✓ Payload de la trama PHY: Tiene un tamaño de 155496 bytes y se obtiene de la trama XGTC descendente.

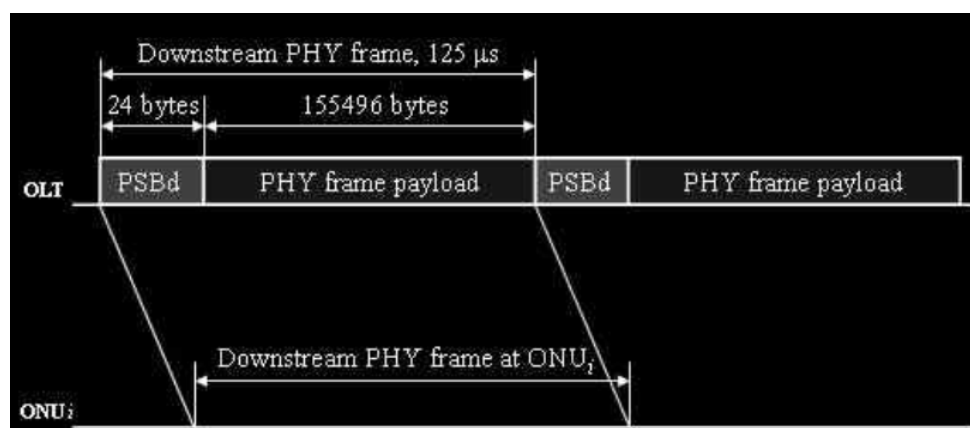


Figura 1.4-6 Trama PHY descendente <sup>[33]</sup>

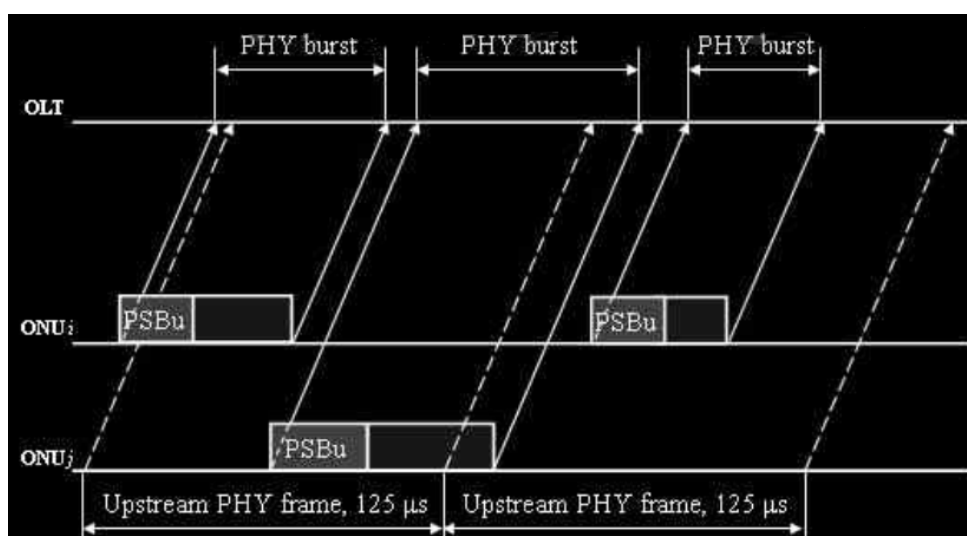
### **Tramas y ráfagas PHY ascendentes**

Su duración es de 125  $\mu$ s (38880 bytes). En sentido ascendente la ONU transmite una serie de ráfagas PHY cortas. La OLT utiliza BWmap como tiempo de guarda para controlar la duración de la ráfaga PHY ascendente y evitar que transmisiones de diferentes ONU's se sobrelapen. En la figura 1.4-7 se puede ver el esquema en que se presentan las tramas y ráfagas ascendentes.

<sup>27</sup> HEC (Header Error Control): Código de detección de errores de la cabecera de una trama, si los errores son simples también puede corregirlos.

Payload de la ráfaga PHY ascendente: Contiene la trama XGTC, y para su protección es parte de un proceso de FEC y desordenado (*scrambling*).

El formato completo de las tramas PHY descendente y la ráfaga PHY ascendente se pueden ver en el Anexo 1-5.



**Figura 1.4-7** Trama y ráfagas PHY ascendentes <sup>[33]</sup>

#### 1.4.1.3.2 Administración de un sistema XG-PON

El control, operación y administración de la información en un sistema XG-PON son desarrollados a través de tres canales: OAM, PLOAM y OMCI.

##### a) OAM Embebido

El canal OAM es provisto por los campos de cabeceras bien definidos y las estructuras embebidas de las tramas XGTC descendentes y las ráfagas XGTC ascendentes, ofrece una ruta con latencia baja para información de control urgente.

Las funciones que utiliza este canal son: control de tiempo y perfil de la ráfaga PHY ascendente, asignación de ancho de banda, selección de la llave de encriptación de datos, señalización en el proceso de asignación dinámico de ancho de banda y activación forzada.

*b) Canal PLOAM*

Se utiliza para la operación y administración entre la OLT y las ONUs. Los mensajes son transportados en un campo designado en la cabecera de la trama XGTC descendente y en la cabecera de la ráfaga XGTC ascendente.

Las funciones que soporta este canal son: comunicación por perfil de ráfaga, activación y registro de la ONU, intercambio de actualización de la llave de encriptación y administración de potencia.

*c) ONU Management and Control Interface (OMCI)*

El canal OMCI es utilizado para la administración de las capas superiores de servicios a XGTC.

*1.4.1.3.3 Arquitectura de Multiplexación de División del Tiempo*

En sentido descendente la funcionalidad de multiplexación de tráfico es centralizada. La OLT multiplexa las tramas XGEM sobre el medio de transmisión utilizando Port-ID XGEM, para identificar las tramas XGEM de las distintas conexiones lógicas. Cada ONU recibe las tramas XGEM y procesa sólo las que pertenecen a la misma. Se puede utilizar el puerto XGEM multicast para trasladar tramas que pertenecen a más de una ONU.

En sentido ascendente la funcionalidad de multiplexación de tráfico es distribuida. La OLT asigna el ancho de banda en sentido ascendente a las entidades que transportan el tráfico entrante dentro de cada ONU, utilizando los Alloc-IDs. Las asignaciones de los diferentes Alloc-IDs son multiplexadas como especifica la OLT en las transmisiones descendentes. Dentro de cada asignación de ancho de banda, la ONU usa el Port-ID XGEM como una llave de multiplexación para identificar las tramas XGEM que pertenecen a diferentes conexiones lógicas ascendentes.

*a) Identificador de ONU (ONU-ID)*

Es un identificador de 10 bits, único en una red PON, asignado por la OLT a la ONU durante el proceso de activación de la ONU y que es transmitido por un canal de mensajería PLOAM.

En la tabla 1.4-6 se especifican los valores que puede tomar el ONU-ID:

ONU-ID	Designation	Comment
0..1022	Assignable	Assigned by OLT at ONU activation; used to identify the sender of an upstream burst or a PLOAMu message and the recipient of a PLOAMd message.
1023	Broadcast/unassigned	Broadcast address in PLOAMd; unassigned ONU in PLOAMu.

**Tabla 1.4-6** Valores de ONU-ID <sup>[33]</sup>

*b) Identificador de Asignación (Alloc-ID)*

Es un identificador de 14 bits, único en una red PON, asignado por la OLT a la ONU para la entidad de tráfico entrante receptora de una asignación de ancho de banda ascendente dentro de la ONU.

Cada ONU recibe uno o más Alloc-IDs, incluyendo al menos un Alloc-ID por defecto que tiene el mismo valor que el ONU-ID, el cual se encarga del transporte de tráfico del canal OMCI de datos de usuarios y asignaciones PLOAM de una ONU específica.

*c) Identificador de Puerto XGEM (XGEM Port-ID)*

Número de 14 bits asignado por la OLT a una conexión lógica individual. La asignación de Port-ID XGEM a una conexión lógica del canal OMCI resulta implícita como consecuencia de la asignación de ONU-ID a una ONU dada. El Port-ID del canal OMCI es numéricamente igual al ONU-ID.

En la tabla 1.4-7 se especifican los valores que puede tomar el XGEM Port-ID:

XGEM Port-ID	Designation	Comment
0..1022	Default	Default XGEM Port-ID, which is implicitly assigned with and is equal to the ONU-ID; it is used to transport the OMCC traffic.
1023..65534	Assignable	If more than a single XGEM Port-ID is needed for an ONU, the OLT assigns additional Port-IDs to that ONU by selecting a unique number from this range and communicating it to the ONU using the OMCI management channel.
65535	Idle	Reserved Idle XGEM Port-ID

**Tabla 1.4-7** Valores de XGEM Port-ID <sup>[33]</sup>

#### *1.4.1.3.4 Control de Acceso al Medio*

En un sistema XG-PON, la OLT provee control de acceso al medio para las transmisiones ascendentes. Cada 125 us la OLT transmite una trama PHY descendente. Debido a la variación de la distancia de la fibra, cada trama PHY descendente alcanza distintas ONUs en diferentes momentos de tiempo. El retraso de ecualización individual establecido en el proceso de localización de la ONU sirve para alinear a la ONU en el inicio de cada trama PHY ascendente, de tal manera que las transmisiones ascendentes de dos ONUs cualquiera, que ocurren a una variación fija con respecto al inicio de la trama PHY ascendente puedan alcanzar la OLT en el momento preciso.

Para cada trama PHY, la OLT transmite en dirección descendente un BWmap, que especifica una secuencia de transmisiones ascendentes no superpuestas para diferentes ONUs. Un BWmap contiene un conjunto de estructuras asignadas, cada estructura asignada es direccionada a un Alloc-ID de una ONU específica. Un conjunto de estructuras asignadas direccionadas a Alloc-IDs que pertenecen a la misma ONU, forman una serie de ráfagas. Cada serie de ráfagas asignadas contiene un puntero que indica el inicio de la ráfaga perteneciente a la trama PHY ascendente, y una secuencia de bits de relleno que la ONU tiene permitido transmitir.

#### *1.4.1.3.5 Activación de la ONU*

Es el resultado de un conjunto de procesos distribuidos que permiten que una ONU inactiva empiece a operar en una red PON. Está formado por tres fases:

- ✓ Sincronización: Mientras la ONU permanece en estado pasivo, inicializa una instancia local en la máquina de estados de sincronización descendente y se sincroniza con las tramas PHY descendentes.
- ✓ Adquisición de número de serie: La ONU inicia el aprendizaje de los parámetros del perfil de ráfaga que se utilizará en la transmisión ascendente. La ONU anuncia su presencia en la red PON respondiendo a los números de serie concesionados. Un número de serie dado corresponde a una estructura asignada, direccionado a un broadcast Alloc-ID y que tiene habilitada una

bandera en PLOAMu. Una vez que la OLT descubre a la ONU le asigna un ONU-ID.

- ✓ Localización: La ONU responde a una localización concesionada directamente. Una localización concesionada, es una estructura asignada, direccionada al Alloc-ID por defecto de la ONU y que tiene la bandera de PLOAMu habilitada. La OLT ejecuta una medida del retraso de ida y vuelta, calcula el retraso de ecualización y se lo comunica a la ONU.

#### *1.4.1.3.6 Seguridad en XG-PON*

##### *a) Autenticación*

Los sistemas XG-PON soportan 3 métodos de autenticación.

El primero se da en el proceso de inicialización de la ONU, una vez que se ha registrado, se autentica con la OLT. En este método la OLT no se autentica con la ONU.

Los otros dos métodos permiten la autenticación de ambos lados (OLT y ONU) y se pueden implementar mediante el intercambio de mensajes por el canal OMCI o bajo el estándar 802.1x.

##### *b) Generación de la Llave de seguridad*

La generación de la llave se produce tanto en la OLT como en la ONU, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- ✓ Cada vez que la ONU reporta su ID de registro a la OLT, durante el proceso de activación de la ONU.
- ✓ Cada vez que la ONU reporta su ID de registro a la OLT como respuesta a un mensaje PLOAM de solicitud de registro, mientras no exista autenticación mutua.
- ✓ Cada vez que se ha concretado con éxito la autenticación mutua entre la OLT y la ONU.

Una vez obtenida la llave es enviada desde la ONU a la OLT a través de un mensaje PLOAM. La misma llave servirá para transmisiones ascendentes y descendentes. Para el cifrado y encriptación del payload se utilizará el algoritmo CMAC (*Cipher-based Message Authentication Code*) con el algoritmo de encriptación AES (*Advanced Encryption Standard*) respectivamente.

### 1.5 COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES G-PON<sup>28</sup> Y 10G-PON<sup>29</sup>

Los estándares G-PON y 10G-PON son similares, como consecuencia de los continuos nuevos requerimientos del mercado lo que sucederá, es una futura migración de redes G-PON hacia redes 10G-PON o la convivencia de ambas tecnologías. Cualquiera de los dos procesos debe afectar en lo más mínimo a la entrega de servicios a los usuarios. En la tabla 1.5-1 se muestran las principales diferencias entre las dos tecnologías.

Característica	G-PON	10G-PON
Cantidad de fibras para transmisiones	2	1
Tasa máxima de transmisión descendente	2.4 Gbps	XG-PON1: 10 Gbps XG-PON2: 10 Gbps
Tasa máxima de transmisión ascendente	2.4 Gbps	XG-PON1: 2.5 Gbps XG-PON2: 10 Gbps
Define subcapas de	Si	Si, y además define la

<sup>28</sup> GPON (Gigabit Passive Optical Network): Estándar que describe a una red óptica pasiva que emplea velocidades asimétricas de transmisión, siendo las más utilizadas las velocidades de 1.25 Gbps para el canal ascendente y 2.4 Gbps para el canal descendente.

<sup>29</sup> 10-GPON (*10-Gigabit-Capable Passive Optical Network*): Estándar que describe transmisiones de banda ancha con una velocidad de Internet de 10 Gbps sobre redes PON y con cualquier tipo de arquitectura FTTx.

adaptación y entramada en la capa TC		subcapa PHY
Existe el campo FEC en las tramas de todas las subcapas	No en todas	Si
Autenticación entre la OLT y la ONU a través del canal OMCI	Si	Si
Autenticación entre la OLT y la ONU utilizando 802.x	No	Si
Encriptación de datos con el algoritmo AES	Si	Si
Encriptación de datos con el algoritmo CMAC	No	Si

**Tabla 1.5-1** Principales diferencias entre G-PON y 10G-PON



## CAPÍTULO 2

### DISEÑO DE LA RED

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantea el diseño de una red 10G-PON para el barrio CARCELÉN ALTO 3D. Inicialmente se procedió a la realización de una encuesta a los habitantes del barrio, para conocer la situación actual de los servicios de telecomunicaciones contratados por los abonados. A continuación se realizó un bosquejo de la red de acceso considerando la ubicación de la OLT, las ONU's y todos los elementos pasivos de la red, así como la selección del medio de transmisión más adecuado, considerando como longitud de onda de operación la planteada en la recomendación G.987.1 (*10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON)*), la cual indica que las longitudes de onda de operación son:

- ✓ Transmisiones ascendentes: 1260-1280
- ✓ Transmisiones descendentes: 1575-1580

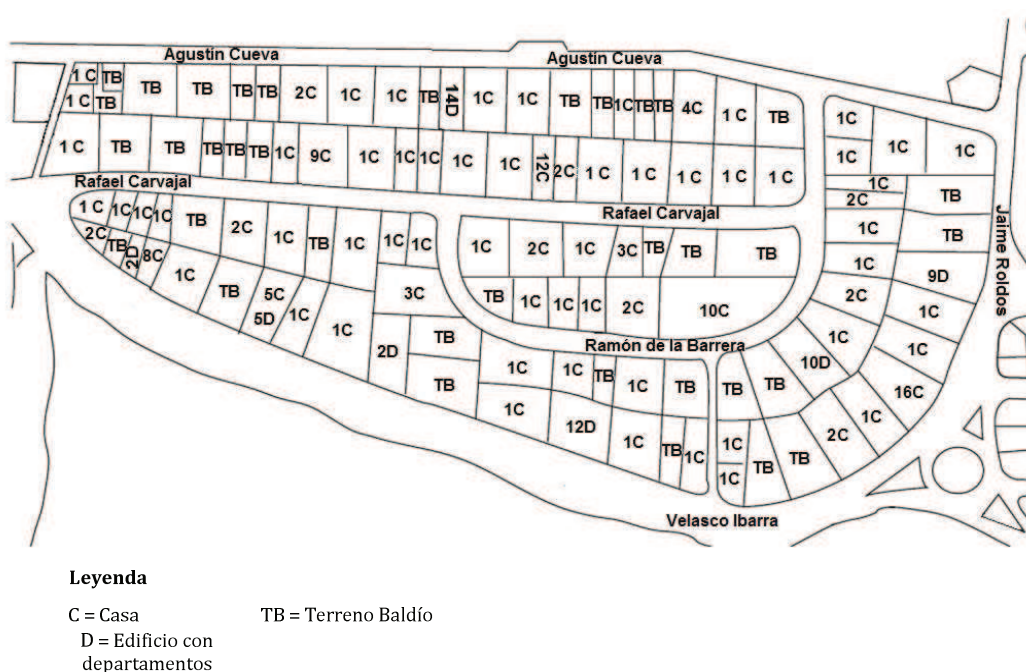


Figura 2.1-1 Ubicación del Barrio CARCELÉN ALTO 3D

El barrio CARCELÉN ALTO 3D, está ubicado al norte de la ciudad de Quito, en la Parroquia de Carcelén, abarca un conjunto de casas y edificios que se encuentran entre las calles Agustín Cueva y Velasco Ibarra, atrás del Colegio Americano, tal como se muestra en la figura 2.1-1.

El número total de viviendas existentes en el barrio es de 197, entre las cuales se incluyen casas y edificios con departamentos, un esquema de la distribución de las mismas se puede ver en la figura 2.1-2.

### BARRIO CARCELÉN ALTO 3D



**Figura 2.1-2** Esquema de distribución de viviendas del barrio CARCELÉN ALTO 3D

## 2.2 PLANTEAMIENTO DE LA ENCUESTA <sup>[34]</sup>

Para determinar la demanda que existe en el sector, se realizó una encuesta a una persona por vivienda del barrio. La encuesta permitió por un lado, determinar la situación actual de los servicios de telecomunicaciones en el barrio, y por otro lado saber cuánto están dispuestos a pagar los usuarios por dichos servicios.

Una vez que se redactaron las preguntas, fue necesario determinar una muestra de la cantidad total de casas del barrio, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación <sup>[34]</sup>:

$$n = \frac{0.25N}{\left(\frac{\alpha}{z}\right)^2 (N-1) + 0.25}$$

**Ecuación 2.2-1** Ecuación para determinar una muestra de encuesta

De donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$0.25$  = valor de  $p^2$  que produce el máximo valor de error estándar,  $p$  representa el porcentaje en el tema que se desea consultar, cuando no se conoce este valor generalmente se utiliza  $p = 0.5$

$N$  = Universo, para este caso el tamaño de  $N$  es igual a 197 casas tal como se describe en el apartado anterior

$\alpha$  = porcentaje de error. No existe un valor estandarizado que se utilice como porcentaje de error, depende básicamente de las características de la población que se desea estudiar, mientras más homogénea es la población es más fácil obtener muestras representativas pequeñas, para este caso particular todos los elementos que se desean analizar tienen en común el hecho de que son viviendas urbanas de un mismo sector, por lo que con un porcentaje de error del 10% será suficiente para el cálculo de la muestra.

$z$  = desviación estándar. El nivel de confianza se refiere al porcentaje de seguridad de que la muestra obtenida se podrá generalizar para el universo que se desea estudiar, usualmente el nivel de confianza depende del criterio de quien desarrolla la encuesta, por lo que para este caso se escogió un nivel de confianza del 90%. Lo cual representa un valor de  $z$  igual a 1.644853627.

Reemplazando los datos en la fórmula se obtiene el siguiente valor para la muestra

$$n = \frac{0,25(197)}{\left(\frac{0,1}{1.644853627}\right)^2 (197 - 1) + 0,25}$$

$$n = 50,54 \approx 51 \text{ Casas}$$

Este cálculo indica que el número de casas a las que se debe realizar la encuesta es igual a 51.

En el anexo 2-1, se podrá encontrar las encuestas que fueron realizadas a los habitantes del barrio.

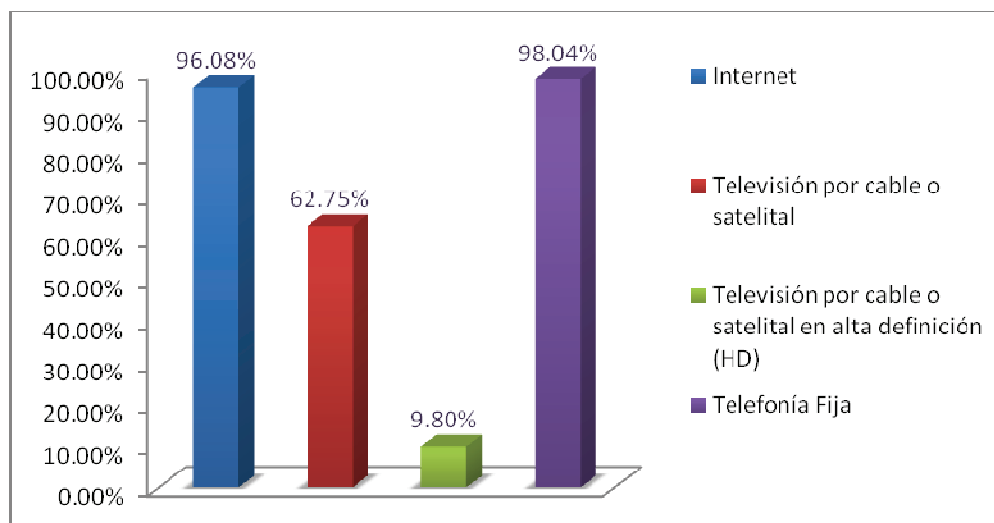
### 2.3 TABULACIÓN DE LA ENCUESTA

Los resultados obtenidos en cada pregunta planteada en la encuesta se detallan a continuación.

1. ¿Posee alguno/s de los siguientes servicios en su hogar?		
hogar?	Resultados	Porcentaje
Internet	49	96,08%
Televisión por cable o satelital	32	62,75%
Televisión por cable o satelital en alta definición (HD)	5	9,80%
Telefonía Fija	50	98,04%

**Tabla 2.3-1** Resultados de la pregunta No. 1

En la figura 2.3-1 se muestra un gráfico de barras con los resultados obtenidos en la pregunta 1.

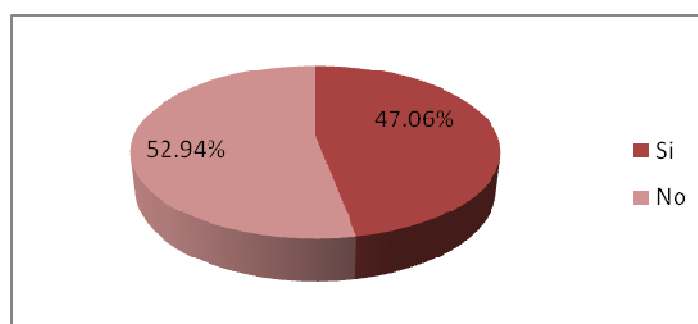


**Figura 2.3-1** Gráfico de barras con los resultados de la pregunta No.1

2.- Si tiene dos o más de los servicios señalados con anterioridad. Son provistos por el mismo operador de servicios de telecomunicaciones? Si solo tiene uno de los servicios anteriores, pase a la pregunta 3	Resultados Porcentaje	
	Si	24
No	27	52,94%

**Tabla 2.3-2** Resultados de la pregunta No. 2

Los resultados obtenidos en la pregunta 2 se pueden apreciar en el gráfico en forma de pastel de la figura 2.3-2.

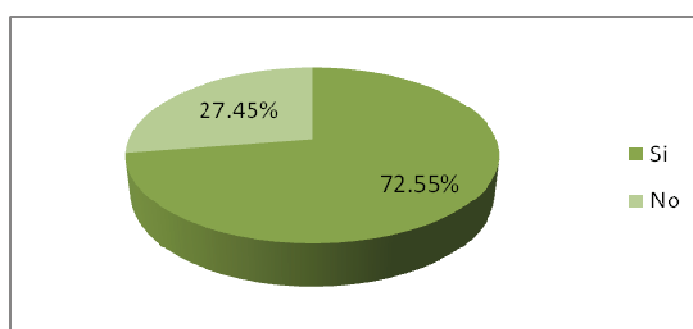


**Figura 2.3-2** Gráfico de resultados de la pregunta No.2

3.- ¿Se encuentra satisfecho con el servicio que recibe?	Resultados	Porcentaje
Si	37	72,55%
No	14	27,45%

**Tabla 2.3-3** Resultados de la pregunta No. 3

En la figura 2.3-3 se puede observar los resultados obtenidos en la tabla 2.3-3 con respecto a la pregunta 3.

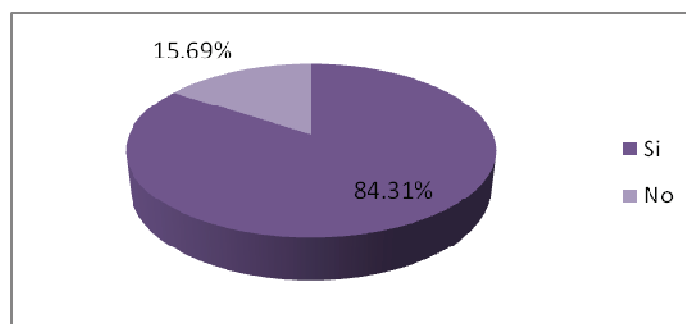


**Figura 2.3-3** Gráfico de resultados de la pregunta No.3

4.- ¿Le gustaría acceder a dos o más de los servicios anteriormente mencionados y pagar por los mismos a través de una sola factura?	Resultados	Porcentaje
Si	43	84,31%
No	8	15,69%

**Tabla 2.3-4** Resultados de la pregunta No. 4

En la figura 2.3-4 se muestran los resultados obtenidos en la pregunta 4.

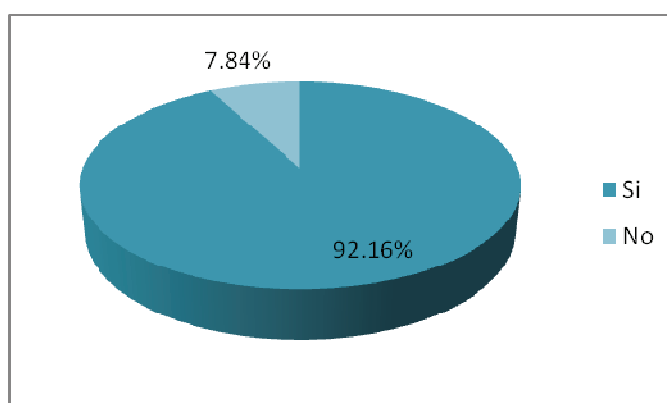


**Figura 2.3-4** Gráfico de resultados de la pregunta No.4

5.- ¿Estaría interesado en acceder a servicios de Internet con un ancho de banda de alrededor de 100 Mbps?	Resultados	Porcentaje
Si	47	92,16%
No	4	7,84%

**Tabla 2.3-5** Resultados de la pregunta No. 5

La figura 2.3-5 muestra una representación en forma de pastel de los resultados obtenidos en la pregunta 5.

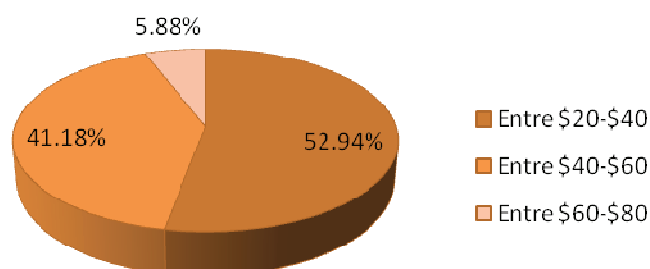


**Figura 2.3-5** Gráfico de resultados de la pregunta No.5

6.- ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por los siguientes servicios: Internet, Televisión por cable HD y Telefonía fija, mensualmente?	Resultados	Porcentaje
Entre \$20-\$40	27	52,94%
Entre \$40-\$60	21	41,18%
Entre \$60-\$80	3	5,88%

**Tabla 2.3-6** Resultados de la pregunta No. 6

En la figura 2.3-6 se muestra los resultados obtenidos en la pregunta 6.



**Figura 2.3-6** Gráfico de resultados de la pregunta No.6

Analizando los resultados obtenidos, se puede concluir que, el nivel de penetración del servicio de Internet en el barrio al ser del 96,08% es alto, sólo superado por el servicio de telefonía fija que es del 98,04%. Por otro lado se puede apreciar que el porcentaje de abonados que cuentan con el servicio de televisión sea por cable o satelital, en alta definición es menor que el de los abonados del servicio de televisión estándar.

Considerando que el 54.96% de los usuarios encuestados tiene acceso a los servicios de voz e Internet a través de diferentes proveedores de servicios de telecomunicaciones, se puede concluir que la entrega de servicios triple play<sup>30</sup>, es un campo que no se encuentra totalmente explotado en el barrio Carcelén Alto 3 D.

Por otro lado, el porcentaje de usuarios que les gustaría acceder a los servicios de telecomunicaciones a través de una sola factura es del 84.31%, mientras que 15.69% prefieren recibir cada servicio con una facturación diferente.

En la encuesta se planteó como posibilidad, el servicio de Internet a una capacidad de 100 Mbps, la cual es grande, esto simplemente para tomar como referencia la probabilidad de que los usuarios reciban una velocidad de navegación elevada, y

---

<sup>30</sup> Triple play: Es una forma de ofrecer varios servicios de telecomunicaciones por el mismo proveedor, a través de la misma infraestructura de telecomunicaciones.



gracias a los resultados obtenidos se puede ver que un 92,16% de casas del barrio estaría dispuesta a recibir una capacidad elevada.

Finalmente, se ve, que un 52,94% de las casas del sector estaría dispuesto a pagar un valor entre \$20 y \$40, esto se tomará como referencia en el diseño para determinar cuál sería la mejor solución técnica y económica que convenza a la mayoría de los habitantes de las viviendas del barrio.

Analizando los puntos señalados en los párrafos anteriores se puede afirmar que a pesar de que existe un porcentaje mayor al 90% de casas que cuenta con los servicios de telefonía e Internet se podría ofrecer estos servicios junto con el servicio de televisión en alta definición como un paquete triple play, pues este tipo de entrega de servicios no se da en el barrio, además de que el servicio de televisión en alta definición no tiene un alto nivel de penetración en el mismo, por lo que puede ser de interés al ser un servicio desconocido por más del 70% de las viviendas del barrio.

## **2.4 CAPACIDAD REQUERIDA EN LA RED** <sup>[35], [36], [37], [38], [44], [45]</sup>

Para el diseño que se realizará en este proyecto de titulación, se considerarán los servicios de telefonía fija, Internet y televisión en alta definición.

Inicialmente es necesario determinar el número de viviendas que tendrán acceso a la red, para calcular el número de posibles viviendas se utilizará como referencia la pregunta número 4 de la encuesta realizada en el apartado anterior. En esta pregunta se plantea si al usuario le gustaría acceder a dos o más de los servicios de telefonía, Internet y televisión en alta definición, el resultado fue que de 51 encuestas realizadas 43 dijeron que si, esto es el 84.1%, lo que permite concluir que para el barrio completo, conformado por 197 viviendas, se tendrá actualmente un total de 166 posibles casas interesadas en acceder al servicio.

La capacidad que se considerará para cada servicio propuesto en el diseño es el resultado de la recopilación de información a este respecto consultada en varios artículos técnicos, proyectos de titulación y datos estadísticos.

A continuación se analizará en detalle las capacidades necesarias por cada servicio.

#### **2.4.1 Telefonía**

Si bien en la encuesta realizada en el principio de este capítulo se pudo determinar que más del 90% de las casas del barrio tiene el servicio de telefonía fija, se debe considerar el hecho de que un porcentaje deseará cambiar de operador, o en su defecto el porcentaje de población que no posee este servicio adquirirá el mismo.

Para determinar la capacidad de telefonía fija es necesario tomar en cuenta el tipo de vocoder<sup>31</sup> que se utilizará. El vocoder especificado en la norma UIT G.711<sup>32</sup> es el más utilizado a nivel de telefonía fija, tanto para ofrecer el servicio básico de telefonía donde cada abonado tendrá acceso a servicios como llamada en espera y transferencia de llamada; así como para servicios de telefonía a través de la tecnología de VoIP. El estándar UIT G.711 recomienda que para el servicio de telefonía básica es necesaria una capacidad mínima de 64 kbps en cada sentido. Por lo que para el caso de este proyecto de titulación se considerará la capacidad de 64 kbps en sentido ascendente y 64 kbps en sentido descendente.

#### **2.4.2 Internet**

La necesidad de tener una gran capacidad para Internet es uno de los requerimientos más importantes en las redes actuales, esto debido a que las aplicaciones como juegos en línea, descarga de películas y series, subida y descarga de videos, se han convertido en una necesidad básica para los usuarios de Internet.

En la figura 2.4-1 se muestra el porcentaje de abonados<sup>33</sup> del servicio de Internet tanto residenciales como corporativos, con sus respectivas velocidades de transmisión en la Provincia de Pichincha, según la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones para el último trimestre del año 2012, estos datos son los más

---

<sup>31</sup> Vocoder: Codificador de voz, dispositivo utilizado para la codificación de voz en sistemas digitales de transmisión de voz.

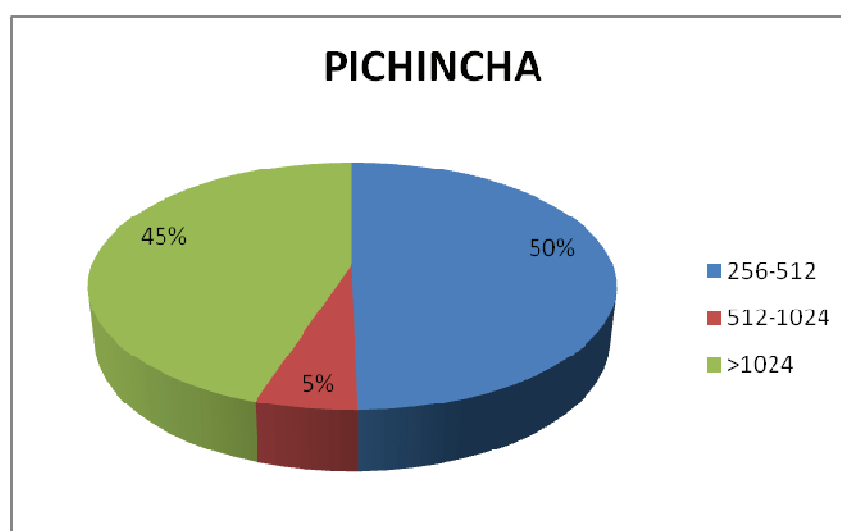
<sup>32</sup> UIT G.711: Es el estándar de la UIT que especifica las características recomendadas que se debe cumplir en el procedimiento de modulación por impulsos codificados (MIC) en frecuencias vocales.

<sup>33</sup> Abonado: Persona natural o jurídica que suscribe un contrato de adhesión y contrata un servicio.

actuales disponibles tomando como referencia de medida un año completo de análisis.

Tal como se muestra en la figura 2.4-1, el porcentaje de abonados de Internet de la provincia de Pichincha que tiene una velocidad de transmisión superior a 1024 Kbps es del 45%, lo que abre una ventana con amplias posibilidades para el diseño que se planteará en este proyecto de titulación, con respecto a velocidades de transmisión elevadas.

Además, cabe señalar que gracias a conversaciones mantenidas con miembros de CNT y NETLIFE, que son dos proveedoras de servicios de telecomunicaciones incursionando a nivel nacional con tecnología FTTH y redes ópticas pasivas G-PON, se pudo tener una visión de cómo se encuentra el mercado con respecto a los servicios que se planean ofrecer en este proyecto de titulación. CNT provee Internet como servicio de valor agregado, con una velocidad de transmisión mínima de 4 Mbps simétrica, mientras que NETLIFE ofrece el mismo servicio a una velocidad de transmisión mínima de 5 Mbps simétrica.



**Figura 2.4-1** Porcentaje de abonados de Internet en el tercer trimestre del año 2012 <sup>[37]</sup>

Para la selección de la capacidad de Internet para el barrio Carclén Alto 3D, se han considerado dos aspectos. Por un lado analizando los datos de la figura 2.4-1 se puede ver que si bien el porcentaje de abonados en la provincia de Pichincha que tienen capacidades de Internet mayores a 1024 es del 45% no se especifica exactamente qué valor de capacidad de Internet es el más solicitado por los abonados, por otro lado considerando tanto el hecho de que el diseño propuesto en este proyecto de titulación debe poder competir en el mercado actual, es decir tomando en cuenta que los proveedores de telecomunicaciones ofrecen capacidades de Internet promedio de 4 Mbps para redes FTTH, se ha considerado que una capacidad mínima de Internet de 3 Mbps de subida y 1024 de bajada es la que más se acopla a los requerimientos actuales para el servicio de Internet.

### 2.4.3 Televisión en Alta Definición <sup>[36], [38], [46]</sup>

En Ecuador, se ha determinado que el estándar de televisión digital que se usará es el japonés-brasileño (ISDB-Tb<sup>34</sup>), por lo cual se considerará en el diseño el uso del estándar MPEG-4 para el códec de video.

En la tabla 2.4-1 se muestran las capacidades requeridas tanto para televisión en definición simple como para alta definición utilizando la compresión del estándar MPEG-4.

Definición	Capacidad [Mbps]
SDTV	1,5
HDTV	8

**Tabla 2.4-1** Capacidad requerida para el estándar MPEG-4 <sup>[46]</sup>

<sup>34</sup> ISDB-Tb (*Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Brazilian version*): Estándar de televisión digital que permite la multiplexación de varios canales digitales simples de televisión, canales de televisión en alta definición y utiliza el códec MPEG-4 (H.264) para la compresión de video estándar y HE-AAC para la compresión de audio.

MPEG-4 (H.264): Estándar que define un códec de video de alta compresión, buena calidad de imagen y con velocidades binarias inferiores a estándares anteriores como MPEG-2.

HE-AAC (*High-Efficiency Advanced Audio Coding*): Formato de compresión de audio digital, que utiliza bajas velocidades binarias.

La tabla 2.4-1 muestra las capacidades necesarias para el servicio de televisión digital para un canal<sup>35</sup>, luego de conversaciones con personal de Claro y CNT que son proveedores del servicio de televisión por cable, se llegó a la conclusión de que el número mínimo de canales que se debe considerar para el diseño depende del sector de la ciudad en el que se realiza dicho diseño.

En la tabla 2.4-2 se muestran los datos del último censo realizado en el Ecuador en el año 2010 los cuales han sido tomados de la página web de la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda<sup>36</sup>, se ha extraído los campos que indican el porcentaje de casas que disponen de los servicios básicos en la ciudad de Quito. Se ha considera dos parroquias por sector de la capital.

Analizando los datos mostrados por la tabla 2.4-2, se puede ver que el porcentaje de casas en la parroquia Carcelén que cuenta con servicios básicos como el de agua potable, energía eléctrica y telefonía es mayor que otras parroquias en la ciudad. Además el porcentaje de viviendas que poseen servicios de telecomunicaciones como telefonía móvil, Internet y televisión por cable, también es mayor que otras parroquias sobre todo las ubicadas en el sur y centro de la ciudad. Tomando en cuenta que el barrio Carcelén Alto 3D se encuentra dentro de la parroquia de Carcelén se podría concluir que es un vecindario en el que sus habitantes tienen ingresos económicos altos, por lo que se considerará dos canales por vivienda, tanto para televisión en alta definición como para televisión en definición simple.

Servicios	Parroquias Sur		Parroquias Centro		Parroquias Norte	
	Guamani	Chillogallo	Puengasí	Centro histórico	Cotocollao	Carcelén
<b>Agua potable tubería dentro de vivienda</b>	82.5	85.7	89.1	81.1	91	93.4
<b>Disponibilidad de energía eléctrica</b>	98.8	99	99.6	99.6	99.9	99.7

<sup>35</sup> La capacidad por canal se refiere a la capacidad necesaria que un sólo decodificador empleará para acceder a los servicios de la red.

<sup>36</sup> <http://www.sthv.quito.gob.ec>

<b>Disponibilidad de Servicio Telefónico</b>	43.5	52.6	65.9	51.6	72.7	65.4
<b>Hogares con al menos un celular</b>	84.8	87.1	89.1	82.5	92.5	92.4
<b>Disponibilidad de computadora</b>	32.7	41.1	54.2	39.8	61.6	61.5
<b>Disponibilidad de servicio de Internet</b>	9.8	14.5	26	20.6	42.9	36.7
<b>Disponibilidad de servicio de televisión por cable</b>	8.7	28.6	23.8	12.7	38.9	29

**Tabla 2.4-2** Porcentaje de casas que disponen de Servicios básicos

En el anexo 2-2 se encuentra más información sobre los tipos de servicios que tienen los habitantes de los sectores del Distrito Metropolitano de Quito que han sido considerados para realizar la comparación de la tabla 2.4-2.

La capacidad para televisión requerida en la red es calculada en la tabla 2.4-3.

<b>Definición</b>	<b>Capacidad [Mbps/canal]</b>	<b>Capacidad Televisión por vivienda [Mbps]</b>
SDTV	1,5	3
HDTV	8	16
	<b>Capacidad Total TV</b>	19

**Tabla 2.4-3** Capacidad para televisión

La capacidad necesaria para la red que se pretende diseñar es el resultado de la suma de las capacidades de cada servicio, tal como se muestra en la tabla 2.4-4.

<b>Servicio</b>	<b>Capacidad Downstream [Mbps]</b>	<b>Capacidad Upstream [Mbps]</b>
Telefonía	0,064	0,064

Internet	3	1
TV (SD y HD)	19	-
<b>Capacidad por Abonado</b>	22,064	1.064

**Tabla 2.4-4** Capacidad de la red por abonado

Para calcular la capacidad total actual de la red se debe considerar la capacidad por abonado de 22.1 Mbps mínimo en sentido descendente y 1.1 Mbps en sentido ascendente, tal como se indica en la tabla 2.4-4. Tomando en cuenta que la capacidad de la tecnología 10-GPON es de 10 Gbps de bajada y 2.5 Gbps de subida, por puerto en la tarjeta de la OLT; y que cada puerto de la tarjeta soporta hasta 64 abonados, es decir, una capacidad de 156.25 Mbps de bajada y 39.05 Mbps de subida por abonado, se puede concluir que la tecnología 10G-PON planteada en este proyecto de titulación sí puede soportar las capacidades mínimas por abonado de la red.

Para el cálculo de la capacidad total de la red se debe tomar en cuenta el número de usuarios de la red que se determinó en la sección 2.4.

Capacidad total bajada= 22.1 Mbps x 166 usuarios

Capacidad total bajada= 3668,6 Mbps ≈ 3.7 Gbps

Capacidad total subida = 1.064 x 166 usuarios

Capacidad total subida = 176.624 Mbps ≈ 176.7 Mbps

Finalmente para determinar la capacidad total de la red, es necesario considerar el porcentaje de usuarios que se conectará a la red en hora pico. Luego de conversaciones realizadas con el personal de algunos ISPs existentes en la ciudad del Quito, se concluyó que los dos servicios que tienen mayor demanda en la misma hora pico son el de Internet y el de Televisión. El servicio de Televisión en una hora pico tiene un porcentaje de ocupación del 85% mientras que el de Internet tiene un 70%, por lo que para el diseño actual se considerará el porcentaje de ocupación más alto de los dos valores mencionados, es decir, 85%.

Capacidad Total Subida= 3,7 x 85%

Capacidad Total Subida= 3.145 Gbps ≈ 3.2 Gbps

Capacidad Total Bajada = 176.7 x 85%

Capacidad Total Bajada =150.195 ≈ 150.2 Mbps

En el mercado existen equipos con tecnología 10G-PON que tienen capacidades totales de entre 400 Gbps y 1Tbps, tomando en cuenta la capacidad total obtenida en el apartado anterior se puede asegurar que con los equipos que se comercializan actualmente, se puede cubrir ampliamente los requerimientos mínimos de la red con soporte a ampliaciones futuras.

#### **2.4.4 Proyección de la capacidad requerida**

Con la finalidad de determinar la proyección a 5 años de la capacidad para la red que se pretende diseñar, se tomarán las estadísticas provistas por la SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) a partir del año 2008. En el Ecuador la entrega de servicios Triple Play y de televisión por cable en alta definición, es reciente, razón por la cual no existen estadísticas sobre este tipo de servicios en específico. Por otro lado, si existen datos de los servicios de Internet y telefonía por separado.

El factor que se ha determinado que es el más influyente en el diseño de la red, es la capacidad necesaria para el acceso a Internet de los abonados, tanto residenciales como corporativos<sup>37</sup>. Este hecho se ha tomado como consecuencia del aumento de los abonados de Internet a nivel nacional, tal como se muestra en la figura 2.4-2.

---

<sup>37</sup> Los datos estadísticos ofrecidos por el CONATEL consideran a todos los tipos de abonados, no existen datos por tipos de abonados, si no, más bien, por tipo de servicios.



La figura 2.4-2 fue tomada de la página web del CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones)<sup>38</sup> y se realizó tomando en cuenta a los abonados a nivel nacional del tipo residencial y corporativo.

En la figura 2.4-2 se considera a un abonado como conmutado cuando para hacer uso del servicio de internet es necesario que marque un número, sea en una red telefónica fija o móvil (servicio de Internet *dial-up*), mientras que un abonado se considera como no conmutado o dedicado cuando utiliza cualquier medio que no sea dial-up para acceder al servicio de Internet, sea éste ADSL, cable modem, etc.

Por otro lado tomando en cuenta la encuesta realizada en el apartado anterior, se puede ver que el 98.04% de los abonados posee el servicio de telefonía fija comparado con el servicio de Internet, el cual no alcanza este valor. Considerando tanto los datos estadísticos como los de la encuesta se puede concluir que el servicio de Internet es el más influyente para el diseño, y por ende será el factor clave que se considere para realizar una proyección a 5 años sobre la capacidad planteada.

La proyección de la capacidad de internet se calculará para 5 años debido a que el tiempo promedio de utilidad para los equipos de redes y telecomunicaciones está entre 3 y 5 años, esto como resultado del acelerado avance tecnológico a nivel mundial.

Para determinar la proyección de la capacidad de Internet en los próximos 5 años se consideraron los datos de la cantidad de abonados residenciales y corporativos de Internet en la Provincia de Pichincha tomados de la página web de la Superintendencia de Telecomunicaciones, desde el año 2008 hasta el año 2012, tal como se muestra en la figura 2.4-3.

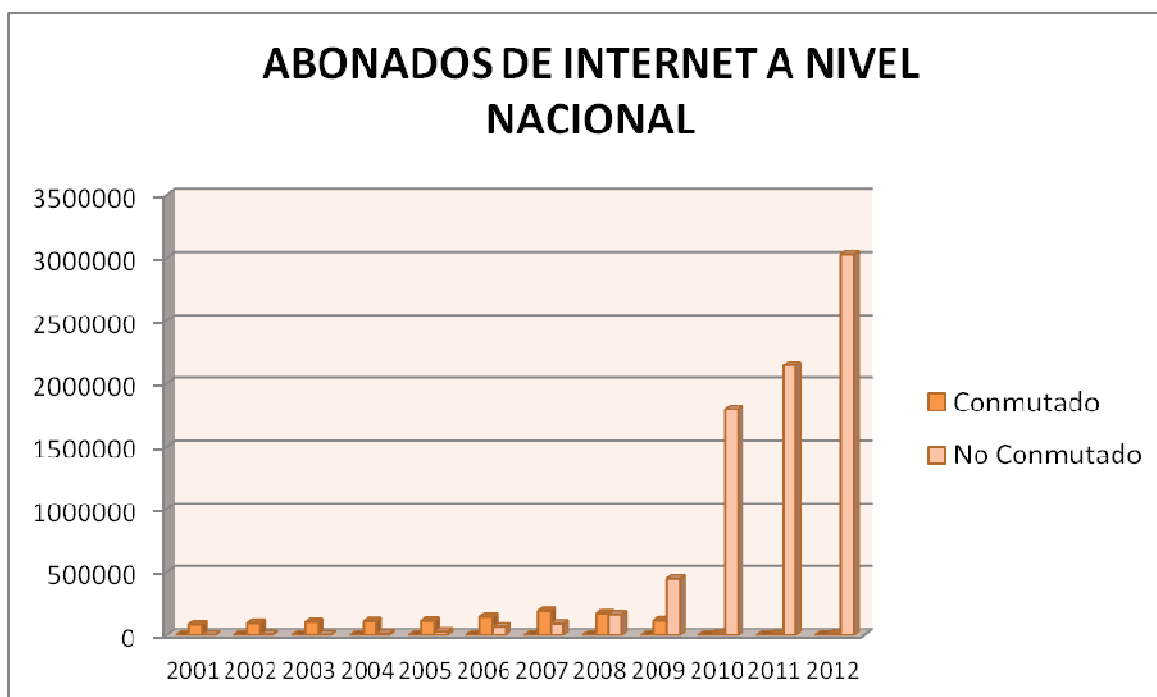
A través del programa Microsoft Excel, ingresando los datos de la cantidad de abonados tanto residenciales como corporativos, desde hace 5 años atrás al año en curso, se obtuvo la ecuación 2.4-1.

---

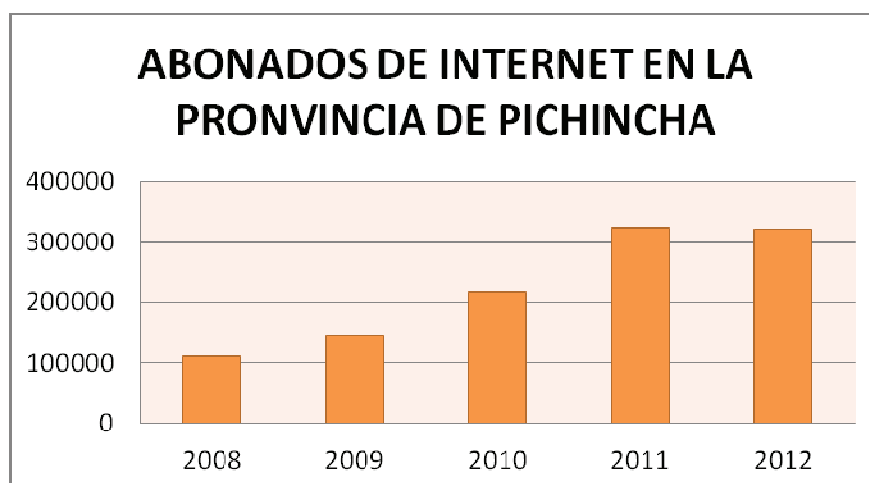
<sup>38</sup>[http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/index.php?option=com\\_content&view=article&id=766&Itemid=463](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=766&Itemid=463)

$$y = -2439.9x^2 + 74912x + 25378$$

**Ecuación 2.4-1** Ecuación del crecimiento de abonados de internet en los próximos 5 años



**Figura 2.4-2** Abonados de Internet a nivel nacional <sup>[37]</sup>



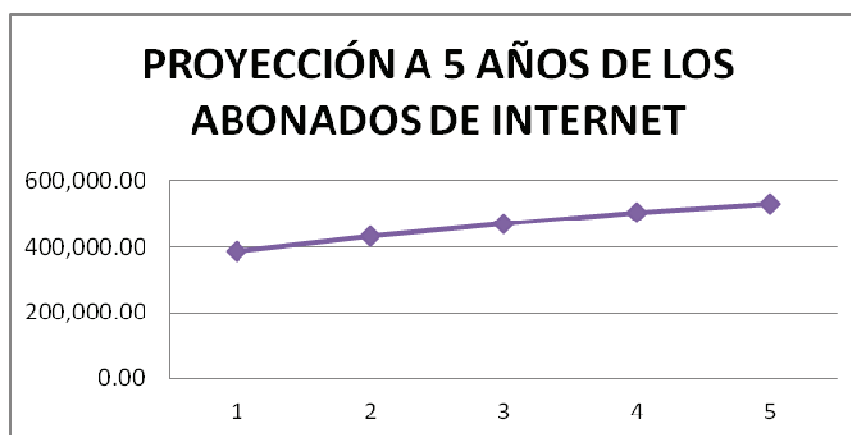
**Figura 2.4-3** Abonados residenciales y corporativos de Internet en la Provincia de Pichincha <sup>[37]</sup>

De la ecuación 2.4-1 se obtuvieron los resultados de la tabla 2.4-5

Año	1	2	3	4	5
No. de Abonados	387,013.60	430,206.90	468,520.40	501,954.10	530,508.00

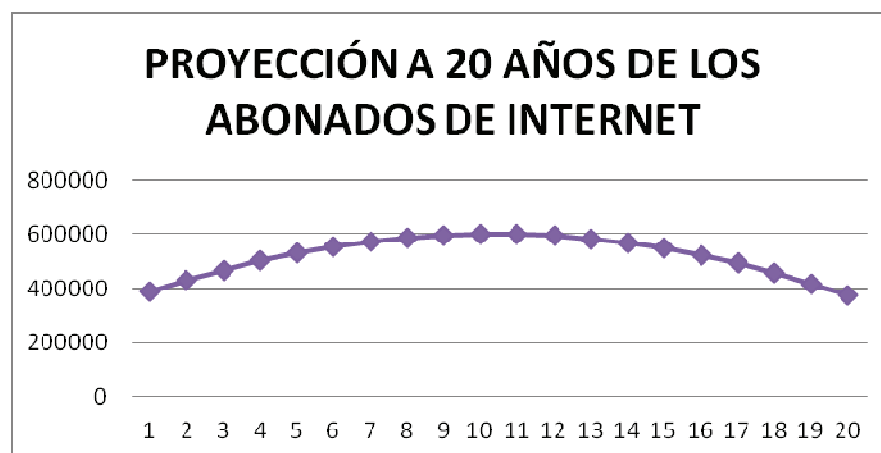
**Tabla 2.4-5** Número de usuarios en los próximos 5 años

La figura 2.4-4 muestra la tendencia que tomará la capacidad de Internet en los próximos 5 años en la provincia de Pichincha, analizando los resultados obtenidos se puede ver que habrá un aumento anual de abonados de Internet, lo que será un factor que contribuirá a que el diseño de la red que se está planteando tenga la demanda y validez suficiente en el futuro, considerando un aumento de abonados.



**Figura 2.4-4** Proyección a 5 años de la cantidad de abonados de Internet

La figura 2.5-5 muestra la tendencia que tomará la capacidad en los próximos 20 años, lo que permite corroborar lo obtenido por la ecuación 2.4-1, es decir que el crecimiento de abonados en la provincia de Pichincha es exponencial, y lo seguirá siendo en los próximos años. Considerando que la red que se pretende diseñar en este proyecto de titulación es totalmente nueva, por lo que, no existe un registro del número de personas que han adquirido el servicio de Internet en años pasados y que el barrio Carcelén Alto 3D está dentro de la provincia de Pichincha, se podría tomar como referencia la tendencia de la curva calculada en el apartado anterior y concluir que el aumento de abonados en el barrio tendrá igualmente, una predisposición a ser en forma cuadrática.

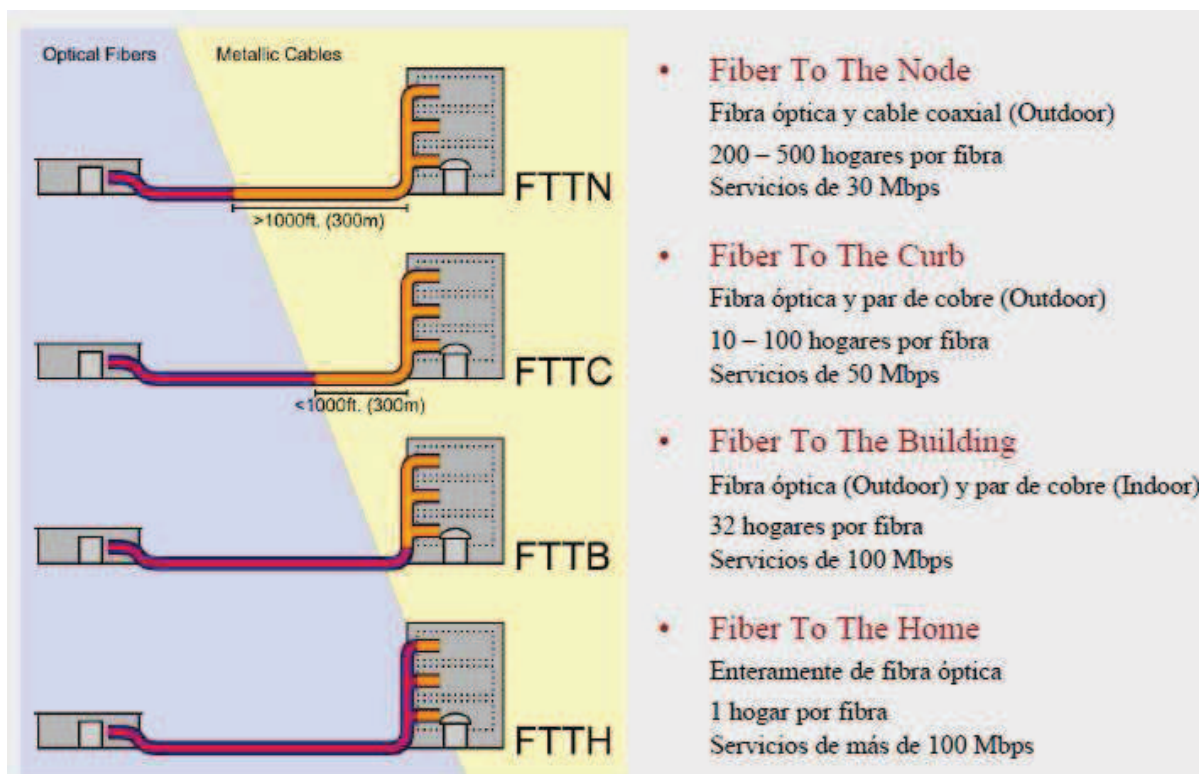


**Figura 2.4-5** Proyección a 20 años de la cantidad de abonados de Internet

## 2.5 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA FTTx <sup>[36], [40]</sup>

Determinar la tecnología FTTx que se utilizará, es uno de los pasos más influyentes en el diseño, esto debido a que de este factor dependerá el alcance de la fibra óptica. En el apartado 1.4 se explicó detalladamente los tipos de tecnologías FTTx existentes más importantes, en la figura 2.5-1 se muestra un resumen de las mismas.

Para determinar el tipo de tecnología FTTx, se debe contemplar que el tipo de abonados que accederán a los servicios de la red son residenciales; también es indispensable considerar el tipo de viviendas que existen en el barrio. Tal como se muestra en la figura 2.1-2, el barrio está formado por casas, edificios y condominios residenciales, lo que permite concluir que se tendrán 2 tipos de tecnología FTTx, para las casas que no se encuentran dentro de un condominio residencial se utilizará FTTH, y tanto para los condominios residenciales como para los edificios se utilizará FTTB.

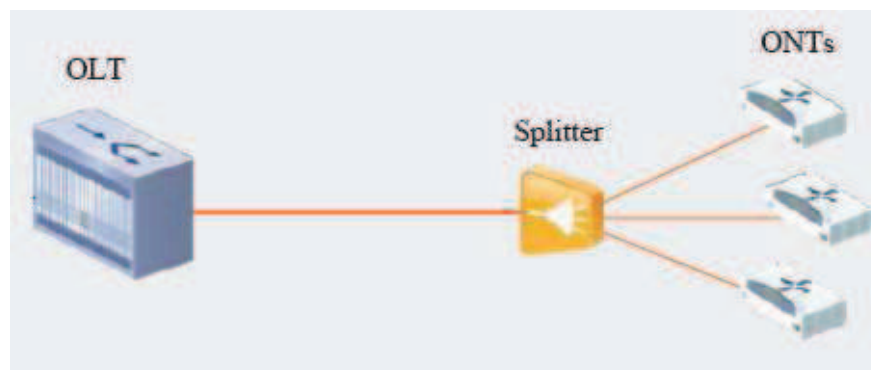


**Figura 2.5-1** Principales tendencias FTTx <sup>[40]</sup>

Analizando la figura 2.5-1, se puede ver, que los dos tipos de tecnología FTTH y FTTB soportan capacidades de 50 Mbps por abonado, si bien para el caso actual la capacidad requerida es menor, este hecho permitirá futuros crecimientos de la red, sobre todo a nivel de aplicaciones y nuevos servicios, tomando en cuenta que la red de acceso será sobre la tecnología 10G-PON.

## 2.6 CARACTERÍSTICAS Y UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED

La arquitectura de la red que se diseñará, será la planteada en la recomendación G.987.1 (*10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON): Requerimientos Generales*), explicada en el capítulo anterior, en la sección 1.6.1.2.



**Figura 2.6-1** Arquitectura de una red 10G-PON <sup>[40]</sup>

Si bien en el estándar G.987 10G-PON (*10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (XG-PON)*), se habla de dos tasas de transferencia de datos, XG-PON1 y XG-PON2, para este diseño se utilizará XG-PON1, debido a que esta tasa de transferencia es la que existe comercialmente para el equipamiento de red, mientras que XG-PON2 no se ha terminado de desarrollar como parte del estándar G.987, por lo que no existen equipos que se comercialicen con la capacidad de satisfacer este requerimiento.

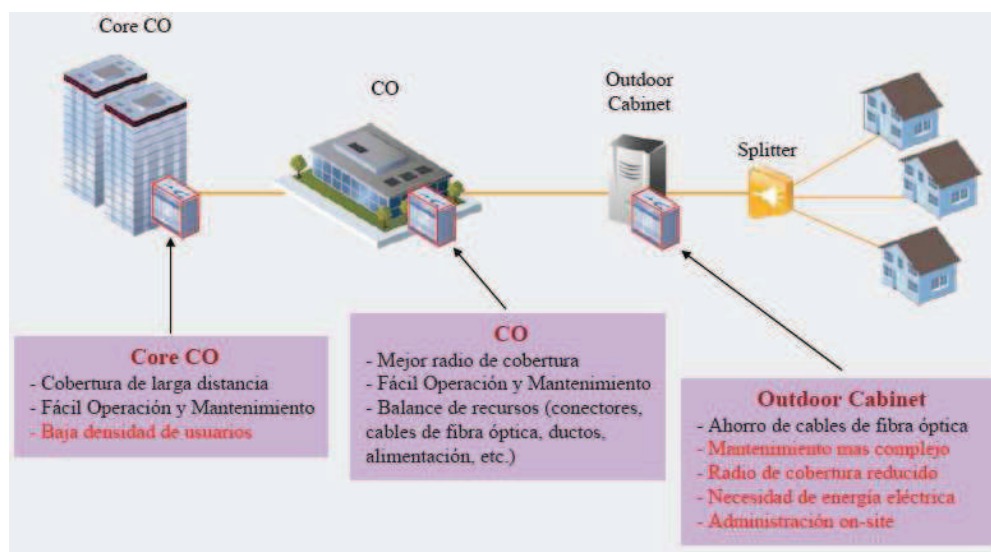
En la figura 2.6-1 se muestra la arquitectura básica para una red 10G-PON. En las secciones posteriores se detallará la ubicación de cada uno de los elementos que se muestra en la arquitectura de la red.

## 2.6.1 OLT (*Optic Line Terminal*)

### 2.6.1.1 Ubicación de la OLT

Existen varios lugares donde puede ser ubicada la OLT, tal como se muestra en la figura 2.6-2.

De la figura 2.6-2 se puede concluir que la ubicación de la OLT depende de diversos factores, entre los principales se encuentran: la cobertura que se pretenda alcanzar, la operación y mantenimiento del equipo y el balance de los recursos de red



**Figura 2.6-2** Posibles ubicaciones de la OLT <sup>[40]</sup>.

Para escoger el proveedor de telecomunicaciones en cuya infraestructura física se ubicará la OLT, se debe tomar en cuenta principalmente que éste, ofrezca la capacidad calculada en la sección 2.4, los proveedores capaces de asignar esta capacidad brindan este servicio con el nombre de “Servicio de Internet de altas velocidades para revendedores”.

La tabla 2.6-1 muestra una comparación entre dos proveedores de servicios de telecomunicaciones que ofrecen la capacidad calculada en la sección 2.4.

	<b>CNT</b>	<b>TvCABLE</b>
Infraestructura de red	Fibra óptica, cable de cobre	Fibra óptica
Tecnologías que maneja	ADSL, G-PON, IP/MPLS	IP/MPLS, WiMax, HFC
Monitoreo de la red 7/24/365	Si	Si
Promedio de reparación de Fallas de Troncal	1.44 horas	2 horas
Ofrece capacidades mayores o iguales a 3,2 Gbps en sentido descendente	Si	Si
Ofrece capacidades mayores o iguales a 150,2 Mbps en	Si	Si

sentido ascendente		
Precio [\$] (mensual)	481.6	550

**Tabla 2.6-1** Comparación de los proveedores de servicios de telecomunicaciones

Además de las diferencias tanto en el servicio como en el precio entre los dos proveedores planteadas en la tabla 2.6-1, otro factor que es influyente es el de que CNT posee una central telefónica a una distancia de 2.7 Km desde la entrada del barrio, donde se puede colocar la OLT; mientras que TvCABLE únicamente posee armarios de telecomunicaciones, en donde el espacio es reducido para que un equipo como la OLT sea colocado. Por lo que CNT se convierte en el proveedor más idóneo para este diseño.

La estación de CNT seleccionada es el recinto donde se encuentra la Central Telefónica de Carcelén, ubicada en la Avenida Domingo Rengifo y Vicente Duque; considerando que la OLT se ubicará en esta estación, la ONU más alejada estará a una distancia máxima de 3.907 km<sup>39</sup>.

La red de transporte de datos de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones está montada sobre la tecnología IP/MPLS. Se caracteriza por ser una red jerárquica, formada por equipos de core, distribución y acceso. Los routers de core realizan la conmutación de paquetes basados en una conmutación de etiquetas, los equipos de distribución y acceso se encuentran a uno o dos saltos de los routers de core, son los routers de los extremos encargados de realizar la revisión del enrutamiento<sup>[47]</sup>.

### 2.6.1.2 Requerimientos técnicos mínimos de la OLT

La OLT deberá contar con los siguientes requerimientos mínimos:

- ✓ La OLT debe permitir configuraciones IP/MPLS hacia la red de transporte de la CNT, de tal manera de que pueda acceder a los servicios de la red. Los cuales, como se explicó en el párrafo anterior, se encuentran configurados en esta tecnología.

---

<sup>39</sup> El cálculo de esta distancia se realiza con mayor detalle en la sección 2.6.5.3



- ✓ La OLT debe contar con una interfaz física, es decir, un puerto en el equipo que se conecte al router PE<sup>40</sup> que está en la estación de la CNT, para poder acceder a la capacidad requerida en la red, que es de 3.2 Gbps en sentido descendente y 150.2 Mbps en sentido ascendente.
- ✓ Debe disponer de puertos Ethernet, interfaces físicas del equipo que trabajen a la tasa de transmisión planteada en el estándar G.987, específicamente con los requerimientos de XG-PON1.
- ✓ Los puertos Ethernet de la OLT deben soportar la conexión de mínimo 64 abonados y máximo 128 abonados tal como especifica el estándar 10G-PON.
- ✓ La OLT debe ser un equipo orientado a servicios, con la posibilidad de ofrecer servicios triple-play.
- ✓ Disponer de redundancia de equipo, tanto de fuente como de ventilación.
- ✓ La OLT debe tener puertos 10G-PON a los que se puedan conectar patch cords de fibra óptica, generalmente los equipos que se comercializan en el mercado tienen puertos a los que se pueden conectar patch cords con conectores LC. Es recomendable que el tipo de pulido de los conectores sea APC<sup>41</sup>, ya este tipo de conector es el más utilizado para ofrecer servicios de video.

---

<sup>40</sup> Router PE (*Provider Edge*): Equipo de borde de la red MPLS en donde se concentra toda la información de la VPN parte de la red MPLS <sup>[47]</sup>.

<sup>41</sup> APC (*Angled Physical Contact*): Los conectores APC disponen de un pulido con un ángulo usualmente de 8 grados en el final de su férula con la finalidad de obtener menores pérdidas de retorno. Es utilizado en aplicaciones de video y redes con grandes anchos de banda con fibra óptica monomodo.

- ✓ El equipo debe tener una capacidad mínima de 3.2 Gbps full-duplex

### 2.6.2 ONU (*Optic Network Unit*)

La red de acceso llega hasta el punto de delimitación, es decir, hasta el equipo activo al que se conectará cada abonado, asegurando la conexión del abonado hacia la red. La ONU se colocará en la casa de cada abonado.

La ONU deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- ✓ La ONU debe ser compatible con el estándar 10G-PON.
- ✓ Es imprescindible que la ONU tenga un puerto óptico para la conexión de la fibra óptica que llega de la red externa a la casa del abonado, generalmente los tipos de ONUs que se comercializan en el mercado soportan la conexión de patch cords de fibra óptica con conectores LC.
- ✓ Debe contar con al menos un puerto RJ-45, un puerto RJ-11, y un puerto para la conexión de televisión que puede ser tipo F, RFA o HDMI. Esto con la finalidad de brindar los servicios de Internet, voz y TV SD o HD.
- ✓ El tipo de láser transmisor de la ONU debe ser DFB, puesto que este tipo de transmisor óptico es el más eficiente para transmisiones con capacidades en el orden de los Gbps y sobre todo con fibra óptica monomodo, que a diferencia de la fibra óptica multimodo si es apta para transmisiones en el orden de los Gbps.
- ✓ El detector de la ONU debe ser del tipo PIN, ya que soporta velocidades de transmisión en el orden de los Gbps.

Para la conexión de datos es recomendable utilizar cable UTP categoría 6 ya que ofrece una capacidad de hasta 1Gbps.

### **2.6.3 MDU (*Multi Dwelling Unit*)**

El MDU es el equipo activo al que se conectarán todos los abonados de edificios o conjuntos residenciales para acceder a los servicios de la red, se colocará a la entrada de cada edificio o conjunto residencial.

El MDU deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- ✓ Debe ser compatible con el estándar 10G-PON.
- ✓ El MDU debe tener un puerto para la conexión con la fibra óptica de la planta externa que llega al edificio.
- ✓ El MDU requiere contar con varios puertos RJ45 para la conexión con cada abonado en el edificio.
- ✓ El tipo de láser transmisor del MDU debe ser DFB, puesto que es el más eficiente para transmisiones con altas capacidades en el orden de los Gbps con fibra óptica monomodo.
- ✓ El tipo de detector de señal del MDU debe ser del tipo PIN, ya que es el que presenta menor atenuación para velocidades de transmisión en el orden de los Gbps.

Para la conexión con cada abonado en el edificio es preferible utilizar cable UTP categoría 6 por que permite transmisiones de hasta 1Gbps.

### **2.6.4 SPLITTER**

#### **2.6.4.1 Niveles de Splitters**

Un splitter en una red óptica es el elemento pasivo encargado del reparto de señal y de la conexión punto a multipunto entre la OLT y los usuarios. Una red PON puede tener uno o varios niveles de splitters, dependiendo de la cantidad de usuarios que requieran conectarse a la red, así como de la distancia a la que se encuentren.

Tomando en cuenta que de la salida de cada splitter se obtendrá el cable de fibra óptica que llegará a cada casa, edificio o condominio del barrio se debe considerar el número de viviendas al que se atenderá, si bien en la sección 2.3 de este proyecto de titulación se determinó que el número total de posibles casas interesadas en el servicio es igual a 166 es necesario explicar que estas casas fueron tomados en cuenta sin discriminar si habitaban en una casa independiente o en un departamento de un edificio, debido a que la tecnología FTTx ofrece fibra óptica hasta el recinto sea éste casa o edificio, el número total de recintos que se debe tomar en cuenta para este caso es el de todas las viviendas del barrio el cual es igual a 95, tal como se puede ver en la figura 2.1-2. Esto únicamente para tener en cuenta el recorrido que tendrá la fibra hacia el barrio y con el fin de dejar una reserva de fibra óptica para futuros usuarios, tomando en cuenta que inicialmente no todas las casas del barrio adquirirían los servicios ofrecidos.

La principal ventaja de que una red PON tenga un solo nivel de splitters es que se obtendrá facilidad de mantenimiento de la red y flexibilidad en el tendido de la fibra óptica, pero a la vez el costo de despliegue por abonado será más grande, si se tienen más niveles de splitters se tendrán menores costos de despliegue por abonado. La principal desventaja de tener varios niveles de splitters es que las pérdidas por inserción a lo largo de la red aumentarán y el mantenimiento se deberá realizar en sitio.

En la tabla 2.6-2 se presentan las pérdidas por inserción de los tipos de splitters según la división óptica; es necesario puntualizar que mientras mayor es la división que ofrece el splitter mayor será la pérdida por inserción.

<b>División Óptica</b>	<b>Pérdida de potencia [dB]</b>
1:64	19,3
1:32	16,5
1:16	13,5
1:8	10,5

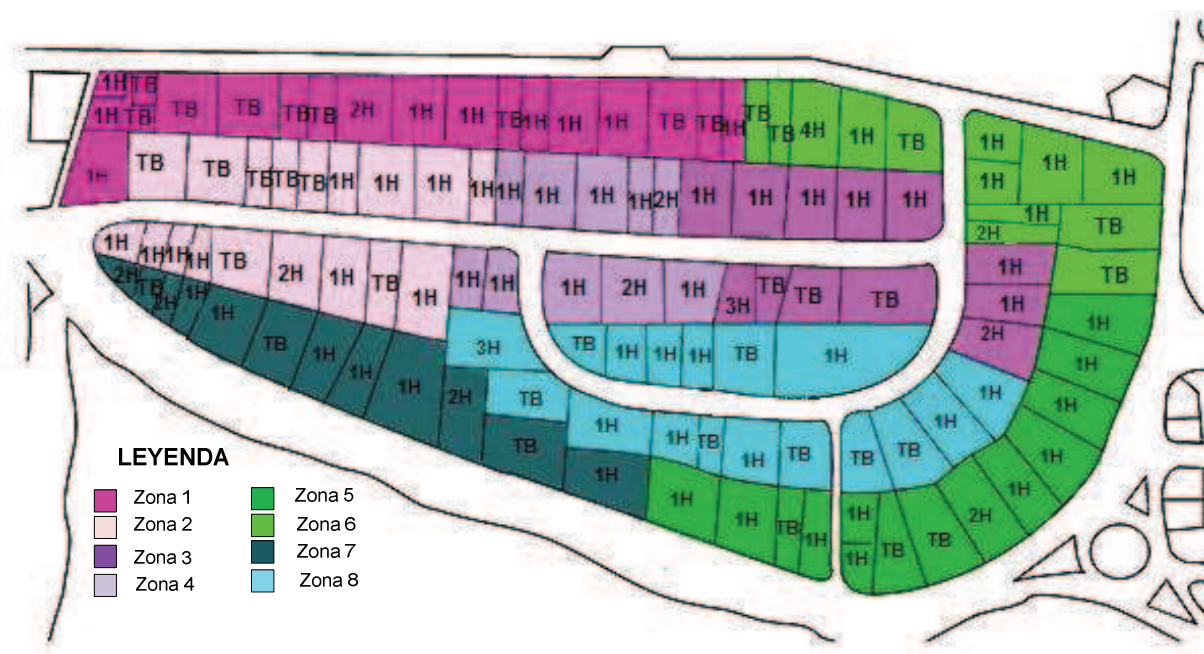
1:4	7,2
1:2	3,2

**Tabla 2.6-2** Pérdida de potencia por inserción de los splitters en redes PON <sup>[40]</sup>

Otro aspecto que se debe considerar sobre el número de niveles de splitters, es que no es aconsejable que de un mismo punto de la red se desplieguen varias salidas, debido a que si existe un corte de fibra óptica un mayor número de usuarios perdería el servicio. Actualmente existen splitters de 1 a 64 los cuales permitirían que exista un solo nivel de splitters, pero dado el caso de que haya un corte de fibra se caería el servicio hacia 64 usuarios al mismo tiempo. Por lo que se ha decidido que para este proyecto de titulación se tengan dos niveles de splitters.

Para determinar las capacidades de los splitters en redes FTTx es recomendable zonificar la cantidad de abonados que se tiene de tal manera de que se pueda asignar un splitter a un determinado grupo de usuarios que se encuentren cercanos entre sí; tomando en cuenta, tal como se señaló en la sección anterior, que no es recomendable que de un mismo punto de red dependan una gran cantidad de abonados.

Considerando que para el diseño existen un total de 95 viviendas se podrían separar en 5 zonas de 16 casas y una zona de 15 casas, para utilizar splitters de segundo nivel de 1:16 y splitters de primer nivel de 1:4, pero se debe tener una reserva lo más cercana a las viviendas disponible por si existe alguna nueva casa que desee acceder a los servicios de la red. Debido a que tal como se muestra en la figura 2.6-3 existen varios terrenos baldíos entre casas del barrio, se ha escogido que en cada splitter de segundo nivel se dejen al menos 4 hilos como reserva, por lo que se ha determinado que existan 7 zonas de 12 casas y 1 zona de 11 casas, tal como se muestra en la figura 2.6-3



**Figura 2.6-3** Zonas del barrio Carcelén Alto 3D

En la figura 2.6-3 la letra “H” representa el hilo de fibra óptica que llegará al establecimiento, es decir por cada vivienda o edificio habrá un hilo de fibra óptica; esto debido a que el tipo de tecnología que se utilizará para la distribución de la fibra óptica en el barrio es FTTx tal como se establece en la sección 2.5.

En la figura 2.6-4 se muestra el diagrama de los splitters de la red, indicándose los dos niveles de splitters. El primer nivel de 1:4 y el segundo nivel de 1:16, para cada uno de los puertos de la OLT. En la tabla 2.6-3 se realiza un resumen sobre la cantidad y tipo de splitters de la red.

Nivel	División	Cantidad
1	1:4	2
2	1:16	8

**Tabla 2.6-3** Cantidad total de splitters de la red

Con la configuración planteada se tendrá un total de 48 usuarios conectados a la red por cada puerto de la OLT utilizado, de tal manera de que se podrían conectar 16

nuevos usuarios a la red por puerto, es decir, en un futuro, se podrían tener hasta 32 nuevos usuarios sin la necesidad de ocupar un tercer puerto en la OLT.

En el anexo 2-3 se encuentra un esquema de la ubicación exacta de los splitters en el barrio.

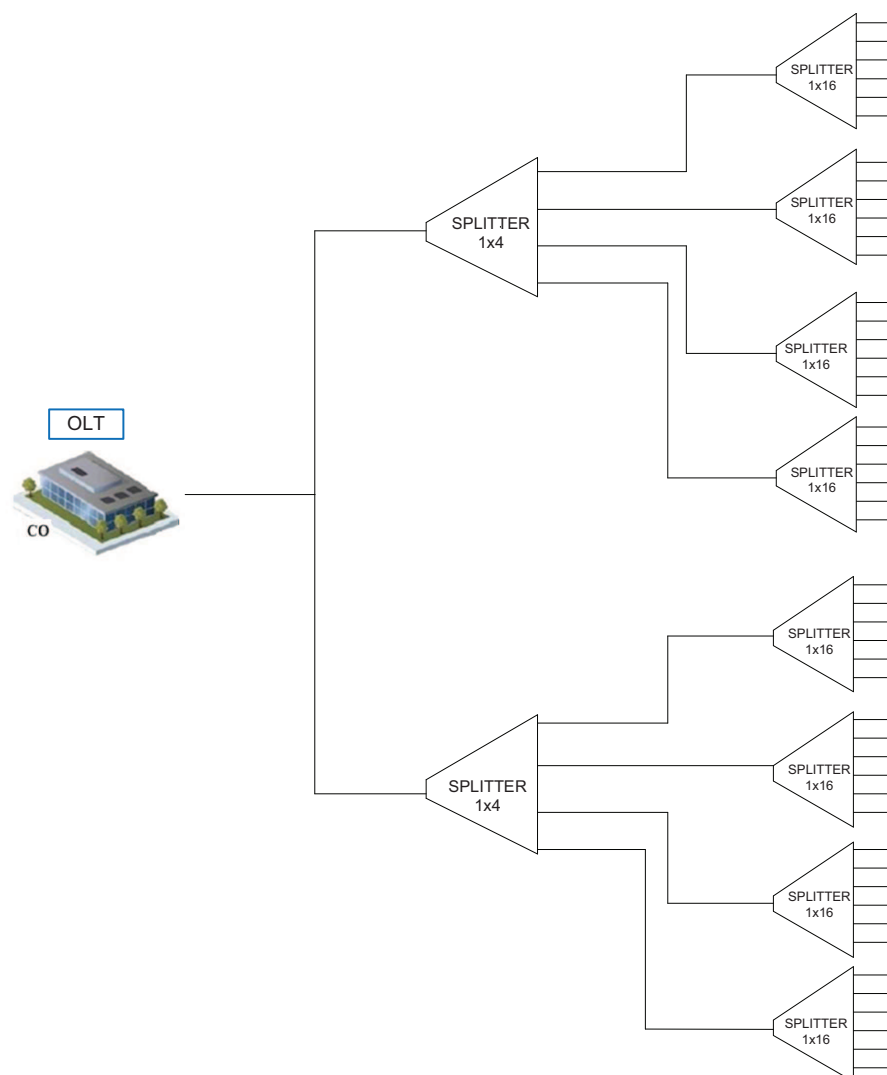
Para este diseño se ha escogido splitters PLC<sup>42</sup> no conectorizados, debido a que éstos son aptos para soportar un mayor número de divisiones, además se ha determinado que no sean conectorizados para evitar las pérdidas de inserción que presentan los conectores de fibra óptica, tal como se plantea en la recomendación UIT G.671<sup>43</sup> las máximas pérdidas de inserción asociadas a un conector óptico son de 0.5 dB, mientras que las máximas pérdidas de inserción que presenta un empalme óptico por fusión son de 0.3 dB, por lo que para este diseño se ha determinado que los valores de las pérdidas por conector sean de 0.4 dB y las pérdidas por empalme óptico sean de 0.1 dB, que son valores que se utilizan generalmente en este tipo de diseños.

Los splitters ópticos deberán ser colocados en cajas para alojar fusiones, las cuales se colocarán en los postes del barrio. Existen varios tipos y tamaños de cajas para alojar fusiones, dependiendo del tamaño del splitter. La principal característica que se debe considerar para seleccionar la caja adecuada es el diámetro del cable de fibra óptica que ingresará a la misma para ser fusionada, es decir el número de hilos de fibra óptica que se ocuparán.

---

<sup>42</sup> PLC (*Planar Lightwave Circuit*): Método de fabricación de splitters que permite que un mayor número de divisiones en el mismo con menores pérdidas. Ver anexo 1-2.

<sup>43</sup> UIT G.671 – *Transmission characteristics of passive optical components*: Describe las características de transmisión de los elementos ópticos de una red de transporte y de acceso. En el anexo 2-5 se puede encontrar más información sobre ciertos parámetros plateados en el estándar G.671.

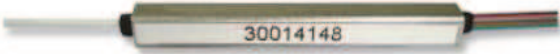
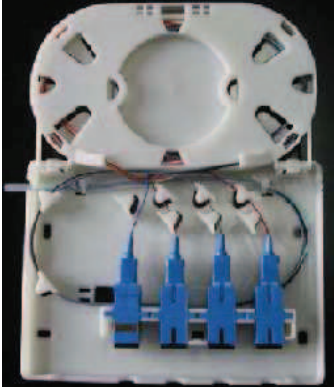




**Figura 2.6-4** Diagrama de división de splitters

#### 2.6.4.2 Cajas para alojar fusiones en splitters

Para el presente proyecto de titulación se necesitarán tres tipos de cajas para alojar fusiones en splitters. El primer tipo almacenará el splitter de 1 a 16, el segundo el splitter de 1 a 4 y el tercer tipo es la caja que se colocará en la entrada de la casa o edificio de los abonados, donde se alojará la última fusión de fibra óptica de la red. En la tabla 2.6-4 se muestra el tipo de splitters ópticos y las cajas de almacenamiento de fusiones que se plantean como parte del diseño de la red óptica 10G-PON del barrio Carcelén Alto 3D.



Elemento	Esquema	Característica
Splitter		<ul style="list-style-type: none"> <li>- PLC, no conectorizado</li> </ul>
Caja de almacenamiento de fusiones (1:4)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para splitter PLC no conectorizado de 1 a 4</li> <li>- Caja para instalación <i>outdoor</i></li> </ul>
Caja de almacenamiento de fusiones (1:16)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para splitter PLC no conectorizado de 1 a 16</li> <li>- Caja para instalación <i>outdoor</i></li> </ul>
Caja terminal para almacenamiento de fusiones		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caja para instalación <i>indoor, en pared</i></li> </ul>

**Tabla 2.6-4** Splitter y tipos de cajas de almacenamiento de fusiones <sup>[50], [51]</sup>

### 2.6.5 SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN <sup>[41], [42], [49]</sup>

Determinar el medio de transmisión adecuado es un factor predominante en el diseño de una red, en términos generales, de la correcta elección del medio de transmisión depende que la información pueda trasladarse desde el transmisor hacia el receptor.

Para seleccionar el medio de transmisión se deben considerar factores como: el ancho de banda, la técnica de multiplexación, etc. Para el diseño actual, debido a que es una red óptica, el medio de transmisión a utilizarse debe ser fibra óptica.

Considerando la recomendación G.987: *10 Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON)*, Requerimientos Generales; explicada en la sección 1.4.1.1 de este proyecto de titulación, se puede determinar que el tipo de fibra óptica que se utilizará será monomodo.

Existen básicamente 3 tipos de composición de fibra óptica, tal como se muestra en la tabla 2.6-5. Tomando en cuenta las diferencias existentes entre cada tipo, se ha escogido, para el diseño actual, la fibra óptica monomodo con núcleo de vidrio y revestimiento de vidrio ya que presenta menor atenuación a largas distancias y es la más adecuada para las velocidades de transmisión de la red.

Características	F.O. con núcleo y revestimiento de plástico	F.O. con núcleo de vidrio y revestimiento de plástico (Plastic Clad Silica. PCS)	F.O. con núcleo y revestimiento de vidrio, (Silica Clad Silica, SCS)
Nivel de resistencia a la presión del material	Alto	Medio	Bajo
Atenuación en tramos largos	Alta	Baja	Baja
Atenuación para velocidades de transmisión en el orden de los Gbps	Alta	Media	Baja

**Tabla 2.6-5** Tipos de fibra óptica considerando la composición que tengan

#### 2.6.5.1 Tipo de tendido a utilizar

La forma en la que se guiará al cable de fibra óptica a través de la red, es un factor que se debe tomar en cuenta, existen dos maneras aplicables a redes ópticas, en las que es posible instalar el cable de fibra óptica: subterránea y aérea.

#### 2.6.5.1.1 Instalación Subterránea

El cable de fibra óptica que se utiliza para instalaciones subterráneas es conocido como cable acorazado o cable canalizado, se distinguen las siguientes características:


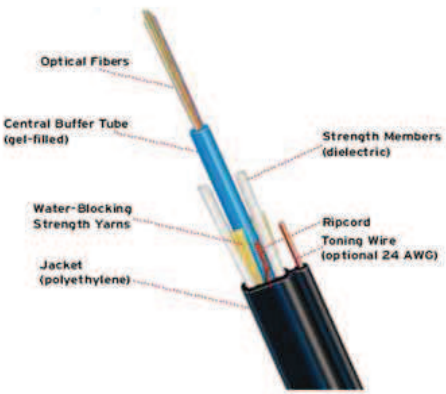
- ✓ Posee una armadura metálica como protección ante roedores.
- ✓ Está formado por: elemento de fuerza central, fibras, buffers, armadura, chaqueta exterior (PEAD) y Ripcord<sup>44</sup>.
- ✓ Soportan una tensión de entre 600 a 2700 N.
- ✓ Existen dos tipos de cables de fibra óptica que pueden ser utilizados en instalaciones outdoor terrestres: loose tube o central loose tube. En la tabla 2.6-5 se encuentra un resumen de las principales características de los dos tipos de cables.

La instalación terrestre del cable de fibra óptica puede realizarse de tres maneras <sup>[49]</sup>:

- ✓ *Apertura de zanjas*: Las zanjas son abiertas en la vía pública, y el medio de transmisión va directo sobre la tierra. Para realizar este tipo de instalación es necesario pedir los permisos correspondientes al municipio ya que se trabajará directamente sobre la vía pública lo que generará ruido y congestión en las calles.
- ✓ *Apertura de mini zanjas*: Se crean túneles mediante perforaciones direccionales. La ventaja de este método es que casi no se entorpece el tráfico en las calzadas.
- ✓ *Instalación de microductos*: Son conductos de entre 3 y 8 mm. Pueden atravesar las ciudades, lo que permite la eventual colocación del cable fibra óptica sobre los mismos. Es más utilizado en lugares donde se planea la construcción de edificios.

---

<sup>44</sup> Elemento tipo cordón que ayuda a la apertura del cable de fibra óptica.

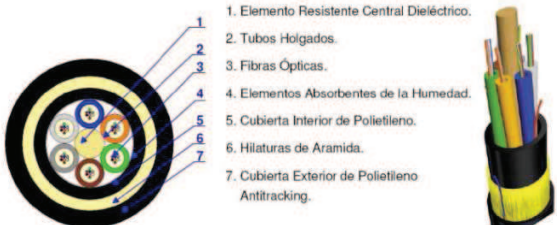

Nombre	Estructura	Características
Loose Tube	 <p><b>1. Central Strength Member</b> Provides tensile strength and buckling resistance</p> <p><b>2. Optical Fibers</b> Draka Comteq's world-class color-coded singlemode optical fibers incorporate ColorLock™ coating for industry-leading long-term mechanical performance and color identification</p> <p><b>3. Color-Coded Buffer Tubes</b> Protect fibers from tensile, thermal, and vibration loads, maintaining their optical and mechanical integrity</p> <p><b>4. Aramid Strength Yarns</b> Provide torsionally balanced tensile strength</p> <p><b>5. Outer (and Inner) Jacket</b> Non-reclaimed high quality polyethylene. (Single and dual jacket constructions are available)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las fibras se encuentran dentro de un tubo de plástico (buffer).</li> <li>- Los buffers se encuentra alrededor de un elemento central de refuerzo.</li> <li>- Cada buffer puede tener hasta 12 hilos, y el cable completo hasta 144 hilos.</li> </ul>
Central Loose Tube	 <p>Optical Fibers</p> <p>Central Buffer Tube (gel-filled)</p> <p>Water-Blocking Strength Yarns</p> <p>Jacket (polyethylene)</p> <p>Strength Members (dielectric)</p> <p>Ripcord Toning Wire (optional 24 AWG)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las fibras se encuentran dentro de un tubo de plástico (buffer).</li> <li>- Contiene un solo buffer central.</li> <li>- Puede tener hasta 12 hilos en el buffer.</li> </ul>

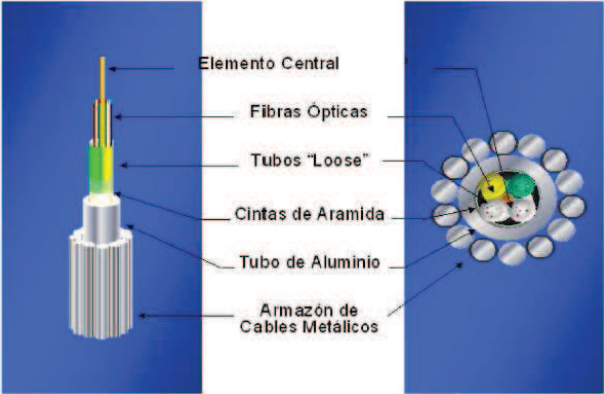
**Tabla 2.6-6** Cables de fibra óptica para instalación terrestre <sup>[49]</sup>

#### 2.6.5.1.2 Instalación Aérea

Este tipo de instalación se realiza entre postes o torres sobre el suelo. Usualmente se sigue la ruta del cableado eléctrico entre postes para el tendido del cable de fibra óptica.

Se diferencian tres tipos de cables de fibra óptica que se pueden utilizar en instalaciones aéreas, el detalle de cada uno de estos cables se encuentra en la tabla 2.6-7.

Nombre	Estructura	Características
<p><b>Cable Dieléctrico ADSS (All Dielectric Self-Suported):</b></p>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elemento Resistente Central Dieléctrico.</li> <li>2. Tubos Holgados.</li> <li>3. Fibras Ópticas.</li> <li>4. Elementos Absorbentes de la Humedad.</li> <li>5. Cubierta Interior de Polietileno.</li> <li>6. Hilaturas de Aramida.</li> <li>7. Cubierta Exterior de Polietileno Antitracking.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son auto-soportados y enteramente dieléctricos.</li> <li>- Se utilizan para cortas y largas distancias.</li> <li>- Son inmunes a las interferencias electromagnéticas y no son sensibles a la caída de rayos.</li> <li>- Es aconsejable instalar el cable de fibra óptica en la parte más alta del poste de luz, de esta manera soportará mejor la posterior instalación de otros cables.</li> <li>- Puede instalarse hasta en vanos de 600 m.</li> <li>- Compuesto por un mínimo de 12 hilos</li> <li>- Son cables del tipo loose tube</li> </ul>
<p><b>Figura 8</b></p>	 <p>Cable Mensajero</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soporte Metálico (Mensajero)</li> <li>2. Elemento Resistente Central Dieléctrico.</li> <li>3. Tubos Holgados.</li> <li>4. Fibras Ópticas.</li> <li>5. Elementos Absorbentes de la Humedad.</li> <li>6. Cinta de Aluminio Laminada.</li> <li>7. Cubierta Exterior de Polietileno.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene al mensajero unido al núcleo óptico mediante la cubierta externa.</li> <li>- El mensajero actúa como un elemento de refuerzo y soporta el peso del cable.</li> </ul>

Nombre	Estructura	Características
<p><b>Figura 8</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es una solución que se utiliza en vanos cortos por lo que resulta más económica.</li> <li>- Puede instalarse hasta en vanos de 100 m.</li> <li>- Compuesto por un mínimo de 2 hilos.</li> </ul>
<p><b>OPGW (Optical Ground Wire)</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un cable que se usa como cable de tierra en los sistemas eléctricos.</li> <li>- Posee un conjunto de fibras ópticas dentro de un núcleo central del cable.</li> <li>- Generalmente es utilizado en sistemas eléctricos para transmisiones de altas capacidades, ya que no presenta interferencias electromagnéticas</li> <li>- Puede instalarse hasta en vanos de 10 km.</li> <li>- Puede transportar hasta 96 fibras ópticas</li> </ul>

**Tabla 2.6-7** Tipos de Cables de Fibra Óptica para tendido Aéreo <sup>[43]</sup>

Antes de seleccionar la forma más conveniente en la que se debería realizar la instalación del cableado de fibra óptica se deben tener en cuenta varios aspectos. Por un lado el Municipio de la ciudad de Quito, ha iniciado un plan de intervención para la desocupación del espacio público aéreo en la ciudad, a través de la Ordenanza Municipal 022, la cual plantea el soterramiento del cableado aéreo en ciertas calles del Distrito Metropolitano de Quito.

Las calles del barrio Carcelén Alto 3D no han sido consideradas en la ordenanza, tal como se puede ver en el Anexo 2-4. Por otro lado realizar la instalación subterránea del cable de fibra óptica sobre infraestructuras existentes es más costoso que realizar la instalación aérea del cable de fibra óptica sobre la misma infraestructura, debido a que en la instalación terrestre es necesaria la utilización de maquinaria pesada que se encargue de crear la zanja en el piso para el paso del cable, en el caso de que sea directamente colocado sobre la tierra; o, para la colocación del conducto que guiará el cable de fibra óptica, además de que luego se deberá emplear el personal y material correspondiente para tapar las zanjas una vez que se ha terminado de pasar todo el cableado. Mientras que en la instalación aérea se puede utilizar los postes eléctricos ya existentes para guiar el cable, si bien en este tipo de instalación se requiere la maquinaria y personal correspondiente para el paso del cable de fibra óptica entre los postes, resulta menos costoso debido a que existe un ahorro al no necesitar el uso de maquinaria pesada ni personal extra que realice el trabajo de crear las zanjas. Por lo que para el caso de este proyecto de titulación se ha decidido que el diseño de la instalación del cable de fibra óptica sea aérea.

Tal como se presentó en el apartado anterior, existen 3 tipos de cables que se pueden utilizar para el tendido aéreo de fibra óptica. El cable OPGW es un tipo de cable que además de transportar el cable de fibra óptica es usado como cable de protección de las líneas aéreas de alta tensión contra sobre-tensiones, por lo que no es recomendable utilizarlo para ese caso debido a que en las aplicaciones que ofrece la red no se ha considerado el servicio de conectividad hacia la red eléctrica.

En la tabla 2.6-8 se puede ver una comparación entre los otros dos tipos de cable para instalación aérea que podrían ser aplicables a la red:

Tipo de Cable Característica	ADSS	Figura 8
Confiabilidad	Sin problemas mientras se realice la instalación correctamente	Sin problemas mientras se realice la instalación correctamente
Facilidad de Mantenimiento	Excelente	Excelente
Facilidad de instalación	Buena	Excelente
Inmunidad ante la caída de rayos	Total	Total
Costo de instalación	\$18 / poste	\$13.8 / poste

**Tabla 2.6-8** Comparación del cable ADSS con el cable Figura 8

Además de las características detalladas en la tabla 2.6-7 existe otro factor que debe ser tomado en cuenta para estos dos tipos de cables, el cual tiene que ver con el tipo de herrajes que se deben utilizar para la instalación tanto del cable ADSS como del el cable Figura 8.

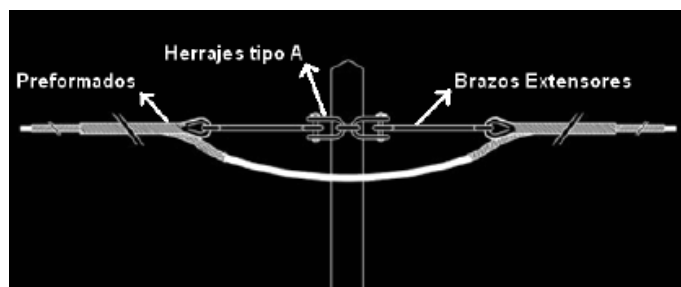
*a) Herrajes para el cable de fibra óptica ADSS*

Existen dos tipos de herrajes que se utilizan para el tendido de cable de fibra óptica ADSS:

- ✓ Herraje Preformado de Retención o Terminal: Sostiene el cable de fibra óptica de manera envolvente directamente sobre su chaqueta. Son utilizados generalmente cuando hay cambio de dirección de la ruta. La instalación de este tipo de herraje requiere por poste: herraje tipo A o de retención, 2 brazos preformados, 2 brazos extensores, 1 tensor, 2 abrazaderas y 2 metros de cinta acerada. En la figura 2.6-5 se encuentra un esquema del herraje de retención.



El costo del herraje de retención más todos los elementos de sujeción es de \$25 por poste.



**Figura 2.6-5** Herraje de Retención o Terminal <sup>[56]</sup>

- ✓ Herraje de Paso o Suspensión: Son cajas de aluminio con un núcleo blando de caucho que permite la sujeción suave del cable de fibra óptica. Se utilizan para los tramos donde no existe cambio de dirección de la ruta. Para la instalación de este tipo de herraje por poste, se necesita: herraje de paso, 1 tensor, 2 abrazaderas y 2 metros de cinta acerada. En la figura 2.6-6 se encuentra un esquema del herraje de paso.



**Figura 2.6-6** Herraje de Paso o Suspensión

El costo de este tipo de herraje más todos los elementos que requiere su instalación es de \$18 por poste.

Es recomendable la combinación de los dos tipos de herrajes para la instalación del cable de fibra óptica ADSS, generalmente se debe tener proyectado que se colocarán los herrajes tal como se muestra en la ecuación 2.6-1:

$$2S \ 1R \ 2S \ 1R$$

**Ecuación 2.6-1** Combinación de los herrajes S y R

En donde:

S = Herraje de Suspensión

R = Herraje de Retención

b) Herrajes para el cable de fibra óptica Figura 8

Para la instalación del cable de fibra óptica Figura 8 se puede utilizar el herraje terminal tipo A, el cual, se utiliza generalmente para la sujeción de cableado aéreo de cobre. La instalación de este tipo de herraje incluye por poste eléctrico, los siguientes componentes: 1 Herraje Terminal, 2 metros de cinta acerada, 1 grillete y 2 grapas

El costo de este tipo de herraje más todo el kit de instalación detallado es de \$13.80 por poste.



**Figura 2.6-7** Herraje tipo A

Tomando en cuenta los aspectos mencionados en la tabla 2.6-7 se puede concluir que los dos tipos de cables se diferencian en dos aspectos, la facilidad de instalación y el costo. La instalación del cable ADSS es más complicada que la del cable Figura 8 debido al tipo de herrajes que se utiliza para ésta; tal como se mencionó en los párrafos anteriores es necesario utilizar dos tipos de herrajes para la instalación de este tipo de cable, a diferencia del cable Figura 8 que se puede realizar con un tipo de herraje. Esto al mismo tiempo, aumenta el costo de la instalación, debido a que cada uno de los kits de herrajes de retención y de suspensión es más costoso que el del herraje terminal.

Por otro lado observando la figura 2.6-8 se puede ver que la mayor distancia entre postes que existe en el barrio Carcelén Alto 3D es de 50 metros, por lo que considerando los datos obtenidos de la tabla 2.6-6 en cuanto a la máxima longitud del vano de cada uno de los cables es posible advertir que para esa distancia entre postes cualquiera de los dos tipos de cable, tanto el ADSS como el Figura 8.

Analizando los factores mencionados en el apartado anterior se ha determinado que para este proyecto de titulación el cable de fibra óptica óptimo es el de tipo Figura 8, debido a que brinda facilidad de instalación, de mantenimiento, su longitud máxima de vano es mayor a la máxima distancia entre postes del barrio y además es menos costoso que el cable ADSS.

#### **2.6.5.2 Selección de la norma de Fibra Óptica**

Tal como se especifica en el estándar G.987.2 tratado en la sección 1.6.1.2 el tipo de cable de fibra óptica debe ser compatible con la norma G.652<sup>45</sup> o la norma G.657<sup>46</sup>. La norma G.655 no es tomada en cuenta debido a que trabaja a longitudes de onda que están en el intervalo 1460 - 1625 nm, el cual no es compatible para transmisiones ascendentes en el estándar 10G-PON las mismas que se efectúan en el intervalo 1260-1280 nm. La fibra que cumple la norma G.655 es recomendable para redes de backbone con tecnología DWDM<sup>47</sup>, en tanto que aquella que se acoje a la norma G.652 es más adecuado para redes de acceso.

La principal ventaja de las fibras ópticas monomodo G.657 es que presenta pérdidas mínimas por curvatura de cable, lo cual representa un gran beneficio tomando en cuenta que la arquitectura de la red PON que se pretende diseñar es de tipo FTTB y FTTH, lo que ocasionará que la fibra óptica se deba acoplar a la infraestructura de la casa o el edificio donde se encuentre el usuario final, pero además se debe señalar que la mayor parte del cableado de fibra óptica de la red se instalará de forma aérea

---

<sup>45</sup> Norma G.652: Describe las características ópticas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica monomodo con dispersión nula en la ventana de 1310 nm.

<sup>46</sup> Norma G.657: Describe las características ópticas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica monomodo insensible a la pérdida por curvatura.

<sup>47</sup> DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*): Tipo de multiplexación WDM que posibilita 31 canales con espaciamiento de 50 GHz o hasta 62 canales con espaciamiento de 25 GHz.

tal como está instalado el cableado eléctrico por lo que durante la mayor parte del camino que recorra el cable de fibra óptica es probable que no existan muchas curvaturas, es por esta razón, que se ha escogido la fibra óptica monomodo G.652 para el diseño actual.

En la tabla 2.6-9 se encuentran los principales parámetros de operación de los distintos estándares G.652 existentes, para el caso del diseño actual se ha descartado la fibra óptica G.652 A y la G.652 B, debido a que ambas presentan un pico de absorción de OH en torno a los 1380 nm, a diferencia de la fibra óptica G.652 C y G.652 D, las cuales han sido fabricadas para eliminar este pico y por lo tanto obtener una mayor anchura espectral. En el anexo 2-6, se puede encontrar más información sobre los requerimientos de transmisión de cada tipo de fibra óptica G.652.

Tomando en cuenta que la tecnología 10G-PON trabaja en sentido descendente en el rango de longitud de onda de 1575 nm a 1580 nm y en sentido ascendente en el rango de longitud de onda de 1260 nm a 1280 nm, además de que ofrece velocidades de subida de hasta 10 Gbps, es decir trabaja con altas velocidades de transmisión, la norma que más se ajusta a estos parámetros es la G.652 D, ya que tiene un coeficiente PMD menor que la G.652 C lo que le permite mantener la calidad de transmisión en el trayecto de la fibra y evitar pérdidas a altas velocidades de transmisión.

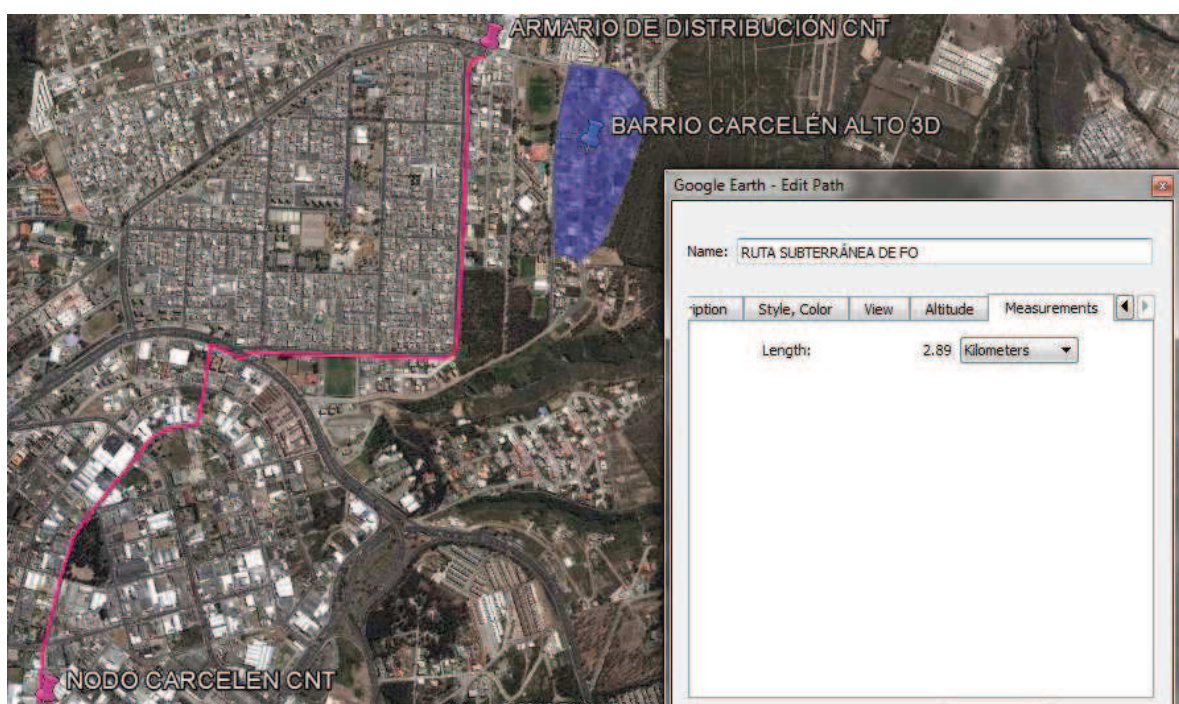
Parámetros	G.652 A	G.652 B	G.652 C	G.652 D
Longitud de onda de operación	1310nm y 1550nm	1310nm, 1550nm y 1625 nm	Mayor anchura espectral: 1360 – 1530 nm	Mayor anchura espectral: 1360 – 1530 nm
Máximo coeficiente de atenuación	1310 nm: 0.5 dB/km 1550 nm: 0.4 dB/km	1310 nm: 0.5 dB/km 1550 nm: 0.35 dB/km 1625 nm: 0.4 dB/km	1310 – 1625 nm: 0.4 dB/km 1550 nm: 0.3 dB/km	1310 – 1625 nm: 0.4 dB/km 1550 nm: 0.3 dB/km

Coeficiente PMD	0.5 ps/km	0.2 ps/km	0.5 ps/km	0.2 ps/km
-----------------	-----------	-----------	-----------	-----------

**Tabla 2.6-9** Parámetros de operación de los estándares G.652 <sup>[49]</sup>

### 2.6.5.3 Cálculo de la cantidad de Fibra Óptica determinar

Con la finalidad de determinar la cantidad de fibra óptica que se desplegará desde la OLT hasta el barrio se utilizó el programa Google Earth, el cual utiliza un mapa actualizado de una zona determinada y calcula las distancias entre dos o varios puntos que se grafiquen en el mapa, tal como se muestra en la figura 2.6-8; la cual representa la distancia entre la OLT y un armario de distribución ubicado a 250 metros de la entrada del barrio donde se ubicará uno de los splitters de nivel 1<sup>48</sup>. Cabe recalcar que CNT tiene fibra óptica canalizada desde el nodo Carcelén hasta el armario de distribución, la figura 2.6-8 se ha obtenido para representar el tramo que sigue la fibra óptica de la CNT, el cual es de una longitud igual a 2.89 km.



**Figura 2.6-8** Distancia entre la OLT y el armario de distribución de la CNT

<sup>48</sup> Tal como se determinó en la sección 2.6.4 los dos splitters de nivel 1 se colocarán en el mismo lugar a la entrada del barrio, en el anexo 17 se puede visualizar de mejor manera la ubicación de ambos.

Para determinar la cantidad de fibra óptica que se requiere desde la entrada del barrio hacia cada casa se ha utilizado el esquema de la distribución de los splitters en el barrio (anexo 2-3), en el cual se muestran las distancias entre los postes de energía eléctrica.

A continuación se procederá a realizar el cálculo de la cantidad de fibra óptica que se desplegará en el barrio.

### **Zona 1**

$$\text{Cantidad de FOZ1} = \text{DS11\_1-S21} + \sum \text{DS21-CASA}$$

De donde:

DS11\_1-S21 = Distancia desde el primer splitter de primer nivel (1:4) hasta el primer splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum \text{DS21-CASA}$  = Sumatoria de las distancias desde el primer splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado 30 metros de fibra óptica adicional por casa que iría desde el poste de energía eléctrica hacia cada vivienda, esta cantidad de fibra óptica se ha tomado como referencia debido a que es la que los proveedores de servicios de telecomunicaciones emplean para este tipo de diseños.

$$\text{Cantidad de FOZ1} = 628 \text{ m} + (160.5+160.5+110.5+18.5+18.5+2+2+71+71+117+ 156 + 11*30) \text{ m}$$

$$\text{Cantidad de FOZ1} = 1845.5 \text{ m} = 1.8455 \text{ km}$$

### **Zona 2**

$$\text{Cantidad de FOZ2} = \text{DS11-S22} + \sum \text{DS22-CASA}$$

De donde:

DS12-S22 = Distancia desde el segundo splitter de primer nivel (1:4) hasta el segundo splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum DS22-CASA$  = Sumatoria de las distancias desde el segundo splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de 30 metros de fibra óptica desde el poste hacia cada vivienda.

Cantidad de FOZ2 =  $958 + (130+130+90+90+173+173+173+214+12*30)$  m

Cantidad de FOZ2 = 2491 m = 2.491 km

### **Zona 3**

Cantidad de FOZ3 = DS12-S23 +  $\sum DS23-CASA$

De donde:

DS12-S23 = Distancia desde el primer splitter de primer nivel (1:4) hasta el tercer splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum DS23-CASA$  = Sumatoria de las distancias desde el tercer splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de fibra óptica igual a 30 metros desde el poste hacia cada vivienda.

Cantidad de FOZ3 =  $618 \text{ m} + (125+125+125+125+125+92+57+33+33+35+ 30*12)$  m

Cantidad de FOZ3 = 1853 m = 1.853 km

### **Zona 4**

Cantidad de FOZ4 = DS12-S24 +  $\sum DS24-CASA$

De donde:

DS12-S24 = Distancia desde el segundo splitter de primer nivel (1:4) hasta el cuarto splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum DS24-CASA$  = Sumatoria de las distancias desde el cuarto splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de fibra óptica igual a 30 metros desde el poste hacia cada vivienda.

Cantidad de FOZ4 =  $833 + (41+41+41+39+39+39+39+39+85+12*30)$  m

Cantidad de FOZ4 = 1596 m = 1.596 km

### **Zona 5**

Cantidad de FOZ5 = DS11-S25 +  $\sum$ DS25-CASA

De donde:

DS11-S25 = Distancia desde el primer splitter de primer nivel (1:4) hasta el quinto splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum$ DS25-CASA = Sumatoria de las distancias desde el quinto splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de fibra óptica igual a 30 metros desde el poste hacia cada vivienda

Cantidad de FOZ5 = 618 m +  $(146+146+105+105+105+35+70+101+139+174+12*30)$

Cantidad de FOZ2D = 2104 m = 2.104 km

### **Zona 6**

Cantidad de FOZ6 = DS11-S26 +  $\sum$ DS26-CASA

De donde:

DS12-S26 = Distancia desde el primer splitter de primer nivel (1:4) hasta el sexto splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum$ DS26-CASA = Sumatoria de las distancias desde el sexto splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de fibra óptica igual a 30 metros desde el poste hacia cada vivienda.

Cantidad de FOZ6 = 330 m +  $(94+94+94+94+82+39+87+97.5+97.5+97.5+89+89 + 12*30)$  m



Cantidad de FOZ6 = 1744.5 m = 1.7445 km

### **Zona 7**

Cantidad de FOZ7 = DS12-S27 +  $\sum$ DS27-CASA

De donde:

DS12-S27 = Distancia desde el segundo splitter de primer nivel (1:4) hasta el séptimo splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum$ DSPS7-CASA = Sumatoria de las distancias desde el séptimo splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de fibra óptica igual a 30 metros desde el poste hacia cada vivienda.

Cantidad de FOZ7 = 987 m + (163+163+123+123+82+43+47+86 + 12\*30) m

Cantidad de FOZ7 = 2177 m = 2.177 km

### **Zona 8**

Cantidad de FOZ8 = DS12-S28 +  $\sum$ DS28-CASA

De donde:

DS12-S28 = Distancia desde el segundo splitter de primer nivel (1:4) hasta el octavo splitter de segundo nivel (1:16)

$\sum$ DPS28-CASA = Sumatoria de las distancias desde el octavo splitter de segundo nivel (1:16) hacia cada casa. Además se ha considerado una cantidad de fibra óptica igual a 30 metros desde el poste hacia cada vivienda.

Cantidad de FOZ8 = 625 m + (119+119+119+37.5+2+80.5+118.5+12\*30) m

Cantidad de FOZ8 = 1581.5 m = 2.177 km

Una vez calculada la cantidad de fibra óptica de cada una de las zonas es necesario sumar cada una de las cantidades para calcular la fibra óptica total que se desplegará por el barrio

Cantidad Total de FO = Cantidad de FOZ1 + Cantidad de FOZ2 + Cantidad de FOZ3 + Cantidad de FOZ4 + Cantidad de FOZ5 + Cantidad de FOZ6 + Cantidad de FOZ7 + Cantidad de FOZ8 + Cantidad de FORESERVA

Cantidad de FORESERVA<sup>49</sup> = 75 postes \* 25 m = 1425 m = 1.875 km

Cantidad Total de FO = 2.89 km + 1.8455 km + 2.491 km + 1.853 km + 1.596 km + 2.104 km + 1.7445 km + 2.177 km + 2.177 km + 1.875 km

Cantidad Total de FO = 15.686 km = 15.7 km

En la tabla 2.6-10 se muestra un resumen de la cantidad de fibra óptica necesaria para el montaje de la red y en qué tramo de la misma se ubicará.

CANTIDAD DE FIBRA ÓPTICA	DESCRIPCIÓN
2.89 km	Cantidad de F.O. canalizada de la CNT que se encuentra entre la CO y el armario de distribución. (Se debe alquilar a CNT).  Para este tramo se deberá utilizar cable de fibra óptica con 4 hilos, 1 de transmisión y 1 de recepción por cada puerto de la OLT.
15.7 km	Cantidad de F.O. que se desplegará en el barrio Carcelén Alto 3D  Para este tramo debido a que aquí se realizará la conexión hacia los splitters 1:16 se deberá utilizar cable de fibra óptica de 24 hilos.
2 patch cords de FO	Para la conexión de cada puerto de la OLT al ODF <sup>50</sup> en el CO
1 patch cord de FO	Para la conexión desde la caja de fusiones hasta la ONU en la casa

<sup>49</sup> Es recomendable siempre dejar un excedente de fibra óptica en los postes por si existe algún error de instalación o un corte de la misma, de tal manera de que se pueda volver a fusionar y la red funcione de manera normal en el menor tiempo posible.

<sup>50</sup> ODF (*Optical Distribution Framing*): Elemento óptico que permite la organización y administración de los cables de fibra óptica, almacenando fusiones y empalmes de fibra. Tiene al menos 12 puertos de conexión, que se administran en pareja indicando el hilo de transmisión y el hilo de recepción.

	del abonado.
--	--------------

**Tabla 2.6-10** Descripción de la cantidad y ubicación de la Fibra Óptica en la red

#### 2.6.5.4 Montaje de la red FTTB

Debido al tipo de viviendas que existen en el barrio Carcelén Alto 3D, se planteó en la sección 2.5 que las tecnologías FTTH y FTTB son las que se acoplan de la mejor manera a la distribución de casas y edificios del barrio.

El despliegue de la red en ambas tecnologías es similar, la diferencia se presenta en la manera de entrar a la cada casa para ubicar la ONU o MDU, dependiendo de si es FTTH o FTTB respectivamente. Para el caso de FTTH se llega con cable de fibra óptica hasta la ONU, mientras que para el caso de FTTB se llega con cable de fibra óptica hasta el MDU y luego se utiliza cable de cobre hasta el módem de acceso a la red dentro de la casa del abonado.

Para las casas en donde se utilizará la tecnología FTTH se realizó el cálculo de la fibra óptica necesario en la sección 2.6.5.4, por lo que en este punto se calculará la cantidad de cable de cobre para las casas y departamentos en el que se llegue al domicilio del abonado con FTTB.

El tipo de cable de cobre que se utilizará para este caso, es el cable UTP categoría 6 que permite transmisiones de hasta 1Gbps.

En figura 2.6-9 se muestra los conjuntos residenciales y edificios de departamentos del barrio, en los cuales se llegará utilizando la tecnología FTTB. Todos los edificios y conjuntos residenciales cuentan con un espacio especial destinado para equipamiento de telecomunicaciones, en este lugar se instalará el MDU en el que se conectará el cable de fibra óptica que llegará desde el poste del cableado eléctrico.

En la tabla 2.6-11 se describe la cantidad de cable de cobre que se necesitará en los edificios del barrio, mientras que en la tabla 2.6-12 se encuentra información sobre la cantidad de cable UTP que se necesitará para los conjuntos residenciales del barrio. La suma de las dos cantidades obtenidas en ambas tablas es la cantidad total de cable de cobre y es igual a 1866 metros.



**Figura 2.6-9** Casas en conjuntos residenciales y edificios del barrio Carcelén Alto 3D

Edificio	Cantidad de Cable UTP
14 Departamentos, 2 departamentos por piso	171 metros
9 Departamentos, 2 departamentos desde el segundo piso y 3 departamentos en el primer piso	92 metros
10 Departamentos, 2 departamentos piso	125 metros
12 Departamentos, 2 departamentos por piso	158 metros
5 Departamentos, 1 departamento por piso	90 metros
<b>TOTAL</b>	<b>636 metros</b>

**Tabla 2.6-11** Cantidad de cable de cobre para los edificios del barrio

Conjunto Residencial	Cantidad de Cable UTP
9 Casas	190 metros
12 Casas	220 metros

10 Casas	230 metros
16 Casas	300 metros
5 Casas	120 metros
8 Casas	170 metros
<b>TOTAL</b>	<b>1230 metros</b>

**Tabla 2.6-12** Cantidad de fibra óptica para los conjuntos residenciales del barrio

### 2.6.6 PRESUPUESTO DE POTENCIA <sup>[53]</sup>

Para determinar el presupuesto de potencia de toda la red se puede considerar únicamente la potencia que llegará al usuario más lejano y al usuario más cercano. Cada puerto de la OLT puede transmitir bajo las pérdidas especificadas en la clase nominal N1, detalladas en el estándar 10G-PON - *Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification* con una potencia mínima de transmisión en la OLT de 2 dBm.

La clase de pérdidas N1 es equivalente a la clase de pérdidas B+ propia del estándar G-PON, lo que permite la co-existencia de 10G-PON con G-PON. En las tablas 2.6-13 y 2.6-14 se encuentra un resumen de las clases de pérdidas para la ODN en sistemas G-PON y 10G-PON.

Link Budget Class	Pérdida Mínima en la ODN [dB]	Pérdida Máxima en la ODN [dB]
A	5	20
B	10	25
C	15	30
B <sup>+</sup>	13	28
C <sup>+</sup>	17	32

**Tabla 2.6-13** Clases de Pérdidas para el estándar GPON <sup>[53]</sup>

Link Budget Class	Pérdida Mínima en la ODN [dB]	Pérdida Máxima en la ODN [dB]
Nominal 1 (N1)	14	29.5

Nominal 2 (N2)	16	31
Extended (E1)	18	33
Extended (E2)	20	35

**Tabla 2.6-14** Clases de Pérdidas para el estándar 10 GPON <sup>[53]</sup>

Además se ha considerado un margen de seguridad de 3 dB, el cual es utilizado para suplir posibles pérdidas en la red óptica debidas a la curvatura del cable de fibra óptica, la degradación propia de los elementos activos por el paso del tiempo, errores en el cálculo del presupuesto de potencia, reparaciones del sistema, inserción de nuevos empalmes o elementos en la red, etc.

A continuación se realizará el análisis de la pérdida de potencia en la ODN para el usuario más lejano y el usuario más cercano tomando como referencia los datos de las tablas 2.6-15 y 2.6-16 en las cuales se muestran las distancias desde la OLT hacia cada ONU.

	ONU	Distancia desde OLT [Km]	Distancia SP1 [Km]		ONU	Distancia desde OLT [Km]	Distancia SP1 [Km]
ZONA 1	1	3.709	0.819	ZONA 3	1	3.484	0.594
	2	3.709	0.819		2	3.484	0.594
	3	3.659	0.769		3	3.484	0.594
	4	3.567	0.677		4	3.484	0.594
	5	3.567	0.677		5	3.351	0.461
	6	3.548	0.658		6	3.351	0.461
	7	3.550	0.660		7	3.416	0.526
	8	3.619	0.729		8	3.359	0.469
	9	3.619	0.729		9	3.427	0.537
	10	3.665	0.775		10	3.427	0.537
	11	3.704	0.814		11	3.392	0.502
ZONA 2	1	3.968	1.078	12	3.392	0.502	
	2	3.968	1.078	ZONA 4	1	3.794	0.904
	3	3.968	1.078		2	3.794	0.904
	4	3.968	1.078		3	3.794	0.904
	5	3.878	0.988		4	3.753	0.863
	6	3.878	0.988		5	3.753	0.863
	7	3.878	0.988		6	3.753	0.863

	8	3.878	0.988		7	3.792	0.902
	9	3.961	1.071		8	3.792	0.902
	10	3.961	1.071		9	3.792	0.902
	11	3.961	1.071		10	3.792	0.902
	12	3.895	1.005		11	3.792	0.902
					12	3.792	0.902

**Tabla 2.6-15** Distancia de cada ONU hacia la OLT (Z1, Z2, Z3 y Z4)

	ONU	Distancia desde OLT [Km]			ONU	Distancia desde OLT [Km]	
ZONA 5	1	3.646	0.756	ZONA 7	1	3.99	1.1
	2	3.646	0.756		2	3.99	1.1
	3	3.620	0.73		3	3.99	1.1
	4	3.605	0.715		4	3.99	1.1
	5	3.643	0.753		5	3.989	1.099
	6	3.538	0.648		6	3.989	1.099
	7	3.538	0.648		7	3.907	1.017
	8	3.573	0.683		8	3.907	1.017
	9	3.608	0.718		9	3.907	1.017
	10	3.608	0.718		10	3.957	1.067
	11	3.677	0.787		11	3.957	1.067
	12	3.677	0.787		12	3.945	1.055
ZONA 6	1	3.353	0.463	ZONA 8	1	3.664	0.774
	2	3.353	0.463		2	3.664	0.774
	3	3.353	0.463		3	3.664	0.774
	4	3.353	0.463		4	3.583	0.693
	5	3.330	0.44		5	3.583	0.693
	6	3.348	0.458		6	3.545	0.655
	7	3.348	0.458		7	3.545	0.655
	8	3.348	0.458		8	3.545	0.655
	9	3.337	0.447		9	3.547	0.657
	10	3.289	0.399		10	3.626	0.736
	11	3.339	0.449		11	3.626	0.736
	12	3.378	0.488		12	3.626	0.736

**Tabla 2.6-16** Distancia de cada ONU hacia la OLT (Z5, Z6, Z7 y Z8)

### 2.6.6.1 Caso de la ONU más lejana

Para el caso de la ONU más lejana se debe asegurar que la señal enviada desde la OLT llegue hacia el receptor (ONU). En la figura 2.6-10 se encuentra un esquema de

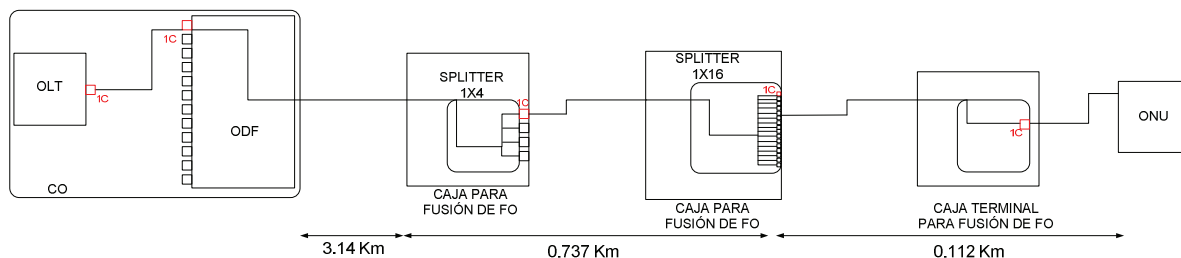
la red óptica pasiva vista desde el lado del usuario más lejano. Las pérdidas que se deben considerar para este caso son:

1. Pérdidas por conectores, se tienen 5 conectores en toda la ODN los cuales están marcados en rojo y se encuentran en las siguientes posiciones:
  - 2 conectores en el patch cord que conecta la OLT con el ODF
  - 1 conector en el pigtail del splitter 1x4
  - 1 conector en el pigtail del splitter 1x16
  - 1 conector en la caja para almacenar de fusiones en la casa del abonado
2. Pérdidas por splitters
  - 1 Splitter 1x4
  - 1 Splitter 1x16
3. Pérdidas por fibra óptica, se debe considerar la cantidad de fibra óptica que se desplegará desde la OLT hacia la ONU.
4. Pérdidas por empalmes, se tienen 3 empalmes en toda la red:
  - 1 empalme en el splitter 1x4
  - 1 empalme en el splitter 1x16
  - 1 empalme en la caja para almacenar de fusiones en la casa del abonado
5. Pérdidas por patch cords de fibra óptica, a la red se conectan dos patch cords de fibra óptica:
  - 1 patch cord desde la OLT al ODF
  - 1 patch cord desde la caja para almacenar de fusiones en la casa del abonado hacia la ONU
6. Margen de seguridad, el cual como se explicó en el párrafo anterior es igual a 3 dB.

Tal como se explicó en la sección 1.4.1.1.6, el estándar 10G-PON trabaja en dos rangos de longitudes de onda diferentes dependiendo del sentido en el que se requiera transmitir los datos en la red (ascendente y descendente), por lo que



para el análisis de las pérdidas de potencia en la red se debe considerar para cada caso cuál es el valor de la pérdida de potencia que se presentará.



**Figura 2.6-10** Diagrama de los elementos de la red hacia la ONU más lejana

A continuación se realizará el análisis de pérdidas de la ODN para transmisiones ascendentes y descendentes.

- a) Para la banda de 1310 – 1625 nm, en la que se transmitirá voz y datos en sentido ascendente, se tiene:

	Cantidad	Atenuación [dB]	Atenuación Total [dB]
Conectores	5 u	0.1 dB/conector	2
Splitter 1x4	1 u	7.2 dB/splitter	7.2
Splitter 1x16	1 u	13.5 dB/splitter	13.5
Fibra óptica	3.99 km	0.4 dB/km	1.596
Empalmes	3 u	0.1 dB/empalme	0.3
Patch cord	2 u	0.2 dB/patch cord	0.4
Margen de seguridad	n/a	3 dB	3
		<b>TOTAL</b>	<b>27.996 dB</b>

**Tabla 2.6-17** Cálculo de la atenuación de la ONU más lejana en la banda de 1310 – 1625 nm

- b) Para la banda de 1550 nm en la cual se transmitirá voz, datos y video en sentido descendente, se tiene:

	Cantidad	Atenuación [dB]	Atenuación Total [dB]
Conectores	5 u	0.1 dB/conector	2
Splitter 1x4	1 u	7.2 dB/splitter	7.2
Splitter 1x16	1 u	13.5dB/splitter	13.5
Fibra óptica	3.99 km	0.3 dB/km	1.197
Empalmes	3 u	0.1 dB/empalme	0.3
Patch cord	2 u	0.2 dB/patch cord	0.4
Margen de seguridad	n/a	3 dB	3
		<b>TOTAL</b>	27.597 dB

**Tabla 2.6-18** Cálculo de la atenuación de la ONU más lejana en la banda de 1550 nm

Los valores obtenidos en las tablas 2.6-17 y 2.6-18 muestran las pérdidas sobre la ODN para transmisiones de voz y datos en sentido ascendente y en sentido descendente. En ambos casos el valor obtenido es menor al valor máximo de pérdidas totales para la clase N1 (29 dB) y a pesar de que para una mayor atenuación por distancia de fibra óptica la pérdida total de la red es menor sólo por 1.004 dB de la pérdida soportada por la red, el hecho de haber dejado un margen de seguridad de 3 dB en el cálculo de las pérdidas totales de la red permite soportar pérdidas de potencia de la red como las que se obtuvieron en los cálculos anteriores.

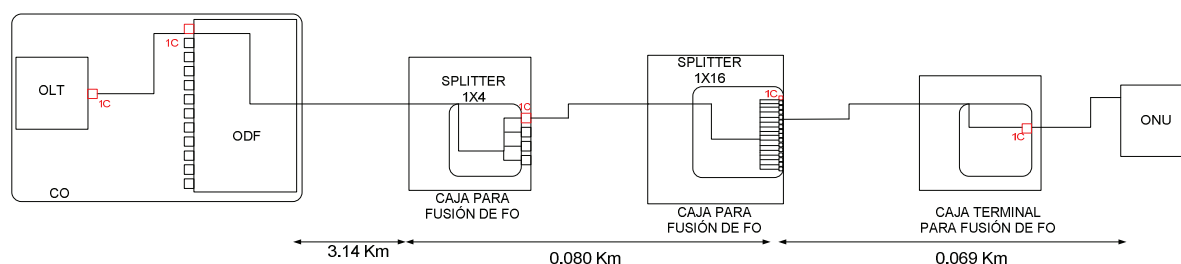
#### 2.6.6.2 Caso de la ONU más cercana

Para el caso de la ONU más cercana se debe evitar que se sature el receptor y sobre todo eliminar la posibilidad de que éste se destruya debido a la recepción de señales mayores a la máxima potencia de recepción del dispositivo.

En la figura 2.6-11 se puede visualizar el esquema de conexión tanto de los elementos pasivos como de los elementos activos vistos por el usuario más cercano. Para este caso se considerarán las mismas pérdidas en la red tanto por conectores,

splitters, fibra óptica, empalmes, patch cords de fibra óptica. El único valor que variará es el de las pérdidas debido al cable de fibra óptica ya que al ser el caso del usuario más cercano la distancia hacia la OLT será menor por lo que las pérdidas serán menores.

Igual que el caso de la ONU más lejana, se calcularán las pérdidas de potencia en la ODN para los dos rangos de longitudes de onda en los que opera 10G-PON.



**Figura 2.6-11** Diagrama de los elementos de la red hacia la ONU más cercana

a) Para la banda de 1310 – 1625 nm, se tiene:

	Cantidad	Atenuación [dB]	Atenuación Total [dB]
Conectores	5 u	0.1 dB/conector	2
Splitter 1x4	1 u	7.2 dB/splitter	7.2
Splitter 1x16	1 u	13.5 dB/splitter	13.5
Fibra óptica	3.289 km	0.4 dB/km	1.316
Empalmes	3 u	0.1 dB/empalme	0.3
Patch cord	2 u	0.2 dB/patch cord	0.4
		<b>TOTAL</b>	24.716 dB

**Tabla 2.6-19** Cálculo de la atenuación de la ONU más cercana en la banda de 1310 – 1625 nm

b) Para la banda de 1550 nm, se tiene:

	Cantidad	Atenuación [dB]	Atenuación Total [dB]
Conectores	5 u	0.1 dB/ conector	2
Splitter 1x4	1 u	7.2 dB/splitter	7.2
Splitter 1x16	1 u	13.5dB/splitter	13.5
Fibra óptica	3.289 km	0.3 dB/km	0.987
Empalmes	3	0.1 dB/empalme	0.3
Patch cord	2	0.2 dB/patch cord	0.4
		<b>TOTAL</b>	24.387 dB

**Tabla 2.6-20** Cálculo de la atenuación de la ONU más cercana en la banda de  
1310 – 1625 nm

Tomando en cuenta los valores obtenidos en las tablas 2.6-19 y 2.6-20 se puede concluir que para el caso de la ONU más cercana la atenuación obtenida se encuentra dentro del rango de atenuación máxima y mínima soportada por la ODN tal como se muestra en la tabla 2.6-14.

Tal como se señaló, la clase de pérdidas N1 de la tecnología 10G-PON es compatible con la clase de pérdidas B+ de la tecnología G-PON, es posible, a través de la inecuación 2.6-2, usualmente utilizada en la clase B+, determinar si existe un balance de potencias entre la potencia máxima de transmisión, la sensibilidad máxima de recepción y las pérdidas obtenidas a lo largo de la red.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_t$$

**Ecuación 2.6-2** Balance de Potencias <sup>[44]</sup>

Donde:

$P_{RX}$  = Potencia máxima de transmisión óptica

$P_{TX}$  = Sensibilidad máxima de recepción óptica

$\alpha_t$  = Atenuación total

Los fabricantes de equipos activos para redes 10G-PON garantizan que entre los parámetros de sus equipos, la potencia de transmisión y la sensibilidad de recepción, son las que recomienda el estándar 10G-PON, por lo que utilizando los datos de las tablas 2.6-21 y 2.6-22, además de la atenuación total de la red calculada en el apartado anterior se puede obtener el valor de la inecuación del balance de potencias, tal como se muestra a continuación:

Para el caso de la ONU más lejana

- 1) En sentido ascendente (1310 – 1625 nm), se utilizan los datos de la tabla 2.6-22

$$-27.5 \text{ dBm} \leq +7 \text{ dBm} - 27.996 \text{ dB}$$

$$-27.5 \text{ dBm} \leq -20.996 \text{ dBm}$$

- 2) En sentido descendente (1550 nm), se utilizan los datos de la tabla 2.6-21

$$-28 \text{ dBm} \leq +6 - 27.597 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq - 21.597 \text{ dBm}$$

Para el caso de la ONU más cercana

- 1) En sentido ascendente (1310 – 1625 nm), se utilizan los datos de la tabla 2.6-22

$$-27.5 \text{ dBm} \leq +7 \text{ dBm} - 24.716 \text{ dB}$$

$$-27.5 \text{ dBm} \leq -17.716 \text{ dBm}$$

- 2) En sentido descendente (1550 nm), se utilizan los datos de la tabla 2.6-21

$$-28 \text{ dBm} \leq +7 \text{ dBm} - 24.387 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -17.381 \text{ dBm}$$

Para los dos casos considerados, el de la ONU más lejana y la ONU más cercana, se puede afirmar que con los valores obtenidos de pérdidas a lo largo de la ODN tanto en sentido descendente como ascendente, la señal óptica puede llegar desde el origen hasta el destino sin problemas, garantizando para el usuario más lejano que

la señal que llega a su detector pueda ser reconocida; y, para el usuario más cercano que no ponga en peligro de saturación al detector. Es decir que el detector opere adecuadamente dentro de su rango dinámico.

ODN Class		N1	N2		E
			N2a	N2b	
Mean launched power MIN	dBm	+2.0	+4.0	+10.5	FFS
Mean launched power MAX	dBm	+6.0	+8.0	+12.5	FFS
ONU receiver					
ODN Class		N1	N2		E
			N2a	N2b	
Minimum sensivity at BER reference level	dBm	-28.0	-28.0	-21.5	FFS
Minimum overload at BER reference level	dBm	-8.0	-8.0	-3.5	FFS

**Tabla 2.6-21** Parámetros de la interfaz óptica en sentido descendente

ODN Class		N1	N2		E
			N2a	N2b	
Mean launched power MIN	dBm	+2.0	+2.0	+10.5	FFS
Mean launched power MAX	dBm	+7.0	+7.0	+12.5	FFS
ONU receiver					
ODN Class		N1	N2		E
			N2a	N2b	
Minimum sensivity at BER reference level	dBm	-27.5	-29.5	-21.5	FFS
Minimum overload at BER reference level	dBm	-7.0	-9.0	-3.5	FFS

**Tabla 2.6-22** Parámetros de la interfaz óptica en sentido ascendente

## **CAPÍTULO 3**

### **PRESUPUESTO REFERENCIAL**

En este capítulo se realizará la selección del equipamiento tanto activo como pasivo de la red, para lo cual se presentará una comparación técnica y económica entre al menos dos fabricantes, y, además se realizará un presupuesto referencial tomando en cuenta todos los parámetros de la red.

#### **3.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS ACTIVOS**

La tecnología 10G-PON (XG-PON) está empezando a incursionar en el mercado, a pesar de que el estándar G.987, que incluye las recomendaciones para una red de acceso de banda XG-PON1, fue aprobado en octubre del 2010, existen principalmente dos fabricantes que comercializan los equipos OLT y ONU que cumplan con el estándar 10G-PON, los cuales son: Alcatel-Lucent (ALU) y Huawei.

Para el diseño actual, se realizará una comparación técnica y económica de la OLT, la ONU y el MDU. Se debe tomar en cuenta que para evitar problemas de acoplamiento del equipamiento activo de la red, es recomendable que los tres equipos pertenezcan al mismo fabricante.

Los datos que se presentarán a continuación fueron tomados de las hojas técnicas, brochures y manuales de operación de la OLT, ONU y MDU, de cada fabricante.


##### **3.1.1 Comparación técnica y económica de la OLT**

En la sección 2.6.1.2 se realizó un análisis de los requerimientos técnicos mínimos de la OLT, un resumen de los mismos se encuentra en la tabla 3.1-1.

Configuración de Servicios	IP/MPLS
Capacidad Mínima de puerto que se conecta al PE	3.2 Gbps en sentido descendente y 150.2 Mbps en sentido ascendente
Tipo de puertos Ethernet	XG-PON1
Número mínimo de abonados por puerto	64
Soporte de Servicios Triple-play	Si
Redundancia de equipamiento	Fuente y ventilador
Tipo de conector del puerto	LC
Capacidad Mínima del equipo	3.2 Gbps full-duplex

**Tabla 3.1-1** Requerimientos técnicos mínimos de la OLT

En la tabla 3.1-2 se muestra la comparación técnica y económica de los fabricantes de equipos de telecomunicaciones ALU y Huawei.

Parámetro	ALU 7360 ISAM FX-4	HUAWEI MA5603T
		
Número de slots para instalación de tarjetas	4	8
Estándar de trabajo	XG-PON 1	XG-PON 1
Número de usuarios por puerto	64	64
Longitud de onda de operación	Dowstream: 1260-1280 Upstream: 1575-1580	Dowstream: 1260-1280 Upstream: 1575-1580
Conectividad MPLS	SI	SI
Puertos 10G-PON, (Para el diseño actual se han considerado dos puertos de	4 puertos por tarjeta	4 puertos por tarjeta



la OLT)		
Tipo de conector para fibra óptica	A través de módulos SFP <sup>51</sup> LC	A través de módulos SFP LC
Servicios	Soporta redes IP-MPLS IPTV, VoIP, Datos, servicios que requieran altas capacidades de transmisión	Soporta redes IP-MPLS IPTV, VoIP, Datos, servicios que requieran altas capacidades de transmisión
Redundancia	- Controladoras, activa/pasiva - En fuentes de alimentación (2), de -48V DC y -60V DC - Bandeja de ventilación formada por 4 ventiladores	- Controladoras, activa/pasiva - En fuentes de alimentación (2), de -48V DC y -60V DC - Bandeja de ventilación formada por 6 ventiladores
Máxima capacidad del equipo con todas las tarjetas instaladas	400 Gbps	1 Tbps
Potencia de Tx, Clase N1	2 a 6 dBm	2 a 7 dBm
Sensibilidad de Rx, Clase N1	-27.5 a -8 dBm	-28 a -8 dBm
Garantía	2 años	2 años
Confiabilidad	Alta	Alta
Tiempo de respuesta ante fallas	1 hora,	1 hora
Presencia en el mercado local	Ha vuelto a incursionar en el mercado ecuatoriano de las telecomunicaciones a partir del 2008. Sus clientes principales son CNT y Claro.	Presente en Ecuador desde el 2002, sus principales clientes son CNT, Claro y Telefónica
Representante local	Si Dirección Oficinas Alcatel-Lucent La Pinta 236 y la Rábida	Si Dirección Oficinas Huawei: Avenida República del Salvador N34-107 y Suiza -

<sup>51</sup> Módulo SFP (*Small Form-Factor Pluggable*): Transeptor compacto que puede conectarse en caliente utilizado para aplicaciones de datos y telecomunicaciones. Soporta tecnologías SONET, Gigabit Ethernet, GPON, IP-MPLS.

	Sector – La Mariscal Telfs (02) 294-0700	Norte - Quito Telfs. (02) 397-2300
Precio [\$] Incluido el 12% de IVA	37,983.79	32,863.50

**Tabla 3.1-2** Comparación técnica y económica de la OLT

Tal como se puede ver en la tabla 3.1-2 ambos fabricantes ofrecen un equipo activo que se acopla a las características mínimas de la OLT planteadas en la sección 2.6.1.2, el equipo Huawei MA5603T ofrece el doble de slots que el equipo ALU 7360 ISAM FX-4, además la capacidad del Huawei MA5603T es mayor que la capacidad del equipo ALU, lo cual se convierte en una ventaja para posibles futuros crecimientos de la red. Por otro lado este equipo tiene un precio inferior al del equipo ALU 7360 ISAM FX-4, por lo que para este proyecto de titulación se ha determinado que la OLT sea la HUAWEI MA5603T.



### 3.1.2 Comparación técnica y económica de la ONU

En la sección 2.6.2 se realiza un análisis de los requerimientos técnicos mínimos que debe cumplir la ONU, en la tabla 3.1-3 se encuentra un resumen de las mismas.

Compatible con el estándar 10G-PON	Si
Capacidad Mínima de puerto que se conecta al PE	3.2 Gbps en sentido descendente y 150.2 Mbps en sentido ascendente
Tipo de conector del puerto	LC
Tipo de Puertos	RJ-45, RJ-11, F, RFA o HDMI
Tipo de láser	DFB
Tipo de detector	PIN

**Tabla 3.1-3** Requerimientos técnicos mínimos de la ONU

La tabla 3.1-4 muestra la comparación técnica y económica de la ONU que ofrecen los fabricantes ALU y Huawei.

Parámetro	<b>ONU ALU</b> 	<b>ONU HUAWEI</b> 
Compatibilidad 10 GPON	Si	Si
Estándar de trabajo	XG-PON 1	XG-PON 1
Puertos GE para datos	2	4
Puertos para POTS	1	1
Puertos para TV (F)	1	1
Alimentación	AC: 100–240 V DC: 11–14 V	AC: 100–240 V DC: 11–14 V
Potencia de Tx, Clase N1	2 a 7 dBm	2 a 7 dBm
Sensibilidad de Rx, Clase N1	-29 a -7 dBm	-29 a -7 dBm
Garantía	2 años	2 años
Confiabilidad	Alta	Alta
Tiempo de respuesta ante fallas	3 horas	2 horas
Presencia en el mercado local	Ha vuelto a incursionar en el mercado ecuatoriano de las telecomunicaciones a partir del 2008. Sus clientes principales son CNT y Claro.	Presente en Ecuador desde el 2002, sus principales clientes son CNT, Claro y Telefónica
Representante local	Si Dirección Oficinas Alcatel-Lucent La Pinta 236 y la Rábida Sector – La Mariscal Telfs (02) 294-0700	Si Dirección Oficinas Huawei: Avenida República del Salvador N34-107 y Suiza - Norte - Quito Telfs. (02) 397-2300
Precio [\$]	350	200

Incluido el 12% de IVA		
------------------------	--	--

**Tabla 3.1-4** Comparación técnica y económica de la ONU

Considerando los datos de la tabla 3.1-4 se puede ver que los dos equipos tienen características similares, en ambos casos se cumple los requerimientos del estándar 10G-PON en cuanto a sensibilidad de recepción. La ONU Huawei posee dos puertos Giga Ethernet más que la ONU ALU y su precio es menor comparado con el de la ONU ALU. Además la ONU Huawei es 100% compatible con la OLT del mismo fabricante seleccionada en el apartado anterior, por lo que se ha determinado que la ONU Huawei es la mejor opción para este proyecto de titulación.



### 3.1.3 Comparación técnica y económica del MDU

El detalle de los requerimientos técnicos mínimos del MDU se encuentra en la sección 2.6.3, en la tabla 3.1-5 se ha realizado un resumen de los mismos.

Compatible con el estándar 10G-PON	Si
Capacidad Mínima de puerto que se conecta al PE	3.2 Gbps en sentido descendente y 150.2 Mbps en sentido ascendente
Tipo de conector del puerto	LC
Tipo de Puertos para conexión de abonados	RJ-45
Tipo de láser	DFB
Tipo de detector	PIN

**Tabla 3.1-5** Requerimientos técnicos mínimos del MDU

La tabla 3.1-6 muestra la comparación técnica y económica de la MDU de los fabricantes ALU y Huawei.

<b>MDU ALU O-08881V-P</b>		
<b>Parámetro</b>		<b>MDU HUAWEI SMARTAX MA5612</b> 
Compatibilidad 10 GPON	Si	Si
Estándar de trabajo	XG-PON 1	XG-PON 1
Puertos GE	1	2
Puertos FE	10	10
Puertos POTS	10	16
Alimentación	AC: 220 V/110 V DC: -48 V	AC: 220 V/110 V DC: -48 V
Potencia de Tx, Clase N1	2 a 7 dBm	2 a 7 dBm
Sensibilidad de Rx, Clase N1	-29 a -7 dBm	-29 a -7 dBm
Garantía	2 años	2 años
Confiabilidad	Alta	Alta
Tiempo de respuesta ante fallas	3 horas	2 horas
Presencia en el mercado local	Ha vuelto a incursionar en el mercado ecuatoriano de las telecomunicaciones a partir del 2008. Sus clientes principales son CNT y Claro.	Presente en Ecuador desde el 2002, sus principales clientes son CNT, Claro y Telefónica
Representante local	Si  Dirección Oficinas Alcatel-Lucent  La Pinta 236 y la Rábida  Sector – La Mariscal	Si  Dirección Oficinas Huawei:  Avenida República del Salvador N34-107 y Suiza - Norte - Quito  Telfs. (02) 397-2300

	Telfs (02) 294-0700	
Precio [\$] Incluido el 12% de IVA	1870	1,747.50

**Tabla 3.1-6** Comparación técnica y económica del MDU



Tal como sucede en el caso de las ONUs, visto en el apartado anterior, los MDUs de los dos fabricantes son similares y cumplen con el estándar 10G-PON en cuanto a sensibilidad de recepción. El MDU de Huawei tiene 6 puertos más para POTS que el MDU ALU, además el precio de éste es inferior comparado con el del MDU ALU. Por lo que considerando el hecho de que la OLT es también Huawei se ha escogido el MDU Huawei para el diseño de este proyecto de titulación.

### 3.2 SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO PASIVO

A continuación se realizará una comparación técnica y económica de todo el equipamiento pasivo de la red.

La información que se describe a continuación ha sido tomada de las hojas técnicas de cada fabricante.

#### a) Patch cord de fibra óptica (3m)<sup>52</sup>

Parámetro	JFOPT	LONG XIN TELECOM
		
ITU G.652	Si	Si
Pérdidas por inserción [dB]	0.2	0.2

<sup>52</sup> Para el caso de este proyecto de titulación se determina que el patch cord de fibra óptica debe ser de 3 metros debido a que el ODF se ubicará sobre la OLT en el CO.

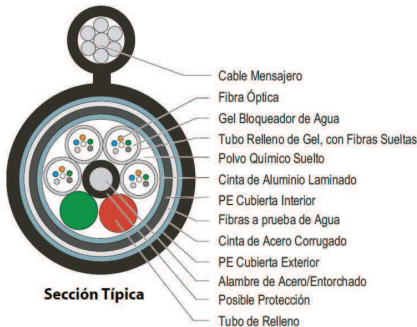
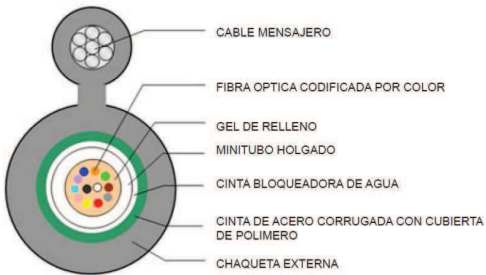
Pérdidas por pulido APC, debidas al conector LC [dB]	60	60
Precio Unitario [\$]	8	8.8

**Tabla 3.2-1** Comparación y técnica y económica del patch cord de fibra óptica

La tabla 3.2-1 muestra las principales características de dos patch cords de fibra óptica de diferentes fabricantes. Ambos tienen características técnicas similares, por lo que para este caso la selección será tomando en cuenta el patch cord que tenga el menor precio, que es el patch cord JFOPT.

*b) Fibra óptica – Cable Figura 8*

En la tabla 3.2-2 se muestra la comparación entre dos fabricantes de cable de fibra óptica figura 8, tomando en cuenta ciertos parámetros que se han considerado de gran importancia para seleccionar el cable más adecuado para el diseño. El cable de fibra óptica figura 8 del fabricante LANPRO está diseñado para soportar vanos de hasta 90 metros, no así, el cable de fibra óptica ESTEC que sólo soporta vanos de hasta 80 metros. A pesar de esta diferencia los dos fabricantes cumplen con la máxima longitud del vano en la red, ya que en el barrio Carcelén Alto 3 D el vano más grande es de 50 metros además de que, ambos tienen características similares, por lo que, el cable que se ha escogido es el LANPRO de 24 hilos.


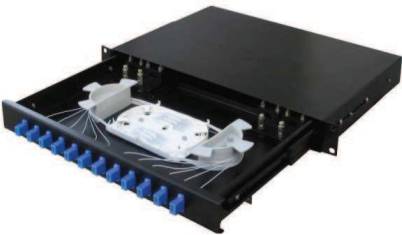
	LANPRO	ESTEC
<b>Parámetro</b>	 <p>Sección Típica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cable Mensajero</li> <li>Fibra Óptica</li> <li>Gel Bloqueador de Agua</li> <li>Tubo Relleno de Gel, con Fibras Sueltas</li> <li>Polvo Químico Suelto</li> <li>Cinta de Aluminio Laminado</li> <li>PE Cubierta Interior</li> <li>Fibras a prueba de Agua</li> <li>Cinta de Acero Corrugado</li> <li>PE Cubierta Exterior</li> <li>Alambre de Acero/Entorchado</li> <li>Possible Protección</li> <li>Tubo de Relleno</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>CABLE MENSAJERO</li> <li>FIBRA OPTICA CODIFICADA POR COLOR</li> <li>GEL DE RELLENO</li> <li>MINITUBO HOLLGADO</li> <li>CINTA BLOQUEADORA DE AGUA</li> <li>CINTA DE ACERO CORRUGADA CON CUBIERTA DE POLIMERO</li> <li>CHAQUETA EXTERNA</li> </ul>
<b>Cantidad de fibras por tubo</b>	6-12	6-12

Compatibilidad	G.652 A, B, C y D	G.652 A, B, C y D
Máximo tamaño del vano [m]	90	80
Precio Cable de 8 hilos [\$/m]	1	1,20
Precio Cable 24 hilos [\$/m]	1,50	1,65

**Tabla 3.2-2** Comparación técnica y económica del cable de fibra óptica

c) ODF (12 puertos)<sup>53</sup>

Analizando los datos de la tabla 3.2-3 se puede ver que la principal diferencia entre los dos fabricantes comparados es que JFOPT ofrece ODFs de hasta 96 puertos, a diferencia del ODF FCST que sólo ofrece ODFs de hasta 48 puertos. Si bien cualquiera de los dos ODFs ofrece las características mínimas requeridas para la red se ha escogido el ODF JFOPT debido a que es el que tiene el menor precio.

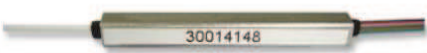

	JFOPT	FCST
<b>Parámetro</b>		
Número de puertos	12/ 24/ 36/ 48/ 72/ 96	12/ 24/ 36/ 48
Tipo de conector	SC, FC, ST, LC	SC, FC, ST, LC
Tipo	Indoor	Indoor
Precio [\$]	150	165

**Tabla 3.2-3** Comparación y técnica y económica del ODF

<sup>53</sup> El ODF debe ser de 12 puertos ya que únicamente se conectarán 4 hilos de fibra óptica desde la OLT hasta el mismo, quedando 8 puertos libres para futuros crecimientos de la red.

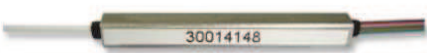



d) *Splitter 1x4*

Parámetro	Huihong Fiber 	Shenzhen Kstcable 
Tipo	PLC, no conectorizado	PLC, no conectorizado
Pérdidas por inserción 1x4 [dB]	7.2 – 7.4	7.2 – 7.4
Precio	100	110

**Tabla 3.2-4** Comparación técnica y económica del splitter 1x4

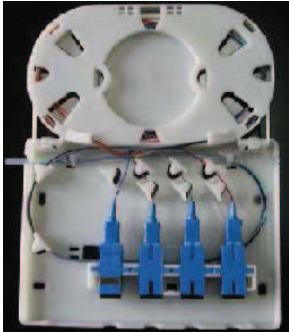
e) *Splitter 1x16*

Parámetro	Huihong Fiber 	Shenzhen Kstcable 
Tipo	PLC, no conectorizado	PLC, no conectorizado
Pérdidas por inserción 1x16 [dB]	13.5 – 13.7	13.5 – 13.7
Precio	160	176

**Tabla 3.2-5** Comparación técnica y económica del splitter 1x16


Las tablas 3.2-4 y 3.2-5 muestran la comparación de los splitters 1x4 y 1x16, para los dos tipos de splitters los fabricantes ofrecen el mismo valor de pérdidas por inserción, esto debido a que éstos son los valores recomendados por el estándar en una red óptica pasiva. Para este caso se ha determinado que tanto el splitter 1x4 como el splitter 1x16 sean Huihong Fiber debido a que en ambos casos cumple con la característica de ser de tipo PLC conectorizado y tienen el menor precio.

f) Caja para alojar fusiones y splitter 1x4

Parámetro	Huihong Fiber	JFOPT
		
Tipo de splitter que soporta	PLC, no conectorizado	PLC, no conectorizado
Tipo de instalación	Outdoor	Outdoor
Máximo número de salidas	4	4
Precio	44	40

**Tabla 3.2-6** Comparación técnica y económica de la caja para alojar fusiones y splitter 1x4



g) Caja para alojar fusiones y splitter 1x16

Parámetro	Huihong Fiber	JFOPT
		
Tipo de splitter que soporta	PLC, no conectorizado	PLC, no conectorizado
Tipo de instalación	Outdoor	Outdoor
Máximo número de salidas	16	16

Precio	88	80
--------	----	----

**Tabla 3.2-7** Comparación técnica y económica de la caja para alojar fusiones y splitter 1x16

h) Caja para alojar fusiones en el edificio del abonado

Parámetro	Huihong Fiber	JFOPT
		
Tipo de instalación	Indoor	Indoor
Máximo número de salidas	2	4
Tipo de Conectores	SC, LC	SC, LC
Precio	22	20

**Tabla 3.2-8** Comparación técnica y económica de la caja para alojar fusiones en el edificio del abonado

Las tablas 3.2-6 y 3.2-7 muestran la comparación técnica y económica de las cajas para almacenar splitters 1x4 y 1x16 respectivamente. En ambos casos las cajas de los dos fabricantes pueden almacenar splitters PLC no conectorizados y soportan el mismo número de salidas que tenga el splitter. La tabla 3.2-8 detalla la comparación de dos cajas para almacenar fusiones en la casa del abonado, este tipo de cajas debe ser indoor y soportar el tipo de conector del patch cord de fibra óptica seleccionado anteriormente. Para las tres tipos de cajas de almacenamiento de fusiones el fabricante escogido fue JFOPT debido a que cumple con las características mínimas para las cajas para almacenamiento de fusiones y ofrece los precios más bajos.

A más del equipamiento detallado en las tablas anteriores para el diseño de la red, es necesario considerar los tipos de herrajes tipo A que se colocarán en los postes. En el apartado 2.6.5.1.2 se detallan todos los componentes del kit de instalación que

requiere cada herraje, el cual al no ser un conjunto de elementos electrónicos no cuenta con un *datasheet* donde se describan sus características, y al ser de fabricación nacional la única referencia que se tiene sobre el mismo es el precio, el cual oscila entre 15 y 17 dólares por poste eléctrico.

### 3.3 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO REFERENCIAL DE LA RED

A continuación se presenta un presupuesto referencial de todos los componentes de la red, el equipamiento activo, el equipamiento pasivo y el valor de la instalación completa de la red por metro de fibra óptica tendida.

#### 1) Equipamiento Activo

La información sobre los precios correspondientes al equipamiento activo de la red fue recopilada en base a conversaciones con las personas del área de ventas de Huawei, en las cuales ellos plantearon precios referenciales y además recalcaron el hecho de que al ser una multinacional no podían entregar este tipo de información tan delicada por escrito a posibles clientes que no se presenten como empresas consolidadas en el ámbito de las telecomunicaciones. En el anexo 3-1 se puede encontrar un brochure de la OLT, el cual fue descargado de la página web del fabricante Huawei.<sup>54</sup>

En la tabla 3.3-1 se presenta el presupuesto referencial para el equipamiento activo.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P. TOTAL
1	OLT Huawei, con 1 tarjeta de 4 puertos 10G-PON	Unidad	1	28,919.88	28,919.88
2	MDU Huawei	Unidad	9	1,537.80	13,840.20
3	ONU Huawei	Unidad	71	176.00	12,496.00
				<b>SUBTOTAL</b>	55,256.08
				<b>IVA (12%)</b>	6,630.73
				<b>TOTAL</b>	61,886.81

**Tabla 3.3-1** Presupuesto referencial para el equipamiento activo

<sup>54</sup> [www.huawei.com](http://www.huawei.com)

## 2) Equipamiento Pasivo

La cotización sobre el equipamiento pasivo se realizó a la empresa Optytech, la duración de la misma es de 15 días laborables. En el anexo 3-2 se encuentra la cotización.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P. TOTAL
1	Patch cord de fibra óptica JFOP - 3 m de largo -G.652 D -LC-SC	Metro	81	8.00	648.00
2	ODF JFOPT -12 puertos	Unidad	1	150.00	150.00
3	Fibra óptica Figura 8 LANPRO - G.652 D - 24 hilos	Metro	15700	1.50	23,550.00
4	Herraje tipo A	Unidad	75	12.00	900.00
5	Cinta Acerada	Metro	150	1.00	150.00
6	Grillete	Unidad	75	0.50	37.50
7	Grapas	Unidad	150	0.30	45.00
8	Spliter Huihong Fiber - 1x4	Unidad	2	100.00	200.00
9	Spliter Huihong Fiber - 1x16	Unidad	8	160.00	1,280.00
10	Caja para alojar fusiones Huihong Fiber -Splitter 1x4	Unidad	2	40.00	80.00
11	Caja para alojar fusiones Huihong Fiber -Splitter 1x16	Unidad	8	80.00	640.00
12	Caja para alojar fusiones, edificio abonado	Unidad	80	20.00	1,600.00
				<b>SUBTOTAL</b>	29,280.50
				<b>IVA (12%)</b>	3,513.66
				<b>TOTAL</b>	32,794.16

**Tabla 3.3-2** Presupuesto referencial para el equipamiento pasivo

## 3) Instalación del cable de fibra óptica

En el anexo 3-3 se encuentra la cotización para la instalación del cable de fibra óptica en el barrio, la misma tiene una validez de 30 días.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. POR METRO	P. TOTAL
1	Instalación de fibra óptica - 3 km de tendido de fibra óptica diarios	15700	0.35	5,495.00
			<b>SUBTOTAL</b>	5,495.00
			<b>IVA (12%)</b>	659.40
			<b>TOTAL</b>	6,154.40

**Tabla 3.3-3** Presupuesto referencial para la instalación del cable de fibra óptica

## 4) Presupuesto de servicios al proveedor

Tal como se señaló en la sección 2.6.1.1 el proveedor de servicios hacia la red es CNT, en la tabla 3.3-4 se muestra el presupuesto referencial de los servicios hacia el proveedor

ITEM	DESCRIPCIÓN	P. MENSUAL	P. TOTAL
1	Capacidad de la red (provista por CNT)	430.00	430.00
2	Alquiler del medio de transmisión (FO)	200.00	200.00
		<b>SUBTOTAL</b>	630.00
		<b>IVA (12%)</b>	75.60
		<b>TOTAL</b>	705.60

**Tabla 3.3-4** Presupuesto referencial de los servicios al proveedor

5) Título habilitante para servicios de Valor Agregado

Por resolución del CONATEL el costo del título habilitante es de 500 dólares.

En la tabla 3.3-5 se muestra el cálculo del presupuesto referencial de la red. Para la OLT sólo se ha considerado el equipo con una tarjeta, debido a que cada tarjeta tiene 4 puertos 10G-PON y para la red únicamente se necesita dos puertos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Equipamiento Activo	61,886.81
2	Equipamiento Pasivo	32,794.16
3	Instalación del cable de fibra óptica	6,154.40
4	Servicios comprados al proveedor	705.60
5	Pago del título habilitante	500.00
<b>TOTAL</b>		<b>10,204,097.00</b>

**Tabla 3.3-5** Presupuesto referencial de la red

Tomando en cuenta el hecho de que no es recomendable hacer un cálculo del presupuesto para todas las viviendas del barrio, sino más bien para las posibles casas que adquieran el servicio, se ha utilizado el porcentaje obtenido luego de la tabulación de la encuesta (sección 2.3) que es igual al 84.1%, de tal manera de que de las 95 viviendas entre casas y edificios que existen en el barrio se ha considerado únicamente 80 viviendas para el cálculo del presupuesto referencial de la red. Se ha establecido que al menos un departamento por edificio y una casa por conjunto residencial estaría interesado en acceder a los servicios de la red, por lo que se han considerado las 9 estructuras del barrio entre edificios y conjuntos residenciales, para completar las 80 posibles viviendas se ha determinado que las 71 sobrantes serán casas. Por lo tanto para el cálculo del presupuesto referencial se estableció una cantidad total de 9 MDUs y 71 ONUs.

Debido a que las posibles viviendas interesadas en acceder a los servicios de la red se encuentran dispersos en el barrio, se ha considerado que se tienda la fibra óptica desde la OLT hasta los splitters de primer y segundo nivel.



## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El estándar 10G-PON fue desarrollado principalmente para ofrecer mayor capacidad tanto en sentido ascendente como en sentidos descendente comparado con el estándar G-PON que es el estándar antecesor a éste, definido por la UIT. Además tiene como premisa permitir la interoperabilidad con el estándar G-PON, para lo cual, ha sido diseñado para trabajar en las bandas de guarda de G-PON. La co-existencia de los dos estándares debe realizarse de una manera totalmente imperceptible para el usuario final.
- ✓ La capacidad calculada para la red se ha realizado tomando en cuenta que los abonados requerían los tres servicios de telecomunicaciones al mismo tiempo, si existiera el caso de que un abonado requiere mayor capacidad para algún servicio, por ejemplo el servicio de Internet la capacidad calculada soportaría ya que se ha diseñado estableciendo que no todos los usuarios se conectarán al mismo tiempo, por otro lado, en la OLT se tienen dos puertos 10G-PON libres para ser utilizados.
- ✓ La tecnología FTTx permite que el cable de fibra óptica llegue lo más cerca posible al usuario final, tomando en cuenta las diferentes formas de rutas que existen dependiendo de la arquitectura de las edificaciones donde se encuentren los usuarios, se ha seleccionado para este proyecto de titulación, como medio de transmisión cable de fibra óptica monomodo aéreo tipo figura 8 bajo la norma G.652 D, ya que este tipo de cable trabaja en los rangos de frecuencia de operación del estándar 10G-PON.

- ✓ Para el diseño propuesto se ha considerado splitters de dos niveles y centralizados, de tal manera que cada usuario de la red vea la misma cantidad de splitters, y sea así, más sencilla la administración de cada abonado. Por otro lado se ha dejado un puerto de cada uno de los splitters de 1 a 4 libre, para futuros crecimientos de la red.
- ✓ Todos los splitters que se han planteado en el diseño actual son de tipo no conectorizados, esto debido a que la atenuación que se genera por un empalme de fibra óptica es menor a la atenuación que se tendría si se utiliza conectores ópticos. Los 8 splitters además, son de tipo PLC, lo que garantiza que el splitter soporte un mayor número de divisiones ópticas para el caso del splitter de 1 a 16.
- ✓ El cable de fibra óptica para la conexión desde el ODF ubicado en la OLT y la caja de almacenamiento de empalmes en la casa del abonado se ha determinado que sea figura 8 ya que éste soporta vanos de hasta 100 metros, y en el barrio el vano más largo es de 50 metros, además puede tener de 2 a 48 hilos por cable y en el diseño de la red plantea que máximo se ocuparán 24 hilos de fibra óptica.
- ✓ El tendido del cable de fibra óptica figura 8 en la red de cableado eléctrico no requiere de la utilización herrajes especiales para asegurarse en los postes eléctricos, los herrajes tipo A que se necesitan para este tipo de cable son también menos costosos que los herrajes que se utilizarían para otros tipos de cables de fibra óptica que también se podrían utilizar como el ADSS.
- ✓ Los patch cords de fibra óptica para la conexión desde la OLT al ODF y desde la caja de almacenamiento de empalmes a la ONU deben tener terminaciones LC-SC y pulido APC. El conector LC es el que se enganchará a la OLT, ya que ésta utiliza SFPs ópticos LC, para el otro lado del patch cord se requiere que el conector sea SC ya que éste es más idóneo para aplicaciones de

televisión. Los dos tipos de conectores deben tener pulido APC pues este tipo de pulido al no ser plano, permite que se genere una menor reflexión de la luz y por ende soporta mayores capacidades de datos.

- ✓ El presupuesto de potencia ha sido calculado considerando un margen de seguridad de 3dB, lo que garantiza, que la potencia de transmisión llegue al lado de la recepción siempre y cuando la pérdida total calculada esté dentro del rango de operación dictada por el estándar, para el caso actual sí se cumple que la atenuación de la ONU más lejana, para las dos longitudes de onda en las que opera, es menor a 29 dB que es lo que recomienda el estándar 10G-PON.
- ✓ El valor total obtenido en el presupuesto referencial se ha calculado considerando que la red que se está diseñado es totalmente nueva, y es necesario instalar todo el equipamiento de la red, tanto el activo como el pasivo.
- ✓ Se debe considerar también el posible crecimiento de la red, el cual se podría realizar sin ningún inconveniente ya que en la tarjeta 10G-PON de la OLT se encuentran disponibles 2 puertos para conexiones de 64 usuarios cada uno; además se ha dejado cuatro salidas libres en cada uno de los splitters de primer de segundo nivel (1:16).

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Tratar de buscar una topología de red centralizada y homogénea es un beneficio, tanto para la administración y mantenimiento de la red así como para el cálculo del presupuesto de potencias, pues todos los usuarios de la red verán la misma cantidad de splitters. Calcular las pérdidas de potencia para el usuario más lejano garantiza que la señal de transmisión llegará a todos los usuarios de la red. Realizar el mismo cálculo para el usuario más

cercano asegurará que ninguna ONU sufra de algún daño debido a que reciba señales mayores a la sensibilidad máxima de recepción del equipo.

- ✓ Para la selección del equipamiento pasivo de la red se tiene una gran variedad de productos que se comercializan en el mercado, para el caso específico de las cajas de almacenamiento de empalmes y las cajas de almacenamiento de splitters es necesario tomar en cuenta el tamaño de la caja, el cual debe ser acorde con el tamaño del splitter, y el diámetro del orificio por donde se realiza el ingreso y la salida del cable de fibra óptica.
- ✓ Para la selección del proveedor de servicios de telecomunicaciones es importante considerar que éste, ofrezca el servicio requerido en la misma área de cobertura en donde se plantea el diseño de la red y además que suministre la capacidad de datos calculada en el diseño de la red.
- ✓ En la selección del equipamiento activo, se debe asegurar que los equipos seleccionados cumplan con los requerimientos mínimos planteados en el diseño de la red, pero además se debe tomar en cuenta el tiempo de garantía que ofrecen los fabricantes sobre los equipos.
- ✓ El estándar 10G-PON se encuentra todavía en desarrollo, es así que únicamente se ha aprobado los requerimientos de capa física para la versión XG-PON 1 y no para la versión XG-PON2 por lo que puede ser importante estar al tanto de los cambios que se vayan realizado sobre mismo, más que nada, en cuanto al aumento de la capacidad soportada, los niveles de potencia de los equipos activos y la atenuación recomendada para la red óptica pasiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Direcciones Electrónicas

- [1] [http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/OPTOPDF7\\_archivos/UNIDAD7TEMA1.pdf](http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/OPTOPDF7_archivos/UNIDAD7TEMA1.pdf), 15 de marzo del 2011
- [4] [http://www.iupuebla.com/Maestrias/MT/material\\_del\\_prof/fibras%20opticas\\_2.pdf](http://www.iupuebla.com/Maestrias/MT/material_del_prof/fibras%20opticas_2.pdf), 15 de marzo del 2011
- [5] <http://orbita.starmedia.com/fortiz/ConceptosBasicos/Tema04.htm>, 20 de marzo del 2011
- [7] [http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2\\_1\\_1.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_1.htm), 20 de marzo del 2011
- [8] <http://www.mistelcomunicaciones.com/Descargas/TALLER%20DE%20FIBRA%20OPTICA.pdf>, 20 de marzo del 2011
- [9] <http://proyredes.blogspot.com/2008/07/tipos-de-fibra-ptica.html>, 20 de marzo del 2011
- [10] <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/optral/cap2/fibra-7.htm>, 20 de marzo del 2011
- [11] <http://www.fibra-optica.org/productos-fibra-optica/fibra-optica-estandard/productos-estandard.asp>, 20 de marzo del 2011
- [12] <http://www.adecomm.com/catalogos2010/2.pdf>, 23 de marzo del 2011
- [13] <http://www.tfo.upm.es/docencia/2009-10/LCOP/LIBRO/Fundamentos.pdf>, 23 de marzo del 2011
- [14] [www.revistadeciencias.com/03diaspora2010articulo2gonzalezlaserescomunicaciones.doc](http://www.revistadeciencias.com/03diaspora2010articulo2gonzalezlaserescomunicaciones.doc), 23 de marzo del 2011
- [15] [comunicacionesopticas.files.wordpress.com/.../receptores-opticos-informe.doc](http://comunicacionesopticas.files.wordpress.com/.../receptores-opticos-informe.doc), 23 de marzo del 2011

- [16] <http://www.ieee.org.ar/downloads/2008-simoni-fibras.pdf>, 25 de marzo del 2011
- [18] <http://www.fabila.com/noticia.asp?id=672>, 25 de marzo del 2011
- [19] <http://sx-de-tx.wikispaces.com/FTTx+-+xPON>, 25 de marzo del 2011
- [22] <http://www.taringa.net/posts/info/3908639/fttx---g-pon.html>, 25 de marzo del 2011
- [23] <http://www.fttxtra.com/ftth/three-fundamental-architectures-for-ftth/>, 25 de marzo del 2011
- [25] [http://es.wikitel.info/wiki/UA-Redes\\_PON\\_GPON\\_derivados](http://es.wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_GPON_derivados), 25 de marzo del 2011
- [28] <http://www.fttxtra.com/ftth/pon/10g-epon-in-200-words-and-one-diagram/>, 25 de marzo del 2011
- [29] <http://en.wikipedia.org/wiki/10G-PON>, 30 de marzo del 2011
- [34] [http://www.elosiodelosantos.com/calculadoras/tamanyio\\_muestra.htm](http://www.elosiodelosantos.com/calculadoras/tamanyio_muestra.htm), 30 de agosto del 2011
- [35] [http://www.icf.at/en/6000/how\\_much\\_bandwidth.html](http://www.icf.at/en/6000/how_much_bandwidth.html), 22 de agosto del 2011
- [37] [http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/index.php?view=article&catid=280%3Aestadisticas-servicio-de-valor-agregado&id=766%3Aservicios-de-valor-agregado&option=com\\_content&Itemid=453](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?view=article&catid=280%3Aestadisticas-servicio-de-valor-agregado&id=766%3Aservicios-de-valor-agregado&option=com_content&Itemid=453), 22 de agosto del 2011
- [38] <http://en.wikipedia.org/wiki/ISDB-Tb>, 20 de octubre del 2011
- [39] [http://albertllongueras.cat/albert\\_universitat/Telecos/Projecte/IPTv.pdf](http://albertllongueras.cat/albert_universitat/Telecos/Projecte/IPTv.pdf), 20 de octubre del 2011
- [40] <http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/TUTORIAL%209%20Lattanzi%20y%20Graf-%20IEEE.pdf>, 20 de octubre del 2011
- [41] [http://wikitel.info/wiki/UA-Redes\\_PON\\_Instalacion](http://wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_Instalacion), 22 de octubre del 2011

[42] <http://www.marga.com.ar/~marga/6677/tp2/tp2-redes-fibra.pdf>, 04 de abril del 2012

[45] <http://trajano.us.es/~rafa/ARSS/apuntes/tema6.pdf>, 04 de abril del 2012

[46] [http://www.icf.at/en/6000/how\\_much\\_bandwidth.html](http://www.icf.at/en/6000/how_much_bandwidth.html), 15 de mayo del 2012

[50] <http://www.huihongfiber.com/>, 15 de mayo el 2012

[51] <http://www.fibraoptica hoy.com>, 18 de mayo del 2012

[52] <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8560/1/T%2011227%20CAPITULO%2003.pdf>, 20 de mayo del 2012

### **Libros**

[2] J. A. Martín, “Sistemas y Redes de Comunicaciones Ópticas”, Ed. Madrid, España: Pearson Educación S.A., 2004

[3] M. C. España, “COMUNICACIONES ÓPTICAS CONCEPTOS ESENCIALES Y RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS”, Ed. Madrid, España: Díaz de Santos S.A., 2005

[6] B. Rubio, “Introducción a la INGENIERÍA DE LA FIBRA ÓPTICA”, Ed EU: ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA, 1994

[17] M. Faúndez, “Sistemas de Comunicaciones”, Ed. Madrid, España: MARCOMBO S.A., 2001

[49] R. Barragán, “Diseño de Redes de Fibra Óptica”, Ed. Quito, Ecuador: Impresiones Independientes, 2011

[53] D. Hood, T. Elmar, “GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS”, Ed. New Jersey: Wiley, 2012

### **Artículos Técnicos**

[24] J.S. Guevara, “TECNOLOGÍAS DE REDES PON”, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia

[27] S. Ashfaq, “10G EPON – Unleashing the Bandwidht Potential”, ZTE, China, 2009

### **Estándares**

[30] Series G: transmission systems and media, digital systems and networks Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks, 10-Gigabit-capable passive optical network (XGPON) systems: Definitions, Abbreviations, and Acronyms, ITU-T G.987, 2010

[31] Series G: transmission systems and media, digital systems and networks Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks, 10 Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON): General Requirements, ITU-T G.987.1, 2010

[32] Series G: transmission systems and media, digital systems and networks Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks, 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification, ITU-T G.987.2, 2010

[33] Series G: transmission systems and media, digital systems and networks Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks, 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) layer specification, ITU-T G.987.3, 2010

### **Proyectos de Titulación**

[20] D. P. Pabón, “Diseño de una red de acceso GPON para promover servicios triple play (TV, internet y telefonía) en el sector de la Carolina a través del Grupo TVCable”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.

[21] J. L. Vásquez, “Estudio de las redes ópticas pasivas de banda ancha (BPON) y sus posibles aplicaciones en el país”. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.



- [26] M. M. Albuja, “Estudio de las tecnologías EPON (*Ethernet Passive Optical Networks*)/GEPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Networks*) como tecnologías de última milla para el transporte de voz, datos y video, aplicado a una zona residencial del Distrito Metropolitano de Quito”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [36] S. A. Quishpe, N. S. Vinueza, “Estudio de factibilidad de una red de acceso para servicios triple play en el sector central de la ciudad de Ibarra, mediante la combinación de tecnologías FTTX (Fiber To The Home)”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador , 2010.
- [43] J. F. Chacha, “Estudio de la Tecnología Ethernet sobre SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y pruebas de canalización utilizando multiplexores HIT7070, para el proyecto Quito-Guayaquil de la red de Transelectric S.A.”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [44] L.O. Rivera Pastrano, C.F. Zapata, “Diseño de una Red de Acceso para brindar servicios Triple Play con tecnología GPON y WIMAX en el cantón Pedro Vicente Maldonado para la empresa Saturno TV”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011.
- [47] M. F. Falconí, L. S. Rodríguez García, “Análisis de la Red IP/MPLS de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, basado en la norma ISO/IEC 27005 y propuesta de mejoramiento del control de acceso a la administración de sus dispositivos”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012.
- [48] Y. P. Ayala Santacruz, “Diseño y Simulación de una red de acceso EPON (*Ethernet Pasive Optical Network*) para servicios triple play (video, voz y datos) para el sector de “La Mariscal”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011

## **ANEXOS**