REPÚBLICA DEL ECUADOR
Escuela Politécnica Nacional
"E SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.

- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.

- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 10G-PON PARA EL SECTOR DE LA MARISCAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

LUIS FERNANDO POZO SUNTA

KEVIN ANDRÉS ZURITA ZURITA

DIRECTOR: MSc. ANDRÉS UTRERAS

CODIRECTOR: MSc. RICARDO LLUGSI

Quito, febrero 2019

DECLARACIÓN

Nosotros, Luis Fernando Pozo Sunta y Kevin Andrés Zurita Zurita, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros 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.

Luis Pozo	Kevin Zurita

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Fernando Pozo Sunta y Kevin Andrés Zurita Zurita, bajo nuestra supervisión.

MSc. Andrés Utreras
DIRECTOR DEL PROYECTO

MSc. Ricardo Llugsi
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para salir adelante y sobreponerme ante las adversidades.

Agradezco a mi familia, a mis tíos, primos por su apoyo en todo este tiempo y en especial a mi querida madre por toda su entrega y sacrificio.

Agradezco a los profesores de la Escuela Politécnica Nacional por los conocimientos recibidos.

Agradezco a mi director y codirector por su colaboración en el presente trabajo.

Kevin Zurita.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado la capacidad y la fuerza para salir adelante y culminar el presente proyecto.

Agradezco a mi querida familia, por su apoyo en todo este tiempo y en especial a mi madre Anita, a mi abuelita Emmita, a mi tío Hernán que en paz descanse, a mi primo Hernán, a mi amada esposa Gaby y a mis hermosos hijos por el sacrificio y apoyo brindado.

Agradezco a todos los profesores de la Escuela Politécnica Nacional por la paciencia y por los conocimientos brindados.

Agradezco de manera especial al director y al codirector por su colaboración en el presente trabajo.

Luis Pozo.

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre por su entrega, sacrificio, todos sus consejos y enseñanzas que me formaron durante mi vida. Por confiar siempre en mí y estar siempre conmigo en las buenas y malas.

Gracias mami

Kevin Zurita.

DEDICATORIA

A mi madre por todo el apoyo y la paciencia brindados durante todo este tiempo, a mi abuelita por sus consejos y ayuda y para mi esposa Alicia Gabriela e hijos Fernando David y Martín Sebastián por estar siempre conmigo en las buenas y las malas.

Luis Pozo.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 1
1.1 REDES PON 1
1.1.1 DEFINICIÓN 1
1.1.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN 2
1.1.3 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA RED PON 5
1.1.4 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS 7
1.1.4.1 Costos 8
1.1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE FTTx 8
1.1.6 TDM-PON vs WDM-PON 11
1.1.7 TRANSMISIÓN BIDIRECCIONAL 12
1.1.7.1 Uso de una Fibra y Dos Fibras en la Transmisión Bidireccional 12
1.1.7.2 Una fibra en la comunicación *Full Dúplex* 13
1.1.7.3 *Time Division Duplex* 14
1.1.8 ESTRATEGIAS DE DIVISIÓN DE POTENCIA EN TDM-PON 14
1.1.8.1 Arquitecturas de división de potencia 14
1.1.8.2 Relación de División de Potencia 15
1.1.9 ESTÁNDAR COMERCIAL PARA LA INFRAESTRUCTURA TMD-PON 16
1.1.9.1 Estructuras OLT y ONT 18
1.2 ESTÁNDARES XPON 20
1.2.1 APON 20
1.2.2 BPON 21
1.2.3 EPON 22
1.2.4 GPON 23
1.2.5 GEPON 24
1.2.6 10G EPON (10 Gbit/s *Ethernet Passive Optical Network*) 25
1.2.6.1 Coexistencia EPON – 10G EPON 26
1.2.7 COMPARACIÓN DE LAS REDES XPON 26

CAPÍTULO 2 28
2.1 ANÁLISIS PREVIO PARA EL DISEÑO DE LA RED 10G-PON 28
2.1.1 ESTÁNDARES DE LA RED XG-PON 28
2.1.1.1 G.987.1: *10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK* 28

2.1.1.1.1 Arquitectura de la red óptica de acceso 29
2.1.1.1.2 Longitudes de onda de G-PON y XG-PON 29
2.1.1.1.3 Estructura de capas para redes con tecnología XG-PON 29
2.1.1.1.4 Escenarios para una migración G-PON a XG-PON 29
2.1.1.1.5 Requerimientos de la capa física de 10G-PON.....30
2.1.1.2 Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA).....31
2.1.2 G.987.2: *10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS* 37
2.1.3 G.987.3: *10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks*: Capa TC.....38
2.1.3.1 Capa XGTC.....38
2.1.3.2 Arquitectura de Multiplexación por División de Tiempo.....47
2.1.3.3. Identificador de ONT (ONT-ID).....48
2.1.3.4 Identificador de Asignación (ALLOC-ID).....49
2.1.3.5 Identificador de Puerto XGEM (XGEM Port-ID).....49
2.1.3.6 Control de acceso al medio 50
2.1.3.7 Activación de la ONT.....50
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA RED 51
2.2.1 OLT 51
2.2.2 ONT (*OPTICAL NEWORK TERMINAL*).....53
2.3 FIBRA ÓPTICA 55
2.3.1 COMPOSICIÓN Y GEOMETRÍA DE LA FIBRA ÓPTICA.....55
2.3.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....56
2.3.3 TIPOS DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA PARA XGPON.....57
2.3.3.1 Cable de fibra óptica aéreo ADSS.....57
2.3.3.2 Cable de fibra óptica OPGW (*Optical Ground Wire*).....58
2.3.3.3 Cable de fibra óptica aéreo Figura 8 59
2.3.3.4 Cable de fibra óptica con armadura para instalaciones subterráneas.....59
2.3.3.4.1 Canalizado Antiroedores 59
2.3.3.4.2 Canalizado Directamente Enterrado.....60
2.3.3.4.3 Canalizado para Cabinas Telefónicas.....60
2.3.3.5 Loose Tube (Cable de estructura holgada) 61
2.3.3.6 Tight Buffer (Cable de estructura ajustada).....61
2.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA 62
2.3.4.1 Ventajas 62
2.3.4.2 Desventajas.....63

2.3.4.2.1 Dispersión Modal....64
2.3.4.2.2 Dispersión por Polarización de Modo....64
2.3.4.2.3 Dispersión Cromática....65
2.3.4.2.4 Pérdidas por Absorción....66
2.3.4.2.5 Pérdidas por Scattering....66
2.3.4.2.6 Pérdidas por Empalmes....68
2.3.4.3 Dispositivos que integran una red de Fibra Óptica....68
2.3.4.3.1 Splitters....68
2.3.4.3.2 Tipos de Splitters....69
2.3.4.3.3 Conectores de Fibra Óptica....69
2.3.4.3.4 Empalmes en la Fibra Óptica....71
2.4 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA RED....71
2.5 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR LA MARISCAL....73
2.6 DELIMITACIÓN DEL SECTOR LA MARISCAL....74
2.7 POBLACIÓN Y MUESTRA....78
2.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS....79
2.8.1 Características de los servicios que poseen los encuestados....79
2.8.2 Plan de servicio con el que cuentan los encuestados....80
2.8.3 Contratación de varios paquetes a un mismo proveedor....81
2.8.4 Grado de satisfacción con los servicios brindados por el proveedor....83
2.8.5 Actividad realizada por el usuario del servicio....84
2.8.6 Grado de interés de los usuarios por acceder a una mejora del servicio....85

CAPÍTULO 3....87
3.1 DISEÑO DE LA RED 10G-PON EN EL SECTOR DE LA MARISCAL....87
3.1.1 CAPACIDAD REQUERIDA EN LA RED....87
3.1.1.1 Telefonía, Internet, Televisión en Alta Definición....87
3.2 TOPOLOGÍA DE LA RED....96
3.3 TECNOLOGÍA PON SELECCIONADA....98
3.4 EQUIPAMIENTO A UTILIZAR EN EL DISEÑO DE LA RED....100
3.4.1 EQUIPAMIENTO ACTIVO....100
3.4.1.1 OLT....100
3.4.1.2 ONT....104
3.4.2 EQUIPAMIENTO PASIVO....106

3.4.2.1 Power Splitters 107
3.4.2.2 Cajetín para interconexión Usuario – Planta Externa 108
3.4.2.3 Medio de Transmisión 110
3.4.2.4 Tipo de tendido a utilizar 110
3.4.3 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE FIBRA ÓPTICA. 111
3.4.4 DETERMINACIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA DEL EQUIPO 119
3.4.4.1 Elección de elementos pasivos. 121
3.4.5 PRESUPUESTO REFERENCIAL. 125
3.4.6 PRESUPUESTO DE POTENCIA. 127
3.4.6.1 Caso de la ONT más cercana 128
3.4.6.2 Caso de la ONT más lejana 129

CAPÍTULO 4 134
4.1 SIMULACIÓN DEL DISEÑO PARA LA RED 10G-PON. 134
4.1.1 SOFTWARE A UTILIZAR 134
4.1.1.1 OPTISYSTEM 134
4.1.1.2 Espacio de trabajo 135
4.1.1.3 Abrir y guardar un nuevo proyecto en el OPTISYSTEM. 136
4.1.1.4 Construir un sistema 137
4.1.1.5 Procedimiento para la simulación del sistema 141
4.1.1.6 Metodología para el análisis de resultados 143
4.2 SIMULACIÓN DE LA RED 144
4.2.1 ESQUEMA DE LA RED A SIMULAR 144
4.2.1.1 OLT 146
4.2.1.2 ONT 150
4.2.1.3 Elementos de Red Pasivos 152
4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN 152

CAPÍTULO 5 163
5.1 CONCLUSIONES 163
5.2 RECOMENDACIONES 165

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 167
ANEXOS 169

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Recomendaciones G.983.....3
TABLA 1.2 Ancho de banda aplicación QoS.....7
TABLA 1.3 Comparación entre BPON, EPON y GPON.....27
TABLA 2.1 Requerimientos de una Red 10G-PON.....30
TABLA 2.2 Principales requerimientos de la capa PMD.....38
TABLA 2.3 Identificador de ONT (ONT-ID).....48
TABLA 2.4 Identificador de puerto XGEM.....49
TABLA 2.5 Tipos de Fibra Óptica.....57
TABLA 2.6 Población zona La Mariscal de Quito, Censo 2010.....74
TABLA 2.7 Puntos de interés en La Mariscal.....76
TABLA 2.8 Porcentaje de servicios en La Mariscal, Quito.....79
TABLA 2.9 Plan de servicios de los encuestados.....81
TABLA 2.10 Usuarios que cuentan/no cuentan con servicios.....82
TABLA 2.11 Grado de satisfacción de los clientes.....83
TABLA 2.12 Actividad realizada por el usuario.....84
TABLA 2.13 Interés por acceder a mejoras.....85
TABLA 3.1 Porcentaje de crecimiento de cuentas.....90
TABLA 3.2 Porcentaje de crecimiento en los próximos 5 años.....91
TABLA 3.3 Capacidad requerida para sistemas de TV Digital.....92
TABLA 3.4 Capacidad requerida para la red residencial.....92
TABLA 3.5 Capacidad requerida para la red comercial.....93
TABLA 3.6 Clientes residenciales interesados por paquete.....94
TABLA 3.7 Clientes interesados mismo proveedor.....94
TABLA 3.8 Clientes residenciales proyectados.....94
TABLA 3.9 Cálculo año a futuro de la capacidad residencial.....96
TABLA 3.10 Cálculo año a año de la capacidad comercial.....96
TABLA 3.11 Nivel de espliteo de las tecnologías PON.....99
TABLA 3.12 Diferencia entre las características PON.....99
TABLA 3.13 Especificaciones MA5800.....101
TABLA 3.14 Requerimientos mínimos para el funcionamiento.....105

TABLA 3.15 Especificaciones HN8055Q 106
TABLA 3.16 Pérdidas por nivel de división de potencia 107
TABLA 3.17 Tipos de fibra óptica monomodo 110
TABLA 3.18 Total de fibra óptica a utilizar. 118
TABLA 3.19 Características técnicas de OLTs 120
TABLA 3.20 Precio de la ONT 121
TABLA 3.21 Características técnicas de los ODFs 122
TABLA 3.22 Características técnicas de los splitters 124
TABLA 3.23 Características técnicas de una caja terminal 125
TABLA 3.24 Presupuesto referencial para el proyecto.....127
TABLA 3.25 Pérdidas para el estándar 10G-PON. 128
TABLA 3.26 Atenuación ont más cercana en 1310 nm. 129
TABLA 3.27 Atenuación ont más lejana en 1310 nm. 130
TABLA 4.1 Especificaciones necesarias para Optisystem. 135

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Componentes de una Red PON. 6
FIGURA 1.2 Arquitecturas FTTX 9
FIGURA 1.3 Alternativas De FTTX.....11
FIGURA 1.4 Arquitectura de (a) TDM-PON y (b) WDM-PON.....12
FIGURA 1.5 (a) Sistema de una sola fibra y (b) Crosstalk. 14
FIGURA 1.6 Estrategias de Splitteo en TDM-PON. 15
FIGURA 1.7 Arquitectura de una estructura TDM-PON. 17
FIGURA 1.8 Estructura de una OLT.....19
FIGURA 1.9 Estructura de una ONT. 19
FIGURA 1.10 Arquitectura APON. 21
FIGURA 1.11 Arquitectura EPON 22
FIGURA 1.12 Arquitectura GPON 24
FIGURA 1.13 Arquitectura GEPON 25
FIGURA 1.14 Coexistencia entre EPON y 10G EPON 26
FIGURA 2.1 Operación del SR (Status Reporting).....36
FIGURA 2.2 Principio de trabajo de DBA.....37
FIGURA 2.3 Estructura de subcapas 39
FIGURA 2.4 Distribución de una trama XGEM.....40
FIGURA 2.5 Entramado XGTC descendente 44
FIGURA 2.6 Entramado XGTC ascendente 44
FIGURA 2.7 Trama PHY descendente.....46
FIGURA 2.8 Tramas y ráfagas PHY ascendentes 46
FIGURA 2.9 Estructura de una OLT.....52
FIGURA 2.10 Esquema de conexión OLT – ONT. 55
FIGURA 2.11 Sección de una fibra monomodo. 57
FIGURA 2.12 Propagación del haz de luz a través de una fibra monomodo. 57
FIGURA 2.13 Propagación del haz de luz a través de una fibra multimodo.....57
FIGURA 2.14 Cable aéreo ADSS componentes 58
FIGURA 2.15 Fibra Óptica OPGW 59
FIGURA 2.16 Cable Aéreo Figura 8 Componentes.....59
FIGURA 2.17 Cable Canalizado Antiroedores Componentes. 60

FIGURA 2.18 Cable Canalizado D 60
FIGURA 2.19 Cable Canalizado para Cabinas Telefónicas 61
FIGURA 2.20 Fibra Loose Tube Componentes.....61
FIGURA 2.21 Fibra Tight Buffer Componentes 62
FIGURA 2.22 Distintos Modos 64
FIGURA 2.23 Dispersión por polarización.....64
FIGURA 2.24 Pérdidas por *scattering* 67
FIGURA 2.25 Pérdida por micro curvatura.....67
FIGURA 2.26 Pérdida por macro curvatura 68
FIGURA 2.27 Pérdidas que presenta la fibra óptica.....68
FIGURA 2.28 Tipos de conector para fibra óptica.....70
FIGURA 2.29 Tipos de conector para fibra óptica.....71
FIGURA 2.30 Esquema general de una red PON 72
FIGURA 2.31 Delimitación del área para el diseño de la red. 77
FIGURA 2.32 Porcentaje de servicios en La Mariscal.....80
FIGURA 2.33 Plan de servicios de los encuestados 81
FIGURA 2.34 Porcentaje de usuarios con servicios.....82
FIGURA 2.35 Usuarios no cuentan con servicios contratados.....83
FIGURA 2.36 Grado de satisfacción de los usuarios. 84
FIGURA 2.37 Actividad realizada por el usuario 85
FIGURA 2.38 Interés de los usuarios por una mejora.....86
FIGURA 3.1 Participación de las empresas en el mercado. 89
FIGURA 3.2 Porcentaje de cuentas de Internet 90
FIGURA 3.3 Porcentaje de cuentas de Internet 91
FIGURA 3.4 Topología de Red GPON.....97
FIGURA 3.5 Subida de datos mediante TDMA 98
FIGURA 3.6 Descarga de datos mediante *Broadcast* 98
FIGURA 3.7 Equipo OLT MA5800 HUAWEI 101
FIGURA 3.8 Tarjeta de *uplink* y control H901MPLB.....102
FIGURA 3.9 Tarjeta de energía PRTE 103
FIGURA 3.10 Tarjeta de servicio H901XGSF……103
FIGURA 3.11 Conector SC-PC 103
FIGURA 3.12 Equipo ONT HN8055Q 105

FIGURA 3.13 Cajetín de planta externa 109
FIGURA 3.14 Cajetín de planta externa partes 109
FIGURA 3.15 Distribución de zonas.....112
FIGURA 3.16 Distribución de zonas, distancias para cálculos.....113
FIGURA 3.17 ZONA 1.....113
FIGURA 3.18 ZONA 2.....115
FIGURA 3.19 ZONA 3.....116
FIGURA 3.20 ZONA 4.....117
FIGURA 3.21 ZONA 5.....118
FIGURA 3.22 Rack de ODF TYCO 122
FIGURA 3.23 Cable Canalizado Componentes. 123
FIGURA 3.24 Elementos de Red ONT más cercana. 128
FIGURA 3.25 Elementos de Red ONT más lejana.....130
FIGURA 3.26 Plano de distribución, ZONA 1.....132
FIGURA 3.27 Plano de dispersión, ZONA 1.....133
FIGURA 4.1 Espacio de trabajo del Optisystem.....136
FIGURA 4.2 Abrir y guardar un nuevo proyecto.....137
FIGURA 4.3 Herramienta autoconnect on Drop. 138
FIGURA 4.4 Herramienta autoconnect on Move. 138
FIGURA 4.5 Componentes para un sistema sencillo. 139
FIGURA 4.6 Elementos de visualización del sistema.....140
FIGURA 4.7 Parámetros internos de un componte insertado. 141
FIGURA 4.8 Parámetros de simulación. 143
FIGURA 4.9 Resultados obtenidos de una simulación.....144
FIGURA 4.10 Esquema de la red a simular. 145
FIGURA 4.11 Bloques de la OLT. 146
FIGURA 4.12 Subsistemas del transmisor de la OLT. 146
FIGURA 4.13 Elementos del transmisor de OLT de voz y datos.....147
FIGURA 4.14 Elementos del transmisor de OLT de video. 148
FIGURA 4.15 Elementos del receptor de OLT. 149
FIGURA 4.16 Elementos de la ONT.....150
FIGURA 4.17 TX ONT.....151
FIGURA 4.18 Subsistema RX ONT para datos.....151

FIGURA 4.19 Subsistema RX ONT para video 152
FIGURA 4.20 Potencia a la salida de la OLT. 153
FIGURA 4.21 Analizador de espectro a la salida de la OLT. 153
FIGURA 4.22 Osciloscopio a la salida de la OLT. 154
FIGURA 4.23 Configuración del bloque de fibra óptica. 154
FIGURA 4.24 Analizador de espectros entrada fibra óptica. 155
FIGURA 4.25 Parámetros para configurar prueba de Raman. 156
FIGURA 4.26 Gráficas de la prueba de Raman. 156
FIGURA 4.27 Gráficas de la curva L-I. 157
FIGURA 4.28 Esquema para la ONT más cercana. 158
FIGURA 4.29 Resultados BER para la ONT más cercana. 158
FIGURA 4.30 Diagrama de ojo para la ONT más cercana. 158
FIGURA 4.31 Potencia recibida en la ONT más cercana. 159
FIGURA 4.32 Esquema para la ONT más lejana. 160
FIGURA 4.33 Resultados BER para la ONT más lejana. 160
FIGURA 4.34 Diagrama de ojo para la ONT más lejana. 161
FIGURA 4.35 Potencia recibida en la ONT más lejana. 161

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1.1 Pérdida de división ideal para un divisor 1: N 16
ECUACIÓN 2.1 Población y muestra 78
ECUACIÓN 3.1 Capacidad sector comercial bajada 95
ECUACIÓN 3.2 Capacidad sector comercial subida 95
ECUACIÓN 3.3 Capacidad sector residencial bajada 95
ECUACIÓN 3.4 Capacidad sector residencial subida 95
ECUACIÓN 3.5 Cálculo para distancia de fibra optica 114
ECUACIÓN 3.6 Cálculo para distancia de fibra optica ZONA 2 115
ECUACIÓN 3.7 Cálculo para distancia de fibra optica ZONA 3 116
ECUACIÓN 3.8 Cálculo para distancia de fibra optica ZONA 4 117
ECUACIÓN 3.9 Cálculo para distancia de fibra optica ZONA 5 118
ECUACIÓN 3.10 Cálculo total de fibra optica 119
ECUACIÓN 3.11 Sensibilidad ONT más cercana 129
ECUACIÓN 3.12 Sensibilidad ONT más lejana 130

RESUMEN

El presente Proyecto de Titulación tiene como objetivo diseñar una Red de Acceso 10G-PON en el sector de La Mariscal en la ciudad de Quito, con la finalidad de ofrecer servicios *Triple Play* (Telefonía, Internet, Televisión HD). Siendo el Marco Teórico la primera fase del proyecto, se inicia con el estudio de los fundamentos y principales características de las Redes Ópticas Pasivas PON. En este punto se describen los diferentes tipos de redes PON (APON, BPON, GPON, EPON, 10G-PON) con sus principales características, poniendo énfasis a la red 10G-PON, la cual es motivo principal de estudio en el presente proyecto.

A continuación, se determinan todas las características y componentes de una red 10G-PON con las ventajas y desventajas que pueden prestar dichos elementos. Se estudia cada elemento (OLT, ONT, Fibra óptica, *power splitters*) con el fin de verificar los requerimientos de la red y el cumplimiento de las necesidades del cliente.

Consecuentemente se realizó una encuesta a los habitantes de la zona para actualizar la demanda de los usuarios, tanto del sector residencial como del sector comercial. Con la tabulación de los datos obtenidos en la encuesta se procede con el cálculo de la capacidad requerida para el diseño de la red 10G-PON y de esta manera obtener un diseño óptimo que cumpla con las necesidades de los clientes.

Como siguiente paso se plantea diseñar la red en su parte central, determinando los parámetros técnicos que deberán cumplir los equipos para ser utilizados en el diseño de la red 10G-PON. Se realizan planos del proyecto (distribución, dispersión, y canalización) mediante los cuales se detalla la ubicación precisa de los equipos, elementos y rutas de la red de Acceso 10G-PON. Se presentan Memorias Técnicas con la finalidad de ayudar al proveedor en la decisión de implementar el proyecto. Se aplica un uso correcto de la tecnología FTTx, cumpliendo con los estándares vigentes para el diseño de la red 10G-PON. Adicionalmente se incluye el uso de rosetas y cajas especiales, las cuales son utilizadas para el cambio de niveles con el fin de evitar pérdidas en el enlace (radio de curvatura).

En base a lo analizado anteriormente, se elabora un presupuesto referencial de los equipos a ser utilizados, escogiendo a un fabricante de equipos de telecomunicaciones que brinde las mejores características y se acople a las condiciones técnicas y económicas planteadas en el proyecto.

A continuación, se divide la zona de La Mariscal en subzonas, para una mejor distribución de la red. La zona del proyecto ha sido escogida de acuerdo a la cantidad de usuarios y a las diferentes necesidades de los mismos para tener un mejor servicio de internet, televisión y telefonía, en donde se concentra una gran actividad comercial, turística, instituciones públicas, educativas, financieras, etc. Posteriormente, se procede a verificar los diferentes estándares utilizados para determinar la vigencia de los mismos, y a partir de este punto realizar el diseño para la red 10G-PON en el barrio Mariscal.

Adicionalmente, se realiza una simulación del esquema de la red 10G-PON mediante el programa OPTISYSTEM para poder comprobar el funcionamiento de este, efectuando simulaciones utilizando los elementos: OLT, FIBRA ÓPTICA, *POWER SPPLITTERS*, ONT. Se realiza un análisis para cada resultado obtenido, basado en las pruebas descritas para la simulación de la ONT.

Como último punto se muestran las diferentes conclusiones y recomendaciones obtenidas en el presente proyecto.

PRESENTACIÓN

Actualmente la demanda de velocidades y servicios de la red en el Ecuador, así como en todo el mundo sigue creciendo, nuevas y más rápidas tecnologías son generadas a partir de los estándares existentes. La tecnología 10G-PON es la próxima generación de capacidad ultra-rápida para los proveedores de G-PON.

El servicio *Triple Play* (voz, datos y video) en nuestro país con la tecnología actual en un futuro muy cercano ocupará mayor ancho de banda de las redes, teniendo la necesidad de utilizar nuevas formas de transmisión que sean más eficientes y permitan un ancho de banda mayor.

Con estos antecedentes, el presente proyecto se busca realizar el diseño de una red 10G-PON en la ciudad de Quito, en el sector de la Mariscal, la cual al ser una zona de alta densidad demográfica y en donde se concentra una gran actividad comercial y turística, así como instituciones públicas, educativas, financieras, etc. permita cubrir la demanda de servicios (voz, banda ancha y televisión) y satisfacer las necesidades actuales así como a futuro.

Actualmente, las comunicaciones ópticas en el país se encuentran en desarrollo buscando satisfacer la creciente demanda de servicios de redes de datos. Por lo tanto, es muy importante realizar un estudio de todos los nuevos elementos que intervienen en el diseño de una red con la tecnología 10G-PON; por ello en el presente trabajo se pretende realizar un diseño y simulación de una red 10G-PON específicamente en el sector de la Mariscal de la ciudad de Quito que permita cubrir las necesidades del sector.

Además de realizar el diseño y simulación de dicha red, el presente trabajo se plantea como material académico de consulta, que contribuirá a futuros trabajos similares o en el análisis de nuevos diseños de redes con nuevas tecnologías.

CAPÍTULO 1.

1.1 REDES PON [1] [2] [3] [4]

1.1.1 DEFINICIÓN

Una PON (*Passive Optic Network,* Red Óptica Pasiva), es denominada así debido a que en ella no se involucra ningún elemento activo. El componente principal de una red PON es el dispositivo divisor óptico de potencia (*splitter*), el cual, dependiendo del índice de división, fracciona el haz entrante y lo distribuye hacia múltiples fibras, o los combina en la dirección opuesta dentro de una sola fibra.

Las Redes PON permiten desplegar arquitecturas del tipo FTTH (*Fiber to the Home,* Fibra hasta el Hogar), dando la posibilidad de construir una red de gran ancho de banda, con alta seguridad, de muy bajo mantenimiento y totalmente pasiva. Sobre ella se puede aplicar los diferentes protocolos de transporte PON y solamente se tendrá equipos activos en la sala de telecomunicaciones, en el abonado, o en puntos donde se brindará un servicio de telecomunicaciones.

A través de estas redes se puede brindar todos los servicios de Telecomunicaciones, Voz, Datos, Video, IPTV[1] (*Internet Protocol Television,* Televisión por Protocolo de Internet), CATV[2] (*Community Antenna Television,* Televisión de Antena Comunitaria), Vigilancia, Domótica, Sistemas de Control y otros servicios aplicables en Red.

Para fines de diseño en las redes PON la traza de los cables principales y los lugares donde se colocarán los empalmes, derivaciones a cables secundarios, el lugar en donde se colocará los *splitters* y las cajas de acceso a la red (*NAP Network Access Point,* Punto de Acceso a la Red) se definen de acuerdo con la geografía de la ciudad, barrio, edificio o complejo habitacional.

---

[1] IPTV: es la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión de pago usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP.
[2] CATV: es televisión por cable comúnmente denominada videocable o simplemente cable, es un servicio de sistema de televisión por suscripción que se ofrece a través de señales de radiofrecuencia que se transmiten a los televisores por medio de redes de fibra óptica o cable coaxial.

Es muy importante tener en cuenta que este tipo de red posee una vida útil extensa y de bajo mantenimiento, por ende, sus materiales deben ser de características compatibles con esta duración, sin que provoquen fallas o deterioros que terminen incrementando los costos de mantenimiento.

1.1.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN

Las Redes PON surgieron a partir de la creciente demanda de mayores anchos de banda y velocidades de transmisión, permitiendo realizar el reemplazo de los elementos activos existentes en una red (concentradores, *switches*, etc.) por elementos pasivos (*splitters*, cajas terminales, etc.), reduciendo así los costos de mantenimiento e implementación de dichas redes. Este tipo de redes se enfoca en prestar servicio de FTTH, que se basa en el uso de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos para la entrega de servicios.

En 1995, las compañías British Telecom, *Bell South*, *Bell* Canadá, NTT y otras cinco compañías internacionales de telecomunicaciones se reunieron para formar el consorcio FSAN (*Full-Service Access Network*), creado para facilitar el desarrollo de estándares para equipos de redes de acceso que ofrecen servicios integrados a los usuarios, permitiéndoles acceder a un gran ancho de banda, pero sin tener los costos que implica una conexión punto a punto. Para cumplir con estos objetivos las Redes PON se basaron en el funcionamiento de las redes CATV que incorporan un canal de retorno para ofrecer los servicios de banda ancha. La configuración básica de un sistema CATV está compuesta por nodos que se encuentran unidos con la cabecera mediante fibra óptica, de donde surgen de forma compartida los tendidos de cable coaxial que implementando divisores eléctricos llegan hasta los usuarios.

En lo que corresponde a las Redes PON se sustituye los tendidos coaxiales y los *splitters* por fibra óptica monomodo y divisores de potencia ópticos, permitiendo mejorar el ancho de banda disponible para cada usuario.

En el año 1998 las especificaciones FSAN para ATM-PON se convirtieron en un estándar mundialmente reconocido y fueron añadidas a la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) como las recomendaciones G.983 para el diseño, implementación y gestión de Redes PON, las cuales se describen en la Tabla 1.1:

Recomendación	***Detalle***
G.983.1	Descripción general de las Redes PON
G.983.2	Descripción de la capa de gestión y mantenimiento
G.983.3	descripción de la calidad de servicio BPON (*Broadband PON*)
G.983.4	Descripción de la asignación de ancho de banda dinámico
G.983.5	Descripción de los mecanismos de protección
G.983.6	Descripción de la capa de control de red OTN (*Optical Transport Network*)
G.983.7	Descripción de la capa de gestión de red del ancho de banda dinámico
G.983.8	Descripción del soporte del protocolo IP, Video, VLAN y VC (*Virtual Circuit*)

Tabla 1.1 Recomendaciones G.983**.** [3]

Posteriormente en el año 2001, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) estructuró un equipo de estudio con el nombre de EFM (*Ethernet First Mile*), con la finalidad de emplear la tecnología Ethernet para el área empresarial y residencial. Finalizado el proyecto se estableció una nueva especificación para las Redes PON, que llevaría el nombre de EPON (*Ethernet PON*), a diferencia de las versiones anteriores, estas redes ya no realizan el transporte de datos utilizando la tecnología ATM[3] (*Asynchronous Transfer Mode*, Modo de Transferencia Asíncrona) en su lugar permiten el tráfico directo de Ethernet nativo. Como resultado, esto dio lugar a la aparición de la Ley de 2001 en EE.UU. sobre el acceso a Internet y servicios de banda ancha, que proporcionaba incentivos fiscales a las empresas que quisieran invertir en tecnología de banda ancha de nueva generación.

En el 2003, la Comisión Federal de Comunicaciones de los EE. UU. (*Federal Communication Commission-FCC*) liberó el mercado, permitiendo de esta manera

[3] El modo de transferencia asíncrona (Asynchronous Transfer Mode, ATM) es una tecnología de telecomunicación desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones.

la implementación de redes PON a todos los operadores. Adicionalmente, la ITU-T publicó la Recomendación G.984.1 que es el primer estándar GPON.
En el 2004 la IEEE publica los estándares IEEE 802.3ah, que constituye el primer estándar EPON.

A partir del año 2005, se produce un enorme despliegue de FTTH PON en Estados Unidos y todas las compañías públicas de Teléfono y Telégrafo (*Public Telephone and Telegraph-PTTs*) de América y Europa empiezan a interesarse en este tipo de redes.

Las redes PON comenzaron a expandirse en la industria de las telecomunicaciones gracias a las ventajas que se presentan a continuación:

- Las redes PON permiten llegar a usuarios localizados a distancias de hasta 20 Km desde la central (o nodo óptico). Esta distancia supera considerablemente la máxima cobertura de las tecnologías xDSL[4] (máximo 5 Km desde la central).
- Las redes PON minimizan el despliegue de fibra óptica en el bucle local, debido al uso de topologías árbol-rama mucho más eficientes que las topologías punto-a-punto. Además, simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo.
- Las PON se caracterizan por ofrecer un mayor ancho de banda para cada usuario debido a la capacidad que presentan la fibra óptica para transportar información, lo cual es una ventaja con respecto a otras alternativas como las de cobre (xDSL y CATV).
- Las PON, poseen una arquitectura punto-multipunto, lo que les permite superponer una señal óptica de Televisión procedente de una cabecera CATV en otra longitud de onda sin realizar modificaciones en los equipos portadores de datos. Este proceso es posible gracias a una nueva variedad de Transceptores Ópticos que permiten superponer una señal de video junto

[4] xDSL: La línea de abonado digital o línea de suscripción digital, Digital Subscriber Line (DSL), es una familia de tecnologías que proporcionan el acceso a Internet mediante la transmisión de datos digitales a través de los cables de una red telefónica local.

a la señal de datos de las Redes Ópticas Pasivas (A/B/GPON y EPON). La señal transmitida a 1550nm y modulada en frecuencia desde un láser ultra lineal tipo CATV ubicado en la cabecera de la red, puede transportar el espectro UHF y VHF a todos los equipos ONTs de la arquitectura PON, a través de una sencilla circuitería, esta señal es extraída en los equipos de usuarios por el Transceptor Óptico y amplificada utilizando un amplificador de banda ancha para el rango V/UHF y directamente puede ser introducida al conector de antena de televisores analógicos o decodificadores digitales. Este esquema de trabajo se denomina Video RF, Video PON o VPON.

- Las redes PON aumentan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red.
- PON permite crecer a mayores tasas de transferencia mediante la multiplexación de longitudes de onda adicionales.

1.1.3 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA RED PON [5]

Una PON está formada básicamente por tres componentes, tal como se muestra en la Figura 1.1:

- Módulo OLT (*Optical Line Terminal*) o Terminal óptico de línea que se ubica en la central.
- Splitter óptico o divisor óptico que se ubica a lo largo de la red de distribución.
- Varias ONTs (*Optical Network Terminal*) o Terminal óptico de red que se ubica en el domicilio del abonado.

Las transmisiones de una red PON se realizan entre la unidad OLT, que se encuentra en el nodo óptico o central; y la ONT, que se localiza en el domicilio del abonado.

Generalmente, la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red.

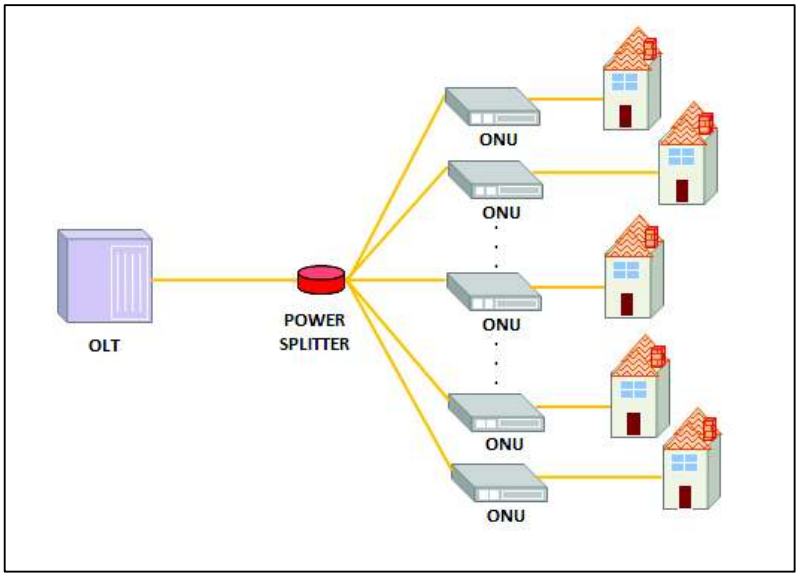


Figura 1.1 Componentes de una Red PON.

Existen varias topologías para el acceso a la red como son las topologías en anillo, árbol, árbol-rama y bus óptico lineal, sin embargo, la topología utilizada en los esquemas FTTH es la de árbol-rama, lo que permite la compartición de infraestructura simplificando el equipamiento en la central. Esta topología consiste en bifurcaciones sucesivas de la red encadenando divisores ópticos 1xN.

Las redes PON transmiten y reciben información en los canales, ascendente (*upstream*) y descendente (*downstream*), respectivamente. En el canal '*downstream*', la red PON opera como una red punto-multipunto, donde la unidad OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se va a repartir a los usuarios en intervalos temporales (*slot times*). En el canal '*upstream*' la red PON opera como una red punto a punto, donde múltiples ONTs transmiten a un único OLT.

Para la optimización de las transmisiones de los canales '*upstream*' y '*downstream*' se utilizan técnicas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por longitud de onda). Esta técnica consiste en la superposición de dos longitudes de onda diferentes; una para la transmisión en canal '*downstream*', con una longitud de onda de 1490 nm; y otra para la transmisión en canal '*upstream*', con una longitud de onda de 1310 nm. Para la separación de estos dos canales se utilizan filtros ópticos miniatura que se integran en los *transceivers* ópticos de los equipos de usuario.

Las redes PON también emplean la técnica TDMA (*Time Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Tiempo), la cual permite que en distintos intervalos temporales (*time slots*) determinados por el controlador OLT, los equipos ONT puedan enviar información en canal '*upstream*'. De manera similar la unidad OLT utiliza la técnica TDM para enviar en diferentes slots temporales información en canal '*downstream*', la cual será recibida de manera selectiva por las ONTs.

Es necesario considerar la dependencia de la potencia de transmisión del equipo OLT con la distancia a la que se encuentra el equipo ONT, que puede variar hasta un máximo de 20 Km [2]. Es así, como un equipo ONT muy cercano al OLT necesitará una menor potencia de su ráfaga para no saturar su fotodiodo; mientras que un equipo muy lejano necesitará que su ráfaga temporal se transmita con una mayor potencia.

1.1.4 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS [2]

En una red PON es necesario considerar las condiciones económicas que permitan tener un ancho de banda necesario. A continuación, se muestra la Tabla 1.2 para una referencia del ancho de banda adecuado:

Ancho de banda de la aplicación (QoS)		
Video (SDTV)	3.5 Mbps	Pérdida baja, *jitter* bajo, velocidad de bits constante
Video (HDTV)	15 Mbps	Pérdida baja, *jitter* bajo, velocidad de bits constante
Teletrabajo	10 Mbps	Mejor esfuerzo, ráfaga
Videojuegos	10 Mbps	Bajo nivel de pérdida, bajo *jitter*, *bursty* (Paquete de datos informáticos que se transmiten por ráfagas cortas y de forma continua.)
Voz	64 kbps	Baja pérdida, baja latencia, velocidad de bits constante
Peer to peer descargando	100 kbps-100 Mbps	Mejor esfuerzo

Tabla 1.2 Ancho de banda aplicación QoS. [2]

1.1.4.1 Costos

Como se mencionó anteriormente, aunque las redes PON aparecieron hace más de 20 años, no han tenido éxito comercial sino hasta hace poco.

Durante un período de tiempo considerable, los componentes de fibra óptica representaron una parte significativa del costo de despliegue de una red PON. El alto costo de los componentes ópticos fue la principal barrera para los despliegues FTTH. Con el fin de mejorar el modelo económico de las redes de acceso por fibra óptica, en lugar de llegar con el cable de fibra hasta el hogar, se han propuesto sistemas PON para diversas aplicaciones FTTx en las que la ONT se coloca en una acera o en un edificio para que pueda ser compartida por un grupo de usuarios a través de una corta caída de pares trenzados. El costo de los componentes ópticos ha disminuido considerablemente en los últimos años y FTTH ahora tiene mucho sentido para el acceso de banda ancha.

PON pertenece a redes de acceso. El equipo de acceso se despliega generalmente en grandes volúmenes, es decir, que con la implementación de dicho equipamiento se busca penetrar grandes áreas urbanas y rurales para que el grupo de usuarios sea grande. Esto con la finalidad de que más usuarios compartan el costo de la red, lo cual hace que sean muy sensibles a los incrementos del mismo. En un sistema PON, el costo de la ONT debe multiplicarse por el número de usuarios. Este costo es soportado por el proveedor de servicios o el usuario final. Por lo tanto, el costo bajo es la consideración más importante en los diseños de la ONT.

1.1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE FTTx [23]

Las FTTx son aquellas redes de fibra óptica que forman una topología distinta dependiendo del punto de terminación de la red; es así como para abarcar todos los nombres de las distintas topologías se utiliza el denominador común FTTx, donde la ‘x’ simboliza los distintos puntos de terminación de la red, lo que da lugar a los distintos nombres de estas topologías. Existen básicamente cuatro tipos distintos de arquitecturas, las cuales se ilustran en la Figura 1.2:

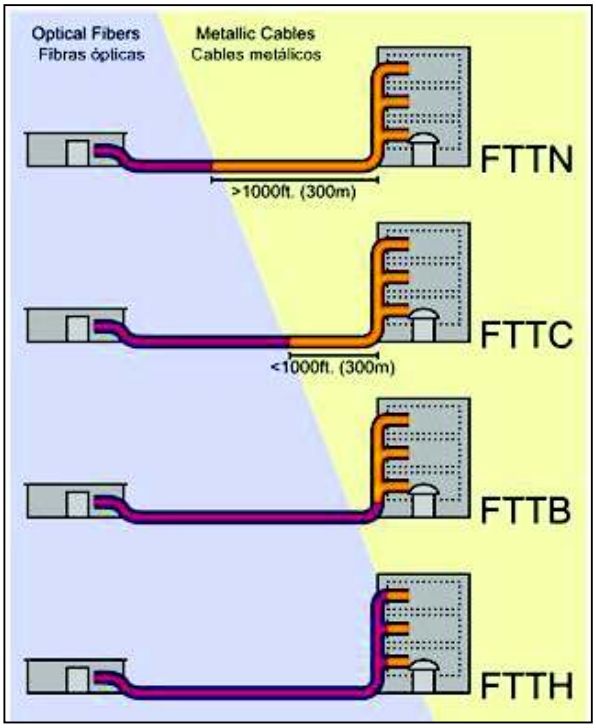


Figura 1.2. Arquitecturas FTTX. [6]

- **FTTH** (*Fiber To The Home* o Fibra hasta la casa): En este tipo de red se emplea fibra óptica desde la central hasta el usuario final, con el fin de reducir los cuellos de botella que son generalmente ocasionados por el empleo de cobre en la última milla.

- **FTTB** (*Fiber To The Building* o Fibra hasta el edificio): En este tipo de red, de manera semejante al caso anterior, realiza todo el recorrido de la misma en base a fibra óptica, con excepción de que la fibra sólo llega hasta el exterior del edificio; la red interna del edificio es una red de cobre con el cual se reparte la señal a cada departamento o dependencia del edificio. Estos tipos de redes por poseer ambos medios de transmisión, tanto fibra óptica como cobre, se les conoce como redes híbridas.

- **FTTC** (*Fiber To The Curb* o Fibra hasta la manzana): De manera similar al caso anterior, esta red también posee ambos medios de transmisión, por lo cual también es una red híbrida. Con la única diferencia que la red de fibra

óptica llega hasta la manzana, lugar donde se distribuye la señal a cada hogar a través de cobre.

- **FTTN** (*Fiber To The Node* o Fibra hasta el nodo): Se trata del mismo caso que los dos anteriores, pero la red de fibra óptica llega hasta el nodo de distribución, que puede ser un *splitter* óptico; a partir de este punto el resto de la red hacia cada uno de los usuarios finales se realiza mediante cobre.

Las redes de acceso proporcionan conectividad del usuario final. Se colocan en estrecha proximidad a los usuarios finales y se despliegan en grandes volúmenes.

Estas redes existen en muchas formas diferentes por varias razones prácticas. En un entorno en el que ya existen sistemas legados, los operadores tienden a minimizar su inversión de capital mediante la adaptación de la infraestructura existente con cambios incrementales, mientras que en un entorno de campo suele tener más sentido implementar nuevas tecnologías que puedan ser revolucionarias e irruptivas.

En comparación con los bucles de acceso tradicionales basados en cobre, la fibra óptica tiene un ancho de banda prácticamente ilimitado (en el rango de THz de ancho de banda utilizable).

Una red óptica pasiva (PON) es una forma de red de acceso de fibra óptica. La mayoría de las personas hoy en día utilizan PON como un sinónimo de FTTx, a pesar de que este último tiene un sentido mucho más amplio.

La Figura 1.3 muestra las alternativas de FTTx. Como se ve en la figura, en el caso más simple, las fibras ópticas individuales se pueden ejecutar directamente desde la oficina central (CO) a los usuarios finales en una arquitectura de una sola estrella.

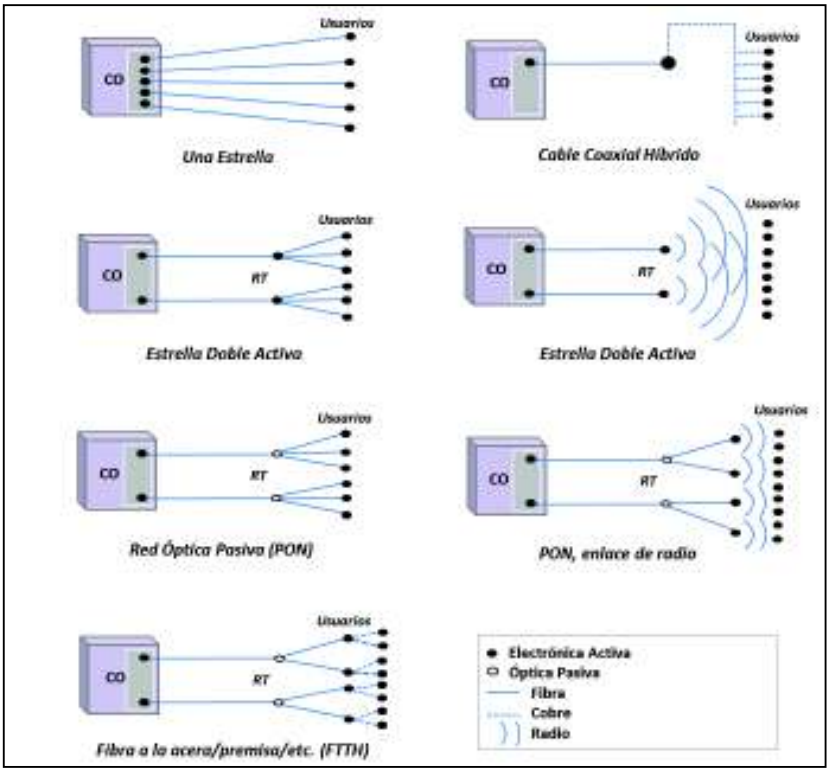


Figura 1.3 Alternativas de FTTX.

1.1.6 TDM-PON vs WDM-PON

La Figura 1.4 muestra la arquitectura de una PON con Multiplexación por División de Tiempo (TDM-PON) y una PON con Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM-PON). En ambas estructuras, la planta de fibra desde el terminal de línea óptica (OLT) en la central a las unidades de red óptica (ONTs) en las instalaciones del cliente es completamente pasiva.

Una red TDM-PON utiliza un *splitter* de potencia pasivo como terminal remoto. En este caso, la misma señal de la OLT se transmite a diferentes ONTs a través el *splitter* de potencia, tal como se puede observar en la Figura 1.4 (a).

En este tipo de redes, las señales para diferentes ONTs se multiplexan en el dominio de tiempo, las cuales contienen etiquetas de dirección incorporadas para facilitar su reconocimiento por las ONTs. La mayoría de redes PON comerciales (incluyendo BPON, G-PON y EPON) entra en esta categoría.

Una red WDM-PON utiliza un acoplador WDM pasivo como terminal remoto. Las señales para diferentes ONTs se transportan a diferentes longitudes de onda y se enrutan por el acoplador WDM a la ONT apropiada, tal como se observa en la Figura 1.4 (b). Debido a que cada ONT sólo recibe su propia longitud de onda, WDM-PON tiene una mayor privacidad y una mejor escalabilidad. Sin embargo, los dispositivos WDM son significativamente más caros, lo que hace a WDM-PON económicamente menos atractivo en la actualidad.

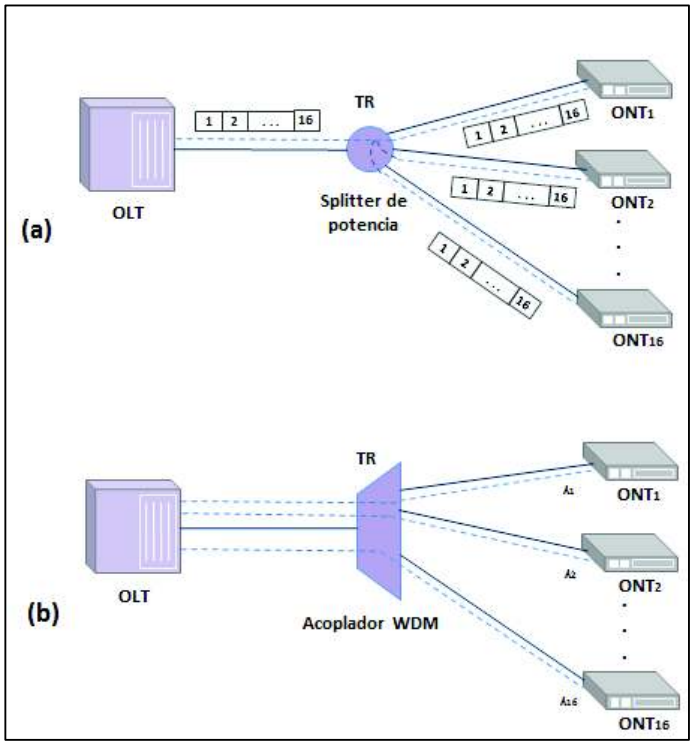


Figura 1.4 Arquitectura de (a) TDM-PON y (b) WDM-PON.

1.1.7 TRANSMISIÓN BIDIRECCIONAL

1.1.7.1 Uso de una Fibra y dos Fibras en la Transmisión Bidireccional

Los sistemas convencionales de comunicación por fibra óptica utilizan dos fibras separadas para las comunicaciones bidireccionales. Al uso de dos fibras se llama división espacial dúplex. Este método sencillo no requiere la separación de las señales '*upstream'* (ONT a OLT) y '*downstream*' (OLT a ONT) en los dominios de tiempo, frecuencia o longitud de onda, y es sencilla de implementar. En un sistema TDM-PON, el enfoque de dos fibras requiere dos *splitters* ópticos en la red óptica

de acceso, mientras que en un sistema WDM-PON, se pueden usar uno o dos multiplexores WDM.

Por lo general, para los *splitters* ópticos de las PON con dos fibras, la longitud de onda de 1:3 mm se utiliza tanto para las transmisiones de '*upstream*' como de '*downstream*', ya que los láseres *Fabry-Perot* (FP)[5] son fáciles de implementar en esta longitud de onda y pueden usarse con mayor eficiencia, atenuando los efectos de dispersión de la fibra.

A pesar de su simplicidad, debido a la fibra adicional requerida y a la necesidad de administrar un segundo *splitter*, la solución de dos fibras es más costosa que las soluciones de una fibra (tanto desde el punto de vista operativo como de capital).

1.1.7.2 Una Fibra en la comunicación *Full Dúplex*

En esta propuesta, sólo se utiliza una fibra óptica tanto para las conexiones '*upstream*' como de '*downstream*'. En la OLT y en la ONT se utiliza un acoplador direccional simple de 3 dB 1:2 para separar la señal óptica '*upstream*' y '*downstream*', tal sistema se ilustra en la Figura 1.5.

El problema de este enfoque es que los acopladores de 3 dB (dividen la potencia a la mitad) introducen una pérdida de señal de aproximadamente 3,5 dB en cada extremo del enlace de transmisión y perjudican el presupuesto de potencia del sistema, por lo tanto, cuantas más ramificaciones se produzcan, mayores serán las pérdidas. Además, la señal transmitida puede dispersarse en el receptor local como '*crosstalk*'[6], que se ilustra en la Figura 1.5 (b). Dado que la intensidad de la señal recibida en sentido '*downstream*' es reducida por el acoplador óptico en el TR (Terminal Remoto) y la potencia del transmisor local suele ser alta, el '*crosstalk*' impone un requisito estricto en los controles de reflexión. Además, si las longitudes

---

[5] Fabry-Perot (FP) es un interferómetro que se utiliza para medir la longitud de onda de una radiación en espectroscopía.

[6] Crosstalk también llamado Diafonía se produce cuando parte de las señales presentes en uno de ellos, considerado perturbador, aparece en el otro, considerado perturbado.

de onda de la ONT y la OLT son muy cercanas, el '*crosstalk*' producirá una interferencia cruzada coherente, lo cual es aún más perjudicial.

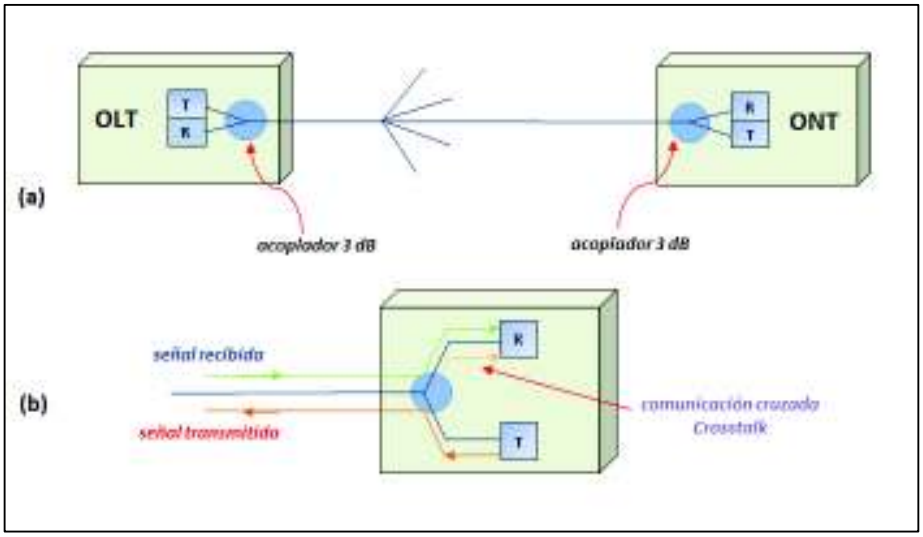


Figura 1.5 (a) Sistema de una sola fibra y (b) Comunicación Cruzada (*Crosstalk*).

1.1.7.3 *Time Division Duplex*

Una de las características de la tecnología *Time Division Duplex* es que las OLTs y las ONTs se turnan para enviar o transmitir, al igual que en la transmisión Full Dúplex. Además, esta tecnología permite separar las señales '*upstream*' y '*downstream*' por acopladores, con esto se evita el *Crosstalk* pero también se disminuye el rendimiento general del sistema en un 50% [2].

1.1.8 ESTRATEGIAS DE DIVISIÓN DE POTENCIA EN TDM-PON

1.1.8.1 Arquitecturas de división de potencia

Los propósitos de los *power splitters* incluyen: (1) compartir el costo del despliegue de la red entre los usuarios con la finalidad de reducirlo y (2) reducir el kilometraje de la fibra en el campo. Aparte de la simple estrategia de división en una etapa como se ve en Figura 1.6 (a), los *power splitters* también pueden estar en cascada como se muestra en la Figura 1.6 (b). En otra estrategia, la fibra alimentadora forma un bus óptico y las ONTs están conectadas en varios lugares a lo largo de su trayectoria a través de *power splitters* ópticos de índices de división de potencia 1: 2 como se muestra en la Figura 1.6 (c).

La estrategia de división de potencia real depende de la topología de los usuarios y el costo de administrar varios *power splitters*. Desde un punto de vista de gestión, por lo general es más sencillo tener un único *power splitter* como en la Figura 1.6 (a) para la distribución en el campo, lo que facilita el empalme y minimiza las pérdidas en conectores y empalmes.

En una arquitectura de bus o árbol como la Figura 1.6 (c), si todos los divisores tienen la misma relación de división de potencia, la ONT más distante sufrirá la mayor pérdida de transmisión y división y se convertirá en el cuello de botella del sistema. Se pueden usar *power splitters* con relaciones de división desiguales para mejorar el margen de potencia total. Sin embargo, tal optimización requiere el almacenamiento de *power splitters* con diferentes índices de división, por lo tanto, es difícil de gestionar.

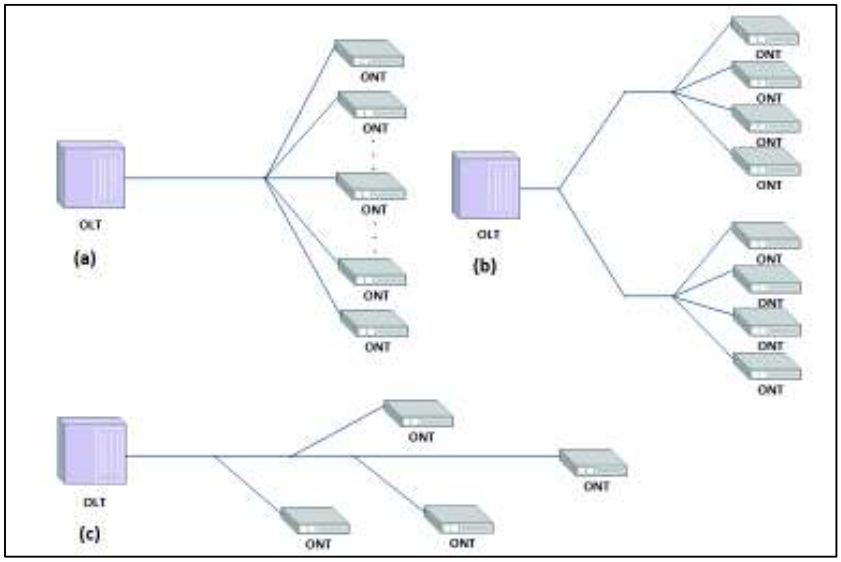


Figura 1.6 Estrategias de Splitteo en TDM-PON.

1.1.8.2 Relación de División de Potencia

La mayoría de los sistemas PON comerciales tienen una relación de división de 1:16 o 1:32 [2]. Un índice más alto, generará una mejor distribución de costos para las ONTs. Sin embargo, el *power splitter* afecta directamente el presupuesto de potencia del sistema y la pérdida de comunicación. La pérdida de división ideal para

un divisor 1: N es 10 Log (N) dB **Ec. 1.1** Para soportar una relación de división más alta, se requieren transmisores de alta potencia, receptores de alta sensibilidad y componentes ópticos de baja pérdida. Una relación de división más alta también significa menos energía para la pérdida de fibra de transmisión y un margen más pequeño reservado para otras degradaciones y variaciones del sistema. Por lo tanto, hasta cierto punto, la proporción de división más alta creará rendimientos decrecientes. Los estudios realizados para mejorar el rendimiento de las redes PON mostraron que económicamente la proporción de división más óptima está en torno a 1:40 [2].

Una alta proporción de división también significa que el ancho de banda de la OLT se comparte entre más ONTs y esto dará lugar a menos ancho de banda por usuario. Para lograr un cierto rendimiento de tasa de errores de bits (*BER*), se requiere una mínima energía por bit para superar el ruido del sistema. Por lo tanto, el aumento de la tasa de bits en la OLT también aumentará la potencia (que es el producto de la velocidad de bits y la energía de bits) necesarios para la transmisión.

La potencia de transmisión está limitada por la tecnología láser disponible (los láseres de comunicación normalmente tienen una potencia de salida de aproximadamente 0-10 dBm) y los requisitos de seguridad emitidos por las autoridades reguladoras.

1.1.9 ESTÁNDAR COMERCIAL PARA LA INFRAESTRUCTURA TMD-PON

La Figura 1.7 muestra la arquitectura de una estructura TDM-PON comercial estándar. Esta arquitectura general se aplica a APON, EPON y G-PON. En esta arquitectura, una OLT se conecta a las ONTs a través de un *splitter* de potencia de 1:32. La distancia de transmisión máxima es usualmente de 10-20 Km. El tráfico '*upstream*' desde las ONTs se lleva a cabo a una longitud de onda de 1,3 mm y tráfico '*downstream*' desde las OLTs a una longitud de onda de 1,49 mm.

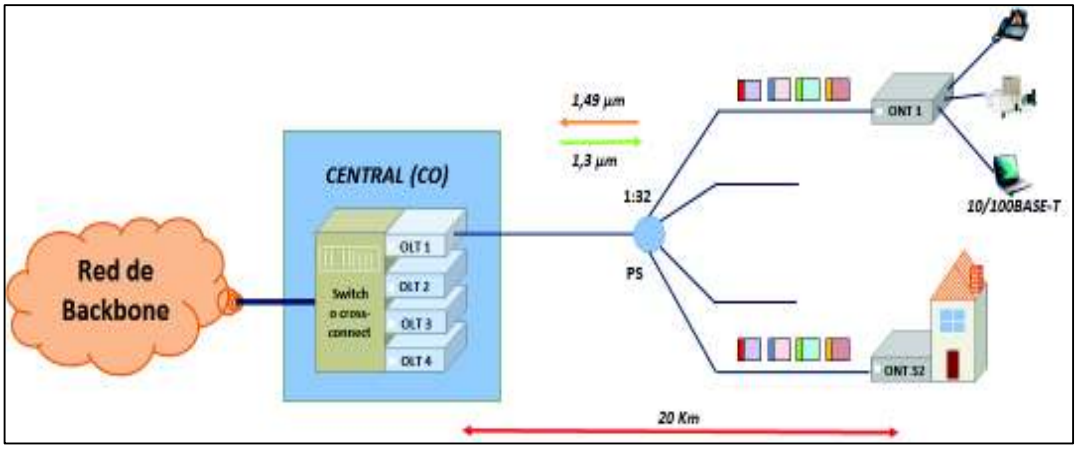


Figura 1.7 Arquitectura de una estructura TDM-PON.

Una ONT ofrece uno o más puertos para conexión de voz y conexiones de datos de cliente (*10/100BASE-T Ethernet*). Las conexiones de voz pueden ser puertos T1/E1 para usuarios comerciales y de servicio telefónico (POTS) para usuarios residenciales.

Varias OLTs en el CO están interconectados con un *switch* o *crossconnect* de *backbone*, que también los conecta a la red troncal. En un entorno de portadora, los OLT se construyen generalmente como tarjetas de línea que se insertan en un bastidor. El bastidor también puede alojar el *switch/cross-connect* del *backbone* y proporcionar la interconexión a los OLT a través de un plano posterior de alta velocidad.

La conexión entre la OLT y la ONT se denomina sección PON. Las señales transportadas en esta sección pueden codificarse y multiplexarse en diferentes formatos y esquemas dependiendo del estándar PON implementado. Sin embargo, más allá de la sección PON, las señales de formato estándar se utilizan para la transferencia de la interfaz del cliente, la conmutación y la conexión cruzada. La interfaz estándar más común utilizada en la actualidad en este tipo de redes es la interfaz *Ethernet*.

En la sección PON, las señales desde y hacia diferentes ONTs están intercaladas entre bastidores. Cada trama se identifica con un identificador ONT único en el encabezado de trama. La propiedad direccional del *splitter* óptico 1: N permitió que

el enlace '*downstream*' fuera una conexión de difusión de una sola toma. Por otra parte, el enlace '*upstream*' es una conexión de muchos a uno, es decir, las tramas enviadas desde todas las ONTs llegarán a la OLT, pero ninguna ONT puede enviar directamente señales entre sí sobre la capa óptica. Esto implica que las comunicaciones entre las ONTs deben ser transmitidas al CO y retransmitidas con la ayuda de la OLT.

1.1.9.1 Estructuras OLT y ONT

Las Figuras 1.8 y 1.9 muestran la estructura genérica de un OLT y ONT TDM-PON respectivamente. En esta estructura la capa PMD[7] (capa física dependiente) define el transceptor óptico y el diplexor de longitud de onda en una OLT o ONT.

La capa de control de acceso al medio (MAC)[8] planifica el derecho a utilizar el medio físico de modo que se evite la contención para el enlace de fibra compartida entre diferentes ONTs. En un sistema PON, la capa MAC en la OLT sirve como maestro y la capa MAC en una ONT como cliente. La OLT especifica el tiempo inicial y final que se permite a una ONT particular transmitir.

Como se muestra en la Figura 1.8, una OLT puede contener múltiples instancias MAC y PMD para que pueda estar conectada a múltiples sistemas PON. Una conexión cruzada en la OLT proporciona la interconexión y la conmutación entre diferentes sistemas PON, ONTs y la red troncal. La capa de adaptación de servicios en una OLT proporciona la traducción entre los formatos de señal de la red troncal y las señales de sección PON. La interfaz de un OLT a la red troncal se llama interfaz de red de servicio o *SNI*.

---

[7] PMD (Physical Medium Dependent Layer) es una subcapa de la Capa Física (PHY) cuya función principal es la de comprobar si el medio se encuentra ocupado o libre para realizar la transmisión y recepción de bits.
[8] MAC (Media Access Control): Es el conjunto de mecanismos y protocolos de comunicaciones a través de los cuales varios "interlocutores" (dispositivos en una red, como computadoras, teléfonos móviles, etcétera) se ponen de acuerdo para compartir un medio de transmisión común.

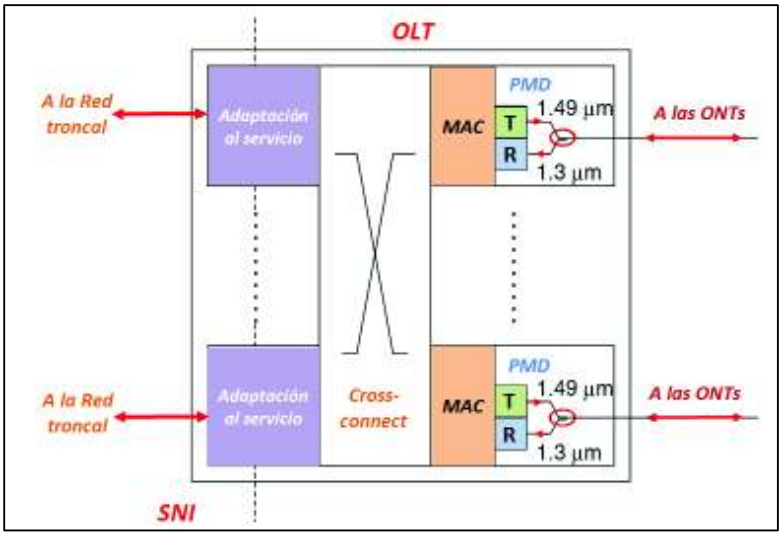


Figura 1.8 Estructura de una OLT.

Una ONT proporciona la conexión a la OLT en la sección PON a través de la ONT MAC y PMD (Figura 1.9). La capa de adaptación de servicio en la ONT proporciona la traducción entre el formato de señal requerido para la conexión del equipo cliente y el formato de señal PON. La interfaz de un ONT a un equipo de red cliente se denomina interfaz de red de usuario (UNI). La sección Servicio MUX/DMUX proporciona la función de multiplexación para diferentes interfaces de cliente.

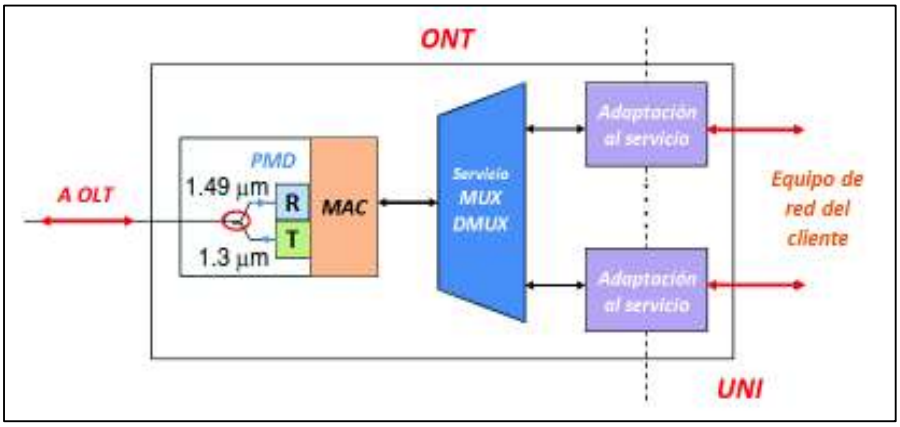


Figura 1.9 Estructura de una ONT.

Normalmente, varias UNI están disponibles de un ONT para diferentes tipos de servicios (por ejemplo, datos, voz). Cada UNI puede soportar un formato de señal diferente y requerir su propio servicio de adaptación.

1.2 ESTÁNDARES XPON [5] [7] [8]

Existen diferentes maneras de implementar una red PON dependiendo de las tecnologías utilizadas, las cuales constituyen los estándares XPON. Estos estándares se dividen en: APON, BPON, GPON, EPON y GEPON.

Adicionalmente, existe un esquema de trabajo que se utilizó, previo a la convergencia de servicios, en el transporte de video en '*downstream*' para la televisión analógica al que se le denominó VPON. A continuación, se describirá cada uno de los estándares:

1.2.1 APON

La red A-PON o ATM-PON (*Redes Ópticas Pasivas ATM*) está definida en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. Las especificaciones iniciales definidas para las redes PON fueron hechas por el comité FSAN (*Full Service Access Network*), que utiliza el estándar ATM como protocolo de señalización de la Capa 2[9] (Enlace de Datos). Los sistemas APON usan el protocolo ATM como portador. A-PON se adecua a distintas arquitecturas de redes de acceso, como, FTTH, FTTB/C y FTTCab.

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

Para el canal '*upstream*', la trama está compuesta por 54 celdas ATM en las cuales hay dos celdas PLOAM[10] (Capa física–operación de administración y

[9] Capa 2: El nivel de enlace de datos (*Data Link Level*) o capa de enlace de datos, es la segunda capa del modelo OSI, es responsable de la transferencia fiable de información a través de un circuito de transmisión de datos. Recibe peticiones de la capa de red y utiliza los servicios de la capa física.

[10] PLOAM: Canal utilizado para la comunicación y administración entre el equipo inicial y los diferentes equipos finales. Los mensajes son transportados en un campo designado en la cabecera de la trama descendente y en la cabecera de la ráfaga ascendente

mantenimiento) que están destinadas para tener información de los destinos de cada celda y también información para efectos de operación y mantenimiento de la red.

Entre las tecnologías PON existentes, la APON es la que más características en cuanto a OAM (operación y administración) ofrece. En la Figura 1.10 se muestra la arquitectura típica de una red APON.

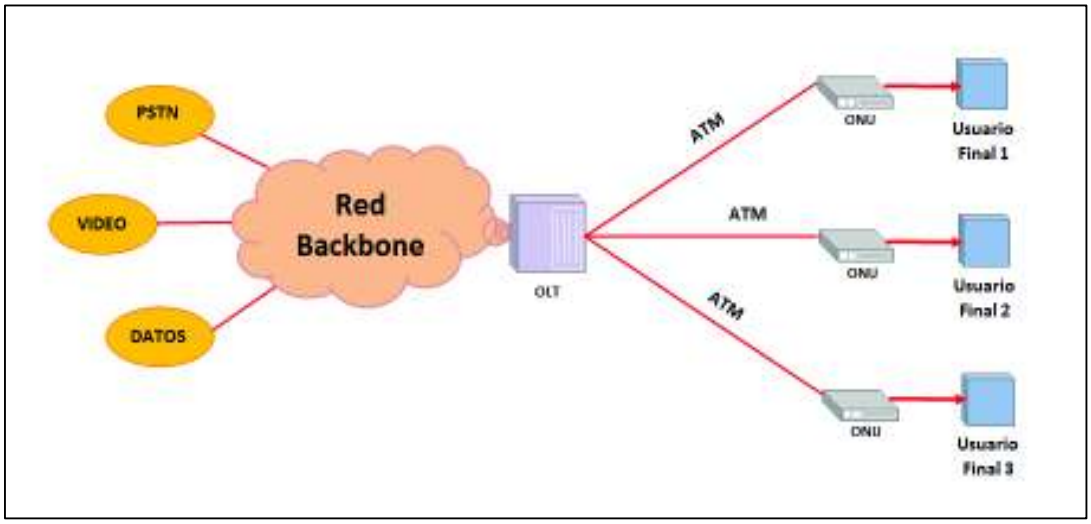


Figura 1.10 Arquitectura APON.

1.2.2 BPON

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

Adicionalmente aparte de las mejoras mencionadas, la red BPON también basa su arquitectura en APON. *Broadband*-PON se define en varias revisiones al estándar ITU-T 983 de las cuales están desde la G.983.1 que es la original de esta tecnología, hasta la G.983.8. La especificación G.983.1 de BPON define una arquitectura de forma simétrica, es decir, que la velocidad para la transmisión de datos en el canal '*downstream*' es el mismo para el canal '*upstream*' (155 Mbps).

Posteriormente, esta norma fue revisada para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y para permitir arquitecturas asimétricas (155 Mbps en '*upstream*' y 622 Mbps en '*downstream*').

1.2.3 EPON

Ethernet – PON es un sistema desarrollado por un grupo de estudio de la IEEE de *Ethernet* en la última milla (*EFM*). Esta tecnología se basa especialmente en el transporte de tráfico Ethernet en vez del transporte por medio de celdas de ATM, que en muchos casos resulta ser muy ineficiente. Este sistema aplica los beneficios que trae usar la fibra óptica en el transporte vía *Ethernet*.

EPON se apega a la norma de IEEE 802.3 y funciona con velocidades de Gigabit, por lo cual la velocidad con la que dispone cada usuario final depende del número de ONT's que se interconecten a cada OLT. Una ventaja de este sistema es que ofrece QoS (Calidad del servicio) en ambos canales (*downstream* y *upstream*).

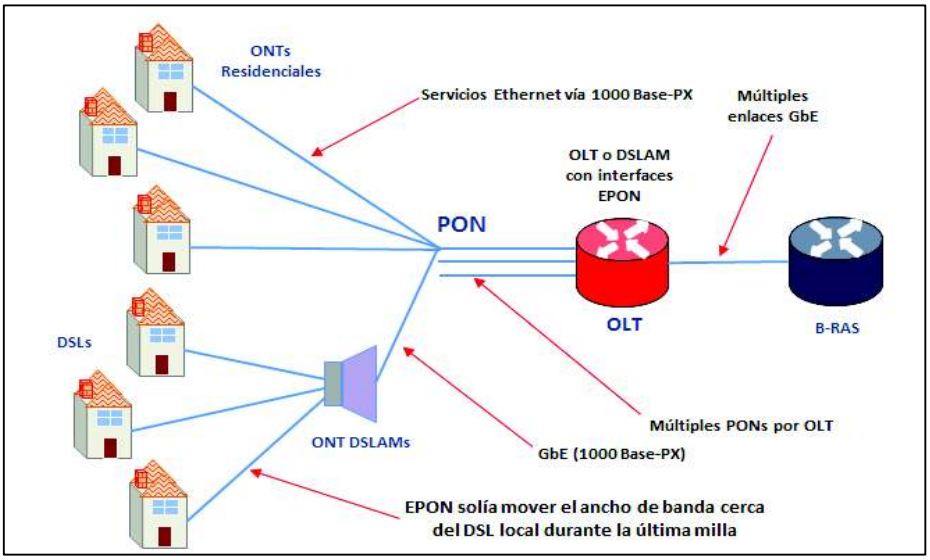


Figura 1.11 Arquitectura EPON. [7]

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

Existen otras revisiones relacionadas con el estándar, las mismas que se especifican en las recomendaciones G.983. En la Figura 1.11 se muestra la arquitectura de una red EPON.

1.2.4 GPON

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

Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2.488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Esto comparado con las velocidades de 155 y 622 Mbps de las anteriores tecnologías deja ver un gran avance en cuanto a eficiencia y escalabilidad.

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

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

La arquitectura básica de las Redes GPON se muestra en la Figura 1.12, la cual consta de un OLT (*Línea Terminal Óptica*) cerca del operador y las ONT cerca de los abonados con FTTH.

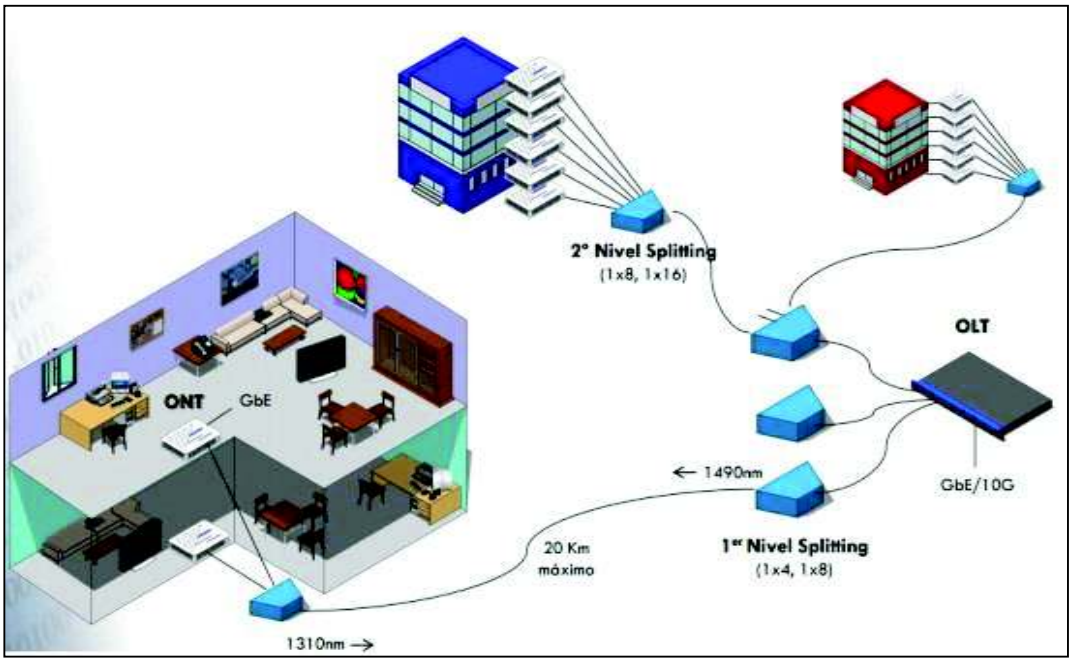


Figura 1.12 Arquitectura GPON. [8]

1.2.5 GEPON

Gigabit Ethernet – PON, Es un sistema diseñado para el uso en las telecomunicaciones y combina las tecnologías *Gigabit Ethernet* y *Passive Optical Network*. Este sistema facilita en gran medida la llegada con Fibra hasta los abonados ya que los equipos con los que se accede son más económicos al usar interfaces *Ethernet*.

Las redes GEPON están distribuidas así: OLT los cuales están conectados a las redes IP u otras por un extremo, luego están las ODN (*Redes de Distribución Óptica*) de la cual se desprenden los POS (*Splitter Óptico Pasivo*), y estos le dan acceso a los ONT, los cuales brindan el servicio a cada abonado. En la Figura 1.13 se muestra la arquitectura de una red GEPON.

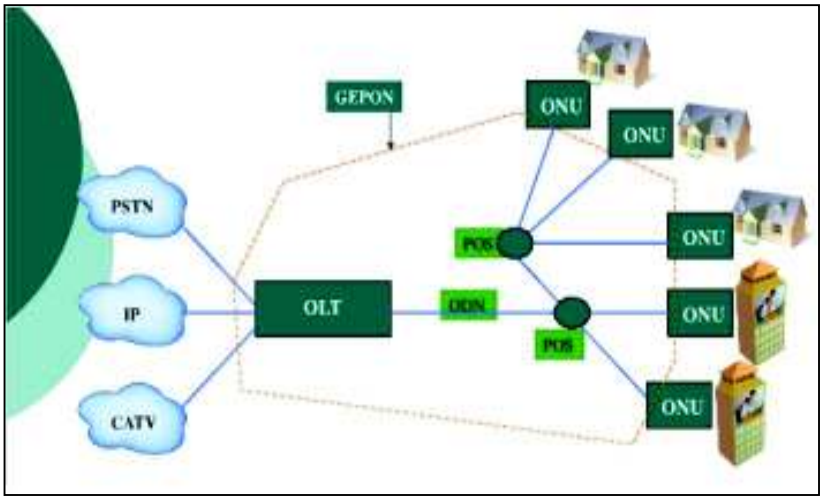


Figura 1.13 Arquitectura GEPON. [7]

Algunas de las ventajas más importantes al usar GEPON son las siguientes:

- Ancho de banda seguro para diferentes servicios al ser el número de abonados por trayectoria de fibra de un máximo de 32.
- Gran alcance entre los equipos distribuidores y los suscriptores (20 Km).
- Soporte para datos, voz y video.
- Bajas tasas de administración y mantenimiento en la red al usarse equipos de fibra pasivos y no activos.

1.2.6 10G EPON (10 Gbit/s Ethernet Passive Optical Network)

La tecnología 10G EPON 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*) y TDM (*Time Division Multiplexing*) como técnicas de multiplexación para poder coexistir en la misma infraestructura de red óptica pasiva. 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 '*downstream*'.

1.2.6.1 Coexistencia EPON – 10G EPON

Para transmisiones en sentido '*downstream*' 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 '*upstream*' 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 de1260-1360 nm, mientras que la banda para 10 Gbps lo hará entre 1260 y 1280 nm.

En la Figura 1.14 se ilustra el esquema de una red que soporta EPON y 10G EPON, se utiliza multiplexación WDM para separar los canales de 1 Gbps y 10 Gbps en sentido '*downstream*' y una combinación de multiplexación WDM y multiplexación TDM en sentido '*upstream*'.

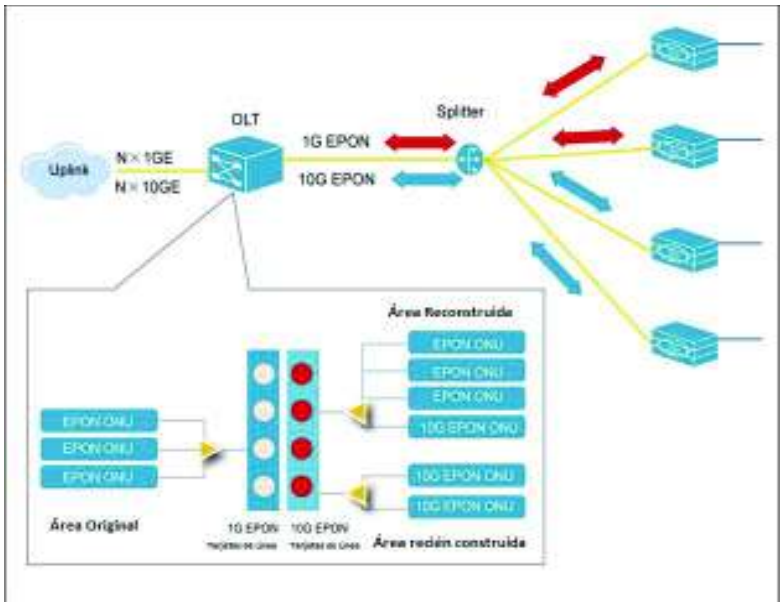


Figura 1.14 Coexistencia entre EPON y 10G EPON. [9]

1.2.7 COMPARACIÓN DE LAS REDES XPON

Como se ha visto en los puntos anteriores, las redes ópticas pasivas han evolucionado en un tiempo muy corto, introduciendo cambios en sus respectivas

tecnologías y a la vez que mejorándolas. No obstante, algunas de las tecnologías todavía siguen en fase de desarrollo con el fin de introducir una mejora tecnológica estable en el campo de las telecomunicaciones. A continuación, se muestra las principales características de las redes XPON explicadas en la en la Tabla 1.3:

CARACTERÍSTICAS	BPON	EPON	GPON
Estándar	ITU-T G.983.x	IEEE 802.3 ah	ITU-T G.984.x
Velocidades de transmisión (Mbps)	***Down:*** 155, 622, 1244 ***Up:*** 155, 622	***Down:*** 1244 ***Up:*** 1244	**Down:** 1244, 2048 ***Up:*** 155, 622, 1244, 2488
Tipo de fibra	Monomodo estándar (ITU-TG.652)		
Número de fibras por ONT	1 o 2	1	1 o 2
Ratio de división óptica	1:32 (Puede aumentar a 1:64)	1:16 (Permite 32)	1:128 (En la práctica 1:64)
Máxima longitud de fibra entre OLT y ONT	20 Km	10 Km	10-20 Km
Modo de tráfico	ATM	Ethernet	ATM, Ethernet, TDM
Arquitectura de transmisión	Asimétrica, Simétrica	Simétrica	Asimétrica, Simétrica
OAM	PLOAM	Ethernet OAM	PLOAM
Seguridad	AES	No definida	AES
Eficiencia típica (Depende del servicio)	83% *downstream* 80% *upstream*	73% *downstream* 61% *upstream*	93% *downstream* 94% *upstream*

Tabla 1.3 Comparación entre BPON, EPON y GPON. [4]

CAPÍTULO 2.

2.1 ANÁLISIS PREVIO PARA EL DISEÑO DE LA RED 10G-PON

2.1.1 ESTÁNDARES DE LA RED XG-PON [10] [11] [12] [13]

El principal objetivo de la tecnología XG-PON consiste en coexistir con redes G-PON ya existentes, además de favorecer el desarrollo de servicios de nueva generación como televisión en alta definición (HDTV), televisión IP (IPTV), etc., incentivando el crecimiento de los servicios *Triple Play*.

Para la tecnología XG-PON se tienen estándares que norman su uso, uno de ellos es el G.987, el mismo que ofrece 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 [10].
- G.987.2: *10-Gigabit-capable Passive Optical Networks* (XG-PON): Especificaciones de la capa PMD (*Physical Media Dependent*, Dependiente del Medio Físico) [11].
- G.987.3: *10-Gigabit-capable Passive Optical Networks* (XG-PON): Especificaciones de la capa TC (*Transmission Convergence*, Convergencia de transmisión) [12].

Para 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 para el público.

2.1.1.1 G.987.1: *10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK* (XG-PON): REQUERIMIENTOS GENERALES [10]

Este estándar cubre los requerimientos generales de sistemas 10G-PON motivando la elaboración de especificaciones para las capas PHY (*Physical Layer*, Capa

Física) y TC, incluye también los requerimientos operacionales y sistemáticos para brindar soporte a varias aplicaciones, tanto de negocios como residenciales. Para el presente análisis se requerirá el conocimiento de los siguientes aspectos:

2.1.1.1.1 Arquitectura de la red óptica de acceso

El estándar 10G-PON, puede ser aplicado sobre cualquier tipo de arquitectura para redes ópticas pasivas.

2.1.1.1.2 Longitudes de onda de G-PON y XG-PON

Una de las características de la tecnología XG-PON es la de permitir la coexistencia con redes de tecnología G-PON existente, para esto es necesario que exista un adecuado uso de las diferentes bandas de frecuencia.

2.1.1.1.3 Estructura de capas para redes con tecnología XG-PON [11]

Para una red XG-PON el modelo de protocolo de referencia se puede dividir en 3 capas: PHY (*Physical Layer*, Capa Física), TC (*Transmission Convergence*, Convergencia de transmisión) y Capa de trayectoria (También conocida como capa de encapsulamiento XGEM[11]). La capa XTC se divide en 2 subcapas:

- Subcapa de transmisión: Misma que efectúa las funciones PON y termina las funciones de transmisión en la ODN (*Optical Distribution Network,* Red de Distribución Óptica*)*.
- Subcapa de adaptación o Subcapa TC, la cual maneja varios tipos de datos.

2.1.1.1.4 Escenarios para una Migración G-PON a XG-PON [10]

La migración entre las tecnologías G-PON y X-GPON deberá realizarse de manera imperceptible para el usuario final. Es así que existen 2 tipos de escenarios en este proceso de migración de tecnologías:

[11] X-GEM: Es la mínima unidad de servicio en un sistema 10G -PON y es también la estructura básica de encapsulación. Todos los servicios deben ser encapsulados en tramas XGEM para la transmisión.

1. Se deberá considerar que el operador de servicios cuenta ya con una infraestructura G-PON existente, ciertos usuarios requieren servicios con un mayor ancho de banda, por lo que será necesario migrar los mismos a la tecnología XG-PON. En ese caso es importante notar que, aunque la red sufra cambios, se evita la interrupción de los servicios a usuarios que no requieren grandes anchos de banda.
2. Para el segundo caso no existe una infraestructura G-PON en el área donde se trabajará, por tal motivo la construcción será completa, utilizando así enteramente la tecnología XG-PON. Para ello, XG-PON debe estar preparada para soportar múltiples servicios, los cuales pueden encontrarse en uso o no, o que a su vez podrán ser implementados en los próximos años.

   Para video en tiempo real se espera mayores velocidades mientras que, para servicios de voz sobre todo en POTS, se espera ofrecer retardos menores a 1.5 milisegundos.

2.1.1.1.5 Requerimientos de la capa física de 10G-PON

Los Requerimientos de la capa física para 10G-PON se muestran en la Tabla 2.1:

Parámetro	Requerimiento
Fibra Óptica	Monomodo, con características muy similares a las utilizadas en G-PON
Longitud de onda (λ)	*Downstream:* 1575 - 1581 nm
	Upstream: 1260 - 1280 nm
Tasa de transferencia	XG-PON1: 10 Gbps *downstream*, 2.5 Gbps *upstream*
	XG-PON2: 10 Gbps *downstream*, 10 Gbps *upstream*
Relación de división de potencia (*Splitters*)	1:32 o 1:64
Distancia de la fibra	XG-PON1: Máxima distancia de fibra debe ser 20 Km
	Capa TC: Máxima distancia lógica de fibra debe ser 60 Km

Tabla 2.1 Requerimientos de una red 10G-PON. [10]

El estándar se ha desarrollado tanto para las tasas de transferencia de XG-PON1 como para XG-PON2, actualmente solo se considera XG-PON1 (parámetro que especifica la máxima velocidad en sentido descendente (10 Gbps) y en sentido ascendente (2.5 Gbps)) para realizar diseños de redes 10G-PON debido a la limitación de los equipos, aunque ya en la actualidad y con el desarrollo tecnológico existen dispositivos de prueba que podrían soportar la tasa de transmisión de XG-PON2.

Así también, para XG-PON1 la distancia máxima física del enlace será de 20 Km, y para la Capa TC (*Transmission Convergence,* Convergencia de Transmisión) se puede ampliar la misma a más de 20 Km agregando extensores 10G-PON, aun sabiendo que la distancia lógica sin obstáculo alguno es de 60 Km.

2.1.1.2 Asignación Dinámica de Ancho de banda (DBA, *Dynamic Bandwidth Assigment,* Asignación dinámica del ancho de banda) [10]

El DBA *(Dynamic Bandwidth Assigment,* Asignación Dinámica de ancho de banda*)* se define como un proceso para proporcionar multiplexación estadística entre ONTs. Para entender la importancia de la multiplexación estadística en las redes PON, hay que notar que el tráfico de datos en los links individuales en una red de acceso es por ráfagas. Esto en contraste con una red de área metropolitana donde el ancho de banda requerido presenta menor interferencia por la añadidura de muchas fuentes de tráfico. Debido a este tráfico a ráfagas, los requerimientos de ancho de banda varían en el tiempo. Sin embargo, la asignación estática de ancho de banda para un suscriptor individual en una red PON es típicamente ineficiente.

La multiplexación estadística que adapta los requerimientos de ancho de banda de manera instantánea es la más eficiente. Esta Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA, *Dynamic Bandwidth Allocation*) opera en la OLT para proveer dicha multiplexación. La OLT requiere información instantánea de los requerimientos de ancho de banda de cada ONT para poder tomar decisiones y cumplir con su proceso.

El tener esta información precisa no es posible para la OLT debido a los retardos existentes en las redes PON, típicamente de 100 µseg, lo cual es significativamente grande. La ONT debe así reportar el tamaño de sus colas de manera instantánea en un *frame* de control y propagar esto a través de la red PON a la OLT.

Todo este proceso provoca ciertos problemas, como son: propagación de retardos como resultado de la distancia entre ONTs y OLTs y ancho de banda limitado en el plano de control.

Una de las propuestas para tratar de mitigar estos problemas es el uso de IPACT (*Interleaved Polling with Adaptive Cyclic Time*). Generalmente IPACT puede ser considerado como un eficiente algoritmo de DBA, pero este no toma en cuenta clases de servicio, por lo cual no soporta QoS ya que considera los diferentes tipos de tráfico como uno mismo.

- IPACT: Como primer ejemplo se muestra el esquema IPACT (*Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time*), que puede ser categorizado como un enfoque centralizado, donde toda la programación y asignación del ancho de banda se encuentran en el OLT. Donde la ventana de transmisión (TW) de cada ONT tiene un límite superior (TWmax) el cual debe ser especificado por el *Service Level Agreement* (SLA). Cuando la petición de ancho de banda sea menor que TWmax, la OLT da el *time slot* solicitado. Comparado con los métodos estáticos, este esquema muestra pequeños retardos con bajas cargas. Sin embargo, las cargas en grandes redes resultan en altos retardos.

  El inconveniente de este sistema está en que no más de una ventana de transmisión con límite superior máximo (TWmax) puede concederse a una ONT, no importa cuán larga sea la cola de su buffer, lo que se traduce en retraso en algunos paquetes a alta carga. La definición de una ventana de transmisión máxima permite que las ONTs con un alto grado de tráfico no monopolicen el ancho de banda de recursos.

El escenario es el siguiente, la OLT sabe cuántos paquetes está esperando de cada ONT y su correspondiente RTT[12] (*Round-Trip Time*, Tiempo de ida y vuelta), entonces envía mensajes de asignación, llamados: mensajes GRANT.

Las ONTs inician su transmisión de acuerdo con la ventana asignada, recibiendo y manteniendo nuevos paquetes, al final de su trasmisión pueden generar nuevas peticiones basadas en los paquetes que recibieron. La OLT sabe cuándo cada paquete de la ONT llegará, entonces puede planificar la próxima asignación a la ONT. La información recibida de las ONTs (carga a transmitir) y su RTT es guardada en una tabla (*polling table*). Cada ONT sigue el mismo procedimiento.

- *IPACT with Smallest Available Report First* (SARF): La mayoría de los esquemas propuestos se enfocan principalmente al reparto de recursos, SARF se enfoca en disminuir los retardos, ya que algunos servicios (voz, video) son sensibles a ello.

  La OLT en este sistema, actualiza una lista con la longitud de la cola de cada ONT cada vez que recibe un mensaje REPORT y marca dichas ONTs como "pendientes". El algoritmo SARF organiza todas las ONTs pendientes en orden ascendente de acuerdo con su longitud de cola, donde la que tenga el menor tamaño es servida primero. Ahora cambiara de un estado “pendiente” a un estado “servido”. Pero la OLT debe aplazar el mensaje GATE lo más posible para no causar gastos de ancho de banda. Este proceso continúa hasta que todas las ONTs pendientes sean servidas. De esta manera, disminuye los retardos en la transmisión de paquetes.

Otro esquema que se puede considerar como una variante de IPACT es:

[12] RTT: Es el tiempo que tarda un paquete de datos enviado desde un emisor en volver a este mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino básico de encapsulación. Interviene de modo crucial en la eficiencia de numerosos sistemas.

- *Dinamyc Polling Order Arrangement* (DPOA), propuesto para que las OLTs organicen las ONTs de acuerdo con la longitud de su cola, pero de una manera descendente. Es decir que la ONT con la cola más grande será la primera en servirse. Este esquema mejora al sistema en términos de promedios de retardos y pérdidas por retardos, lo cual beneficia, sobre todo, al tráfico en tiempo real.

  La operación puede resumirse de la siguiente manera: Cada ONT transmite sus paquetes con la ventana asignada, luego cada ONT enviará un nuevo *REQUEST* para nuevas peticiones. Este nuevo *REQUEST* incluirá el tamaño de su cola. La OLT actualizará esos datos para cada ONT. Al final del ciclo y de las llegadas de los *REQUEST*, la OLT determinará qué ONT será la siguiente a ser servida en base a los tamaños en las colas, sirviendo a la que tenga la longitud más grande.

  Este esquema mejora el rendimiento de la red y proporciona QoS a los servicios en tiempo real, manteniendo una equidad con los otros flujos de tráfico:

- *DBA with Multiple Services* (DBAM): Este esquema consiste en la predicción basada en clases de tráfico para tomar en cuenta los frames o tramas que llegan en tiempo de espera, de esta manera, reducir retardos y tamaños de cola. Un punto clave para esto, es que las OLTs sirven a las ONTs en un orden fijo basado en RR[13] (*Round Robin*), para predecir el tráfico disponible. El parámetro de máximo ancho de banda para cada clase de tráfico está dado por el SLA[14] (*Service Level Agreement*).
- *Early DBA with Prediction-based Fair Excessive Bandwidth Reallocation* (PFEBER): Este algoritmo usa el historial de tráfico para calcular la varianza

[13] RR: Es un algoritmo de planificación muy simple para ejecutar diferentes procesos de manera concurrente, este es un método para poder seleccionar todos los términos en un grupo de manera equitativa y en un orden racional, comenzando por el primer elemento de una lista hasta llegar al último e iniciando de nuevo desde el primer elemento.

[14] SLA: es un acuerdo escrito entre un proveedor de servicio y su cliente con objeto de fijar el nivel acordado para la calidad de dicho servicio

de cada ONT y obtener una lista de términos de grado inestable para varianzas altas.

El sistema reduce la inexactitud de predicción mediante la asignación de diferentes pesos a las ONTs en función de si pertenecen a la lista con grado de inestabilidad o no. El esquema resulta más estable en cargas no uniformes. Sin embargo, un óptimo número de mensajes *REPORT* son necesarios para obtener una lista de varianza alta de cada ONT para que pueda considerarse un buen desempeño.

Para este esquema, se hace una reasignación del ancho de banda de cada ONT, extrayendo el exceso de este y distribuyéndolo para mejorar su utilización, claro está, luego de haber realizado una predicción de tráfico para cada una las ONTs para verificar si existe un exceso de ancho de banda. Con esto, se trata de hacer un óptimo uso del ancho de banda, pero manteniendo la equidad.

El estándar ITU-T G.983.4 por otro lado define el mecanismo de DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*) en una red PON como un proceso por el cual las ONTs (y sus T-CONT asociados) solicitan ancho de banda *upstream* dinámico y el método, a través de la monitorización de las celdas “vacías” en la OLT o el reporte del estado de los búferes de las ONT a la OLT, por el que la OLT reasigna el ancho de banda *upstream* correspondiente.

El proceso que en este caso sigue DBA es el siguiente: introduce unos contenedores de tráfico llamados T-CONT, que son en este caso flujos de tráfico *upstream* (de subida) dentro de la OLT, a los cuales se les asigna un ancho de banda. Los T-CONT pueden ser de tres tipos según puedan ser provisionados con una tasa de bit que puede ser fija, asegurada o máxima (no asegurado + *best effort* o del mejor esfuerzo).

El ancho de banda fijo siempre es asignado por la OLT, se utilice o no. El ancho de banda asegurado no siempre es asignado, pero de necesitarse, se garantiza su asignación. Cuando no se necesite, el ancho de banda asegurado será asignado a otros servicios (definidos en otros T-CONT) u otros usuarios. Finalmente, el ancho

de banda máximo se asigna siempre y cuando existan otros usuarios en la red que no estén empleando su ancho de banda.

La OLT deberá soportar el uso de DBA para poder realizar una compartición eficiente del ancho de banda en *upstream* para todas las ONTs conectadas, tal como se ilustra en la Figura 2.1. Para indicar el comportamiento dinámico es posible utilizar cualquiera de estos métodos:

- *Status Reporting* (SR, Reporte de estado): El DBA solicita a la OLT los reportes de ocupación del buffer y le entrega esta información en forma de BWmap[15] a las ONTs.
  Basándose en el BWmap, cada ONT envía datos de ráfaga ascendente en intervalos de tiempo especificados a sí mismos y utiliza el ancho de banda ascendente.

Existen cinco mecanismos para señalizar los informes de DBA sobre G-PON y XG-PON:

- Indicaciones de estado en el PLOu[16].
- Informes de Piggy-back[17] en el DBRu[18].
- Informe de ONT en la carga útil de DBA.

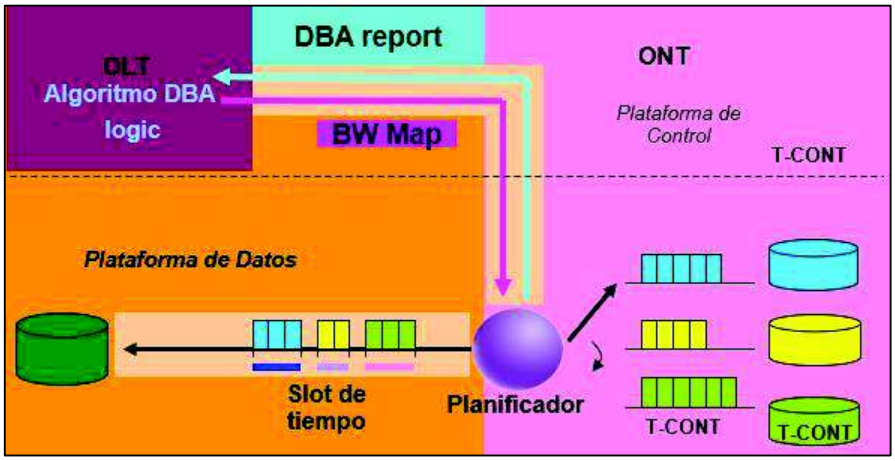
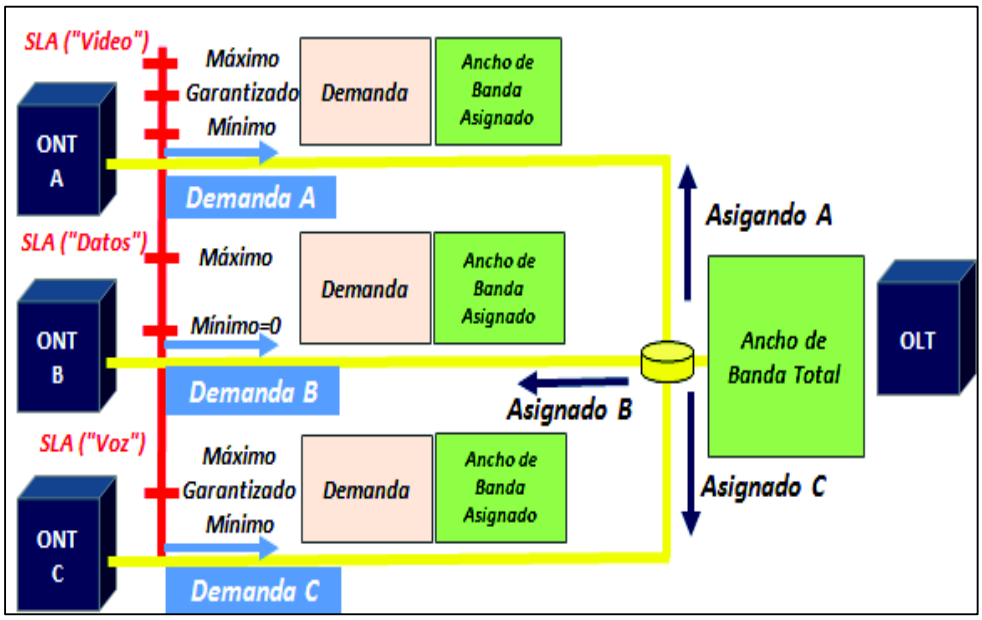


Figura 2.1 Operación del SR (Status Reporting). [10]

[15] BWmap: Conjunto de estructuras de asignación de 8 bytes.
[16] PLOu: Sobrecarga de *upstream* en la capa física. Es para la ubicación de la trama, la sincronización e identificación a qué ONT pertenece dicha trama.
[17] Piggy-back: Consiste en un mensaje que especifica la cantidad de datos esperando en el T-CONT correspondiente al Alloc-ID que activó la transmisión DBRu.
[18] DBRu: El campo DBRu reporta principalmente el estado de los T-CONT.

- *Traffic Monitoring* (TM, Monitoreo de Tráfico): El DBA compara las oportunidades asignadas en las transmisiones ascendentes con la cantidad de tráfico de la OLT, como se ilustra en la Figura 2.2.
- *Non status report* (NSR, No Reporte de estado): Ayuda a predecir el ancho de banda asignado a cada ONT basado en el tráfico de ONTs.



- SLA: Nivel de servicio aceptable.
- BW: Ancho de banda
- *Maximum*: Ancho de banda máximo
- *Guaranteed:* Ancho de banda garantizado
- *Minimum:* Ancho de banda mínimo.

Figura 2.2 Principio de trabajo de DBA. [25]

2.1.2 G.987.2: *10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS* (XG-PON): ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PMD (PHYSICAL MEDIA DEPENDENT) [11]

Describe el progreso en la distribución de las longitudes de onda que permiten que las tecnologías G-PON y XG-PON puedan trabajar juntas. En la Tabla 2.2 se presentan los principales requerimientos de la capa PMD.

Parámetro	Requerimiento
Velocidad de línea	Upstream: 2.48832 Gbps
	Downstream: 9.95328 Gbps
Codificación de línea	NRZ
Frecuencia de operación	Upstream: 1260 - 1280 nm
	Downstream: 1575 - 1580 nm
Tipo de Fuente	Laser SLM (Single-Longitudinal Mode)
Código FEC	Upstream: FEC débil
	Downstream: FEC fuerte
Fibra Óptica	Compatible con ITU-T G.952
	Transmisiones bidireccionales, utilizando la técnica WDM

Tabla 2.2 Principales Requerimientos de la capa PMD. [11]

2.1.3 *G.987.3: 10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS* (XG-PON): Especificaciones de la capa TC (*Transmission Convergence*, Convergencia de transmisión) [13]

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 y PHY, así como el servicio de administración integrado, la capa física OAM y el proceso de activación de las ONTs.

2.1.3.1 Capa XGTC (*XG-PON Transmission Convergence,* Convergencia de Transmisión)

La capa XGTC especifica los diferentes formatos y procedimientos de asignación entre la capa superior SDU y el flujo de bits más adecuado para modular la señal de la portadora óptica.

En el sentido descendente la interfaz entre la capa XGTC y la capa PMD se representa por una trama de 125 μs de duración, en cambio que para el sentido

ascendente la interfaz entre la capa XGTC y la capa PMD se representa por una secuencia de ráfagas de bits, mostrada en la Figura 2.3.

La capa XGTC está integrada por 3 subcapas, descritas a continuación:

- Subcapa de adaptación de servicio
- Subcapa de entramado
- Subcapa de adaptación PHY

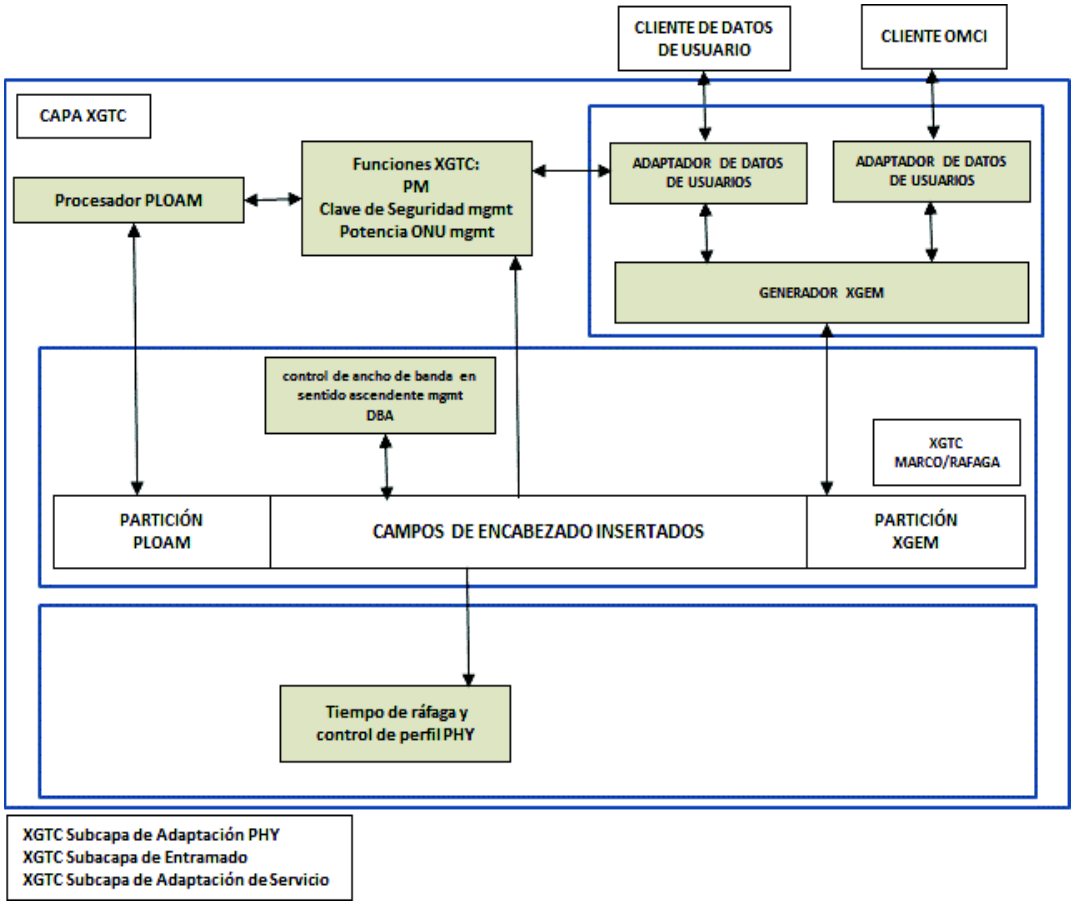


Figura 2.3 Estructura de subcapas que forman parte de la capa XGTC. [12]

La Figura 2.3 muestra las subcapas que forman parte de la capa XGTC, cada una de ellas recibe un servicio de la capa anterior hasta lograr transmitir todos los datos del usuario final y la información necesaria sobre la operación y mantenimiento de la red.

- **Entramado XGEM**

En la Figura 2.4 se muestra la trama XGEM compuesta por:

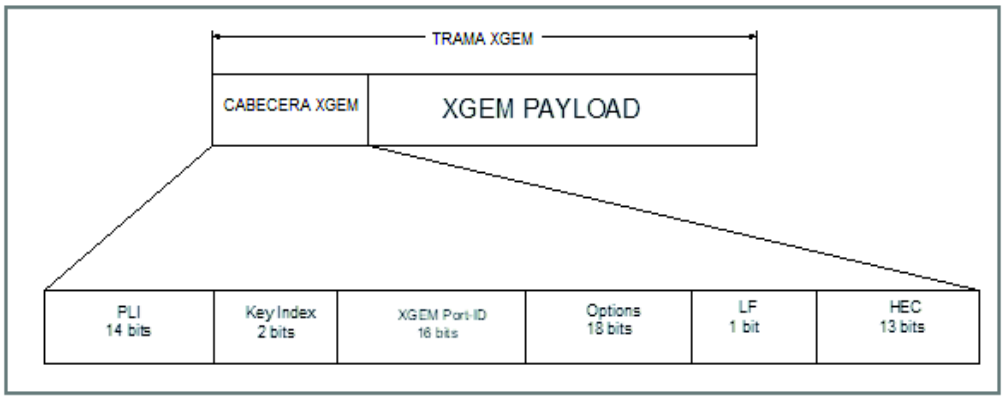


Figura 2.4 Distribución de una Trama XGEM. [12]

Donde:

- *Payload Length Indication* (PLI) [De 14 bits]: Se basa en el valor de L que en este caso indica el tamaño del SDU o del fragmento SDU que contiene el *payload*.
- *Key Index* [De 2 bits]: Indica la llave para poder encriptar los datos, esta se utilizada en la encriptación del *payload* XGEM. En este caso 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 un futuro.
- XGEM Port-ID [De 16 bits]: Con su ayuda se Indica el identificador del puerto XGEM al que pertenece la trama.
- *Options* [De 18 bits]: El presente campo se utilizará en un futuro, en el transmisor éste toma el valor de 0 y en el lado del receptor se ignora.
- *Last Fragment* (LF) [De 1 bit]: Indica el último fragmento de la trama, en este caso si el fragmento encapsulado en la trama XGEM es el último fragmento SDU o el SDU completo tomará el valor de 1, caso contrario el valor que este será 0.
- *Hybrid Error Correction* (HEC) [De 13 bits]: Realiza el chequeo y la corrección de errores, se combina con BCH (*Bose Chaudhuri Hocquenqhem,* código que opera con los 63 bits iniciales de la cabecera y 1 bit de paridad) para realizar esta función. Donde BCH (*Bose*

Chaudhuri Hocquenqhem) es un tipo de código FEC, óptimo para trabajar con información de hasta cientos de bits.

- *Payload* XGEM: Contiene entre 0 y 7 bytes para *Padding*, cuenta además con la información que será transmitida. 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 en este caso llenará el *payload*. La trama XGEM idle se caracteriza por contener el valor de FFFF en el Port-ID, este valor debe ser múltiplo de 4 incluyendo el 0. No se debe utilizar encriptación para transmitir la trama, el *payload* será llenado con los bits de acuerdo con lo que considere el transmisor ya que será descartado en el lado del receptor. Si el *payload* de la trama XGEM Idle no coincide con el valor puesto en la cabecera se rellenará con cuatro bytes de 0 lógicos.

- **Subcapa de servicio de adaptación**

Esta subcapa realiza 2 funciones primordiales tanto en el lado del transmisor como en el lado del receptor. En el lado del transmisor, se aceptan las tramas de los usuarios de la capa SDU, se fragmentan los datos de ser necesario, se procede asignando un Port-ID al SDU y se aplica el método de encapsulación XG-PON para obtener la trama XGEM requerida. El *payload* de la trama XGEM puede o no ser encriptado. El *payload* de la trama XGTC en sentido descendente está formado por el conjunto de tramas XGEM.

En cambio, en el lado del receptor, se acepta el *payload* de las tramas XGTC, se realiza la delineación de la trama XGEM, se filtran las tramas XGEM utilizando el Port-ID, se desencripta el *payload* XGEM (en caso de que se encuentre encriptado en el lado del transmisor), se reensambla el SDU fragmentado y se entrega el SDU al cliente final.

- **Delineación de la trama XGEM**

La delineación de la trama se basa en la inserción de la cabecera XGEM en el *payload*. En el receptor se procederá a verificar el campo FEC de la trama recibida para ver si se ha realizado correctamente el proceso de delineación, si existe algún error en la comprobación la trama será descartada.

- **Fragmentación SDU**

El presente proceso tiene las siguientes fases:

  - ✓ En sentido descendente, si el *payload* XGTC de al menos 16 bytes incluida la cabecera XGEM excede este valor (16 bytes), el SDU se particionará, si el ultimo fragmento del SDU tiene un valor inferior a 8 bytes es necesario agregar 8 bytes para poder cumplir el tamaño mínimo de la trama. Los fragmentos del SDU deberán ser transmitidos en orden y tomando en cuenta la prioridad.
  - ✓ Para el sentido ascendente, se debe realizar el mismo procedimiento, solamente se deberá verificar que los fragmentos que se envían coincidan con el mismo 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.)

- **Asignación de servicios**

Para la transmisión de MPLS (lleva las vlans de servicio) sobre XGEM, el *payload* es ocupado completamente por la información útil o en este caso os servicios a ser transmitidos.

- **Subcapa de entramado**

En cuanto al funcionamiento de esta capa, el lado del transmisor acepta múltiples tramas XGEM formando el *payload* XGTC y construye la trama descendente o la

ráfaga ascendente, proporcionando los campos de sobrecarga del OAM[19] embebido y el canal de mensajería PLOAM[20].

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 (de tamaño fijo), de la trama XGTC descendente. En dirección ascendente, la ráfaga XGTC multiplexa el *payload* XGTC asociado con muchos Alloc-IDs. Para este caso el tamaño del *payload* está determinado en base a la información de administración del ancho de banda entrante.

En cuanto al lado del receptor, esta acepta las tramas XGTC, analiza los campos de sobrecarga, extrae los flujos entrantes de administración y PLOAM, y entrega el *payload* XGTC a la subcapa de adaptación. La información OAM embebida es entregada al administrador del ancho de banda ascendente y la señalización del DBA es procesada otorgando 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 ONT.

- **Entramado descendente**

La trama XGTC tiene un tamaño fijo y está formada por una cabecera y un *payload* como se ilustra en la Figura 2.5.
Donde:

- Estructura *HLend* [De 4 bytes]: Controla el tamaño de las particiones de longitud variable de la cabecera XGTC, consta de tres campos:
- Longitud *BWmap* [De 11 bits]: Entero sin signo (N), que indica el número de estructuras asignadas en el campo *BWmap*.
- *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

[19] OAM: Canal suministrado por los campos de las cabeceras y las estructuras embebidas, mismas que provienen de las tramas XGTC descendente y ascendentes.
[20] PLOAM: Canal que se utiliza para la operación y administración entre la OLT y las ONTs.

8*N bytes. Cada estructura especifica un ancho de banda asignado a un *Alloc-ID* particular.

- Conteo PLOAM [De 8 bits]: Entero sin signo (P), que indica el número de mensajes PLOAM.
- HEC [De 13 bits]: Detecta y corrige errores *HLend*.

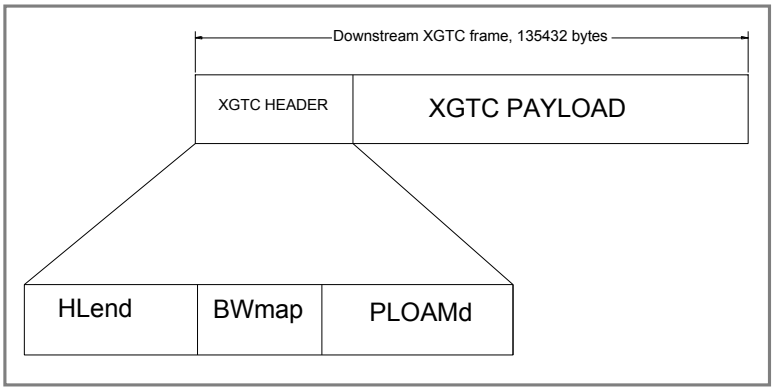


Figura 2.5 Entramado XGTC descendente. [12]

- **Entramado ascendente**

Para el entramado ascendente la interfaz existente entre la subcapa de entramado y la subcapa de adaptación PHY es representada por la ráfaga XGTC ascendente, la cual presenta un tamaño asignado dinámicamente y que 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, así como se detalla en la Figura 2.6:

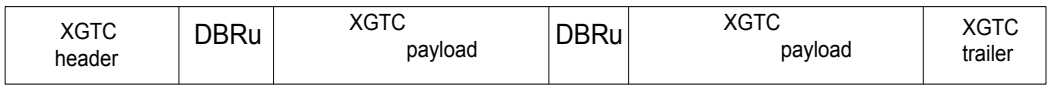


Figura 2.6 Entramado XGTC ascendente. [12]

Donde:

- XGTC *Header* (Cabecera): Formada por una sección fija de 4 bytes y una sección no fija, misma que puede presentar un tamaño entre 0 bytes y 48 bytes.
- Sobrecarga asignada (DBRu): Si existe, está compuesta por la estructura DBRu, la cual tiene un tamaño de 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 [De 4 bytes]: Contiene un campo BIP (Bit *Interleaved Parity*). La OLT receptora verifica el BIP para determinar el VER en el enlace óptico ascendente.

- **Subcapa de adaptación PHY**

La presente subcapa comprende todas las funciones que modifican un 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, se acepta las tramas XGTC, se las divide en bloques para ejecutar el computo del FEC, luego se agrega un campo de paridad a cada bloque, se procede a anteponer un bloque de sincronización para flujos tanto ascendente (PSBu) como descendente (PSBd) y se provee además el alineamiento de tiempo para el flujo de bits resultante.

En el lado del receptor, se realiza la sincronización física y se da la delineación del flujo entrante, ordena el contenido de la trama PHY, ejecuta el FEC, eliminando los bits de paridad, se entrega la trama resultante a la subcapa de entramado y se culmina el proceso.

- **Trama PHY descendente**

La trama PHY descendente cuenta con una duración de 125 μs que en este caso sería su característica principal. Dicha trama se muestra a continuación en la Figura 2.7.
Los campos de la trama son los siguientes:

- Bloque de sincronización Física Descendente (*Downstream Physical Synchronization Block – PSBd*): Tiene un tamaño de 24 bytes. Permite la sincronización de los dispositivos finales con la trama PHY descendente,

además aplica el HEC (*Header Error Control*: código de detección de errores de la cabecera de una trama, si los errores son simples también puede corregirlos.) sobre la cabecera de la trama.

- *Payload*: Se obtiene de la trama XGTC descendente.

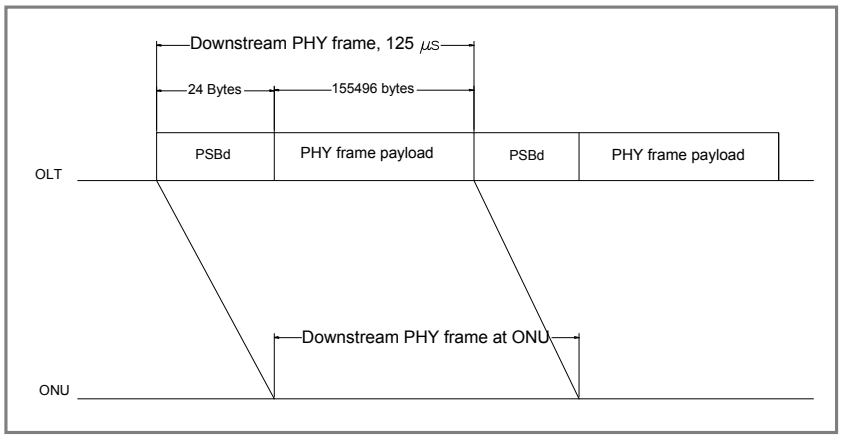


Figura 2.7 Trama PHY descendente. [12]

- **Tramas y ráfagas ascendentes**

La duración de la trama es de 125 μs. En sentido ascendente el dispositivo final 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 al mismo tiempo lleguen transmisiones de otros usuarios finales causando sobrelapamiento. En la Figura 2.8 se detalla las tramas y ráfagas ascendentes.

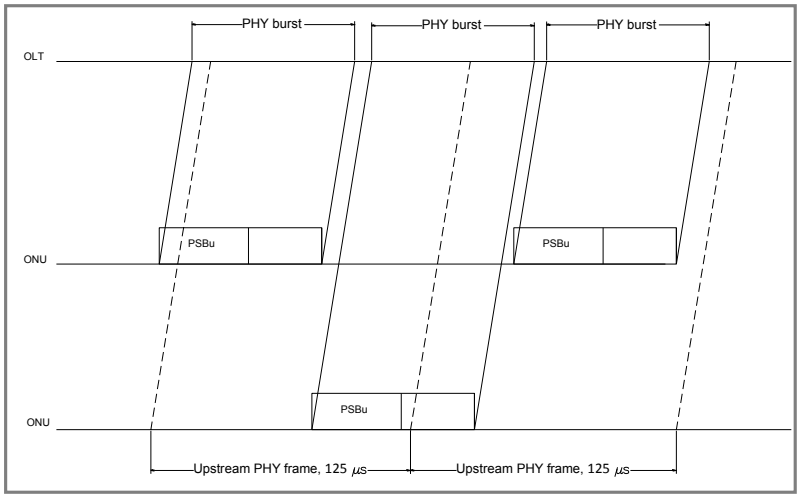


Figura 2.8 Tramas y ráfagas PHY ascendentes. [12]

- **Administración de un sistema XG-PON**

El control, operación y administración de la información en un sistema XG-PON se realiza a través de 3 canales:

- *OAM Embebido*

El canal OAM está provisto por los campos de las cabeceras bien definidos y las estructuras embebidas de las tramas XGTC tanto descendente como ascendentes, este ofrece una ruta con muy poca latencia para manejar 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, señalización en el proceso de asignación de DBA, entre los más importantes.

- *Canal PLOAM*

Se utiliza para la comunicación y administración entre la OLT y las diferentes ONTs. Los mensajes son transportados en un campo designado en la cabecera de la trama descendente y en la cabecera de la ráfaga ascendente.
Las funciones que soporta este canal son: comunicación por perfil de ráfaga, activación y registro de la ONT.

- *ONT Management and Control Interface (OMCI)*

OMCI es utilizado para la administración de las capas superiores de los servicios XGTC y también permite la comunicación entre la OLT y los usuarios finales.

2.1.3.2 Arquitectura de Multiplexación por División de Tiempo

Para el análisis de la arquitectura TDM (*Time Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Tiempo) se tomará en cuenta tanto la transmisión en sentido descendente como en sentido ascendente. Es de esta manera que se tiene que:

- En sentido descendente la multiplexación se encuentra centralizada, es decir

que toda la información que llega (sentido descendente) se agrupa en la OLT. Ahora, para poder identificar las tramas XGEM de las distintas conexiones lógicas la OLT multiplexará dichas tramas sobre el medio de transmisión, utilizando el Port-ID XGEM. Cada una de las ONT recibirá las tramas XGEM y procesarán solo las que pertenecen a dicha trama. Se puede utilizar el puerto XGEM *multicast* para trasladar tramas que pertenezcan a más de una ONT.

- En sentido ascendente en cambio la multiplicación es distribuida, es decir que la información que envía la OLT se distribuye a todas las ONTs conectadas en la red. El proceso para este sentido ascendente se da de esta manera: la OLT asigna en este caso el ancho de banda a las entidades que transportan el tráfico entrante dentro de cada ONT, utilizando los diferentes *Alloc-IDs* asociados. Las asignaciones de los diferentes *Alloc-IDs* son multiplexadas como lo indica la OLT en las transmisiones descendentes. Dentro de cada asignación de ancho de banda realizada, la ONT usará el Port-ID para identificar las tramas XGEM que pertenecen a conexiones lógicas ascendentes distintas.

2.1.3.3 Identificador de ONT (ONT-ID)

Identificador asignado por el equipo OLT durante el proceso de activación de una ONT, este identificador es transmitido a través del canal de mensajería PLOAM, su tamaño es de 10 bits. En la Tabla 2.3 se muestra el Indicador de ONT.

ONT-ID	Designación	Observaciones
0..1022	Asignable	Asignado por la OLT para la activación de ONT, Usado para identificar el envío de ráfagas de subida o un mensaje *PLOAMu*, y la recepción de un mensaje *PLOAMd*
1023	*Broadcast*/no asignable	Dirección de *broadcast* en el mensaje *PLOAMd*, ONT no asignada en el mensaje *PLOAMu.*

Tabla 2.3 Identificador de ONT (ONT-ID). [12]

2.1.3.4 Identificador de Asignación (Alloc-ID)

Identificador asignado por el equipo OLT a la entidad de tráfico entrante receptora de una asignación de ancho de banda ascendente dentro de la ONT.

Cada ONT recibe uno o más *Alloc-IDs*, incluyendo al menos uno de ellos por defecto, este tendrá el mismo valor que el ONT-ID, y se encargará del transporte de tráfico del canal OMCI de datos de usuarios y asignaciones PLOAM de una ONT específica.

2.1.3.5 Identificador de Puerto XGEM (XGEM Port-ID)

El presente indicador en este caso será un número de 14 bits, el mismo que será asignado por la OLT. Esta asignación se hace 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 los ONT-ID a una ONT dada. El Port-ID del canal OMCI será numéricamente igual al del ONT-ID, tal como se indica en la Tabla 2.4.

XGEM Port-ID	Designación	Observaciones
0.1022	Por defecto	Port-ID por defecto, asignado implícitamente e igual al identificador ONT-ID.
1023..65534	Asignable	Si se requiere más de un XGEM Port-ID para una ONT adicional, La OLT asigna Port-IDs para esa ONT, seleccionando un número único que se encuentre dentro de este rango y comunicando esto a la misma mediante OMCI.
65535	Libre	Reservado XGEM Port-ID

Tabla 2.4 Identificador de Puerto XGEM. [12]

2.1.3.6 Control de Acceso al Medio

El proceso se explica de la siguiente manera: Cada 125 µs la OLT transmite una trama PHY descendente. Debido a la variación de la distancia de la fibra óptica, cada trama PHY descendente alcanza distintas ONTs en diferentes momentos de tiempo.

Para cada trama, el equipo OLT transmite en dirección descendente un BWmap, que en este caso especifica una secuencia de transmisiones ascendentes no sobrelapadas para diferentes equipos finales. Un BWmap cuenta con un conjunto de estructuras asignadas o también llamados *Bandwidth map messages* (tickets que indican el orden de las ONTs para enviar datos en un T-CONT), cada una de ellas es direccionada a un *Alloc-ID* asociado a una ONT específica. El conjunto de estas estructuras asignadas o grupo de *Bandwidth map messages* direccionados a los *Alloc-IDs* de una misma ONT, forman una serie de ráfagas. Cada serie de ráfagas asignadas presenta un puntero que indica el inicio de una ráfaga perteneciente a la trama ascendente, y una secuencia con bits de relleno que la ONT permite transmitir.

2.1.3.7 Activación de la ONT

La activación de una nueva ONT en la red pasa por 3 fases:

- **Sincronización:** Mientras la ONT permanece en estado pasivo, la misma se comienza a sincronizar con las tramas descendentes PHY.
- **Autenticación:** La autenticación de la ONT se realiza por medio de un número de serie. La ONT inicia verificando los parámetros del perfil de ráfaga que se utilizará en la transmisión ascendente. La ONT anuncia su presencia en la red cuando responde a los números de serie concesionados. Un número de serie dado corresponde a una estructura ya antes asignada, direccionada a un *broadcast Alloc-ID* y que tiene habilitada una bandera en *PLOAMu*. Una vez que la OLT logra descubrir a la ONT esta le asigna un ONT-ID específico.

- **Localización:** Para esta fase la ONT responde a una localización, la misma que es una estructura asignada (*Bandwidth map messages*), direccionada al *Alloc-ID* por defecto de la ONT 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 ONT.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA RED [15] [16] [19]

Como se analizó en el capítulo anterior, las redes FTTH que en este caso corresponden al presente estudio cuentan con OLTs, ONTs, divisores ópticos (*splitters*) y demás. Por lo tanto, para el presente capítulo se detallará las características generales de cada elemento de dicha red.

2.2.1 OLT

El terminal óptico OLT es un elemento activo situado en la cabecera de la red, de él parten las fibras ópticas hacia los distintos usuarios. Cada OLT tiene la capacidad de dar servicio a varios miles de usuarios (dependiendo de las características del equipo) realizando al mismo tiempo funciones de control de la red de distribución, así como la coordinación de los diferentes canales que se tienen para *upstream* y *downstream*. La información que recibe cada OLT se concentra en el mismo y se reparte a todos los usuarios conectados. La información que en este caso el equipamiento puede recibir y transmitir es la siguiente:

- PSTN (*Public Switched Telephone Network,* Red Telefónica Pública Conmutada): Que se encarga de los servicios de voz, los cuales se transmiten por la OLT, la misma está conectada a través de una interfaz MGCP (*Media Gateway Controller Protocol*) o también llamado Gateway de voz a la red de servicio.
- Internet: referente al manejo de datos, esta información llega a la OLT, y ésta la transmite, para ello la OLT se conecta a través de un Gateway IP/ATM (encapsulamiento IP sobre ATM) de voz.
- Video *broadcast* o VoD (*Video bajo demanda*): La OLT en este caso puede conectarse directa o indirectamente a un *Gateway* de video.

La OLT podría considerarse como un elemento que puede trabajar como un equipo de capa 3 y se puede subdividir en 3 módulos diferentes, cada uno de ellos encargados de gestionar un tráfico específico, esto se muestra en la Figura 2.9:

- P-OLT (*Provider OLT*): Este módulo es el encargado de recoger las tramas de voz y datos que vienen de la red de Internet y transformarlas en señales que serán inyectadas en las distintas ramas que van a los usuarios finales. Para esta transmisión la longitud de onda utilizada es de 1490 nm. Absorbe las tramas de voz y datos que vienen de las ONTs (usuarios finales) y los concentra en una sola vía verificando la naturaleza de los datos recibidos. Así pues, el tráfico de voz lo redirige a la PSTN, los datos a la red de internet. Para esto se utiliza la longitud de onda dedicada correspondiente a 1310 nm.
- El presente módulo además de concentrar la información y dividirla también se encarga de multiplexar el canal que va en dirección a la ONT (Descendente) y en dirección de la OLT (Ascendente) a través de la misma fibra.
- V-OLT (*Video OLT*): Se encarga únicamente de transportar las tramas de video procedentes de la red Video *broadcast* o VoD hasta los usuarios finales. Para esto transforma las tramas en señales inyectables en las ramas de los usuarios, viajando en una longitud de onda de 1550 nm.
- M-OLT (*Multiplexer OLT*): Equipo multiplexador WDM que permite multiplexar y demultiplexar entre las señales procedentes del P-OLT y V-OLT.

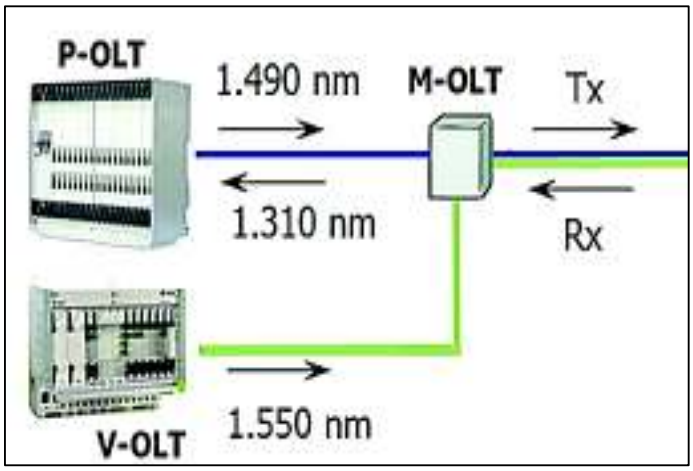


Figura 2.9 Estructura de una OLT. [26]

Al utilizar longitudes de onda diferentes para cada servicio se consigue evitar las distintas interferencias entre los contenidos de cada canal (ascendente/*upstream* y descendente/*downstream*). Para esto se emplean técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda WDM basadas en el uso de filtros ópticos.

Algo que hay que tener en cuenta es que el equipo terminal OLT no emite la misma potencia a todos los dispositivos finales (ONTs), lo hace dependiendo de la distancia a la que se localicen de la central. Esto es posible realizarlo debido a los dimensionadores de distancia con los que cuenta la OLT, estos son capaces de calcular la distancia que existe ente la ONT y el equipo ubicado en la central. Gracias a este mecanismo se consigue que a cada usuario le llegue la potencia requerida, de tal manera que los usuarios cercanos tendrán una menor potencia con relación a los que se encuentren mucho más lejos.

2.2.2 ONT (*OPTICAL NEWORK TERMINAL*)

Elemento encargado de recibir y filtrar los datos que van destinados desde la OLT al usuario final. Este dispositivo también encapsula la información del usuario y procede a enviarla a la OLT para que esta redireccione la misma a la red respectiva. Existen 2 tipos de ONT según su función:

- H-OLT (*Home ONT*): Instalada directamente en la vivienda del usuario final, utilizado en redes FTTH.
- B-ONT (*Building ONT*): También llamada MDU se instala en los cuartos de comunicaciones de edificios privados que se encuentran capacitados para dar servicio a varios usuarios. Este tipo de equipo se instala en redes FTTB.

El filtrado de la información en el dispositivo ONT se llevará a cabo a nivel de protocolo Ethernet, a través de tramas PEM (*PON Encapsulation Method,* Método de Encapsulación PON). Dicha trama consta de:

- *Header* (*Cabecera*): Contiene la información sobre la sincronización de la trama.
- CRC: Permite conocer si los datos que fueron enviados llegaron correctamente (sin errores) al destino.
- *Payload* (*Carga útil*): Datos a ser enviados.

Finalizado el filtrado y con los resultados requeridos, la ONT deberá diferenciar las ráfagas o señales de video, así como las de voz/datos que provienen de la OLT. Para ejecutar el segundo filtrado, el módulo eléctrico – óptico posee 2 fotodiodos siendo el uno digital y el otro análogo (DPD – *Digital Photo Diode* y APD – *Analogic Photo Diode*). Los filtros son los siguientes:

- OAF (*Optical Analogic Filter*): La señal de video (λ=1550nm) se demultiplexa en longitud de onda, atacando al fotodiodo APD para realizar la conversión en frecuencia.

- ODF (*Optical Digital Filter*): Las señales de voz y datos (λ=1490nm) se demultiplexan en longitud de onda, atacando al fotodiodo DPD.

A parte del filtrado de datos recibidos, la ONT puede enviar información a la OLT en una longitud de onda específica de 1310 nm, disponiendo de un LED que se encarga de enviar señales luminosas. La transmisión desde la ONT hacia la OLT (*upstream*) se da por TDM (Multiplexación por división de tiempo) con el fin de evitar las colisiones entre paquetes de datos enviados.

Como se muestra en la Figura 2.10 el esquema de la red es de fácil comprensión, comienza en un puerto 10G-PON de la OLT, de este viaja a un puerto del ODF ubicado en la misma central, una vez conectado al rack de ODF se dirige al *splitter* instalado en la calle. Posterior a esto se tiene el llamado enlace de última milla, que corresponde al tramo que va desde el *splitter* al cajetín ubicado en el hogar para que el usuario conecte su ONT.

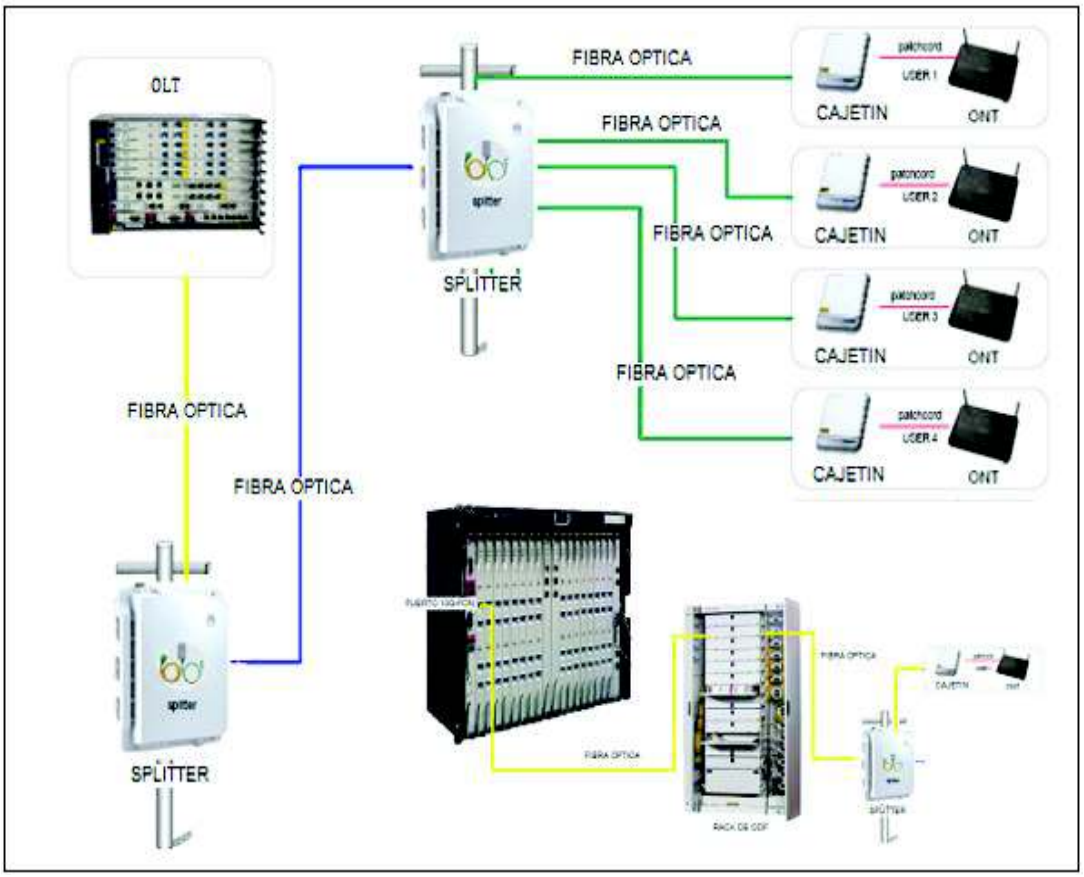


Figura 2.10 Esquema de conexión OLT – ONT.

2.3 FIBRA ÓPTICA [23]

Uno de los elementos de la red ODN (*Optical Distribution Network,* Red de Distribución óptica) es la fibra óptica, la misma que puede ser definida como un filamento de vidrio de alta pureza capaz de transportar haces de luz, recubierta por materiales protectores, bastante flexible, ya que su grosor es reducido y cuenta con características para transportar la información gracias a una serie de reflexiones internas.

2.3.1 COMPOSICIÓN Y GEOMETRÍA DE LA FIBRA ÓPTICA

La geometría física de la fibra y el índice de refracción son las claves que condicionan el funcionamiento general y el ancho de banda de los distintos tipos de fibra óptica, no obstante, todas ellas, comparten una estructura genérica que

permite la transmisión. La fibra óptica está constituida por 3 capas que difieren en sus propiedades tal como se indica a continuación:

- **Núcleo (*Core*):**
  Es la parte interna de la fibra óptica, se encarga de conducir señales ópticas provenientes de una fuente (luz) hasta el dispositivo de recepción. Posee un diámetro que va entre 10 y 300 mm. Mientras mayor es el diámetro del núcleo, mayor será la cantidad de luz que la fibra óptica transportará.

- **Revestimiento (*Cladding*):**
  Es la parte intermedia que rodea y protege el núcleo de la fibra óptica, posee un índice de refracción mucho menor al del núcleo y actúa como una capa reflejante (consigue que las ondas de luz que escapan sean reflejadas y retenidas). El revestimiento añade a la fibra óptica una capa de plástico para que el cable absorba los golpes y lo proteja contra curvaturas excesivas.

- **Recubrimiento (*Coating*):**
  Al ser la parte externa de la fibra, protege las capas interiores de daños causados por diversos agentes externos como: manipulación, medio ambiente, roedores y demás.

2.3.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica puede clasificarse en función del modo de propagación como se indica en la Tabla 2.5.

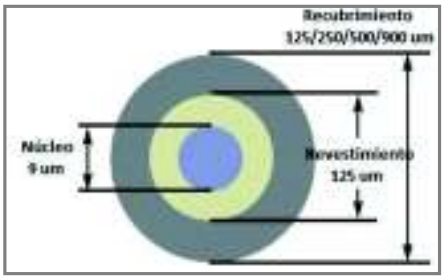
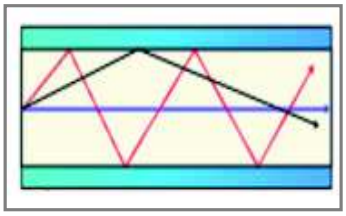
FIBRA ÓPTICA		
TIPOS DE FIBRA ÓPTICA POR EL MODO DE PROPAGACIÓN		
TIPO	**CARACTERÍSTICAS**	**GRÁFICO**
MONOMODO	El diámetro del núcleo es muy reducido va entre 8 micras a 10 micras, permitiendo la propagación solamente de un haz de luz.. Dicho haz se propaga sin reflexiones, como se muestra en la Figura 2.13, es decir existe una trayectoria paralela al eje de la fibra, eliminando el desfase o ensanchamiento del pulso en recepción y en consecuencia, la dispersión modal	 **Figura 2.11** Sección de una fibra monomodo [23]
	Las fibras monomodo permiten la transmisión de mayor cantidad de información por tener un ancho de banda superior al de las fibras multimodo.	**Figura 2.12** Propagación del haz de luz a través de una fibra monomodo [23]
MULTIMODO	El diámetro del núcleo está comprendido entre 50 micras y 62.5 micras, con esto el acoplamiento de las señales de luz en diferentes modos es mucho más sencillo como se muestra en la Figura 2.14. Este tipo de fibra tiene malas prestaciones ya que posee una velocidad de propagación mucho menor y una atenuación mucho mayor con respecto a la fibra de tipo monomodo, debido a las reflexiones interiores.	 **Figura 2.13** Propagación del haz de luz en una fibra Multimodo [23]

Tabla 2.5 Tipos de fibra óptica.

2.3.3 TIPOS DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA PARA XGPON

Dependiendo del tipo de instalación que se realiza, el cable de fibra óptica debe contar con características especiales que protejan el núcleo, es así que se tiene:

2.3.3.1 Cable de fibra óptica aéreo ADSS (*All Dielectric Self Supporting*)

Este cable tiene como característica principal que puede soportarse a sí mismo en un tipo de cableado aéreo, esto se puede hacer gracias a que cuenta con un

miembro central de refuerzo que brinda al cable la seguridad y la sustentación requerida. Este tipo de cable cuenta con elementos protectores que evitan el daño por las inclemencias del ambiente y para proteger daños del cable debido a los herrajes que se utiliza para su tendido. Estos cables ópticos son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos ya que carece de elementos metálicos. En la Figura 2.14 se ilustra los componentes del cable aéreo ADSS.

Figura 2.14 Cable aéreo ADSS componentes. [23]

2.3.3.2 Cable de fibra óptica OPGW (*Optical Ground Wire*)

Diseñado para transmitir alto voltaje, así como para transmitir información en sistemas ópticos. En su interior tiene un tubo de aluminio dentro del cual existen los buffers donde se encuentran las fibras, y sobre el tubo de aluminio se construye un cable para transportar alto voltaje, alcanzando distancias de hasta 10 Km como se ilustra en la Figura 2.15.

Las fibras ópticas en este tipo de cable se encuentran protegidas contra los daños físicos, ambientales y por efecto de manipulación por una cubierta de plástico. Este tubo de aluminio ubicado en el centro del cable proporciona alta conductividad eléctrica para la disipación de las descargas atmosféricas o cuando se tenga cortocircuitos accidentales.

Figura 2.15 Fibra óptica OPGW. [24]

2.3.3.3 Cable de fibra óptica aéreo Figura 8

Posee un cable de acero que trabaja como guía, es un elemento de sujeción o suspensión el cual es mostrado en la Figura 2.16 Cable utilizado para enlaces aéreos.

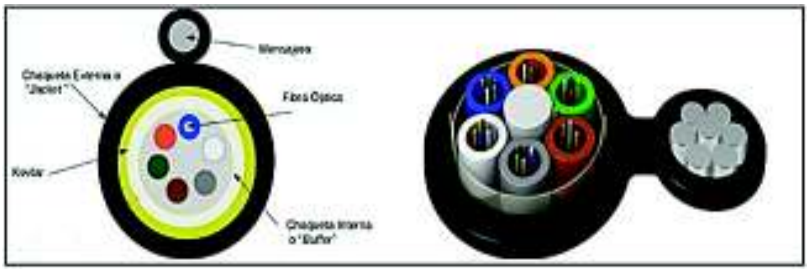


Figura 2.16 Cable aéreo Figura 8 componentes. [24]

2.3.3.4 Cable de fibra óptica con armadura para instalaciones subterráneas (Cable Armado) [24]

Este tipo de fibra óptica presenta materiales extras que por sus características químicas soportan condiciones ambientales extremas, como lluvias, humedad, etc. Estos cables varían su tipo dependiendo la aplicación que se le dé, así:

2.3.3.4.1 Canalizado Antiroedores

Este cable es óptimo para instalaciones en ductería, ya que se caracteriza por tener una armadura metálica que brinda resistencia mecánica para protección contra roedores. Es importante tener en cuenta que si existe disponibilidad de ductos es mejor realizar este tipo de instalación. El cable se ilustra en la Figura 2.17:

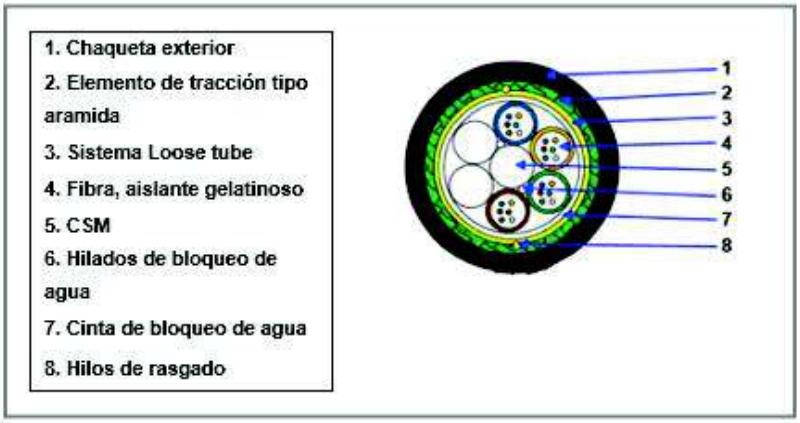


Figura 2.17 Cable canalizado Antiroedores componentes. [28]

2.3.3.4.2 Canalizado Directamente Enterrado

Este cable es ideal para realizar acometidas de fibra a la casa por su diseño para instalaciones en sitios donde no existen ductos, o los ductos existentes se encuentran saturados, la instalación de cable se realiza mediante equipos especializados. El cable se ilustra en la Figura 2.18.

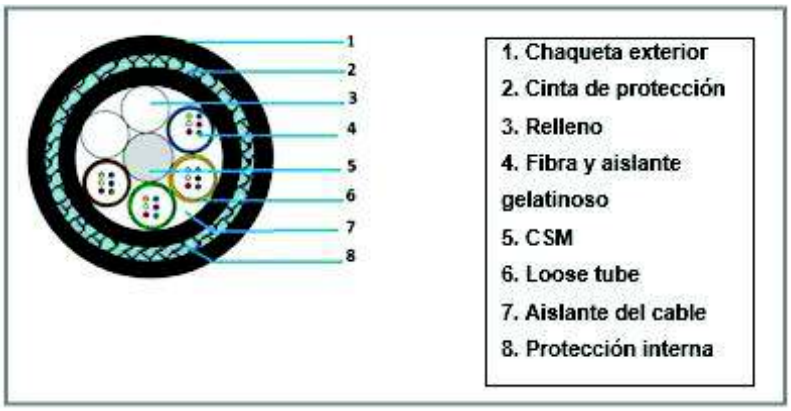


Figura 2.18 Cable canalizado Directamente enterrado componentes. [28]

2.3.3.4.3 Canalizado Para Cabinas Telefónicas

Este tipo de cable es ideal para instalaciones dentro de ductería subterránea, su diseño es apropiado para soportar penetraciones de agua debido a su impermeabilidad, presenta resistencia a la corrosión, protección anti roedores y anti-insectos**.** El cable se ilustra en la Figura 2.19.

Figura 2.19 Cable canalizado para cabinas telefónicas subterráneas componentes. [29]

2.3.3.5 *Loose Tube* (Cable de estructura holgada)

Dispone de una serie de tubos que rodean a un refuerzo central. Las fibras descansan de forma holgada dentro de dichos tubos, los cuales se encuentran recubiertos con material hidrófugo para impedir daños, debido a la humedad. El cable es utilizado tanto para instalaciones interiores como para exteriores. El cable se ilustra en la Figura 2.20.

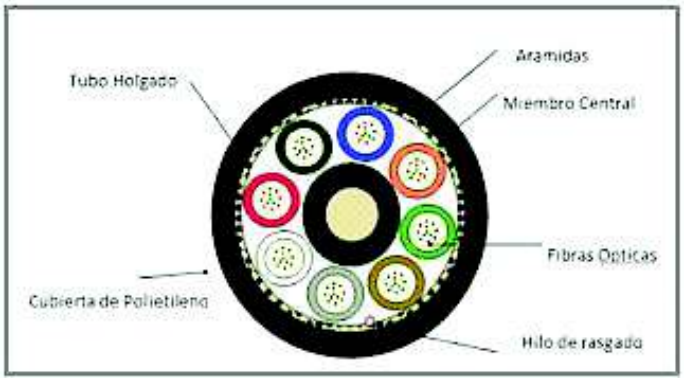


Figura 2.20 Fibra *Loose Tube* componentes. [28]

2.3.3.6 *Tight Buffer* (Cable de estructura ajustada)

Cada una de las fibras ópticas junto con su recubrimiento primario son envueltas en un recubrimiento secundario de aproximadamente 900 μm como protección adicional. Este tipo de fibras pueden ser conectorizadas directamente, evitando de esta manera el uso de cajas de empalme. Es utilizado para instalaciones internas

debido a que facilita la instalación al soportar radios de curvatura menores. El cable se ilustra en la Figura 2.21.

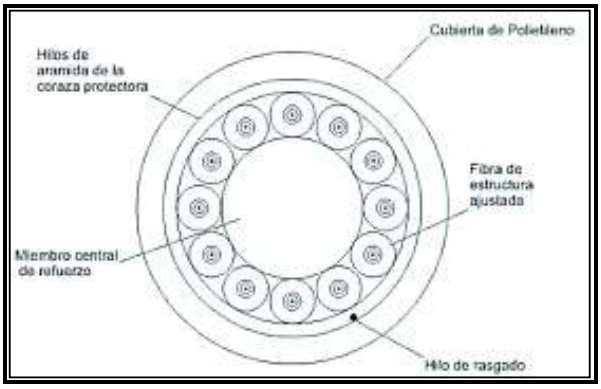


Figura 2.21 Fibra *Tight Buffer* componentes. [29]

2.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

2.3.4.1 Ventajas:

Como medio de transmisión la fibra óptica presenta varias ventajas con respecto a otros medios de transmisión utilizados en este tipo de redes. Entre dichas ventajas se observa:

- Mayor velocidad de transmisión. La velocidad a la que viajan las señales es muy cercana a la velocidad de la luz (3x10ˆ8 m/s), esto con relación a la velocidad que se obtiene en otros tipos de cable (50% - 70% de la velocidad de la luz) es mucho mayor.
- La fibra óptica no produce ningún tipo de interferencia electromagnética, por lo que no se ve afectada por las radiaciones.
- La atenuación es mucho menor a mayor distancia con relación a los cables eléctricos lo cual permite que los repetidores de señal se encuentren más separados.
- La capacidad de transmisión de la fibra óptica es mayor, se puede tener velocidades mayores a 2 Gbps. Esto debido a que la velocidad aumenta con la frecuencia de transmisión.

- Las características físicas de la fibra óptica permiten a la misma trabajar a mayores temperaturas, debido a su flexibilidad el cable es mucho más manejable y permite instalaciones tanto aéreas como canalizadas.
- Reducción de costos de fabricación debido al material que se utiliza para su elaboración. La vida operacional de la fibra óptica es mucho mayor a la de los cables eléctricos.

2.3.4.2 Desventajas:

Las desventajas encontradas para la fibra óptica no son mayores a continuación se enumeran algunas de ellas:

- La instalación del cable de fibra óptica tiene un proceso muy diferente al realizado para los cables de cobre, por este motivo las técnicas convencionales deberán ser sustituidas por metodologías especiales, es decir en lugar de soldaduras y ataduras se deberá utilizar elementos especiales como herrajes para fibra óptica, sujetadores diferentes, empalmes por fusión, etc.
- Para evitar cortes y daños físicos del cable de fibra óptica es recomendable pasar el mismo por terrenos homogéneos, ductería sin curvaturas exageradas. Por tal motivo una de las desventajas de la utilización de este tipo de cable es que para tener una instalación aceptable se debe hacer uso de dispositivos mucho más caros que ayudan en mediciones y control en el proceso de implementación de la red con este tipo de cable.
- Cuando se tiene un dispositivo electrónico en el extremo del transmisor se requiere una conversión electro-óptica, es decir la señal eléctrica debe convertirse en espectro luminoso (850nm, 1310nm, 1550nm) usando un LED o un láser de estado sólido.
- La fibra presenta un inconveniente puntual que es la dispersión, que produce una deformación del pulso a medida que se propaga en la fibra, debido a que las componentes de la señal viajan a distintas velocidades lo que hace que se llegue al receptor en tiempos diferentes. Los tipos de dispersión existentes son:

- Modal
- Por Polarización de Modo
- Cromática

Este fenómeno de deformación llamado dispersión, supone una reducción del ancho de banda ya que al ensancharse los pulsos se tiene una limitación de la tasa de transmisión. Dicho fenómeno se caracteriza por el parámetro D (ps/nm.Km) que indica el ensanchamiento del pulso. El cual aumenta con la longitud recorrida y con el ancho espectral de la fuente óptica.

2.3.4.2.1 Dispersión Modal: es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra, es decir las velocidades de grupo varían, esto se observa en la Figura 2.22.

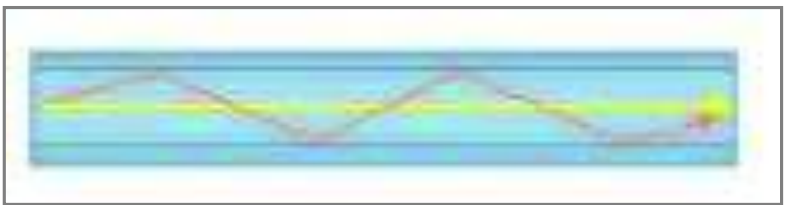


Figura 2.22 Distintos modos recorren caminos de distintas longitudes. [23]

2.3.4.2.2 Dispersión Por Polarización de Modo: Este fenómeno se produce cuando una fibra monomodo no es perfectamente circular, debido a esto la velocidad de propagación de cada polarización va a ser distinta, produciéndose la dispersión por polarización del modo (PMD – *Polarization Mode Dispersión*). Este tipo de dispersión varía con la longitud de la fibra óptica. Esto se ilustra en la Figura 2.23.

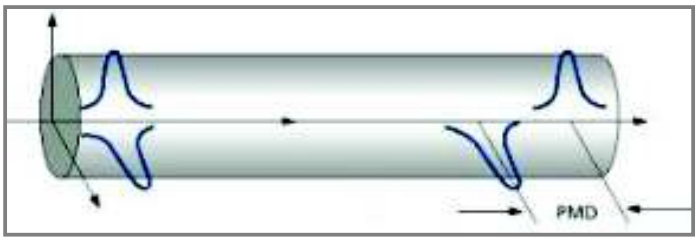


Figura 2.23 Dispersión por polarización de modo en una fibra monomodo asimétrica. [23]

2.3.4.2.3 Dispersión Cromática: Este fenómeno se refiere al retardo espectral de un pulso óptico mientras se propaga por el cable. El problema está en que el cable de fibra convencional tiene un coeficiente de dispersión positivo; esto quiere decir que a mayor longitud de onda se tiene un mayor tiempo de circulación del pulso a través de la fibra, esto comparado con las longitudes de onda corta. Este diferencial de retardo hace que el pulso se deforme.

En tramos largos de cable este fenómeno puede resultar en pulsos que se deforman de tal manera que se sobresolapan, causando la llamada interferencia inter– simbólica, en el receptor que ve incrementado la tasa de error

Este fenómeno aparece debido a la combinación de 2 efectos explicados a continuación:

a. Dispersión material: En este fenómeno el índice de refracción del silicio depende de la frecuencia. Por ello las componentes de distinta frecuencia viajan a velocidades diferentes por el silicio.
b. Dispersión por guiado de onda: Para poder entender este fenómeno se necesita recordar que la potencia de un modo se propaga parcialmente por el núcleo de la fibra y parcialmente por el revestimiento. El índice efectivo de un modo se sitúa entre el índice de refracción y el índice de revestimiento, acercándose más a uno u otro dependiendo de cuál sea el porcentaje de la potencia que se propaga por los mismos (es decir que si el mayor porcentaje de potencia se encuentra en el núcleo, el índice efectivo estará más cerca del índice de refracción del núcleo que del índice de revestimiento). Debido a que la distribución de la potencia de un modo entre el núcleo y el revestimiento depende de la longitud de onda si esta presenta alguna variación la distribución de potencia también lo hará, provocando un cambio en el índice efectivo o constante de propagación del modo.

   Por lo tanto, aunque los índices de refracción del núcleo y del revestimiento sean independientes de la longitud de onda, si la longitud de onda varia seguiría produciéndose este fenómeno.

Para compensar los efectos de la dispersión cromática se procede con: El empleo de fibras compensadoras de dispersión. Existen fibras especiales cuyo diseño reduce o anula la dispersión en la tercera ventana como la fibra DSF (*Dispersion Shifted Fiber*) y la fibra NZDF (*NonZero Dispersion Fiber*). Existe otro tipo de fibras que tienen en cambio un valor muy alto de dispersión y de signo contrario al de las fibras monomodo estándar, de esta forma alternando los tramos de esta fibra y de fibras compensadoras de dispersión se puede obtener una dispersión nula. El problema de estas fibras es su mayor atenuación.

c. Otro inconveniente que presenta la fibra óptica son las diversas pérdidas que se detectan en el transcurso de la transmisión. De esta manera se tiene:

2.3.4.2.4 Pérdidas por Absorción: Son pérdidas que no se pueden eliminar, ya que dependen del material de fabricación de la fibra óptica. Las impurezas y otros factores hacen que se tengan estas pérdidas. Dentro de este tipo de pérdida se tiene también:

- *Pérdidas por iones.*
- *Pérdidas por absorción ultravioleta.*
- *Pérdidas por absorción infrarroja.*

2.3.4.2.5 Pérdidas por Scattering: Generadas el momento de la fabricación de la fibra óptica, el núcleo de dicha fibra presenta irregularidades que hacen que el haz de luz se disperse en varias direcciones, formando varios haces de luz. Dentro de estas pérdidas se puede encontrar 2 tipos adicionales:

- *Scattering de Mie:*
  Cuando el diámetro de las irregularidades es igual o mayor a la longitud de onda de la señal.
- *Scattering de Rayleigh:*
  Cuando el diámetro de las irregularidades es menor que la longitud de onda de la señal.

En la Figura 2.24 se muestra estos tipos de pérdidas.

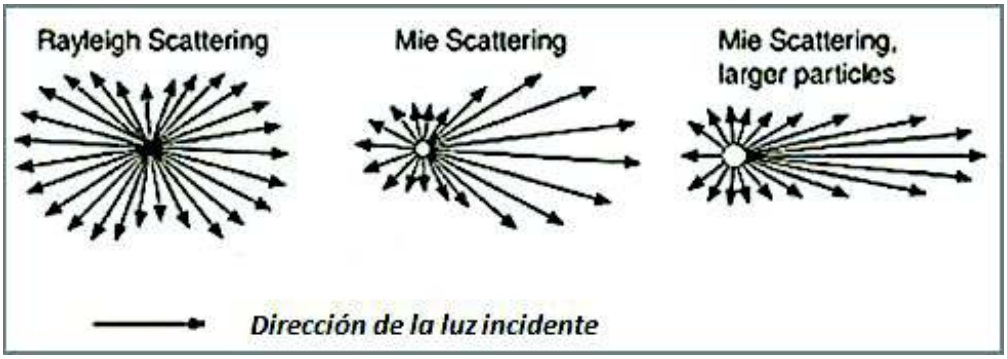


Figura 2.24 Pérdidas por Scattering. [23]

Existen pérdidas ajenas a la naturaleza de fabricación, en este caso los haces de luz se pierden al variar el ángulo crítico con el que incide la luz, ocasionando refracción en lugar de reflexión. Dentro de este tipo de pérdidas se tienen:

- Pérdidas por micro curvaturas: Causadas por imperfecciones físicas microscópicas de la fibra óptica, estas pueden ser el resultado de un mal proceso de fabricación, o de diferentes parámetros propios del cable. Una micro curvatura hace que el haz de luz se escape del núcleo, produciendo las pérdidas. Esto se puede observar en la Figura 2.25.

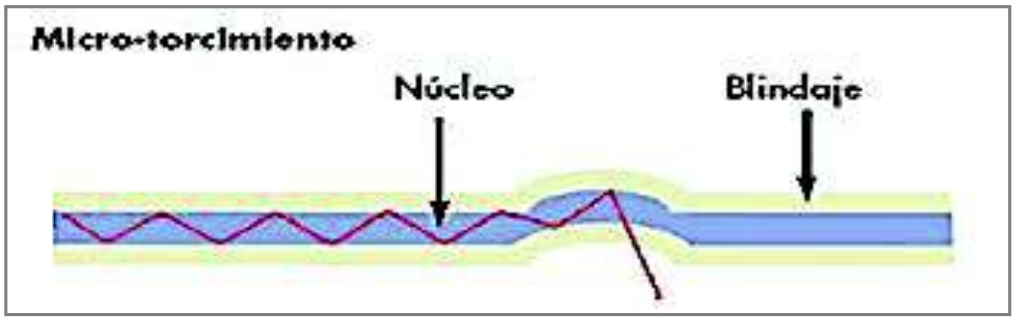


Figura 2.25 Pérdida por micro curvatura. [24]

Pérdidas por macro curvaturas: Este tipo de pérdida hace que el haz de luz se escape del núcleo y, por lo tanto, provocan pérdidas. La causa principal de este fenómeno es una torsión de pequeño radio, creada por doblamientos en la fibra. Esto se observa en la Figura 2.26.

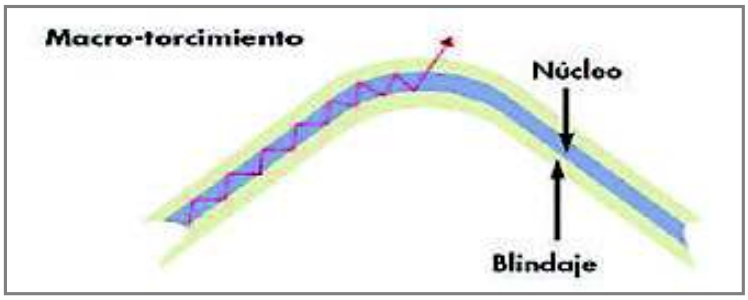


Figura 2.26 Pérdida por macro curvatura. [23]

2.3.4.2.6 Pérdidas por Empalmes: Generadas por las uniones entre fibras que pueden ser de diferente tipo o tener un mal alineamiento, dichas uniones son los llamados empalmes que pueden ser por fusión o mecánicos. Esto se ilustra en la Figura 2.27.

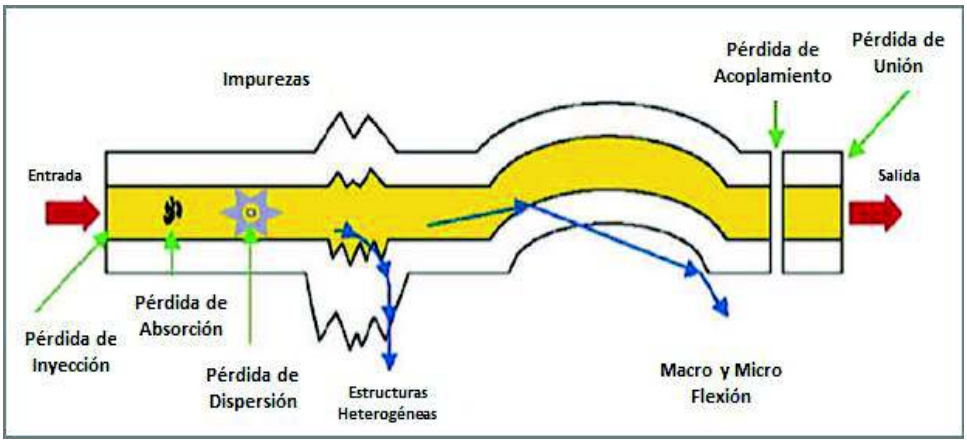


Figura 2.27 Pérdidas que presenta la fibra óptica. [29]

2.3.4.3 Dispositivos que integran una red de Fibra Óptica

2.3.4.3.1 SPLITTERS: Son elementos de una red pasiva que no necesitan tener equipos activos dentro del bucle local del usuario final. Los splitters dependiendo si se encuentran en sentido *downstream* o en sentido *upstream* son considerados como Divisores o Acopladores respectivamente. Al actuar como divisores, la señal que entra la divide en el número de veces que se requiera al igual que la potencia de la misma. Ahora al actuar como acoplador realiza la función inversa combinando las señales de todas las salidas y enviándolas a una o más entradas.

2.3.4.3.2 Tipos de SPLITTERS:

- *Splitter en Estrella:* Este tipo de dispositivo cuenta con varios puertos de entrada y varios puertos de salida, siendo la potencia en los puertos de salida equivalente. Las pérdidas en este *splitter* van variando de forma logarítmica con relación al número de salidas.
- *Splitter en T*: Transmite la señal entrante (viene de una sola fibra) a otras 2 fibras en la salida. Las pérdidas de este dispositivo son de aproximadamente 3dB.
- *Splitter TAP:* Son dispositivos cuyas potencias en las salidas son asimétricas, es decir cada salida tiene su potencia. Este *splitter* puede tener uno o varios puertos de entrada y varios puertos en la salida.

Al igual que la fibra, los *splitter* presentan ciertos inconvenientes que provocan pérdidas en el enlace, tal es así que a continuación se puede encontrar los siguientes fenómenos:

- *Pérdidas de Inserción (Insertion Loss):* Es la disminución de la potencia del puerto de salida con respecto a la potencia en la entrada. Se producen cuando se inserta un obstáculo o dispositivo en el medio de transmisión. Cada dispositivo tiene una pérdida de inserción diferente dependiendo del material de fabricación.
- *Pérdidas de Retorno (Return Loss):* Se producen debido a discontinuidades en el índice de refracción en las interfaces entre el núcleo y el aire en el extremo donde se encuentra el conector. Donde una parte del haz de luz vuelve al origen.

2.3.4.3.3 Conectores de Fibra Óptica

Actualmente los conectores más usados son:

- FC (*Fiber Connector*): Tienen una pérdida de inserción de 0.3 dB.
- LC (*Lucent Connector*): Tienen una pérdida de inserción de 0.10 dB.

- SC (*Straight Connection*): Tienen una pérdida de inserción de 0.25 dB.
- ST (*Straight Tip*): Tienen una pérdida de inserción de 0.25 dB.
- MTRJ (*Mechanical Transfer Registered Jack*): Tienen una pérdida de inserción de 0.25 dB.
- FDDI: Tienen una pérdida de inserción de 0.3 dB.

Estos tipos de conectores se muestran en la Figura 2.28:

Figura 2.28 Tipos de conector para fibra óptica. [20] [24]

Se puede también clasificar los conectores de acuerdo al pulido, en 3 tipos ilustrados en la Figura 2.29:

- PC (*Physical Contact*)
- APC (*Angled Physical Contact*)
- UPC (*Ultra Physical Contact*)

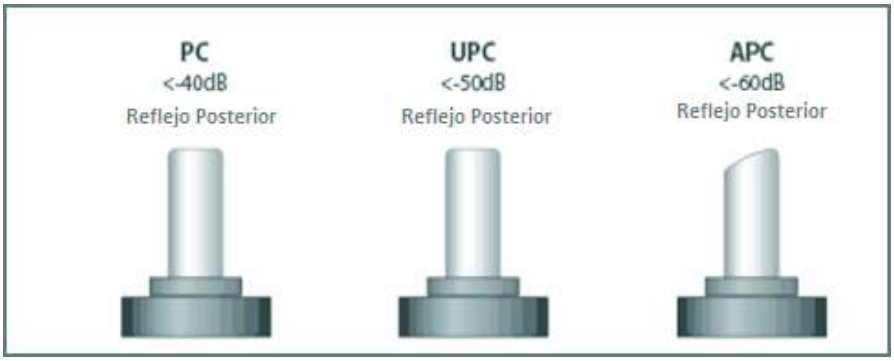


Figura 2.29 Tipos de conector para fibra óptica de acuerdo al Pulido. [25]

La diferencia entre los 3 conectores antes mencionados es la pérdida de retorno que estos presentan, mientras menor sea la pérdida del conector (Por ejemplo -60 dB del conector APC.) mayor será el rendimiento.

2.3.4.3.4 Empalmes en la Fibra Óptica

Un empalme aparece debido a la necesidad de aumentar el alcance de la fibra óptica, con el fin de adaptarse a los requerimientos de las instalaciones. Al realizar un empalme se tiene una pérdida aproximada de 0,01 dB. Un empalme puede ser de 2 tipos:

a. Empalme Mecánico: Consiste en unir 2 fibras con elementos mecánicos con el fin de conseguir un buen grado de alineamiento. Son considerados como empalmes temporales debido a que por el pegamento o por otros elementos la unión se puede deshacer.
b. Empalme por Fusión: Considerados como empalmes permanentes, en este caso los 2 extremos de las fibras quedarán adheridos haciendo ver a las fibras como una sola.

2.4 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA RED

El tramo principal de fibra se tiende entre el equipo terminal OLT ubicado en la ONU, localizado cerca de los usuarios. En este punto se requiere usar un *power splitter* que actúa como un divisor óptico para la conexión de los usuarios al núcleo de la fibra (depende del equipo y del número de usuario por puerto PON). A

continuación, cada bucle se equipa con una ONT que se va conectando a las ramas del *power splitter* instalado.

Mientras tanto la OLT debe asegurar la transmisión de servicios a una longitud de onda distinta a la ONT respectiva (a 1490nm y a 1310 nm ONT), con esto se evita interferencia entre señales y se logra la transmisión en ambos sentidos.

La OLT al mismo tiempo puede estar conectado a un multiplexor por longitud de onda (WDM) para la difusión conjunta de video datos y voz sobre una fibra. La emisión de video se realiza generalmente en λ=1550nm.

En la Figura 2.30 se muestra el esquema general de una red PON:

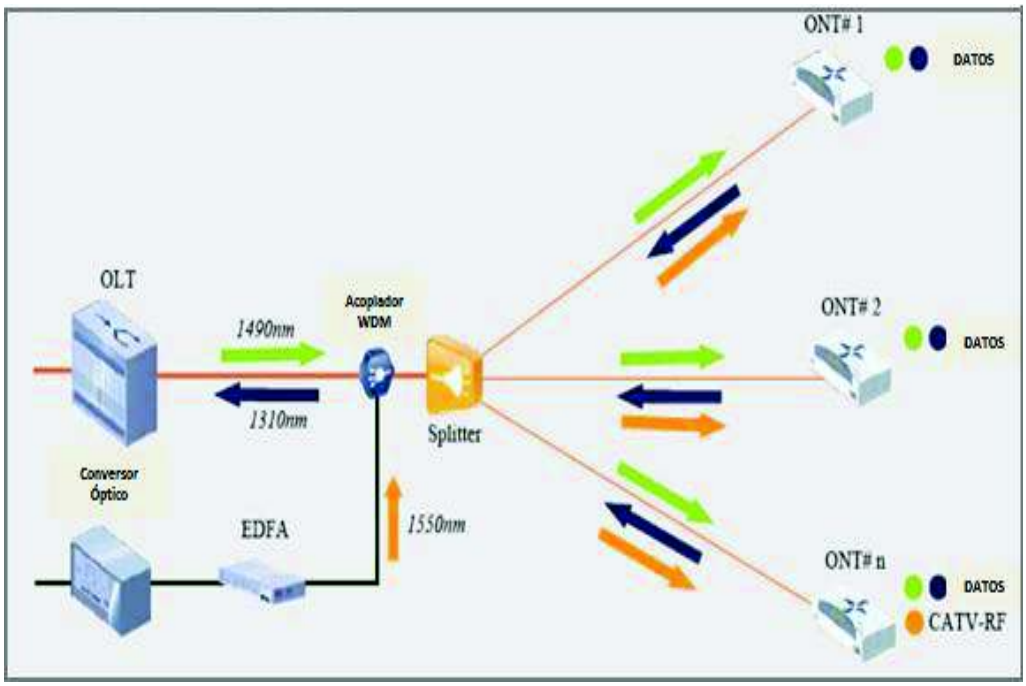


Figura 2.30 Esquema general de una red PON. [26]

Dependiendo de las necesidades del usuario se pueden realizar enlaces de distintas capacidades de transmisión, y se pueden ofrecer conexiones simétricas como asimétricas. Para el caso del presente proyecto la transmisión será simétrica ya que de acuerdo con el estándar G.984.2 tanto para transmisión como para

recepción se requiere de un mismo ancho de banda, esto para evitar problemas en los usuarios y para aprovechar el funcionamiento del equipo que presenta esta característica.

2.5 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR LA MARISCAL EN LA CIUDAD DE QUITO

De acuerdo con las estadísticas brindadas por el INEC, la provincia de Pichincha tiene aproximadamente 2580000 habitantes, de esta cantidad un 77% tiene la capacidad de utilizar el internet ya sea en sus hogares o empresas, de este porcentaje correspondiente a la provincia, un 0,7% (13000 habitantes aproximados) pertenece a la zona de la MARISCAL.

Basado en los planes actuales ofrecidos por las distintas operadoras, y complementado con las encuestas realizadas, las personas del sector cuentan con servicios *Triple Play*, donde los anchos de banda asignados para datos van desde 2 Mbps hasta 20 Mbps asimétricos.

Suponiendo que actualmente las operadoras de la zona cuenten con al menos 3 equipos de fibra óptica con la tecnología GPON con una capacidad de 352 puertos y a cada puerto se puedan conectar hasta 32 dispositivos se podría brindar los servicios a 11000 usuarios; teniendo en cuenta esto y que el INEC plantea un crecimiento poblacional de un 10% por año en la provincia no se podría brindar los servicios a todos los usuarios, adicionalmente conociendo que en un futuro los anchos de banda sobrepasarán los 100 Mbps debido a las nuevas tecnologías, se determina que los equipos necesitarán también actualizarse, por tal motivo se plantea usar el equipamiento con tecnología 10G-PON cuya capacidad podrá durar por muchos años.

2.6 DELIMITACIÓN DEL SECTOR LA MARISCAL EN LA CIUDAD DE QUITO

A continuación, se procede a establecer y analizar las condiciones de la zona en el sector de La Mariscal, en donde se realizará el diseño de la red de acceso 10G-PON. Como primer paso, mediante encuestas a los habitantes del sector se actualiza la demanda de servicios (*Triple Play*) de los usuarios, tanto del sector residencial como del sector comercial, las mismas se muestran en el ANEXO 4 con la tabulación de los datos obtenidos en las encuestas se procederá a calcular la capacidad requerida para realizar el diseño de la red 10G-PON.

La Mariscal es una de las 32 parroquias urbanas de la ciudad de Quito. Se ubica en el centro-norte de la capital. Su población fija según el censo 2010 del INEC es de 12976 habitantes, como se muestra en la Tabla 2.6, además hoy en día existe en la zona una gran cantidad de población que se considera como “flotante”, debido a que durante el día esas personas trabajan y no permanecen en sus casas, a diferencia de la noche que es cuando regresan y se concentra además una gran actividad comercial y turística.

Por la situación actual en la que se encuentra la zona, en este proyecto se busca realizar el diseño de una red 10G-PON, en este sector de la cuidad, permitiendo cubrir la demanda de servicios (voz, banda ancha y televisión) y satisfaciendo así las necesidades actuales como las futuras.

No. Orden	NOMBRE DE PARROQUIAS	ZONAS CENSALES	POBLACIÓN POR PARROQUIAS
14	MARISCAL SUCRE	171 A LA 176	12.976

Tabla 2.6 Población zona la Mariscal de Quito, Censo 2010. [30] [31]

A continuación, se presenta la delimitación de la zona para el diseño de la red 10G-PON, tomando en cuenta los puntos de interés detallados en la Tabla 2.7:

PUNTOS DE INTERÉS EN LA MARISCAL	
INSTITUCIONES EDUCATIVAS	Universidad Iberoamericana Instituto de Idiomas Instituto Illinois Colegio Intiyan Centro Educativo Global English Universidad Autónoma de Quito Unidad Educativa Borja Unidad Educativa Santo Domingo de Guzmán Unidad Educativa Manuela Cañizares ISPADE CEC EPN Colegio Santa Marianita de Jesús Colegio Nuevo Ecuador
BANCOS E INSTITUCIONES FINANCIERAS	Banco Pichincha Banco del Austro Banco de Guayaquil Banco Internacional Mutualista Pichincha
CENTROS DE SALUD	Clínica San Francisco Hospital del IESS Hospital Baca Ortíz NOVA Clínica Clínica Pichincha Clínica Iberoamericana
HOTELES Y RESTAURANTES	Hotel Hilton Colon Hotel Amaranta Hotel Plaza Hotel Mercury Hotel Alfa Internacional KFC Texas Chicken Pollo Campero
COMERCIOS IMPORTANTES	MULTICENTRO C.C. ALMAGRO C.C. La Espiral Mercado Artesanal

PUNTO DE INTERÉS EN LA MARISCAL	
INSTITUCIONES PÚBLICAS	Ministerio de Bienestar Social EMMOP Agencia Nacional de Tránsito Ministerio de Telecomunicaciones Consejo de la Administración de la Niñez Ministerio de Cultura Superintendencia de Bancos Ministerio de Relaciones Exteriores Agencia IEES Agencia SRI Edificio INEC Consejo Nacional de la Judicatura Biblioteca Banco Central Tribunal de Justicia Comando Operativo de Tránsito Fiscalía General del Estado CONSEP Dirección de Rehabilitación Social Ministerio de Recursos No Renovables Ministerio de Justicia CFN
OTRAS INSTITUCIONES	Colegio de Ingenieros de Minas Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha Reclutamiento Armada Nacional ECAE Dirección de Policía Nacional Embajada del Brasil Agencia del Comercio Consulado de Polonia Embajada Francia Unidad de Vigilancia Mariscal Diario EXTRA Diario El Universo CNT Centro Agrícola Quito Casa Girón Club de Leones

Tabla 2.7 Puntos de interés en La Mariscal, Quito. [31]

En la Figura 2.31 se puede apreciar los límites marcados con color rojo, de la zona donde se realizará el diseño:

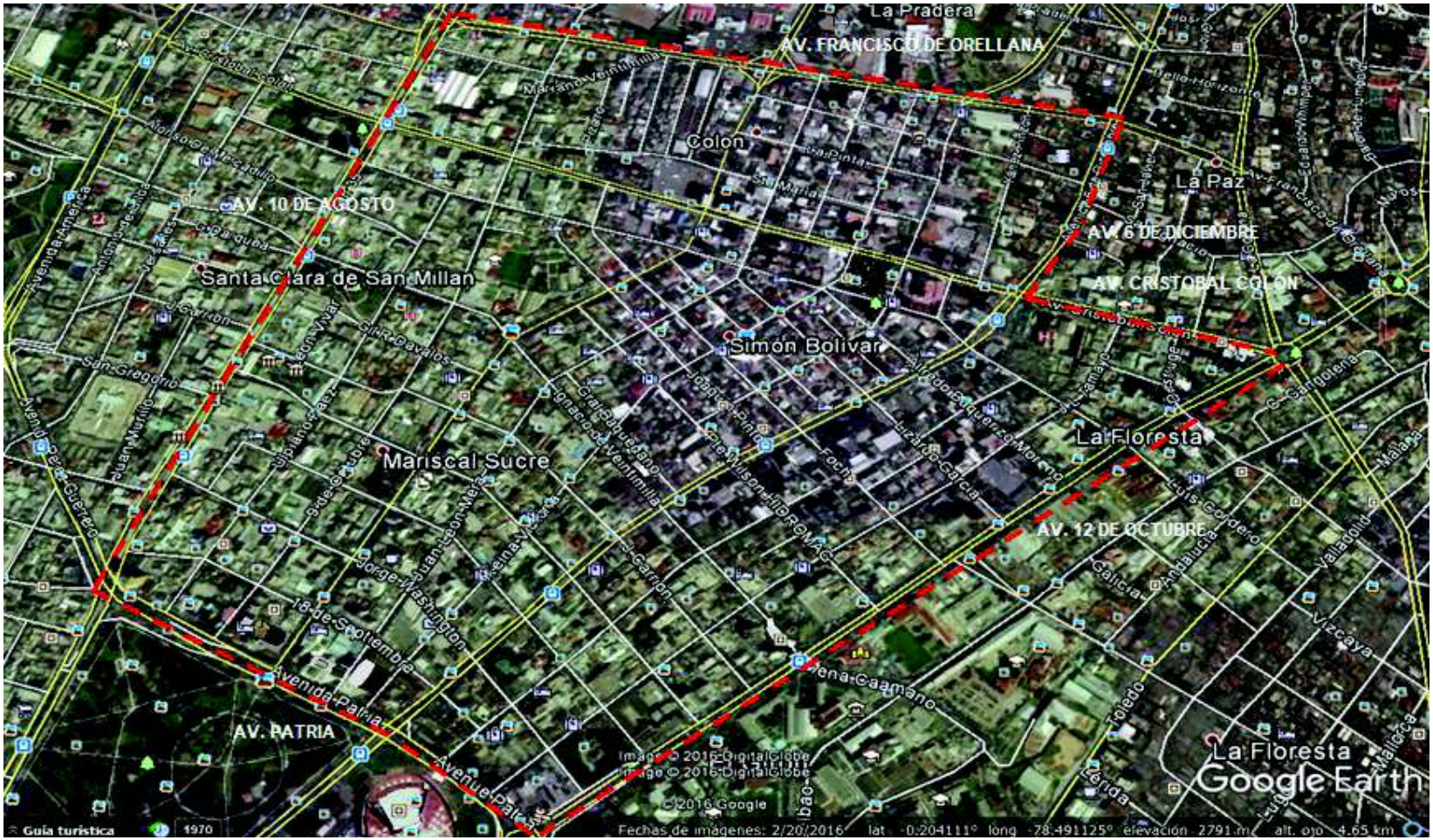


Figura 2.31 Delimitación del área para el diseño de la red 10G-PON.

- Al Norte limitado por la Avenida Francisco de Orellana y Avenida Cristóbal Colón.
- Al Sur limitado por la Avenida Patria.
- Al Este limitado por la Avenida 6 de Diciembre y Avenida 12 de Octubre.
- Al Oeste Limitado por la Avenida 10 de Agosto.

2.7 POBLACIÓN Y MUESTRA [25]

En la ejecución del presente proyecto se trabajó con personas que habitan en la zona de La Mariscal, con el fin de obtener el número de clientes (hogares y oficinas) en el área de diseño, de acuerdo al INEC la población de la zona es de 12.976 habitantes suponiendo que por cada hogar/oficina se tenga un mínimo de 4 personas; dividiendo la cantidad total de habitantes de la zona para el número de integrantes del hogar, se obtiene entonces 3244 personas con la cuales se trabajará; población reducida con la cual se calculará la respectiva muestra mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{E^2(n-1)+1} \qquad \textbf{Ec. 2.1}$$

Donde:

n = Tamaño de la Muestra

N = Población (población reducida)

E = Margen de error (0.05)

$$n = \frac{3244}{0.05^2(3244-1)+1}$$

$$n = 356$$

De acuerdo a los cálculos realizados se aplicó la encuesta a 356 personas dentro de la zona de la Mariscal.

2.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.8.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS QUE POSEEN LOS ENCUESTADOS

De acuerdo con las encuestas realizadas, se determinó el tipo de servicio con el que contaban los usuarios, ver Tabla 2.8 y Figura 2.32:

a. Solo Telefonía
b. Solo Internet
c. Solo TV pagada
d. Telefonía + Internet
e. Telefonía + TV pagada
f. TV pagada +Internet
g. Telefonía + Internet + TV pagada

Cada opción presenta una combinación de servicios a las que el usurario puede acceder, para un mejor manejo de la información cada uno de estos paquetes tiene marcado una letra que lo identifica y que será usada en adelante cuando se mencione alguna opción indicada de la lista mencionada.

Descripción	Paquete Contratado	Cantidad de Usuarios	Porcentaje
Solo Telefonía	A	29	8,15%
Solo Internet	B	6	1,69%
Solo TV pagada	C	7	1,97%
Telefonía + Internet	D	45	12,64%
Telefonía + TV pagada	E	36	10,11%
TV pagada +Internet	F	101	28,37%
Telefonía + Internet + TV pagada	G	132	37,08%
TOTAL		**356**	**100,00%**

Tabla 2.8 Porcentaje de servicios en La Mariscal, Quito.

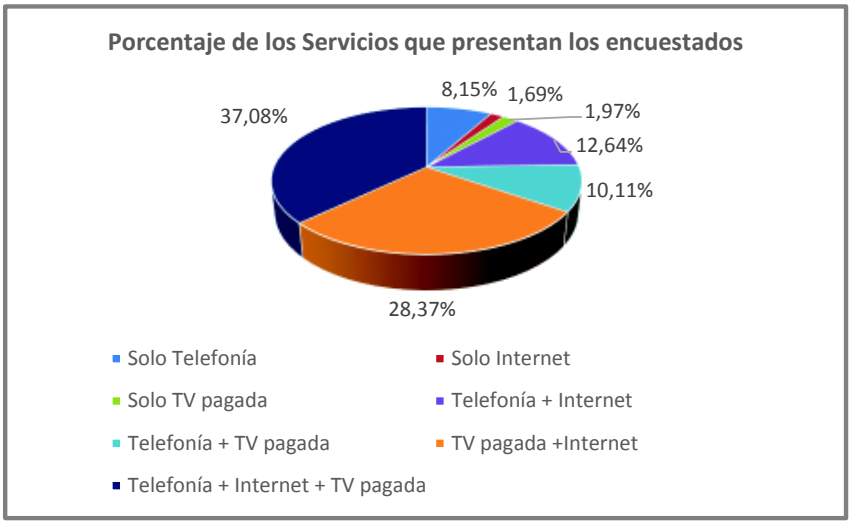


Figura 2.32 Porcentaje de servicios en La Mariscal, Quito.

En la Figura 2.32 se tiene los porcentajes obtenidos en la encuesta realizada, como se observa, el servicio de internet por si solo cubre una muy pequeña parte del mercado, el mismo puede ser proporcionado por distintos proveedores. En cuanto al servicio telefónico el principal proveedor es la empresa pública CNT E.P. el servicio contratado sin ningún tipo de combinación adicional (telefonía + tv, tv + internet, etc.) es muy bajo.

Los otros tipos de combinaciones (d, e, f, g) presentan porcentajes un poco esperados ya que en la actualidad los clientes cuentan con planes básicos de cada servicio. De todo el porcentaje encuestado una tercera parte cuenta con servicios *Triple Play*.

2.8.2 PLAN DE SERVICIO CON EL QUE CUENTAN LOS ENCUESTADOS

De los resultados de las encuestas realizadas se logró obtener un porcentaje que indica si el plan contratado es para uso familiar o empresarial. Ver Tabla 2.9.

Para la realización de los cálculos se procede a tomar al total de personas como el 100% (356 encuestados), con los resultados (152 personas usan servicios en empresas y 204 los usan en hogares) se realiza una regla de tres para obtener los porcentajes de cada opción.

PLAN DE SERVICO CONTRATADO				
PARA EMPRESA	PORCENTAJE EMPRESA	PARA HOGAR	PORCENTAJE HOGAR	TOTAL
152	42,70%	204	57,30%	356

Tabla 2.9 Plan de servicios de los encuestados en La Mariscal, Quito.

El mayor porcentaje de encuestados pertenece a varios hogares de la zona, con esto se tiene una idea de a quién se podría ayudar con la mejora tecnológica que está siendo planteada en el presente proyecto. Ver Figura 2.33.

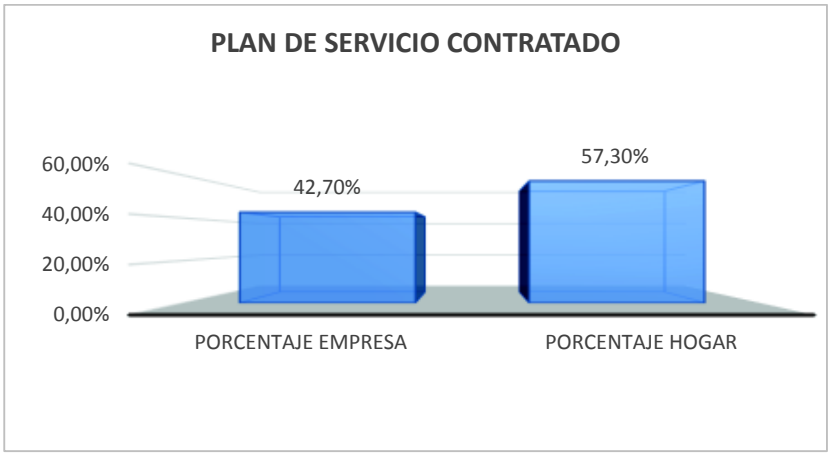


Figura 2.33 Plan de servicios de los encuestados en La Mariscal, Quito.

2.8.3 CONTRATACIÓN DE VARIOS PAQUETES A UN MISMO PROVEEDOR

La pregunta planteada a continuación tiene como objetivo el analizar si los usuarios finales están conscientes de las ventajas y desventajas que se tiene al contar con servicios proporcionados por el mismo proveedor. En esta ciudad la empresa pública CNT E.P es la que provee servicios de internet en mayor cantidad a los clientes, los mismos que cuentan con paquetes pertenecientes a una tecnología antigua como es el ADSL. La misma empresa ofrece también al mismo tiempo y en menor cantidad, paquetes compuestos por televisión y telefonía (opción e) que no son muy requeridos por los usuarios.

Actualmente se está promocionando el paquete g (Telefonía + Internet + TV pagada) a través de la tecnología GPON, la cual es muy explotada.

Como se observa en los resultados obtenidos en la Tabla 2.10 los paquetes combinados en su mayoría si han sido contratados, pero en este caso los usuarios pueden estar en condición de obtener una mejora a su actual situación. Obsérvese también las Figura 2.34 y 2.35 donde se muestra el porcentaje de usuarios con servicios contratados y no contratados con un mismo proveedor.

Descripción	Paquete Contratado	SI	Porcentaje SI	NO	Porcentaje NO	TOTAL	Porcentaje
Telefonía + Internet	D	35	9,83%	22	6,18%	57	16,01%
Telefonía + TV pagada	E	5	1,40%	47	13,20%	52	14,61%
TV pagada +Internet	F	112	31,46%	6	1,69%	118	33,15%
Telefonía + Internet + TV pagada	G	78	21,91%	51	14,33%	129	36,24%
SUBTOTAL		**230**	**64,61%**	**126**	**35,39%**		
TOTAL		**356**					

Tabla 2.10 Porcentaje de usuarios que cuentan/no cuentan con servicios contratados a un mismo proveedor en el sector de La Mariscal, Quito.

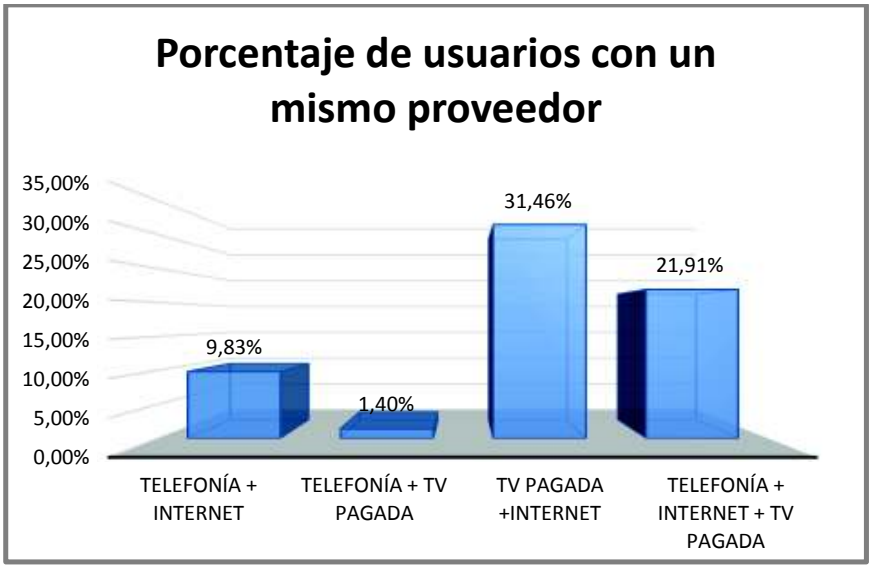


Figura 2.34 Porcentaje de usuarios con servicios contratados a un mismo proveedor en La Mariscal, Quito.

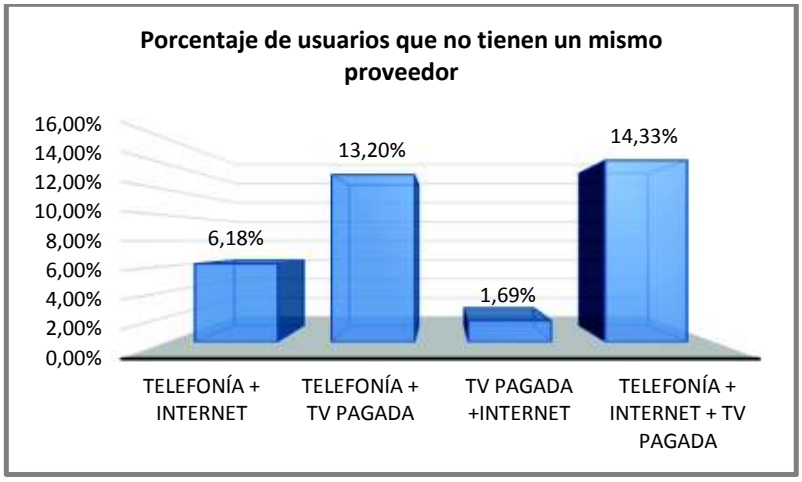


Figura 2.35 Porcentaje de usuarios que no cuentan con servicios contratados a un mismo proveedor en La Mariscal, Quito.

2.8.4 GRADO DE SATISFACCIÓN CON LOS SERVICIOS BRINDADOS POR EL PROVEEDOR

En la Tabla 2.11 se observa el grado de satisfacción de los clientes encuestados con los diferentes servicios contratados. Los resultados obtenidos muestran que los usuarios se encuentran de acuerdo con el desempeño de los servicios que tienen contratados. Sin embargo, también se observa que el servicio de telefonía actualmente cuenta con un mayor número de quejas. Estos inconvenientes se presentan debido a que las redes de cobre están quedándose rezagadas tecnológicamente con respecto a los nuevos tipos de tecnología.

Descripción	Paquete Contratado	Muy bueno	Bueno	Satisfactorio	Poco Satisfactorio	Pésimo
Solo Telefonía	a	0	45	25	4	2
Solo Internet	b	0	33	20	2	0
Solo TV pagada	c	0	15	6	2	1
Telefonía + Internet	d	0	10	7	2	1
Telefonía + TV pagada	e	0	7	5	2	0
TV pagada +Internet	f	2	19	25	3	1
Telefonía + Internet + TV pagada	g	0	43	72	2	0
SUBTOTAL		**2**	**172**	**160**	**17**	**5**
TOTAL		**356**				

Tabla 2.11 Grado de satisfacción de los clientes con el servicio contratado en La Mariscal, Quito.

En la Figura 2.36 se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con la satisfacción presentada por el usuario en los paquetes que tiene contratado.

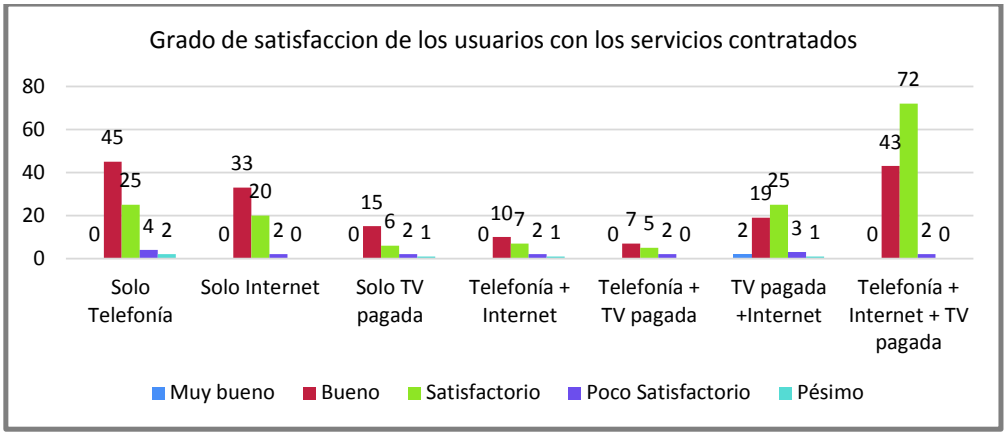


Figura 2.36 Grado de satisfacción de los usuarios con los servicios contratados en La Mariscal, Quito.

2.8.5 ACTIVIDAD REALIZADA POR EL USUARIO DEL SERVICIO

Para este caso se observa que entre las actividades con mayor número de usuarios están: Navegación en redes sociales, en páginas de video, películas y descarga de varios archivos. (Ver Tabla 2.12 – Figura 2.37). De acuerdo a este número se puede determinar que en un futuro los usuarios finales necesitarán mayores anchos de banda, para lo cual es necesario mejorar los equipos, haciendo que el uso del presente diseño sea más necesario.

Actividad realizada por el usuario del servicio.								
Descripción Actividad	**Enviar y recibir correos electrónicos**	**Juegos en línea**	**Mensajería**	**Descarga de archivos (música, películas, etc.)**	**Videoconferencias.**	**Redes Sociales**	**Revisar videos o ver televisión por Internet**	**Otros**
Número de Usuarios	68	30	23	55	34	70	60	16
TOTAL	356							

Tabla 2.12 Actividad realizada por el usuario del servicio contratado en La Mariscal, Quito.

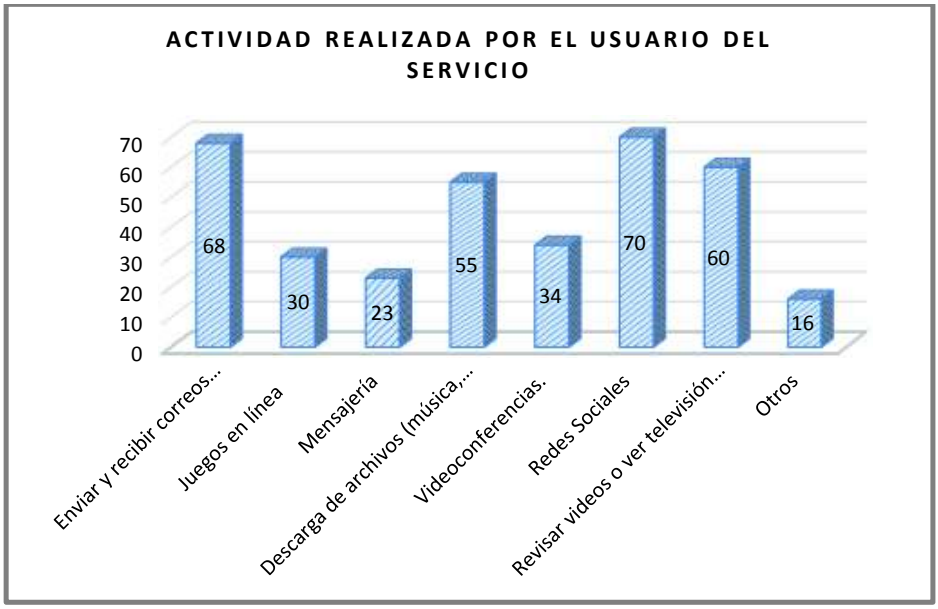


Figura 2.37 Actividad realizada por el usuario del servicio contratado en La Mariscal, Quito.

2.8.6 GRADO DE INTERÉS DE LOS USUARIOS POR ACCEDER A UNA MEJORA DE SERVICIOS

Como se observa en la Tabla 2.13 y Figura 2.38 el porcentaje de usuarios más alto es el que muestra mayor interés por tener mejoras en el servicio que posee, esto de acuerdo con la pregunta anterior puede deberse al uso que le dé el cliente. Con esto se logra tener como resultado una aceptación al presente proyecto.

ACOGIDA DE UNA MEJORA				
SI	PORCENTAJE SI	NO	PORCENTAJE NO	TOTAL DE USUARIOS
246	69,10%	110	30,90%	356

Tabla 2.13 Interés por acceder a mejoras en los servicios en La Mariscal, Quito.

En el presente análisis las personas que no se encuentran de acuerdo con la mejora puede que estén satisfechas con el actual servicio que tienen, o tal vez considerarán que dicha mejora no traerá una mejor experiencia, debido al desconocimiento de la tecnología, al desuso de la misma o a diferentes factores que desconocemos.

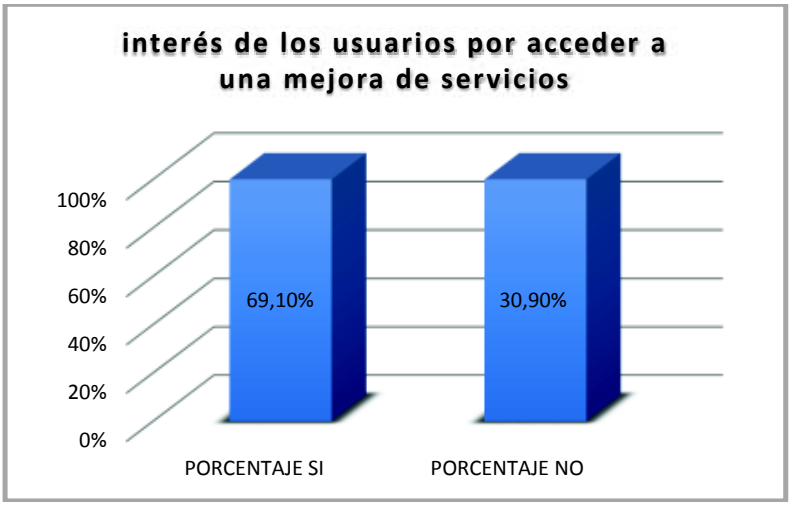


Figura 2.38 Interés de los usuarios por acceder a una mejora de servicios en La Mariscal, Quito.

Una vez culminada la tabulación de los datos y verificados los resultados se observa que las personas del sector tienden a usar en mayor cantidad servicios combinados (*Triple Play*), contratados a un mismo proveedor cuyo uso depende de la actividad que realicen, es decir, que los servicios contratados en los hogares son utilizados para navegar en redes sociales, descarga de videos y envío de correos; en cambio cuando los servicios son contratados por una empresa estos son usados para mensajería, videoconferencias y correos electrónicos. Con estos antecedentes y con el pasar de los días se puede suponer un decrecimiento en la calidad de los paquetes contratados, debido a que se puede notar que en los resultados los usuarios encuestados muestran un cierto descontento por los actuales proveedores, pudiendo deberse esto a diversos factores (disminución de la calidad de la señal, incremento de cortes, etc.). De acuerdo a estos aspectos detectados y teniendo un interés por mejorar los servicios de la zona es que se plantea el presente proyecto.

CAPÍTULO 3.

3.1 DISEÑO DE LA RED 10G-PON EN EL SECTOR DE LA MARISCAL

3.1.1 CAPACIDAD REQUERIDA EN LA RED [2] [24] [26]

De acuerdo con los datos obtenidos en el capítulo anterior con las encuestas realizadas, con la situación actual de la zona y además tomando en cuenta los servicios de *Triple Play* (telefonía fija, internet de banda ancha y televisión en alta definición) que se van a prestar, se procederá a calcular la capacidad de ancho de banda requerida para el diseño de la red 10G-PON que permita satisfacer las necesidades de la zona.

A continuación, se procederá a analizar las capacidades requeridas para cada servicio a ofertar, tanto al sector residencial como al comercial, para lo cual se mostrarán los datos de penetración y consumo de los tres servicios, enfocados en la provincia de Pichincha conforme a los datos publicados por la ARCOTEL.

3.1.1.1 Telefonía, Internet, Televisión en Alta Definición

En el siguiente gráfico (Figura 3.1) se muestra la participación en el mercado de las distintas empresas proveedoras de servicios en el mercado. Esto con el fin de concluir que el servicio de telefonía tiene una alta penetración en el mercado dentro de la provincia, pero específicamente en el sector de la Mariscal.

De acuerdo a esta figura se observa que el principal proveedor es la estatal CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P.) con un porcentaje del 85,25%. Recordando los datos obtenidos en el capítulo anterior, el INEC muestra que la zona de la Mariscal corresponde el 0.7% de la provincia que ocupa los servicios, de este porcentaje aproximadamente un 0.5% correspondería a los usuarios del proveedor estatal; con esto se determina que los servicios si tienen acogida en el sector.

Para el presente diseño de acuerdo al estándar UIT G.711 se recomienda que para el servicio de telefonía fija se debe tener una capacidad mínima de 64 kbps en cada sentido. Por lo tanto, se considerará dicha capacidad (64 kbps) para el ancho de banda tanto para el canal de subida '*upstream*' como para el canal de bajada '*downstream*'.

El servicio de Internet es uno de los que mayor demanda tiene en la actualidad, ya que constituye una poderosa herramienta de información y comunicación. En la actualidad, con el uso creciente del Internet debido a sus diferentes aplicaciones tal como: descarga de grandes archivos, videos, películas, juegos en línea, etc. la demanda de capacidad de la red de los usuarios es cada vez mayor.

De la información mostrada en las tablas y gráficos anteriores obtenidos del INEC, se puede ver que la mayor concentración del proveedor de cuentas de internet, es nuevamente la estatal CNT, ya que cuenta con una gran infraestructura que le permite tener un mayor alcance con respecto a sus principales competidores.

Las empresas proveedoras de servicios de Internet proveen planes con velocidades que van desde los 2 Mbps hasta los 100 Mbps, dependiendo de las necesidades de cada usuario.

Para seleccionar la capacidad de Internet para el sector de la Mariscal, se han considerado principalmente dos aspectos, el primero es que en la Mariscal predomina lo comercial por ser una zona turística, por lo tanto sus necesidades de consumo y demanda de capacidad en anchos de banda son cada vez mayores y existe un alto porcentaje de usuarios que desean acceder a un mejor servicio, y el segundo relacionado con el primero, que es el poder adquisitivo con el que cuenta la población que habita en el sector, por lo tanto para el presente proyecto de titulación, se ha considerado tener anchos de banda que se encuentren dentro de los ofertados por los proveedores, pero teniendo en cuenta que los usuarios desean mejorar su servicio actual entonces se tomará como capacidad de ancho de banda mínimo de Internet 10 Mbps para canal de bajada '*downstream*' y 2 Mbps para el canal de subida '*upstream*' para el sector residencial y de 50 Mbps para canal de

bajada '*downstream*' y 9 Mbps para canal de subida '*upstream*' para el sector comercial. Estos valores son seleccionados de acuerdo a datos obtenidos en encuestas realizadas y que se tienen como anexo al presente proyecto (Anexo 4) donde se muestra que los hogares tienen anchos de banda desde 2 Mbps hasta 50 Mbps y las empresas cuentan con planes que van desde 2 Mbps hasta 100 Mbps pero todos estos valores con problemas en la compartición ya que los proveedores brindan compartición de 8:1 con lo cual el ancho de banda real del usuario disminuye.

Lo que se pretende realizar con este proyecto es brindar comparticiones de 2:1 o de hasta 4:1 y tener velocidades que se acoplen a los requerimientos actuales para el servicio de Internet, sabiendo que las características del equipamiento a utilizar puede ofrecer sin problemas esto, ya que como se vio en el capítulo anterior cada puerto de la tarjeta de servicio es capaz de brindar hasta 10 Gbps y esto dividirlo hasta 128 usuarios lo cual podría variar ya que este es el caso máximo.

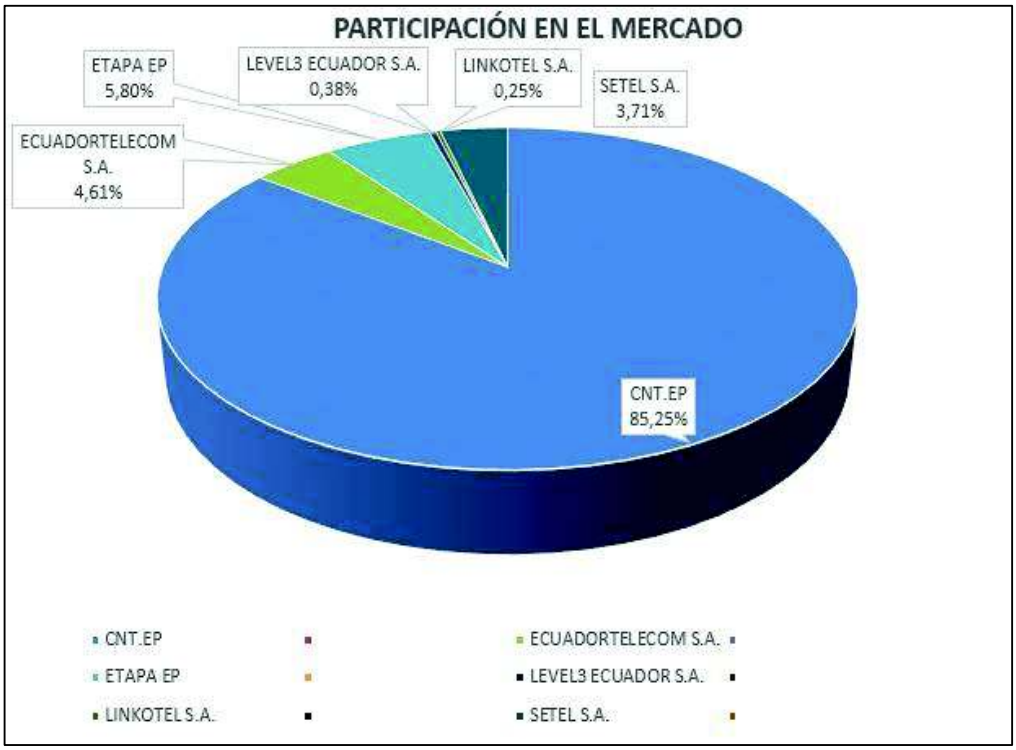


Figura 3.1 Participación de las empresas en el mercado. [30]

En la Tabla 3.1 y Figura 3.2 se muestra el porcentaje de crecimiento de las cuentas de internet por cada 100 habitantes desde el año 2010 hasta el año 2016, la cual proporcionará una referencia aproximada para determinar la capacidad del ancho de banda requerida en los próximos 5 años.

Cuentas Internet Fijo y Móvil							
Año	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**
Internet Fijo	3,35%	4,47%	5,98%	6,88%	8,25%	9,16%	9,76%
Internet Móvil	2,35%	10,48%	22,15%	26,66%	30,79%	34,97%	47,04%

Tabla 3.1 Porcentaje de crecimiento de cuentas de Internet por cada 100 habitantes. [30]

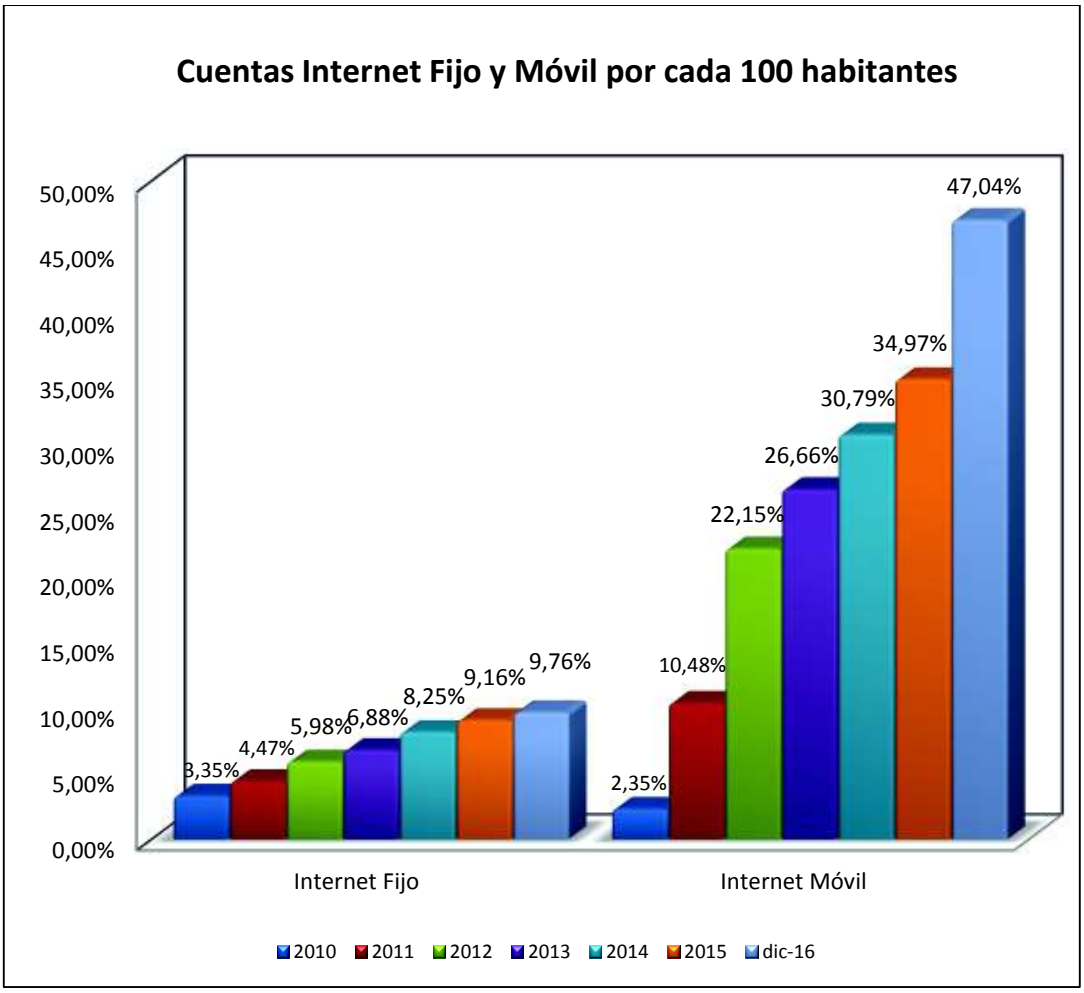


Figura 3.2 Porcentaje de cuentas de Internet por cada 100 habitantes. [30]

Utilizando los datos anteriores y sabiendo que se debe aumentar un cierto porcentaje a los mismos debido a que si se observa son estadísticas de años anteriores y lo que se trata es obtener valores para el presente; para calcular la capacidad de ancho de banda se hará uso de la función pronóstico existente en el programa computacional Excel, en este se procederá a calcular el porcentaje de incremento para los próximos 5 años, para internet fijo mostrado en la Tabla 3.2 y Figura 3.3:

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
INTERNET FIJO (%)	11,25	12,27	13,24	14,29	15,29	16,38

Tabla 3.2 Porcentaje de crecimiento de cuentas de Internet por cada 100 habitantes en los próximos 5 años.

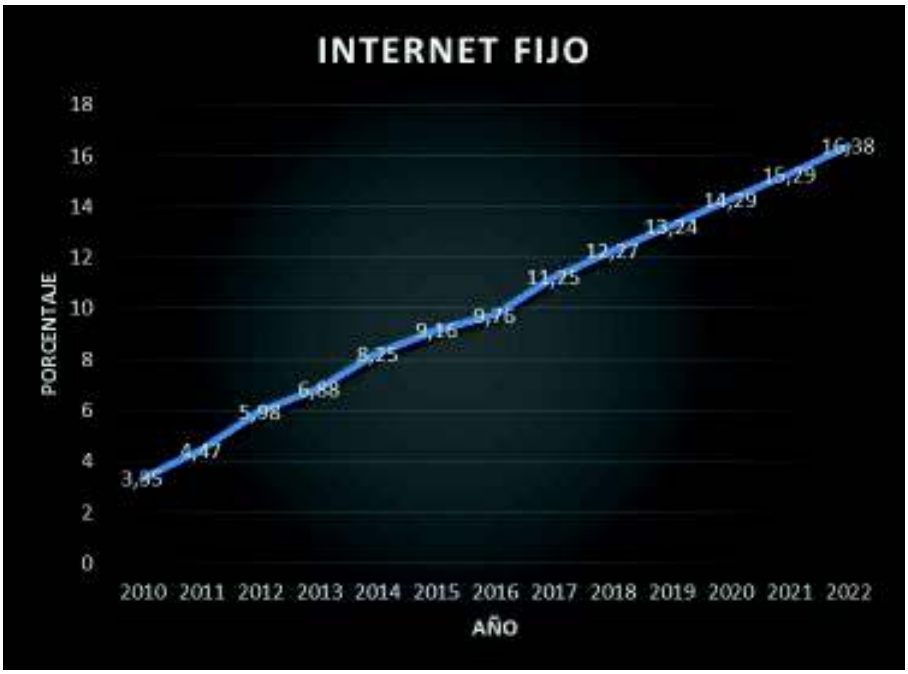


Figura 3.3 Porcentaje de cuentas de Internet por cada 100 habitantes.

Una vez visualizados los servicios de telefonía e internet se procede con el servicio de televisión. Es así que se sabe que la televisión hoy en día al igual que el internet es una de las principales fuentes de entretenimiento en los hogares, y cuenta con una gran demanda.

En el país el sistema de Televisión digital terrestre elegido fue el ISDB-T, por lo tanto, se considerará la capacidad mínima requerida dado por el algoritmo de compresión MPEG4[21], dichas capacidades se muestran en la Tabla 3.3:

DEFINICIÓN	CAPACIDAD
STDV	2 Mbps
HTDV	9 Mbps

Tabla 3.3 Capacidad requerida para sistemas de TV Digital ISDTB-T.

Tomando en cuenta los valores determinados anteriormente para la capacidad de los diferentes servicios (telefonía = 64 Kbps simétricos, internet residencial = 10 Mbps de bajada y 2 Mbps de subida, internet comercial = 50 Mbps de bajada y 9 Mbps de subida, televisión = STDV 2 Mbps y HTDV 9 Mbps) se procede al cálculo capacidad total de ancho de banda de la red requerida para el presente diseño, tanto para el sector residencial, como para el sector comercial, detallado en las Tablas 3.4 y 3.5 respectivamente:

Sector Residencial:

SERVICIO	ESPECIFICACIÓN	CAPACIDAD	
		SUBIDA	BAJADA
TELEFONÍA	DIGITAL	64 Kbps	64 kbps
TELEVISIÓN	SDTV	2 Mbps	-
	HDTV	9 Mbps	-
INTERNET	FIJO	10 Mbps	2 Mbps
TOTAL		21,064 Mbps	2,064 Mbps

Tabla 3.4 Capacidad requerida para la red 10G-PON, sector residencial.

[21] MPEG4: Es un método para la compresión digital de audio y video. El formato MPEG-4 se puede realizar diversas funciones, entre las cuales se podrían nombrar las siguientes:

- Multiplexación y sincronización de datos, asociados con los objetos del medio, de tal manera que pueden ser eficientemente transportados a través de canales de la red.
- Interacción con la escena audiovisual, que se forma en el lado del receptor.

Sector Comercial:

SERVICIO	ESPECIFICACIÓN	CAPACIDAD	
		SUBIDA	BAJADA
TELEFONÍA	DIGITAL	64 Kbps	64 kbps
TELEVISIÓN	SDTV	2 Mbps	-
	HDTV	9 Mbps	-
INTERNET	FIJO	50 Mbps	9 Mbps
TOTAL		61,064 Mbps	9,064 Mbps

Tabla 3.5 Capacidad requerida para la red 10G-PON, sector comercial.

Para el cálculo total de la capacidad de la red se debe tomar en cuenta el número de usuarios tanto para el sector residencial como para el sector comercial. De acuerdo con los datos proporcionados por el último censo realizado por el INEC [30], la población fija de la Mariscal es de 12976 habitantes, dado que dicho censo no mostraría el total actual de habitantes, se tomará entonces un porcentaje adicional de habitantes aproximadamente, ahora suponiendo que existe un promedio de 4 habitantes por familia, se dividirá el total para el promedio de habitantes por casa (4 personas) entonces se tiene un total de 3244 familias, lo cual servirá para establecer el número de clientes finales.

Adicionalmente se toma en cuenta los datos obtenidos en las Tablas 2.8 y 2.10 de la encuesta realizada, multiplicando cada porcentaje por el total de familias (3244) para obtener los valores que se detallan en las Tablas 3.6 y 3.7 respectivamente.

Descripción	Paquete Contratado	Cantidad de Usuarios	Porcentaje
Solo Telefonía	A	264	8,15%
Solo Internet	B	55	1,69%
Solo TV pagada	C	64	1,97%
Telefonía + Internet	D	410	12,64%
Telefonía + TV pagada	E	328	10,11%
TV pagada +Internet	F	920	28,37%

Descripción	Paquete Contratado	Cantidad de Usuarios	Porcentaje
Telefonía + Internet + TV pagada	G	1203	37,08%
TOTAL		**3244**	**100,00%**

Tabla 3.6 Clientes residenciales interesados por paquete.

Descripción	Paquete Contratado	SI	Porcentaje SI	NO	Porcentaje NO	TOTAL	Porcentaje
Telefonía + Internet	d	206	9,83%	71	6,18%	277	16,01%
Telefonía + TV pagada	e	29	1,40%	152	13,20%	181	14,61%
TV pagada +Internet	f	659	31,46%	19	1,69%	679	33,15%
Telefonía + Internet + TV pagada	g	459	21,91%	165	14,33%	624	36,24%
SUBTOTAL		**2096**	**64,61%**	**1148**	**35,39%**		
TOTAL		**3244**					

Tabla 3.7 Clientes residenciales interesados en contratar paquetes con un mismo proveedor.

De lo mostrado anteriormente se determina que el porcentaje de clientes residenciales iniciales que están interesados en contratar el servicio *Triple Play* con un solo proveedor son un total de 459, mientras que para el sector comercial tomando en cuenta los datos del INEC se ha establecido un número aproximado a 120 clientes comerciales entre empresas, instituciones y otros comercios relevantes, en base a esto utilizando los datos de la Tabla 3.2 se fija el número de clientes para los próximos 5 años, y se muestra en la Tabla 3.8:

AÑO	CLIENTES RESIDENCIALES	CLIENTES COMERCIALES
2017	459	120
2018	501	131
2019	540	141
2020	583	152
2021	624	163
2022	669	175

Tabla 3.8 Clientes residenciales proyectados en los próximos años para La Mariscal.

Para determinar la capacidad de la red, es necesario considerar el porcentaje de usuarios que se conectarán a la red en la hora pico. De acuerdo a conversaciones realizadas con el personal de empresas proveedoras de servicios *Triple Play*, se concluyó que el porcentaje de simultaneidad de ocupación en la hora pico es de 85% para televisión y de un 75% para internet por lo tanto se considerará el valor más alto, es decir el 85% para el presente diseño. Adicionalmente se procede a calcular las capacidades con una compartición de 4:1 para el sector residencial y de 2:1 para el sector comercial. Se toma estos valores de compartición debido a que los actuales son de hasta 8:1 y lo que se requiere es mejorar el servicio.

- ***Sector Residencial:***

$$Capacidad\ bajada = \frac{21{,}064\ Mbpsx459x0{,}85}{4} \qquad \textbf{Ec. 3.1}$$

Capacidad de bajada= 2,006 Gbps

$$Capacidad\ subida = \frac{2{,}064\ Mbpsx459x0{,}85}{4} \qquad \textbf{Ec. 3.2}$$

Capacidad de subida= 201,32 Mbps

- ***Sector Comercial:***

$$Capacidad\ bajada = \frac{61{,}064\ Mbpsx120x0{,}85}{2} \qquad \textbf{Ec. 3.3}$$

Capacidad de bajada= 3,041 Gbps

$$Capacidad\ subida = \frac{9{,}064\ Mbpsx120x0{,}85}{2} \qquad \textbf{Ec. 3.4}$$

Capacidad de subida= 462,26 Mbps

Con los datos obtenidos del cálculo de la capacidad de ancho de banda requerida y utilizando la Tabla 3.8 se determina la capacidad para los próximos 5 años:

- ***Sector Residencial:***

AÑO	CAPACIDAD REQUERIDA	CAPACIDAD TOTAL
2017	$Capacidad = \frac{21{,}064\ Mbpsx459x0{,}85}{4}$	2,006 Gbps
2018	$Capacidad = \frac{21{,}064\ Mbpsx501x0{,}85}{4}$	2,189 Gbps
2019	$Capacidad = \frac{21{,}064\ Mbpsx540x0{,}85}{4}$	2,360 Gbps
2020	$Capacidad = \frac{21{,}064\ Mbpsx583x0{,}85}{4}$	2,548 Gbps
2021	$Capacidad = \frac{21{,}064\ Mbpsx624x0{,}85}{4}$	2,728 Gbps
2022	$Capacidad = \frac{21{,}064\ Mbpsx669x0{,}85}{4}$	2,924 Gbps

Tabla 3.9 Cálculo año a futuro de la capacidad en el sector residencial.

- ***Sector Comercial:***

AÑO	CAPACIDAD REQUERIDA	CAPACIDAD TOTAL
2017	$Capacidad = \frac{61{,}064\ Mbpsx120x0{,}85}{2}$	3,041 Gbps
2018	$Capacidad = \frac{61{,}064\ Mbpsx131x0{,}85}{2}$	3,320 Gbps
2019	$Capacidad = \frac{61{,}064\ Mbpsx141x0{,}85}{2}$	3,573 Gbps
2020	$Capacidad = \frac{61{,}064\ Mbpsx152x0{,}85}{2}$	3,852 Gbps
2021	$Capacidad = \frac{61{,}064\ Mbpsx163x0{,}85}{2}$	4,131 Gbps
2022	$Capacidad = \frac{61{,}064\ Mbpsx175x0{,}85}{2}$	4,435 Gbps

Tabla 3.10 Cálculo año a año de la capacidad en el sector comercial.

3.2 TOPOLOGÍA DE LA RED [25] [27]

Sabiendo que la topología de una red es un mapa que puede ser físico o lógico, a continuación, se presenta los dos tipos de topología a presentarse en el diseño.

- **Topología física:** Describe la forma de interconexión física de todos los elementos de la red, pasivos y activos. La topología más utilizada en los enlaces GPON es la de tipo árbol, donde se tiene siempre un dispositivo central. Esta es de bajo costo y no ocasiona problemas a los usuarios.

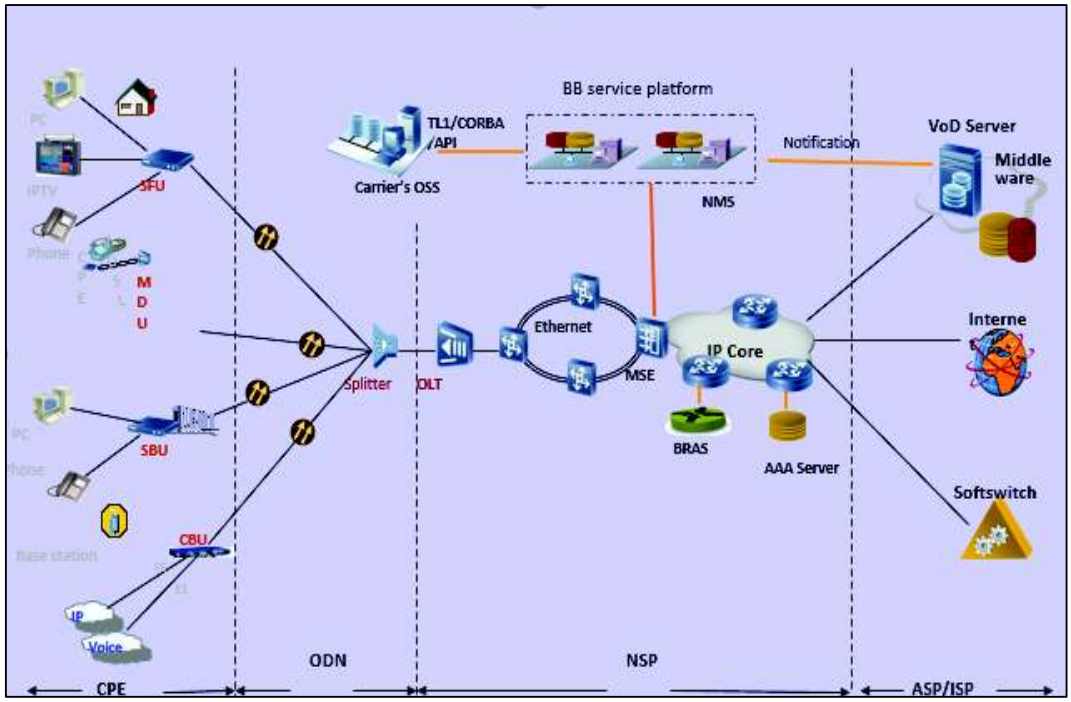


Figura 3.4 Topología de red GPON. [27]

Como se observa en la Figura 3.4 las redes GPON presentan una topología en árbol donde el principal elemento es la OLT luego se tiene los *power splitters* o divisores de potencia, cajetines y los dispositivos finales conocidos como ONTs.

- **Topología lógica:** Describe el flujo de datos que pasa a través de la red. Es así como, para el caso de la tecnología PON se hace necesario diferenciar el canal de subida como el canal de bajada.

- **Canal de subida o *upstream*:** La subida de datos se realiza mediante TDMA (Acceso bajo Multiplexación por División de Tiempo) donde cada usuario tiene una ranura de tiempo o "*time slot*" para transmitir sus datos, dicha ranura se asigna dinámicamente según la demanda. Esto se observa en la Figura 3.5.

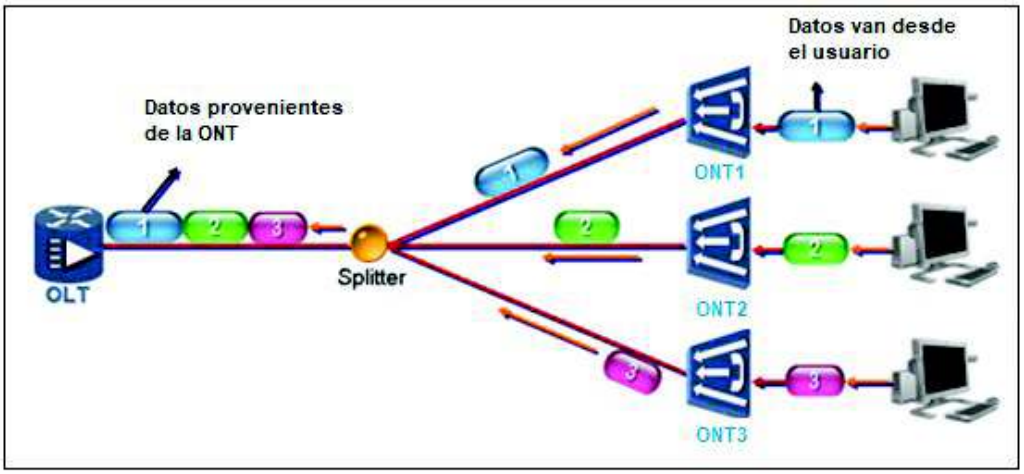


Figura 3.5 Subida de datos mediante TDMA. [26]

- **Canal de bajada o *downstream*:** El principio de la bajada de datos es *broadcast*, todas las ONTs conectadas a un mismo puerto PON reciben toda la información y toman lo que a cada una les corresponde, como lo muestra la figura 3.6

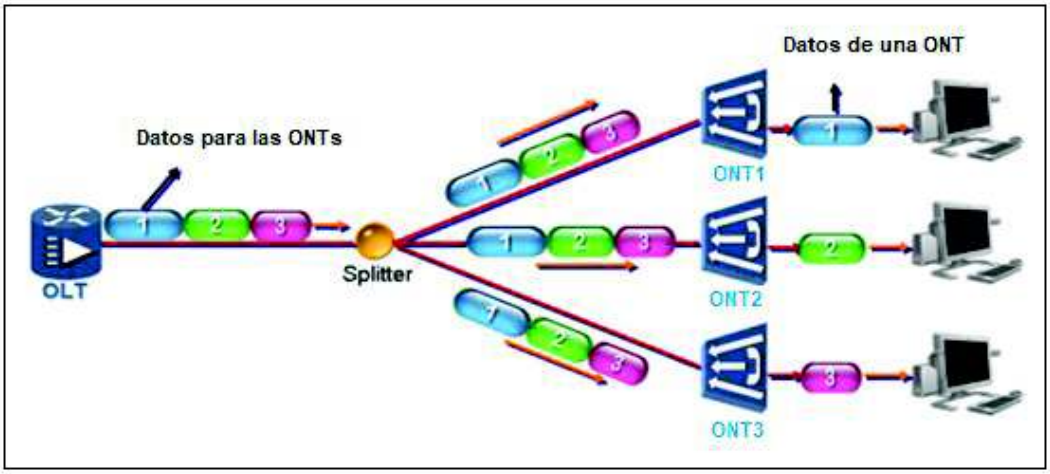


Figura 3.6 Descarga de datos mediante *broadcast*. [26]

3.3 TECNOLOGÍA PON SELECCIONADA

Para el presente proyecto se procedió a realizar una comparación entre la tecnología en estudio y la tecnología GPON que en la actualidad es una de las más utilizadas.

De acuerdo con los datos obtenidos sobre la cantidad de usuarios en el capítulo anterior, se encontró que el índice de división de potencia a utilizar puede ser más alto debido a que la zona de cobertura es amplia y cuenta con un número alto de usuarios, además de que con esto se podrá cubrir la demanda futura (5 años) utilizando pocos equipos. A diferencia del índice de división en GPON que al momento es el indicado en la Tabla 3.11. Este valor está dado por los proveedores de dicha tecnología.

CARACTERÍSTICA	GPON	10G PON
Nivel de Espliteo	1:32	1:64

Tabla 3.11 Nivel de Espliteo de las tecnologías PON.

Como se observa en la Tabla 3.11 la tecnología 10G – PON concede en este caso mayor número de índice de división de potencia, así como de usuarios por puerto en cada tarjeta del equipo. Al final dicho número de usuarios por puerto estará validado conforme a las normativas de la empresa que ponga en funcionamiento el presente diseño.

En cuanto a los servicios Triple Play, el equipamiento puede brindar la característica de que, en la parte de video al ser los anchos de banda y las velocidades mayores, la imagen mejora y se podrá visualizar casi todos los canales en *High Definition* (HD), esto diferenciaría así a la tecnología GPON de la 10G-PON.

	GPON	10G – PON
Alcance	20 Km (Distancia lógica)	De 20 Km a 60 Km (Distancia lógica)
Capacidad	*Downstream*: 2.5 Gbps	*Downstream*: 10 Gbps
	Upstream: 1.25 Gbps	*Upstream*: 2.5 Gbps o 10 Gbps (en Caso de tener enlace simétrico)

Tabla 3.12 Diferencia entre las características de las Tecnologías PON. [16] [17] [18] [20]

De acuerdo con la Tabla 3.12 la principal diferencia entre las tecnologías analizadas es la capacidad que se tiene en el canal de subida *upstream* y en el canal de bajada *downstream*, misma que proporcionará mejoras en los servicios con los que podrá

contar el cliente. Con esto se confirma que la tecnología 10G-PON es la que se deberá usar para cubrir el número de usuarios, así como también los diferentes servicios que requieran. Teniendo ya 10G-PON como solución para este proyecto se procederá a la realización del presupuesto de potencia. Hay que tener claro que la tecnología en estudio pertenece a la clase C+[22].

3.4 EQUIPAMIENTO A UTILIZAR EN EL DISEÑO DE LA RED

3.4.1 EQUIPAMIENTO ACTIVO [16] [17] [18] [20]

Los elementos activos de una red PON son aquellos que se ubican al inicio y al final de la misma, es así que el equipamiento activo a considerar es: la OLT y la ONT, que se ubicarán en la central y en el usuario final respectivamente.

3.4.1.1 OLT:

Para el presente diseño se analizará el equipamiento OLT Huawei MA5800. Este equipo presenta una arquitectura distribuida y es considerado como la OLT de siguiente generación para NG-PON. La OLT Huawei es la designada para ayudar en las redes que presentan grandes anchos de banda, y altas velocidades con el fin de entregar un mejor servicio.

Se tomará muy en cuenta las características del equipo que brindará los servicios a los usuarios.

Considerando que el equipo debe contar con los puertos PON necesarios, debe soportar varios protocolos como SSH[23] (*Secure Shell*), HTTPS[24] (*Hyper Text Transfer Protocol*, protocolo de Transferencia de Hiper-Texto), SSL[25] (*Secure*

---

[22] Clase C+: La tecnología clase C+ en GPON es aquella cuyos valores característicos son: Potencia óptica mínima de salida: 3 dBm, Potencia óptica máxima de salida: 7 dBm, Máxima sensibilidad del receptor: -32 dBm, Sobrecarga de potencia óptica: -12 dBm; dichos valores son los mejores para trabajar con esta tecnología.

[23] SSH: es un protocolo que facilita las comunicaciones seguras entre dos sistemas usando una arquitectura cliente/servidor y que permite a los usuarios conectarse a un host remotamente. A diferencia de otros protocolos encripta la sesión de conexión, haciendo imposible que alguien pueda obtener contraseñas no encriptadas.

[24] HTTPS: codifica la sesión con certificado digital. De este modo, el usuario tiene ciertas garantías de que la información que envíe desde diferentes páginas no podrá ser interceptada y utilizada por terceros.

[25] SSL: fue diseñado con el objeto de proveer privacidad y confiabilidad a la comunicación entre dos aplicaciones. Este se compone de dos capas:SSL Record Protocol: es usado para encapsular varios tipos de

Sockets Layer) para contar con seguridad, calidad en el servicio y demás se ha considerado el siguiente equipamiento.

Tanto para GPON, 10G-PON y 10 GE, el MA5800 soporta despliegues en FTTH, FTTD, FTTB y FTTC incluyendo la tecnología de acceso D-CCAP. El MA5800 funciona como un dispositivo de agregación de larga capacidad en una red, añadiendo tráfico desde ONTs, MDUs, *switches*, de modo que se simplifica la arquitectura de la red. El equipo y sus especificaciones se muestran en la Figura 3.7 y Tabla 3.13 respectivamente.

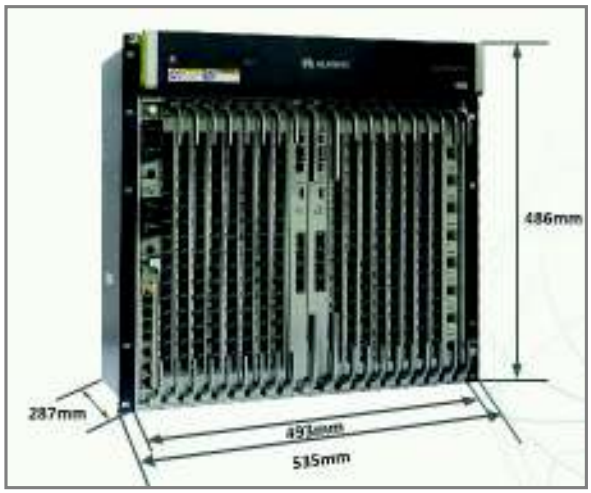


Figura 3.7 Equipo OLT MA5800 Huawei. [15]

Parámetro	Especificación
Modo de Suministro de Energía	DC
Rango de voltaje	-48 V / -60 V
Rango de voltaje de trabajo	-38.4 V a -72 V
Corriente máxima de entrada	60 A

Tabla 3.13 Especificaciones MA5800. [15]

Principales características del MA5800:

1) Soporta varias funciones y características de capa 3.

protocolos de mayor nivel. SSL Handshake Protocol: permite al cliente y al servidor autenticarse mutuamente, negociar un algoritmo de cifrado e intercambiar llaves de acceso.

2) Puede integrar varias líneas de seguridad para de esta manera cumplir con los requerimientos para vincular el usuario y la línea.

3) Cuenta con gran capacidad, alta densidad y gran rentabilidad para el usuario.

- **Elementos de la OLT MA5800**

La OLT utilizada en el presente proyecto cuenta con los siguientes elementos:

- Tarjetas de *Uplink* para la conexión del equipo con la red de datos.
- Tarjetas de servicio cada una con 16 puertos 10G-PON.
- Tarjetas de poder para energizar el equipo con los -48 V requeridos.
- Tarjetas de control para gestionar el equipamiento.

El equipo cuenta con la capacidad de integrar la parte de *Uplink* con la de control en una misma tarjeta, dicha tarjeta presenta 1 puerto USB, 3 puertos *ethernet*, 1 de ellos para *Uplink* y los otros 2 para configuración (ETH y COM), manejo, operación y monitoreo del equipo. De manera adicional cuenta con 4 interfaces *ethernet* o SFP de fibra óptica para conexiones futuras. Al ser 2 tarjetas (activa y *standby*) se puede realizar el cambio entre las tarjetas activa y *standby* sin afectar con ningún servicio. Como se muestra en la Figura 3.8 la tarjeta descrita es la H901MPLB.

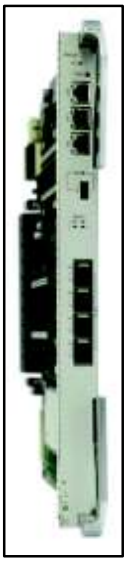


Figura 3.8 Tarjeta de *UPLINK* y Control H901MPLB. [15]

Para energizar el equipamiento se cuenta con 2 tarjetas de nombre: PRTE que cuentan con los puertos para energía (-48V). La imagen de la tarjeta se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3.9 Tarjeta de energía PRTE. [15]

Como se muestra en las Figuras 3.10 y 3.11 para la parte de servicio se utilizará la tarjeta H901XGSF la cual cuenta con 16 puertos cada uno de ellos con la capacidad de conectar 128 usuarios, cuenta con conectores SFP para fibra óptica tipo SC – PC (color azul) de 1 solo hilo. Este puerto debe conectarse al ODF (mediante un *feeder* cable) o hacia un *splitter* con la fibra y conector adecuado para minimizar pérdidas por atenuación.

Figura 3.10 Tarjeta de servicio H901XGSF

Figura 3.11 Conector SC-PC

3.4.1.2 ONT:

Para este caso el equipo contará con las características que permitan satisfacer las necesidades del usuario, dentro de las cuales se tiene: El dispositivo final (ONT) deberá ser totalmente compatible con el estándar 10G – PON ya que al existir diferencias el usuario no recibirá la capacidad requerida, otra de las características que hay que tener en cuenta es que el dispositivo debe contar con un puerto necesario para dar el servicio *Triple Play*, mismo que puede ser 1 de los 5 puertos existentes (4 puertos GE y 1 puerto de 10 GE). Debe contar imprescindiblemente con el tipo de laser transmisor DFB[26] eficiente para este tipo de transmisiones con fibra óptica tipo monomodo.

Es de esta manera que para el presente proyecto la ONT a utilizar será la encargada de recibir y filtrar los datos que van destinados desde la OLT al usuario final. También encapsula la información del usuario y la envía a la OLT para que esta redireccione la misma a la red respectiva. Existen 2 tipos de ONTs:

- ✓ H-OLT (*Home ONT*): Instalada directamente en la vivienda del usuario final, utilizado en redes FTTH.
- ✓ B-ONT (*Building ONT*): También llamada MDU se instala en los cuartos de comunicaciones de edificios privados. Este tipo de equipo se instala en redes FTTB.

Para el presente diseño se analizará el equipamiento ONT Huawei HN8055Q (ver Figura 3.12 y Tabla 3.15) que cumpliría con los requerimientos necesarios (como se muestra en la Tabla 3.14) para su funcionamiento dentro de la red.

[26] DFB (Distributed feedback laser) Tipo de diodo laser o laser óptico donde la región activa del dispositivo es periódicamente estructurada como una rejilla de difracción.
La rejilla actúa como el elemento selectivo de longitud de onda para al menos uno de los espejos y proporciona la realimentación, que refleja la luz de nuevo en la cavidad para formar el resonador.

Figura 3.12 Equipo ONT HN8055Q. [32]

Parámetro	Especificación
Entrada del adaptador de corriente	100-240V AC, 50-60Hz
Fuente de alimentación	12V DC, 3 A
Puertos	Puertos Ethernet para conexión con otros dispositivos, Puertos USB
WLAN	IEEE 802.11b/g/n (2.4G), IEEE 802.11 a/n/ac (5G)
	Distancia de cobertura de 150 m
	Múltiples SSID
	WPS para conexión adicional
	Seguridad y control de usuarios conectados

Tabla 3.14 Requerimientos mínimos para el funcionamiento del dispositivo.

Parámetro	Especificación
Dimensiones	(238x190x26) mm
Peso	850 g
Temperatura de Operación	0 °C a 40 °C
Entrada del adaptador de corriente	100-240V AC, 50-60Hz
Fuente de alimentación	12V DC, 3 A
Consumo máximo de energía	< 34 W

Parámetro	Especificación
Puertos	4*GE,1*10GE, 2.4G&5G WiFi, 2 USB
	Receiver sensitivity: -28 dBm
	Wavelengths: US 1490 nm, DS 1550- 1580 nm
	Flexible mapping between GEM Port and TCONT
	SN/Password/SN+Password/Bi-directional authentication based on OMCI
	Bi-directional FEC
	SR-DBA and NSR-DBA
	2.5 Gbps uplink, 10 Gbps downlink
Ethernet Port	Ethernet port-based VLAN tags and tag removal
	1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent transmission[27]
	Limit on the number of learned MAC addresses
WLAN	IEEE 802.11b/g/n (2.4G)
	IEEE 802.11 a/n/ac (5G)
	3*3 MIMO
	Antenna gain 2 dBi (coverage 150m)
	Multiple SSID
	WPS
	2.4G/5G concurrent

Tabla 3.15 Especificaciones HN8055Q. [34]

3.4.2 EQUIPAMIENTO PASIVO

En lo que corresponde a la parte pasiva del enlace se tiene elementos como: *power splitters* o divisores de potencia, roseta o cajetines, conectores y fibra óptica.

[27] 1:1 VLAN: Por cada puerto ethernet del equipo se puede pasar 1 VLAN diferente (datos, voz o IPTV).
N:1 VLAN: Una misma VLAN puede pasar por varios puertos ethernet del equipo sin que afecte en nada el servicio, dependiendo de la necesidad y los requerimientos del cliente.
VLAN transparent: 2 VLANs diferentes pueden pasar por un mismo puerto Ethernet sin que ninguno de los servicios sea afectado.

3.4.2.1 ***Power Splitters:*** Son elementos de una red pasiva que no necesitan tener equipos activos dentro del bucle local del usuario final. Los *splitters* dependiendo si se encuentran en sentido *Downstream* o en sentido *Upstream* son considerados como Divisores o Acopladores respectivamente.

Para los niveles de división de potencia (*power splitter*) hay que tener en cuenta que un mejor despliegue de la red y su mantenimiento se da cuando los niveles de división son pocos, lo cual se verificará con la capacidad calculada; para el presente proyecto el objetivo será llegar a la casa o edificio tomados en cuenta en el cálculo de la capacidad, aclarando que el mismo no discrimina si en una casa habitan más de 10 personas, si en un edificio existen departamentos independientes, etc.

En la Tabla 3.16 se presentan las pérdidas por inserción de los diferentes *splitters* que podrían ser utilizados, destacando que mientras mayor es el nivel de división mucho mayor es el valor de pérdida.

Nivel de División de Potencia	Pérdida (dB)
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 3.16 Pérdidas por nivel de división de potencia. [37]

Las pérdidas de la Tabla 3.16, son conocidas como pérdidas de divisor, pérdidas de inserción o relación de división, se expresan normalmente en dB y dependen principalmente del número de puertos de salida.

La señal óptica (descendente) de entrada se divide en partes iguales, en cascada o ramificaciones; por ejemplo, un divisor 1:2 solo tiene dos ramificaciones o una división que soporta una pérdida de 3 dB (50% de luz en cada ruta). En un divisor 1:4, se agregan otras dos ramificaciones a cada ruta de la división 1:2 original, añadiendo otros 3 dB, para una pérdida total de 6 dB. En un divisor 1:8, se añaden

dos ramificaciones más o división 1:2 a cada ruta de la división 1:4 original, añadiendo nuevamente otra pérdida de 3 dB para una pérdida total de 9 dB. Un divisor 1:16 soportará entonces una pérdida de 12 dB y un divisor 1:32 tendrá una pérdida mínima de 15 dB, sin contar las pérdidas adicionales debidas a conexiones e imperfecciones (normalmente se añade de 1 a 1,5 dB a la pérdida de división original); por tanto, un divisor 1:32 tendrá normalmente una pérdida de 16,5 dB aproximadamente.

Para el diseño debe considerarse también que no es aconsejable que de un mismo punto de la red se tengan varias salidas. Esto debido a que si se llega a presentar un corte de fibra todos los usuarios estarían sin servicio.

Con este análisis y para evitar futuros inconvenientes el presente proyecto contará con pocos niveles de división de potencia que permitirán contar con una red no problemática (aconsejable 2 o 3 lugares dentro de la zona de diseño, para evitar el uso excesivo de materiales y el incremento del presupuesto económico del proyecto. Con esto el número de *power splitter* a ubicar en dichos sitios será de 1 *power splitter*). Para determinar las capacidades en un diseño se debe repartir en zonas la cantidad de abonados que se tiene. Para cada caso el divisor de potencia o *power splitter* a utilizar será de 1:8 debido a que con el número de usuarios aproximados que se tiene de 13.000 y los niveles de división que se plantea (máximo 3 niveles) no existiría inconveniente alguno.

Es así que, de acuerdo con la cantidad de clientes se procederá a realizar la división respectiva de las zonas, teniendo en cuenta que se deberá dejar una reserva de por lo menos de 6 hilos para en un futuro no tener inconvenientes con nuevos usuarios en la zona.

3.4.2.2 Cajetín para Interconexión Usuario – Planta Externa:

Este dispositivo se usa para la interconexión de la fibra óptica proveniente de la planta externa con el usuario final. Se puede observar una foto del cajetín para planta externa en instalaciones aéreas, el mismo cuenta con los *power splitters* antes tratados.

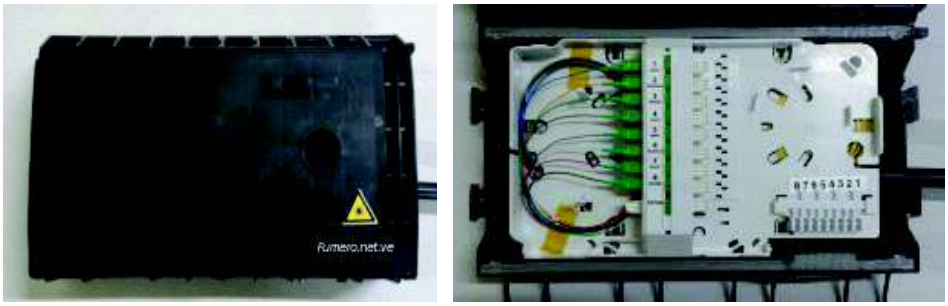


Figura 3.13 Cajetín de Planta Externa. [22]

Como se observa en las Figuras 3.13 y 3.14, internamente la Caja de Conexiones cuenta con varios hilos de fibra óptica (*Pigtails*) para conexiones futuras. Se tiene, el Cable principal o de alimentación (*feeder*) en el lado izquierdo y del lado derecho se encuentra el *power splitter*, en este caso específico es de 1:8 y el cual presenta una atenuación de 10.5 dB. Los conectores que se usan son del tipo SC/APC (Verde).

En la parte inferior derecha, se puede apreciar una leyenda con unos números, que son la cantidad de Cables de Bajada (*Drop*) que serán distribuidos a los usuarios.

En la parte posterior, posee además una Caja de empalmes para 24 fusiones, esta permite la interconexión del Cable principal con otros cables derivadores, en caso de comunicación con otros dispositivos u otros cajetines.

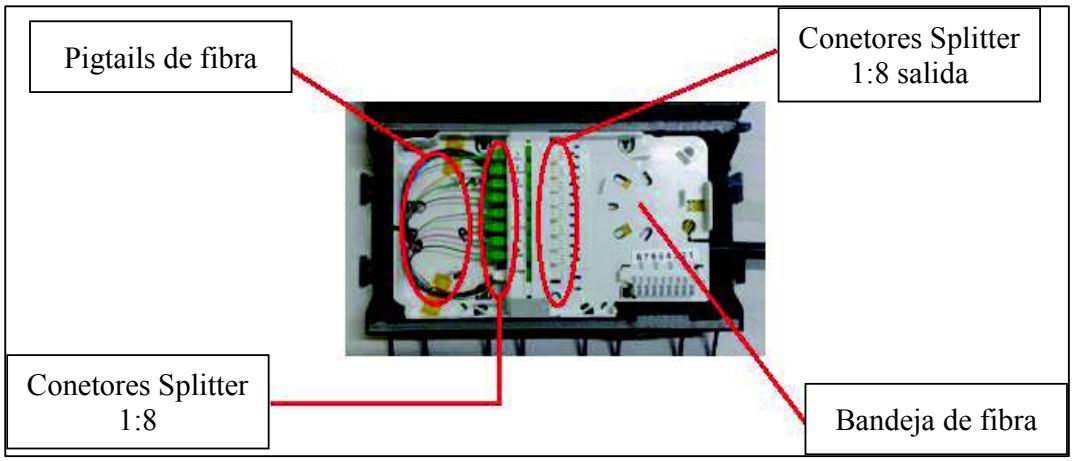


Figura 3.14 Cajetín de Planta Externa Partes.

3.4.2.3 Medio de Transmisión:

La elección del medio de transmisión es importante para un diseño ya que del mismo depende la calidad con la que se transmite la información desde la OLT a la ONT. De acuerdo con lo analizado en el capítulo anterior del presente proyecto la fibra óptica más opcionada para su uso es la del tipo monomodo con núcleo de vidrio, debido a que presenta una menor atenuación en la transmisión, además de otras características, mismas que se pueden observar en la Tabla 3.17.

TIPO DE FIBRA ÓPTICA (MONOMODO)	Nivel de Resistencia a la Presión del material	Atenuación largas distancias	Atenuación para velocidades de transmisión
Núcleo: Plástico Revestimiento: Plástico	Alto	Alto	Alto
Núcleo: Vidrio Revestimiento: Plástico, PCS.	Medio	Bajo	Medio
Núcleo: Vidrio Revestimiento: Vidrio, Sílica Clad.	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 3.17 Tipos de fibra óptica monomodo por su composición. [33]

3.4.2.4 Tipo de tendido a utilizar: Se ha decido que para el presente proyecto se va a realizar el paso de la fibra óptica mediante recorrido subterráneo, esto debido a la existencia de canalización en la zona y con el fin de cumplir con la Ordenanza municipal #022 del Distrito Metropolitano de Quito impuesta por las autoridades, donde no se permite la instalación de nuevos cables por recorrido aéreo debido a la cantidad exagerada de cables existentes.

Para el recorrido subterráneo, el cable de fibra óptica debe presentar las características indicadas en el capítulo anterior: Protección metálica anti roedores, medidas de tensión entre 600 a 2700 N, esto debido a que puede existir obstáculos en ciertos tramos y debe soportar la tensión que se ejerce al jalar el cable, el cable

de fibra óptica debe cumplir con el estándar ITU-G652 D donde se indica que puede trabajar longitudes de onda ascendente de 1260 a 1280 nm y descendente de 1575 a 1580 nm, se trabaja también con altas velocidades de transmisión, garantizando la calidad del enlace. Se trabajará con este estándar debido a que en el Ecuador todos los proveedores lo usan además de que exista compatibilidad con *patch cords* de fibra óptica que vienen con los equipos.

La instalación subterránea puede realizarse de 4 maneras:

- Zanjado. - En este tipo de instalación se procede a realizar aperturas en la vía pública donde la fibra óptica va directamente sobre la tierra. Para este método se requiere los permisos necesarios de la autoridad competente para generar ruidos, escombros y congestión en la vía pública.
- Micro zanjado. – En este método se crean pequeños túneles a una corta distancia de la superficie, la ventaja de esto es que casi no se causa problemas en la vía. La desventaja en cambio es el alto precio de la maquinaria que se utiliza en el mismo.
- Microductos. – Son conductos entre 3 y 8 milímetros por donde se puede pasar el cable de fibra óptica. Este tipo de método es utilizado en nuevos edificios donde no se quiere realizar accesos notorios.
- Ductos existentes. – El cable de fibra óptica pasará por la ductería existente en la zona, se deberá ubicar tapones (ciegos, trifurcados, etc.) para proteger el cable de las inclemencias del ambiente.

3.4.3 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE FIBRA ÓPTICA

Una vez seleccionado el tipo de tendido se procede con el cálculo de la distancia de fibra óptica que podría requerirse para el enlace entre la OLT y los armarios de distribución donde se ubicarán los *power splitters*. Para poder determinar la cantidad de cable de fibra óptica desde la ubicación de la OLT hacia la entrada de cada edificio o casa se procederá al uso del esquema de distribución de *power splitters*. Para esto como primer paso se divide al sector en diferentes zonas como se muestra en la Figura 3.15.

Para la determinación de las zonas no existe un proceso específico ya que cada diseñador tiene su propio criterio para la ubicación de los equipos, pero para el caso del presente proyecto el diseño de la red estará basado en la Norma Técnica de Diseño de ODN dada por la empresa estatal CNT E.P., misma que es seguida por los demás proveedores en el país. En dicha norma se indica que las zonas son designadas verificando las distancias entre la ubicación de los *splitters* o divisores de potencia, mismos que deben guardar cercanía con la central que debe estar ubicada en un punto céntrico.

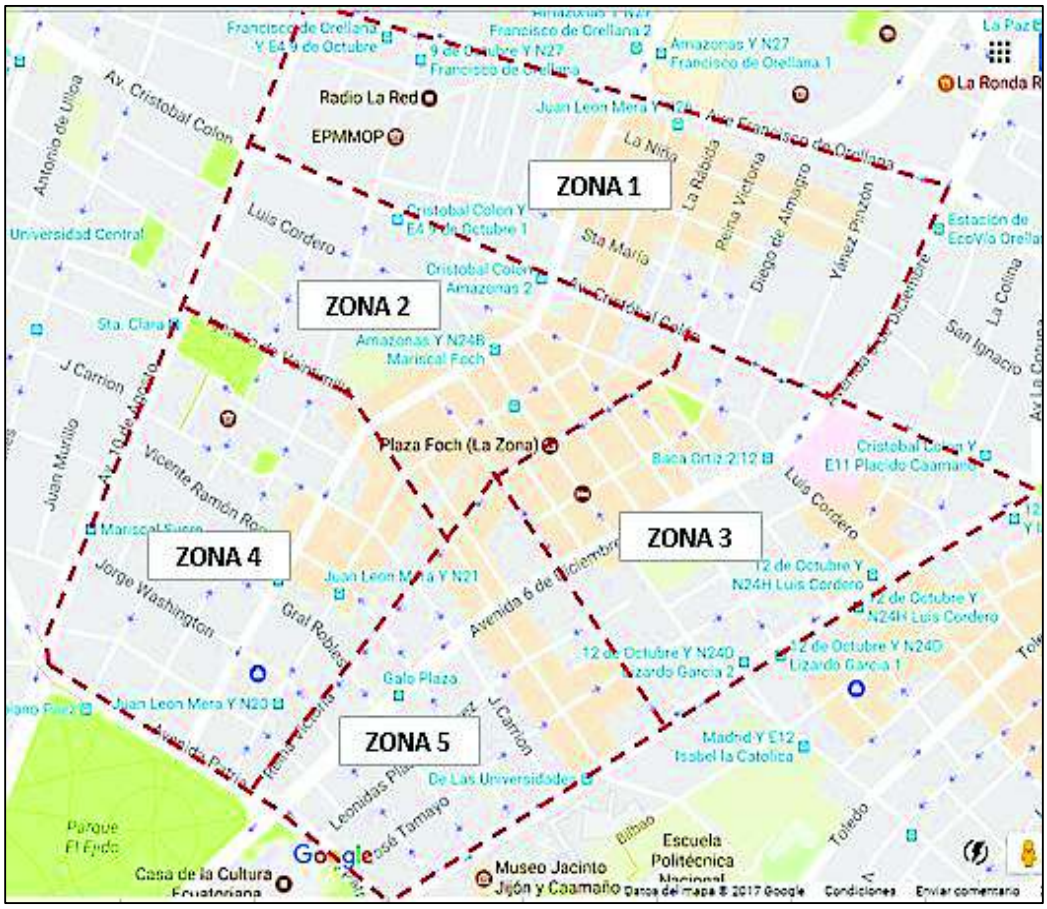


Figura 3.15 Distribución de zonas.

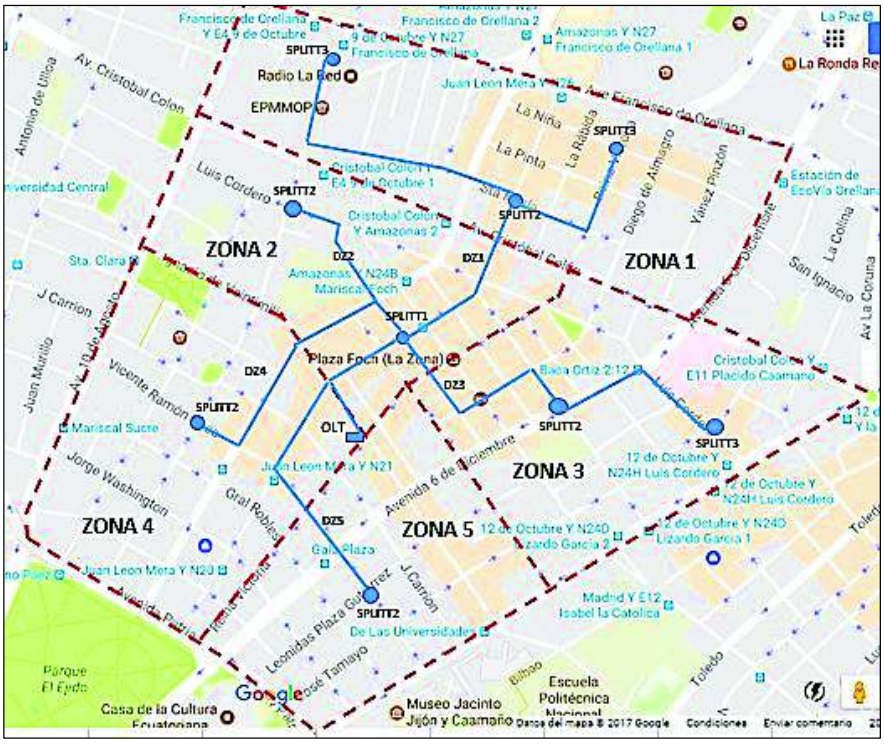


Figura 3.16 Distribución de zonas, distancias para cálculos.

Zona 1:

La zona 1 se encuentra delimitada por las siguientes calles: Av. 10 De agosto, Av. Colon, Av. Francisco de Orellana y Av. 6 de diciembre. La Figura 3.17 muestra la delimitación y la distribución de los *power splitters*.

Figura 3.17 Zona 1.

$$F.O. = Dz_1 + \sum Dz_{1c} \qquad \textbf{Ec. 3.5}$$

Donde:

Dz_1 corresponde al valor de la distancia entre el primer splitter (1:8) y el segundo splitter. Figura 3.15.

$\sum Dz_{1c}$ corresponde a la sumatoria de las distancias desde el segundo *splitter* hasta la entrada de la vivienda u edificio. Para el presente caso la distancia entre el primer *splitter* y el segundo es de 404 m, en la parte de la sumatoria al tener 2 *splitters* secundarios y varias casas en el sector se multiplicará entonces la distancia por el número de casas alrededor.

$$F.O. = D_{z_1} + \sum (Distancia\ a\ la\ casa * \#casas) + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots .$$

$$F.O. = 404\ m + \sum (750 * 10) + (550 * 20) + (310 * 15) + (771 * 20) + (356 * 20) + (284 * 5) + (336 * 5) + (65 * 5)\ m$$

$$F.O. = 404m + 7500m + 11000m + 4650m + 15420m + 7120m + 1420m + 1680m + 325m$$

$$F.O. = 49.519\ m, o\ 49.52\ km$$

Zona 2:

La zona 2 se encuentra delimitada por las siguientes calles:

Av. 10 De agosto, Av. Colón, Av. Veintimilla y Reina Victoria. La Figura 3.18 muestra la delimitación y la distribución de los *power splitters*.

Figura 3.18 Zona 2.

$$F.O. = Dz_2 + \sum Dz_{2c} \qquad \textbf{Ec. 3.6}$$

$$F.O. = D_{z_2} + \sum (Distancia\ a\ la\ casa * \#casas) + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots .$$

$$F.O. = 303\ m\ + \sum (172 * 10) + (200 * 20) + (304 * 20) + (585 * 30)m$$

$$F.O. = 303\ m + 1720m + 4000m + 6080m + 17550m$$

$$F.O. = 29.653\ m, o\ 29.65\ km$$

Zona 3:

La zona 3 se encuentra delimitada por las siguientes calles:
Av. 12 de octubre, Av. Colón, Wilson y Reina Victoria. La Figura 3.19 muestra la delimitación y la distribución de los *power splitters*.

Figura 3.19 Zona 3.

$$F.O. = Dz_3 + \sum Dz_{3c} \qquad \textbf{Ec. 3.7}$$

$$F.O. = D_{z_3} + \sum (Distancia\ a\ la\ casa * \#casas) + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots .$$

$$F.O. = 482\ m + \sum (221 * 15) + (540 * 20) + (655 * 20) + (150 * 20)\ m$$

$$F.O. = 482\ m + 3315 + 10800 + 13100 + 3000$$

$$F.O. = 30.697\ m, o\ 30{,}69\ km$$

Zona 4:

La zona 4 se encuentra delimitada por las siguientes calles:
Av. 10 de agosto, Av. Patria, Av. Veintimilla y Reina Victoria. La Figura 3.20 muestra la delimitación y la distribución de los *power splitters*.

Figura 3.20 Zona 4.

$$F.O. = Dz_4 + \sum Dz_{4c} \qquad \textbf{Ec. 3.8}$$

$$F.O. = D_{z_4} + \sum (Distancia\ a\ la\ casa * \#casas) + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots .$$

$$F.O. = 510\ m + \sum (203 * 20) + (457 * 15) + (545 * 15) + (560 * 20) + (800 * 25) + (700 * 20) + (900 * 15)m$$

$$F.O. = 510\ m + 4060m + 6855m + 8175m + 11200m + 20000m + 14000m + 13500m$$

$$F.O. = 78.300\ m, o\ 78.3\ km$$

Zona 5:

La zona 5 se encuentra delimitada por las siguientes calles:

Av. 12 de octubre, Av. Patria, Wilson y Reina Victoria. La Figura 3.21 muestra la delimitación y la distribución de los *power splitters*.

Figura 3.21 Zona 5.

$$F.O. = Dz_5 + \sum Dz_{5c} \qquad \textbf{Ec. 3.9}$$

$$F.O. = D_{z_5} + \sum (Distancia\ a\ la\ casa * \#casas) + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots .$$

$$F.O. = 758\ m + \sum (385 * 20) + (386 * 20) + (236 * 20) + (281 * 10) + (243 * 20) m$$

$$F.O. = 758m + 7700m + 7720m + 4720m + 2810m + 4860m$$

$$F.O. = 28.568\ m, o\ 28.56\ km$$

Con los cálculos realizados para cada zona se procede a sumar todas las cantidades de fibra óptica y se verificará de esta manera la cantidad de cable que

se necesita para diseñar una nueva red. Los resultados se pueden observar en la Tabla 3.18

$$F.O. = 49.52km + 29.65km + 30.69km + 78.3km + 28.56km + Reservas\ (250m) + 350m\ (OLT\ a\ Primer\ splitter) \qquad \textbf{Ec. 3.10}$$

Para el presente diseño se debe considerar reservas en el trayecto razón por la cual se considera al menos 25 reservas de 10 metros cada una, con esto al sufrir cualquier tipo de daño en la fibra óptica se puede usar las mismas y evitar costos adicionales.

Los 350 metros de fibra óptica es la distancia que va desde la OLT al primer *splitter*, que en este caso para los cálculos anteriores no fueron tomados en cuenta.

$$F.O. = 217.32km$$

ZONA	DISTANCIA DE FIBRA (KM)	DIST. OLT - SPLITT 1 (KM)	RESERVAS (KM)
ZONA 1	49,520	-	-
ZONA 2	29,650	-	-
ZONA 3	30,690	-	-
ZONA 4	78,300	-	-
ZONA 5	28,560	-	-
SUBTOTAL (KM)	216,720	0,350	0,250
TOTAL (KM)	217,320		

Tabla 3.18 Total de fibra óptica a utilizar.

3.4.4 DETERMINACIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA DEL EQUIPO [15] [19] [24] [33]

Uno de los aspectos importantes en el diseño de la red está en la elección del equipo que brindará los servicios a los usuarios finales, aun cuando ya anteriormente se tenía una idea del equipo a utilizar se debe realizar una comparación de tecnología para confirmar que el equipamiento elegido ofrezca las características deseadas antes descritas, de esta manera se tiene la siguiente comparación:

	ALCATEL	HUAWEI	
	ALU 7360	MA5603T	MA5800
Número de slots para tarjetas	4	8	7
Estándar de trabajo	XG-PON 1	XG-PON 1	XG-PON 1 Y XGPON 2
Número de usuario por puerto	64	128	128
Longitud de onda de operación	Downstream 1260 - 1280 nm	Downstream 1260 - 1280 nm	Downstream 1260 - 1280 nm
	Upstream 1575 - 1580 nm	Upstream 1575 - 1580 nm	Upstream 1575 - 1580 nm
Puertos 10G-PON	4 puertos en tarjeta de servicio	4 puertos en tarjeta de servicio (uplink)	16 puertos en tarjetas de servicio y 4 puertos en tarjeta de servicio
Tipo de conector	SFP B+ TIPO LX Conector LC/UPC	SFP B+ TIPO LX Conector LC/UPC	SFP B+/C+ TIPO LX Conector LC/UPC
Servicios	Datos, Telefonía VoIP, IPTV, soporta IP-MPLS	Datos, Telefonía VoIP, IPTV, soporta IP-MPLS	Datos, Telefonía VoIP, IPTV (Televisión 4K), soporta IP-MPLS
Redundancia	En controladoras activa/pasiva	En controladoras activa/pasiva	En controladoras activa/pasiva
	Dos fuentes de alimentación -48V	Doble tarjeta de poder -48V	Doble tarjeta de poder -48V
Confiabilidad	Alta	Alta	Alta
Precio incluido 14% IVA	$ 38.895,99	$ 33.567,89	$ 39.983,75

Tabla 3.19 Características técnicas de OLTs. [15] [19] [24] [32]

Como se observa en la Tabla 3.19 se ha procedido a comparar 2 fabricantes uno de ellos con 2 equipos, de acuerdo a lo que se ha analizado en los puntos anteriores la OLT que se va a utilizar es la MA5800 debido a que las características de conexión que ofrece son excelentes (tarjetas con varios puertos SFP cuya capacidad de transmisión es de 10Gb, 1 puerto 128 usuarios, entre otras que se muestra en la tabla 3.19) incluso para el futuro, puesto que aun cuando se dé una actualización en equipamiento el utilizado en el presente proyecto funcionará sin

ningún tipo de problema. Aunque el precio es alto, esta inversión será un ahorro en el futuro.

En cuanto a la ONT se procederá a utilizar un equipo de la misma marca, la elección además de las capacidades que presta el equipo se debe a que se trata de evitar gastos adicionales en licencias de software para que los equipos de diferentes marcas funcionen sin inconvenientes. A continuación, en la Tabla 3.20 se observa el equipo y su precio.

	HN8055Q
PRECIO	$ 130.00

Tabla 3.20 Precio de la ONT. [32]

3.4.4.1 Elección de elementos pasivos

- *RACK DE ODF Y ODF*

Para el caso de los ODFs de acuerdo a la Tabla 3.21 para el presente proyecto se ha decido escoger los ODFs de la marca TYCO ya que ofrecen características similares (número de puertos, entrada de cables sin curvatura excesiva, fácil manejo de las bandejas) a los utilizados por empresas que brindan servicios tecnológicos dentro de Ecuador, esto debido a que siempre dichas empresas buscan evitar inconvenientes con la infraestructura de proyectos anteriores.

	TYCO ELECTRONICS	FIBERHOME
NÚMERO DE PUERTOS	12, 24, 36, 48, 72, 96	12, 24, 36, 48, 72, 96
TIPO DE CONECTOR	SC, FC, LC (APC, UPC)	SC, FC, LC (APC, UPC)
BANDEJAS REMOBIBLES	SI	NO
PRECIO	$ 122,65	$ 124,00

Tabla 3.21 Características técnicas de los ODFs. [33]

Debido a que existen varios proveedores de Racks para ODFs se ha escogido a la misma marca TYCO para este equipamiento (Ver Figura 3.22), esto con el fin de guardar la misma arquitectura con los ODFs a ser seleccionados. El precio por la cabina es de 550 dólares.

Figura 3.22 Rack de ODF TYCO. [32]

- ***FIBRA ÓPTICA***

Se utilizará del tipo Canalizado Para tubería interna de telefonía que es ideal para instalar el cable dentro de los ductos de la canalización de telecomunicaciones y telefonía (ver Figura 3.23), su diseño es muy apropiado debido a que brinda, resistencia a la corrosión, protección anti-roedores y anti-insectos. Para este caso el fabricante seleccionado es una empresa que se encuentra dentro del país, dicha elección se realiza considerando los gastos en los que se podría incurrir al exportar fibra óptica de marca diferente a la usada dentro del Ecuador. Con esto se evita retrasos por arribo al país o gastos innecesarios por impuestos.

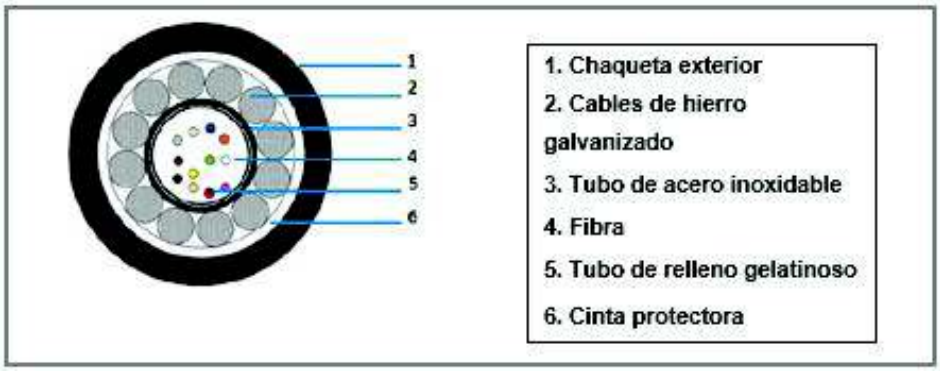


Figura 3.23 Cable canalizado componentes. [32]

- **POWER SPLITTERS Y CAJETINES**

Se procederá a utilizar *power splitters* conectorizados, esto debido a que se puede evitar gastos por mano de obra al fusionar los conectores, se podrá evitar más pérdidas que atenúen el enlace. De esta manera se tiene la comparación en la Tabla 3.22:

	HUAWEI		FIBERSTORE/FIBERHOME	
	HUAWEI		**FIBERSTORE/FIBERHOME**	
PÉRDIDAS POR INSERCIÓN	1:64	19.3 (dB)	1:64	19.3 (dB)
	1:32	16.5 (dB)	1:32	16.5 (dB)
	1:16	13.5 (dB)	1:16	13.5 (dB)
	1:8	10.5 (dB)	1:8	10.5 (dB)
	1:4	7.2 (dB)	1:4	7.2 (dB)
PRECIO	1:64	$ 782,00	1:64	$ 812,00
	1:32	$ 437,00	1:32	$ 450,00
	1:16	$ 255,00	1:16	$ 259,00
	1:8	$ 168,00	1:8	$ 173,00
	1:4	$ 52,00	1:4	$ 55,00

Tabla 3.22 Características técnicas de los *splitters*. [27] [35]

Con lo expuesto en la Tabla 3.22 se observa, que ambas marcas cumplen con las características requeridas, los precios no difieren mucho entre sí por lo que cualquiera de ellos serviría, para el caso del presente proyecto se escogerá los *power splitters* o divisores de potencia de la marca Huawei, esto debido a que el modelo que se ofrece puede ser instalado en ODFs, cabinas outdoor o indoor, etc., Y es mucho más manejable el momento de su implementación.

En lo correspondiente a los cajetines a utilizar se puede observar en la Tabla 3.23 sus características:

	JFOPT JFFX-TB124
INSTALACIÓN	Indoor/Outdoor
NÚMERO DE ENTRADAS	2
NÚMERO DE SALIDAS	24-48
CONECTORES	SC, LC
PRECIO	$ 98

Tabla 3.23 Características técnicas de una caja terminal. [22] [27] [34]

En este caso no se realiza comparación debido a que en el mercado en Ecuador otras compañías ofrecen el mismo equipo con el mismo precio, razón por la cual se escogerá la misma marca para el presente proyecto.

3.4.5 PRESUPUESTO REFERENCIAL

Luego de analizar los distintos dispositivos a utilizar en el presente proyecto, todo se resume en la Tabla 3.24.

Para el presupuesto se ha solicitado cotizaciones a empresas de telecomunicaciones que venden equipos en el país. Una de las empresas muy reconocidas en el medio es la empresa Huawei Technologies que es la encargada de instalar varios equipos para usuarios de CNT, Movistar, Claro. Lamentablemente de acuerdo con normas internas de la empresa se encuentra prohibido dar información a personas ajenas a ella o que pertenezcan a compañías públicas que requieran un gran número de equipos, razón por la cual mediante conversaciones se obtuvo los precios referenciales que se presentan en la tabla de resumen. Como anexo al presente proyecto se tiene documentos básicos tanto de la OLT como de la ONT a utilizar con algunas de sus características.

El resto de equipamiento como el cable de fibra óptica se procedió a cotizar las cantidades necesarias a la empresa Optytech con una validez de la cotización de 15 días como máximo, teniendo en cuenta que los precios referenciales en un futuro no variarán en gran cantidad, con esto, no se alterará el presente estudio.

Al ser un diseño que requiere instalación se necesitará un grupo de instalación al cual se ha cotizado la parte económica, dicha cotización cuenta con una duración indefinida.

Algo que se debe considerar es que de acuerdo con las leyes de nuestro país (Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias de espectro radioeléctrico) es que se debe cancelar ciertas cantidades por proveer servicios hacia le red de empresas públicas, así como por títulos habilitantes, por tal motivo en el presente presupuesto se plantean estos valores referenciales.

EQUIPAMIENTO HUAWEI			
EQUIPAMIENTO	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
MA5800 X7 10G-PON	1	$39.983,75	$39.983,75
RACK MA5800 X7	1	-	$-
ONT HN8055Q	500	$130,00	$65.000,00
SPLITTER SPL 1202 1:8	2	$168,00	$336,00
SPLITTER SPL 1202 1:32	6	$437,00	$2.622,00
		SUBTOTAL	$107.941,75
		DESCUENTO (12%)	$12.953,01
		IVA (14%)	$15.111,85
		TOTAL	$110.100,59

EQUIPAMIENTO OPTYTECH			
EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ODF TYCO 12 puertos	1	$122,65	$122,65
ODF TYCO 24 puertos	1	$170,00	$170,00
ODF TYCO 48 puertos	1	$230,00	$230,00
ODF TYCO 96 puertos	1	$305,60	$305,60
RACK ODF TYCO	1	$550,00	$550,00
JFOPT JFFX-TB124	50	$98,00	$4.900,00
Fibra Óptica Canalizada G652D 48 Hilos (m)	220000	$2,00	$440.000,00
		SUBTOTAL	$446.278,25
		IVA (14%)	$62.478,96
		TOTAL	$508.757,21
MANO DE OBRA INSTALADORES			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Tendido cable subterráneo	218000	$0,50	$109.000,00
Fusión hilos de fibra splitters	600	$4,00	$2.400,00
		SUBTOTAL	$111.400,00
		IVA (14%)	$15.596,00
		TOTAL	$126.996,00
SERVICIOS ADICIONALES			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Servicios Adicionales	1	$650,00	$650,00
	1	$600,00	$600,00
		SUBTOTAL	$1.250,00
		IVA (14%)	$175,00
		TOTAL	$1.425,00
TOTAL			**$747.278,80**

Tabla 3.24 Presupuesto referencial para el proyecto 10G-PON.

3.4.6 PRESUPUESTO DE POTENCIA

Para el cálculo de la potencia se procederá a realizarlo para los usuarios más lejano y más cercano. Ahora, hay que tener en cuenta que cada puerto de la OLT puede

transmitir aun cuando tenga pérdidas con una potencia mínima hasta de 2 dBm y que siempre se debe considerar un margen de seguridad que puede ser de 3 dB con el fin de solventar atenuaciones por curvatura de cable, nueva inserción de equipos, etc. En un sistema 10G-PON se tienen las siguientes clases de pérdidas resumidas en la tabla 3.25.

Tipo de enlace	Pérdida Mínima (dB)	Pérdida Máxima (dB)
Extendido (E2)	20	35
Extendido (E1)	18	33
Nominal 2 (N2)	16	31
Nominal 1 (N1)	14	29,5

Tabla 3.25 Pérdidas para el estándar 10G-PON.

Luego de verificar un resumen de las pérdidas de 10G-PON se procederá con el cálculo de la ONT más lejana y más cercana.

3.4.6.1 Caso de la ONT más cercana: Para el presente cálculo se tiene en cuenta que la ONT más cercana se encuentra a 236 m proveniente de una derivación realizada en el *power* splitter (1:8) ubicado en la zona 5 muy cercano a la OLT, distancia obtenida de la determinación de zonas y del cálculo de las diferentes distancias de fibra óptica hacia los hogares, exactamente se encuentra sobre la calle Roca y Av. 6 de diciembre. Debido a que dicho usuario se encuentra cercano a la OLT la distancia es corta y por ese motivo las pérdidas deberán ser menores. Para este cliente cercano hay que ser muy cuidadosos en cuanto a la potencia de transmisión, la cual no debe sobrepasar la sensibilidad máxima del equipo para evitar daños en el mismo.

De acuerdo a la figura 3.24 se tiene un esquema de las pérdidas que puede tener el enlace más cercano.

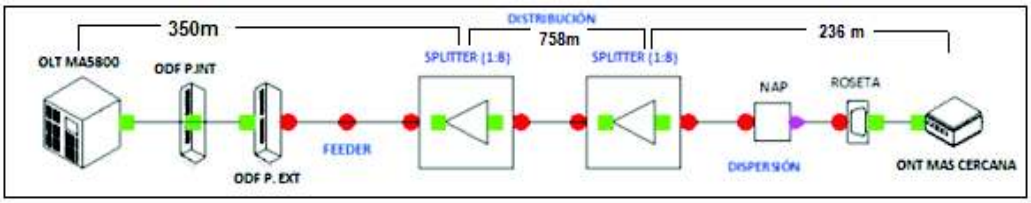


Figura 3.24 Elementos de red ONT más cercana.

El cálculo indicado en la Tabla 3.26 se da para la banda de 1310 nm:

ITEM	TIPO DE ELEMENTO	CANTIDAD	ATENUACIÓN (dB)	ATENUACIÓN TOTAL (dB)
1	Conectores	9	0.5 dB/conector	4,5
2	Splitter (1:8)	2	10.5 dB/splitter	21
3	Fibra Óptica 48H G652	1346	0.3 dB/Km	0,4038
4	Conector Mecánico	1	0.6 dB/conector	0,6
5	Empalmes	8	0.1 dB/empalme	0,8
6	Patch Cord	1	0.2 dB/patch cord	0,2
			TOTAL	27,504

Tabla 3.26 Atenuación ONT más cercana en 1310 nm.

Ahora luego del cálculo indicado en la tabla arriba adjunta (Tabla 3.26) se procede a verificar que la potencia que recibe la ONT no sea muy alta. Para verificar se utiliza la siguiente fórmula:

$$Pot._{max} - Aten._{T} - Marg.Seg. \leq Sensibilidad_{Recep.} \qquad \textbf{Ec. 3.11}$$

La sensibilidad en este caso viene dada por las características de la ONT.

$$+5\ dBm - 27{,}504dB - 3dB \leq -28dBm$$
$$+5\ dBm - 30{,}504dB \leq -28dBm$$
$$-25{,}504dBm \leq -28dBm$$

De acuerdo con este resultado se cumple con que la pérdida total para este enlace es menor a la sensibilidad que soporta tanto el enlace como los equipos, caso contrario el equipo no podría conectarse o funcionar correctamente.

3.4.6.2 Caso de la ONT más lejana: Para el cálculo se tiene en cuenta que la ONT más lejana se encuentra a 1570m proveniente de una derivación realizada en el *power splitter* (1:8) ubicado en la zona 1, distancia obtenida de la determinación de zonas y del cálculo de las diferentes distancias de fibra óptica hacia los hogares, exactamente se encuentra sobre la calle Mariano Veintimilla y Av. 9 de octubre. Para el cálculo de estas pérdidas se tomará en cuenta el margen de seguridad.

De acuerdo con la Figura 3.25 se tiene un esquema de las pérdidas que puede tener el enlace más lejano.

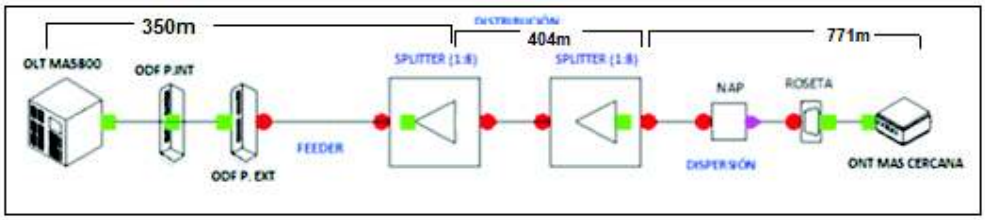


Figura 3.25 Elementos de red ONT más lejana.

El cálculo indicado en la Tabla 3.27 se da para la banda de 1310nm:

ITEM	TIPO DE ELEMENTO	CANTIDAD	ATENUACIÓN (dB)	ATENUACIÓN TOTAL (dB)
1	Conectores	7	0.5 dB/conector	3,5
2	Splitter (1:8)	2	10.5 dB/splitter	21
3	Fibra Óptica 48H G652	1527	0.3 dB/Km	0.4
4	Conector Mecanico	1	0.5 dB/conector	0,5
5	Empalmes	6	0.1 dB/empalme	0,6
6	Patch Cord	1	0.2 dB/patch cord	0,2
			TOTAL	25,80

Tabla 3.27 Atenuación ONT más lejana en 1310 nm.

Por lo tanto:

$$Pot._{min} - Aten._{T} - Marg.Seg. \leq Sensibilidad_{Recepmin.} \quad \textbf{Ec. 3.12}$$

La sensibilidad en este caso viene dada por las características de la ONT.

$$+1.5\ dBm - 25.8dB - 3dB \leq -28dBm$$

$$+1.5\ dBm - 28{,}8dB \leq -28dBm$$

$$-27dBm \leq -28dBm$$

Luego de los cálculos realizados, se observa que en el peor de los casos para el usuario más lejano la pérdida total es de -25.8 dB, a esto, sumado el margen de seguridad, se cumple con las cantidades que indican las normas y las

características de los equipos. Con esto ambos equipos tanto la OLT como la ONT deberán estar en posición de brindar valores que se encuentren dentro de los calculados para que exista una calidad satisfactoria en el enlace sin fallas en la transmisión.

En el ANEXO 3 se presenta la ubicación de los equipos y elementos que conforman la red diseñada para el sector de la Mariscal a través de los diferentes planos enumerados a continuación:

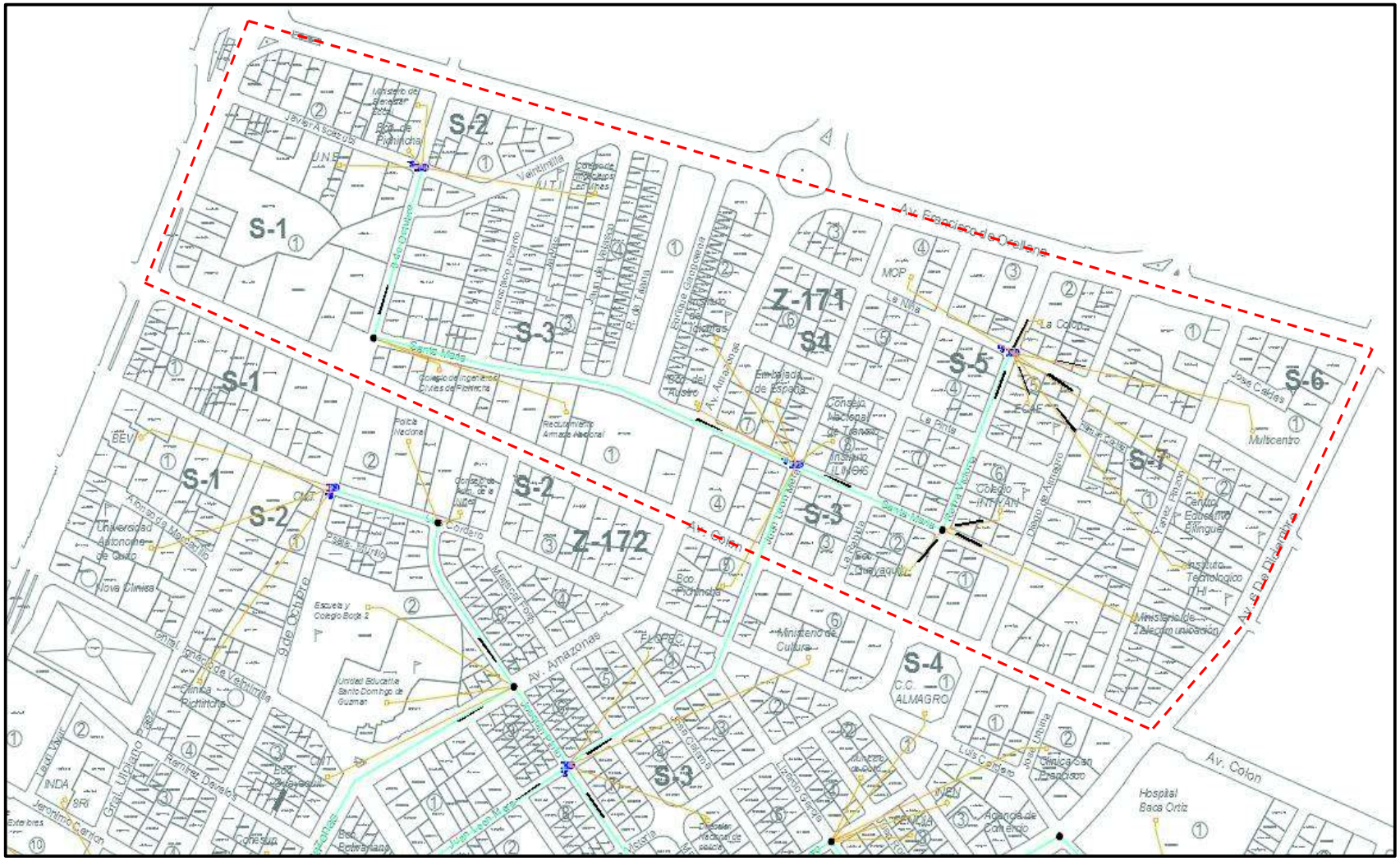
- Planos de canalización.
- Planos de dispersión.
- Planos de distribución.

Los planos se encuentran en una escala de 1:300 y fueron elaborados bajo las normativas técnicas de dibujo para el diseño de redes PON establecidas por la estatal CNT E.P. con las cuales se rigen la mayoría de las empresas que brindan servicios *Triple Play* en el Ecuador. Dichas normativas se las puede encontrar como anexo al presente proyecto (ANEXO 1).

De acuerdo a dichas normativas, el presente proyecto cuenta con un documento de control y un documento de aceptación por parte de proveedores de servicios tecnológicos. El documento de control llamado Memoria Técnica es un resumen que presenta los aspectos técnicos (infraestructura de la red, materiales instalados, control de metraje instalado de fibra óptica) para la implementación del diseño. La aceptación en este caso muestra un resumen de todo el proyecto para que el mismo sea revisado y aceptado por los diferentes proveedores que realizarán la implementación del mismo. Ambos documentos se encuentran en el ANEXO 5.

En las Figuras 3.26 y 3.27 se observa un ejemplo de los planos de distribución y dispersión donde se encuentra señalada la ubicación de los diferentes divisores de potencia que se planteó en el presente proyecto.

Figura 3.26 Plano de distribución, zona 1 sector la Mariscal, Quito.


S-1
S-2
S-3
S-4
S-5
S-6
S-7
Z-171
Z-172
Av. Francisco de Orellana
Av. Colón
Av. Amazonas
Av. 6 De Diciembre
Av. 9 de Octubre
Av. Eloy Alfaro
Av. Naciones Unidas
Av. Cristóbal Colón
Av. Gral. Eloy Alfaro
Av. Ramírez Dávalos
Av. Mariscal Foch
Av. Diego de Vera
Av. Gral. Leonidas Plaza
Av. Gral. Rumiñahui
Av. Mariscal Sucre
Av. Gral. Enrique Gallo
Av. Gral. Luis Cordero
Av. Gral. Francisco Robles
Av. Gral. Ulpiano Pérez
Av. Gral. Jerónimo Carrión
Av. Gral. Manuel Serrano
Av. Gral. Manuel Serrano
Av. Gral. Manuel Serrano

CAPÍTULO 4.

4.1 SIMULACIÓN DEL DISEÑO PARA LA RED 10G-PON EN EL SECTOR LA MARISCAL

4.1.1 SOFTWARE A UTILIZAR

Actualmente en el mercado se puede encontrar una gran variedad de software que permiten realizar la simulación de diferentes redes. En este caso se procederá a ser uso de un software que tiene la posibilidad de simular las características de una red XG-PON.

4.1.1.1 OPTISYSTEM [37] [38]

Es un software desarrollado para realizar simulaciones de diferentes diseños de redes de fibra óptica bajo ciertas características.

El presente software posee una interfaz gráfica muy similar a la de otros programas que permiten simular varios sistemas. Cuenta con herramientas de post procesamiento y herramientas de visualización para hacer más interactivo al mismo. Entre las características que presenta este software se tiene:

Cuenta con la posibilidad de simular varios tipos de redes de nueva generación.
Se puede simular:

- Modulaciones cruzadas de fase
- Mezclas de 4 longitudes de onda.
- Cuenta con herramientas de análisis como: BER, Diagrama del Ojo,
- Ganancias, Potencia de señal, etc.

El software a utilizar necesita que el equipo donde se encuentre instalado tenga características que permitan su normal funcionamiento, es así que se tiene:

SISTEMA OPERATIVO	PROCESADORES	ESPACIO DE DISCO	RAM
Optiwave™ 32-bit			
Windows ™XP (Service Pack 2 o más alto) Windows™Vista (Service Pack 1) Windows™ 7, 8 o 10 x32	Intel Pentium III o más alto AMD Equivalente	350 MB	512 MB (2 GB Recomendado)
Optiwave™ 64-bit			
Windows ™XP x64 (Service Pack 1 o más alto) Windows™Vista x64 (Service Pack 1 o más alto) Windows™ 7, 8 o 10 x64	Intel or AMD: Intel Dual Core, Core 2, Intel Xeon, AMD64 multi-core, i7, Intel Core 2 Quad	350 MB	1024 MB (4 GB+ Recomendado)

Tabla 4.1 Especificaciones necesarias para la instalación de OptiSystem.

4.1.1.2 Espacio de trabajo

OptiSystem se caracteriza por contar con un espacio de trabajo en blanco, el cual permite crear proyectos a través de diferentes componentes o bloques que representan los elementos del sistema a simular y que se encuentran debidamente detallados en cada una de las librerías del programa. Cada bloque posee entradas y salidas ópticas o eléctricas, de acuerdo a cada caso, las cuales se interconectan con los diferentes tipos de cables de acuerdo al flujo de la señal en el sistema a desarrollar.

A continuación, en la Figura 4.1 se muestra el entorno general de trabajo con el que cuenta el Optisystem, en el cual se puede distinguir 3 áreas de trabajo que constituyen el entorno. Se tiene un área en la parte superior en donde se encuentra la barra de menú, el área de trabajo (*Layout*) en donde se insertan los componentes para desarrollar el proyecto y en la parte izquierda, la ventana con la librería de componentes (*Component Library*).

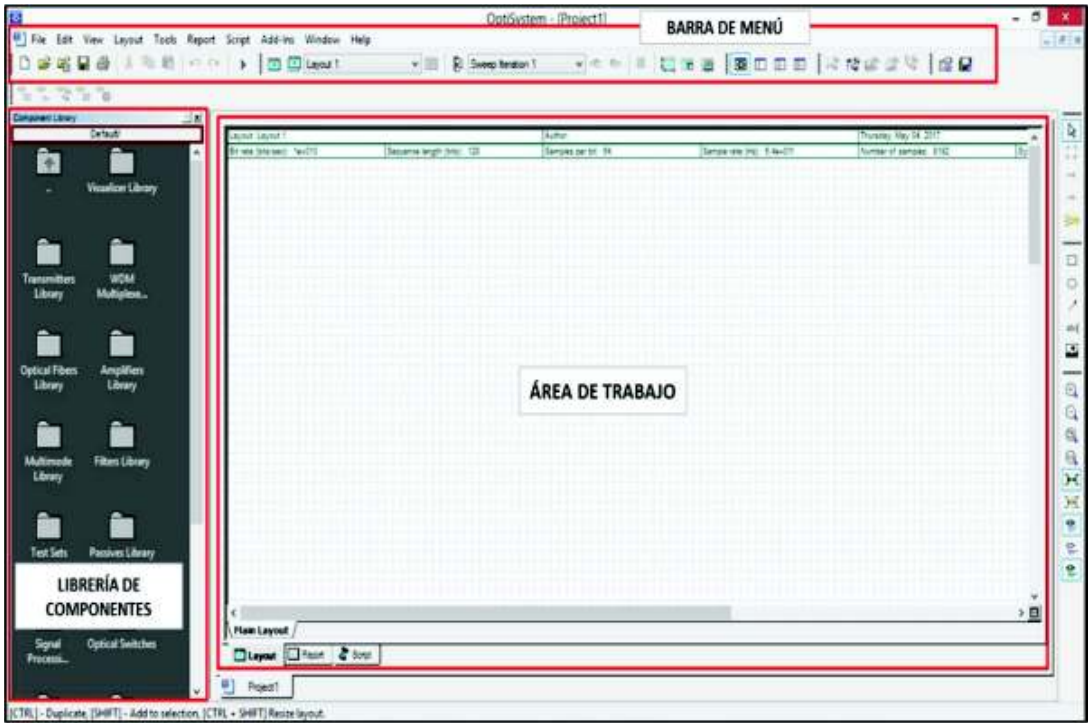


Figura 4.1 Espacio de trabajo del OptiSystem.

4.1.1.3 Abrir y guardar un nuevo proyecto en el Optisystem

Las opciones que permiten abrir un nuevo proyecto se dan a través de la barra de menú mediante la opción *File*, luego la opción *New* (Ctrl + N), para inmediatamente contar con un nuevo proyecto. También se lo puede realizar directamente al dar clic sobre el icono *New*. Para guardar el proyecto, utilizando el mismo procedimiento damos clic sobre la opción *File* y luego *Save* (Ctrl + N) y si deseamos abrir un proyecto ya creado *File* y luego Open (Ctrl + O) respectivamente. Se debe tener en cuenta que los resultados de la simulación se guardan también en el archivo, pero para poder visualizarlos correctamente es necesario recalcular los visualizadores (instrumentos virtuales) con la opción *File-Calculate visualizers*.

A continuación, se muestra en la Figura 4.2 gráficamente todo el procedimiento descrito anteriormente.

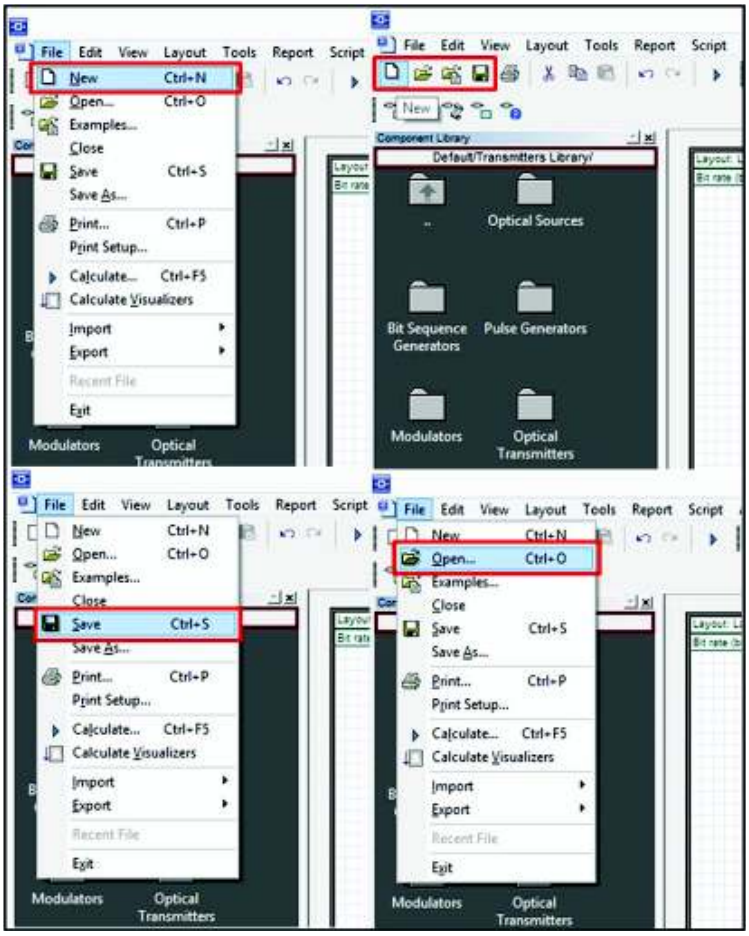


Figura 4.2 Abrir y guardar un nuevo proyecto.

4.1.1.4 Construir un sistema

Con el nuevo proyecto abierto, se procede a colocar los diferentes componentes que formarán el sistema, de acuerdo a las necesidades de este, los cuales se encuentran disponibles en la ventana de librerías de componentes (*Component Library*) de la izquierda, dentro de la carpeta Default, tal como se mencionó anteriormente. También es necesario colocar los instrumentos virtuales para visualizar los resultados de la simulación, los mismos que se encuentran en la carpeta de *Vizualizers Library*. Todos estos elementos se encuentran. Los iconos que representan a cada componente simplemente son arrastrados con el mouse hacia el área de trabajo o *Layout*.

Para unir cada uno de los componentes entre sí se utiliza “cables”, entre una entrada o salida de un componente, se arrastrará el ratón hasta la entrada/salida

con la que se quiere unir. El camino concreto que sigue un cable es elegido por el propio simulador, mediante las herramientas que se presentan a continuación:

- ***Autoconnect on Drop:*** Esta herramienta permite conectar automáticamente el puerto de entrada del componente que se arrastra desde la librería con el puerto de salida del componente más cercano. La Figura 4.3 muestra esta herramienta.

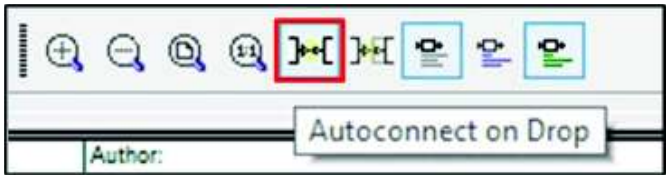


Figura 4.3 Herramienta *Autoconnect on Drop*.

- ***Autoconnect on Move:*** Esta herramienta permite conectar automáticamente a los componentes cuando éstos se mueven dentro del *Layout*, de manera similar a la anterior. La Figura 4.4 muestra esta herramienta.

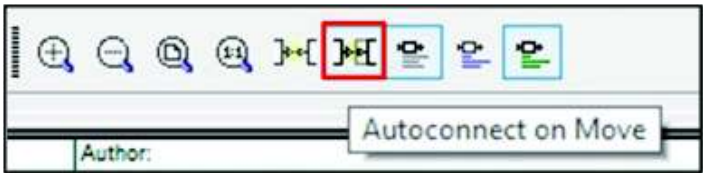


Figura 4.4 Herramienta *Autoconnect on Move*.

Adicionalmente se puede optar por una conexión personalizada, en la que uno decide qué puerto de qué componente se conecta a qué puerto del otro componente.

Los componentes dentro del *Layout*, pueden moverse fácilmente ajustándose automáticamente el cableado, así como son fáciles de eliminar utilizando la tecla '*Supr*'. Para un correcto funcionamiento del sistema se debe tomar en cuenta el tipo de componentes que se utiliza para una conexión adecuada entre los mismos. La

conexión entre la entrada y salida de los componentes debe contener una misma señal. El simulador dispone de tres tipos de señales:

- ***Binaria:*** es una señal se caracteriza por ser una secuencia de ceros y unos sin amplitud, forma de onda, ni ruido, etc. Es la señal que típicamente se va a transmitir.
- ***Eléctrica:*** es una señal en el dominio eléctrico, que se caracteriza por su forma de onda, amplitud, ruido, etc.
- ***Óptica:*** es una señal en el dominio óptico, que se encuentra alrededor de una portadora generada por una fuente de luz.

Como se indicó anteriormente no es posible interconectar señales de diferente tipo entre sí, para esto es necesario que el correspondiente componente realice una conversión. Por ejemplo, un láser convierte una señal eléctrica en una óptica, un fotodiodo realiza el proceso contrario, un modulador NRZ traduce una señal binaria en otra eléctrica; etc. La Figura número 4.5 muestra un ejemplo de sistema sencillo, en el cual se han insertado 4 componentes dentro del *Layout* del proyecto mediante un arrastre sencillo desde las librerías respectivas. Este sistema incluye una fuente de bits, un modulador de canal NRZ, una fuente tipo LED y un analizador de espectros ópticos para observar el espectro de la fuente.

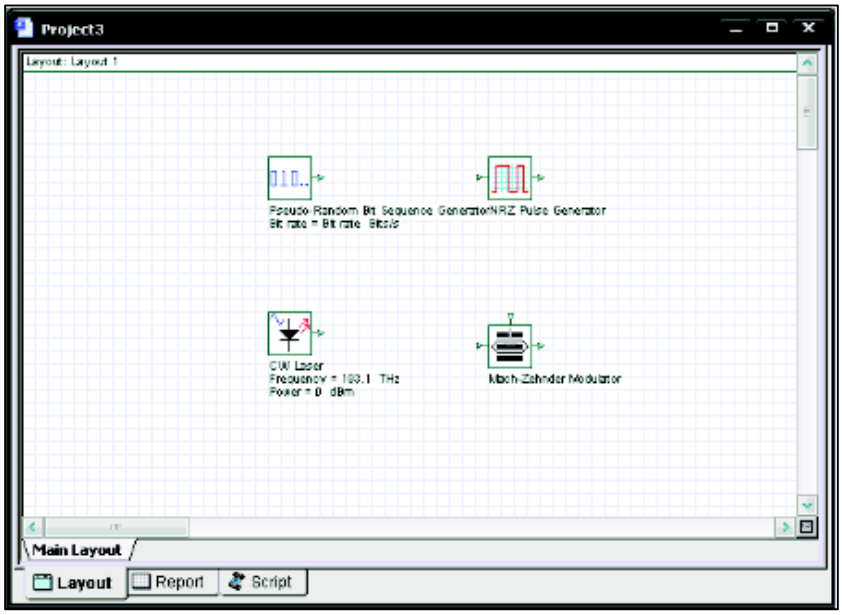


Figura 4.5 Componentes para construcción de un sistema sencillo.

En la Figura 4.6 se observa la inclusión al proyecto de los elementos de visualización como son los osciloscopios, visualizadores de espectro, etc. Que permitirán analizar los resultados de la simulación

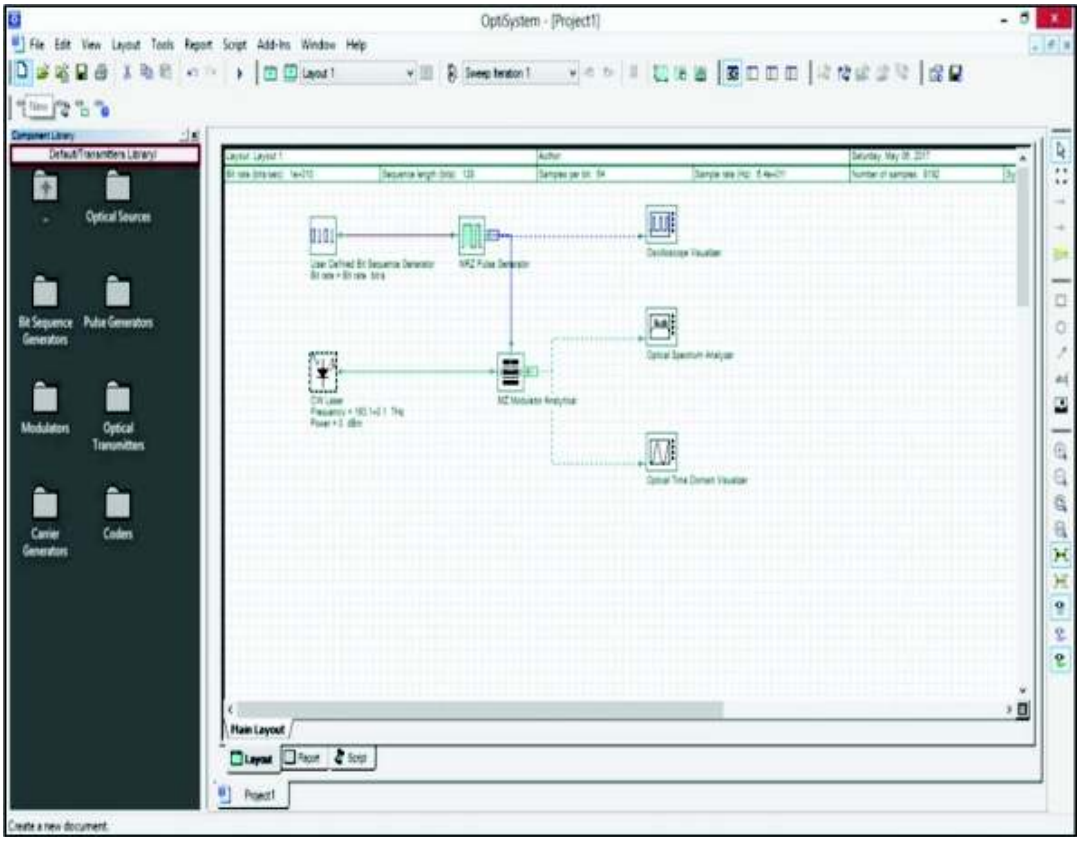


Figura 4.6. Elementos de visualización del sistema.

Si se desea modificar los parámetros de los componentes insertados en el proyecto simplemente se hace un doble *click* sobre el icono respectivo para acceder a sus parámetros internos. Éstos dependerán del tipo de componente. En la Figura 4.7, se observa el cuadro de diálogo con las opciones de configuración en este caso para el componente *User Defined Bit Sequence Generator*.

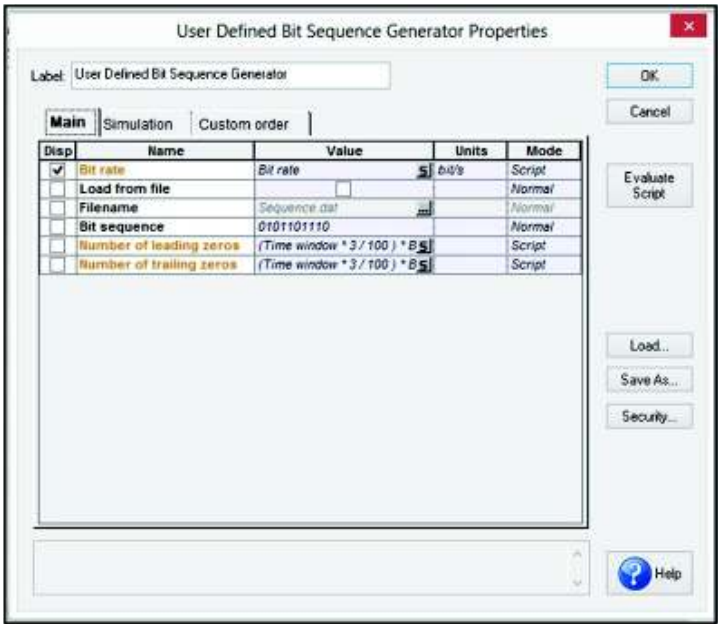


Figura 4.7 Parámetros internos de un componte insertado.

La información sobre las opciones internas que presenta cada bloque se encuentran mejor detalladas en el manual del software de simulación que se encuentra anexo al presente proyecto (ANEXO 6).

4.1.1.5 Procedimiento para la simulación del sistema

Una vez que se tenga todos los parámetros correctamente configurados y los componentes conectados entre sí, para la simulación del sistema se deberá escoger la opción File en la barra del menú, luego escoger la opción *Calculate* o directamente dar clic sobre el icono respectivo para la simulación tal como se muestra en la Figura 4.8.

Una vez realizado el procedimiento anterior se desplegará un cuadro de dialogo, el cual contiene algunas opciones de optimización, pero para iniciar la simulación se debe dar clic sobre el botón de *play*, como se muestra en la figura 4.9. Mediante este cuadro se muestra el proceso de simulación de cada uno de los elementos con sus advertencias o errores dentro del proyecto en caso de existir.

Para tener una correcta simulación es necesario ajustar ciertos parámetros globales que permitan tener resultados válidos. Uno de los parámetros que deben fijarse es la ventana de simulación adecuada, es decir, una banda de frecuencia alrededor de la portadora óptica que sea lo suficientemente grande como para que todas las señales (y ruidos) presentes en el sistema estén contenidos en ella. Cuando se realiza una elección errónea de los parámetros, se compromete la precisión de los resultados de la simulación. El simulador particularmente trabaja con señales y modelos en el dominio del tiempo, por lo cual debe muestrear la señal para una correcta representación y procesamiento.

En el muestreo de la señal la frecuencia a la que se realiza este muestreo constituye un factor decisivo en el contenido frecuencial admitido, y por lo tanto en la ventana de simulación. El ancho de esta ventana se define indirectamente fijando uno o varios de los siguientes parámetros globales de simulación:

- La ventana temporal (*Time Windows*), que representa el intervalo temporal que dura la simulación.
- La tasa de bit (*bit rate*) o régimen binario, en bits por segundo (bps). Por defecto vale 2,5 Gbps.
- La frecuencia de muestreo (en Hertzios-Hz).
- El número de bits transmitidos (*Sequence Length*).
- El número de muestras por bit (*Samples per bit*).
- El número total de muestras (*Number of samples*).

Los parámetros citados se modifican con la ventana de *Global Parameters* a la que se accede haciendo doble clic sobre el fondo del *layout* sobre el que se implementa el sistema. El régimen binario es un requerimiento que no puede cambiarse, lo más adecuado en la mayoría de los supuestos es especificar la tasa de bits en el campo Bit rate, y como valor del parámetro *Simulation Windows* especificar la opción "*Set bit rate*".

De esta forma el resto de los parámetros se ajustan para obtener una ventana adecuada para el régimen binario especificado.

Se debe tener en cuenta que en ciertos casos la ventana de simulación calculada automáticamente a partir del régimen binario no es adecuada. Esto generalmente ocurre con fuentes de luz de gran anchura espectral (LEDs y con algunos láseres FP), o con el ruido óptico ASE generador por los amplificadores ópticos.

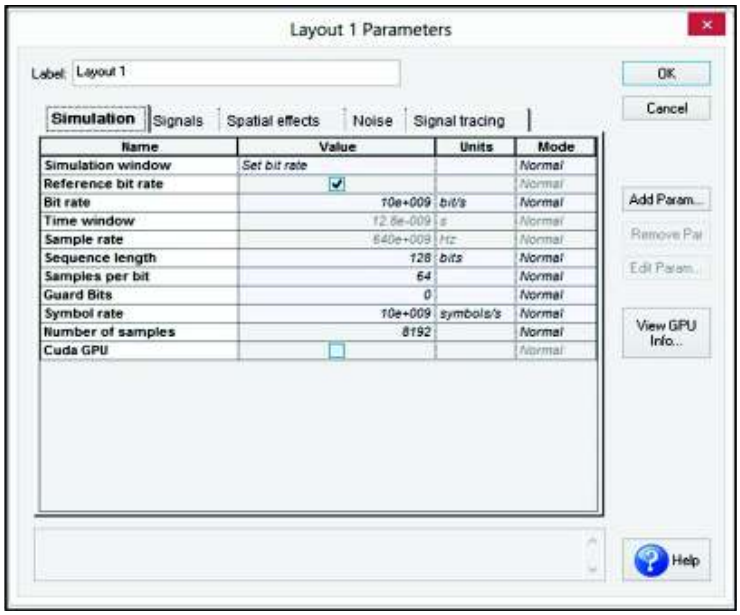


Figura 4.8 Parámetros de simulación.

4.1.1.6 Metodología para el análisis de resultados

Para el análisis de los resultados de la simulación, se toman en cuenta las señales recogidas por los diferentes instrumentos virtuales de visualización. Para observar los mismos se debe dar doble clic sobre sus respectivos iconos. Al pulsar el botón derecho del mouse sobre la imagen mostrada, es posible acceder a funciones de zoom, pan, etc.

.

Para el presente proyecto se tiene la capacidad de observar mediante el osciloscopio la señal pulso transmitida de acuerdo a los bloques que conforman el transmisor, se puede observar el analizador del espectro óptico y medidores de potencia. Con estos elementos se tiene la capacidad de verificar la calidad de la señal transmitida y recibida, tal como lo indica la Figura 4.9.

En dicha figura se observan los resultados de la simulación mediante los visualizadores conectados anteriormente.

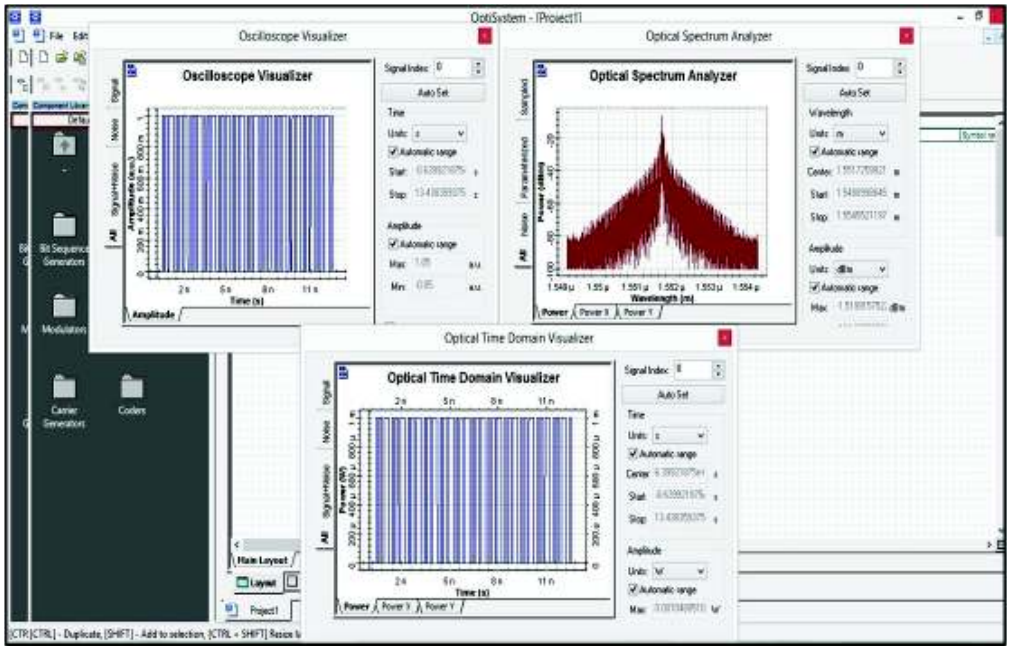


Figura 4.9 Resultados obtenidos de una simulación.

4.2 SIMULACIÓN DE LA RED

Una vez que se describió las principales características del Optisystem se procede a simular el enlace de la red de acceso a nivel de capa física utilizando los elementos y características que nos ofrece el programa.

4.2.1 Esquema de la Red a simular

Para realizar la simulación se conformó un esquema el cual consta de 3 partes principales: OLT, elementos pasivos de la red y las ONT. Tanto la OLT como la ONT están creadas en forma de bloques, las cuales a su vez contienen subsistemas con los elementos básicos que proporciona el programa, esto a su vez permite una mejor visualización y ahorrar espacio en el área de trabajo. En la Figura 4.10 se muestra el esquema de la red a simular.

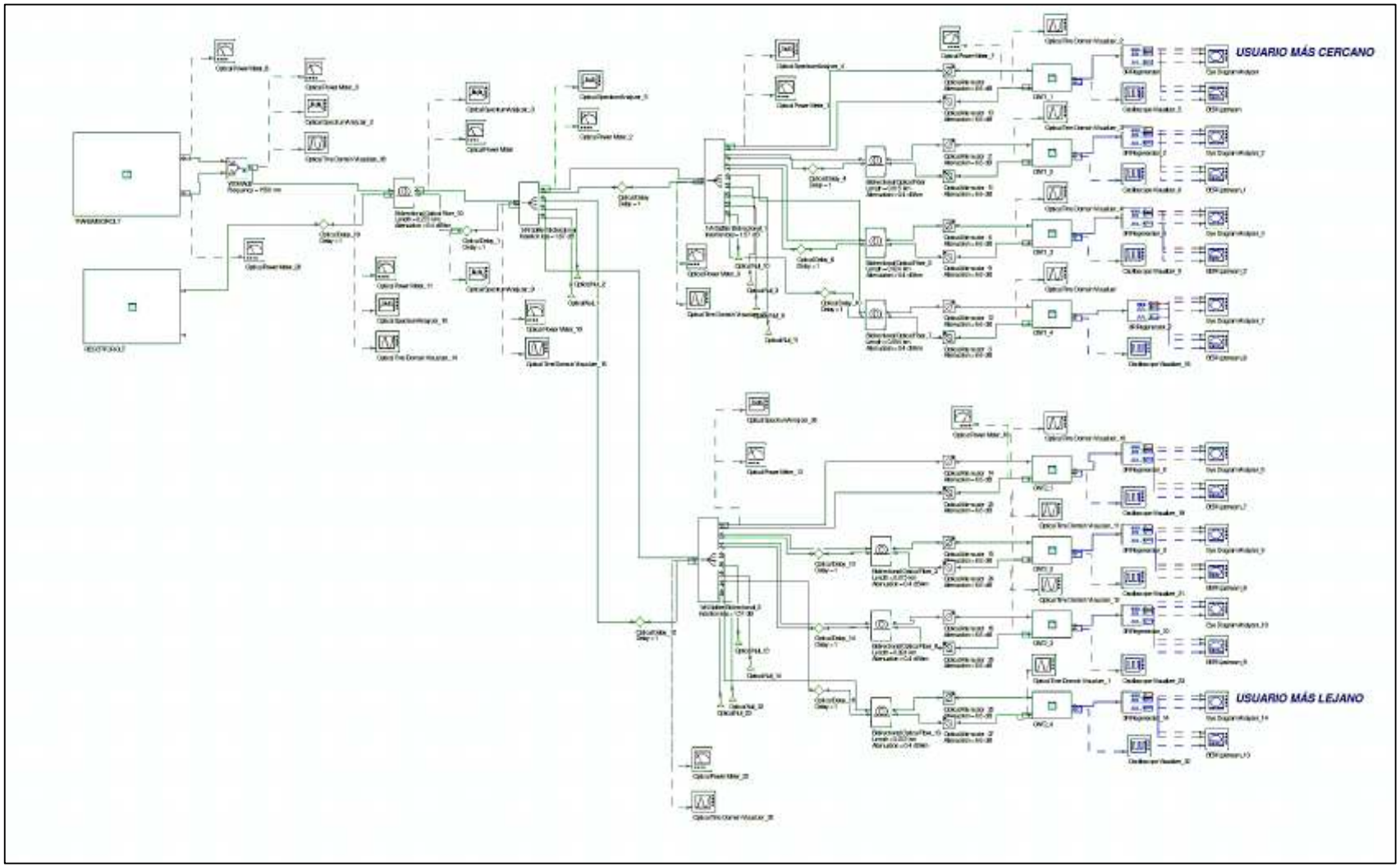


Figura 4.10 Esquema de la Red a simular.

4.2.1.1 OLT

Como se mencionó anteriormente la OLT se encuentra conformada por dos subsistemas: un bloque Transmisor y un bloque Receptor gracias a las características que ofrece el programa tal como se muestra en la Figura 4.11.

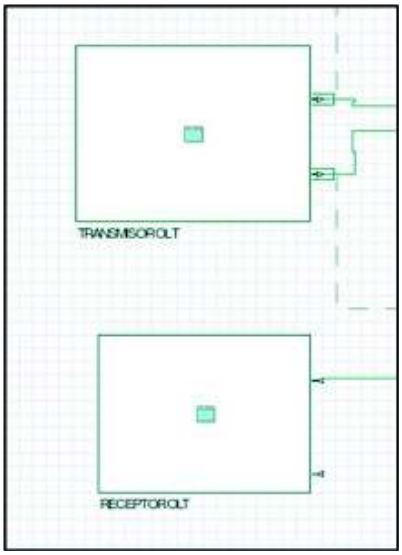


Figura 4.11 Bloques de la OLT.

Dentro del bloque transmisor se encuentran 2 subsistemas: un transmisor para Voz y Datos y otro transmisor para Video como se muestra en la Figura 4.12. Así también dentro de cada subsistema existen bloques adicionales que lo conforman.

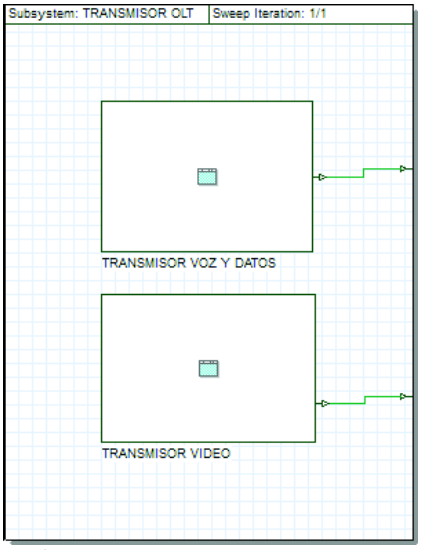


Figura 4.12 Subsistemas del transmisor de la OLT.

A continuación, se muestra el detalle y descripción de los elementos que se encuentran dentro del Transmisor de Voz y Datos.

- **Transmisor Voz y Datos:** El transmisor se encuentra conformado por un generador de bits, un modulador y una fuente de luz. En la Figura 4.13 se muestra el detalle del subsistema de la OLT.

El transmisor permite el envío de la información a la velocidad estándar de 10G-PON, es decir, 10 Gbps.

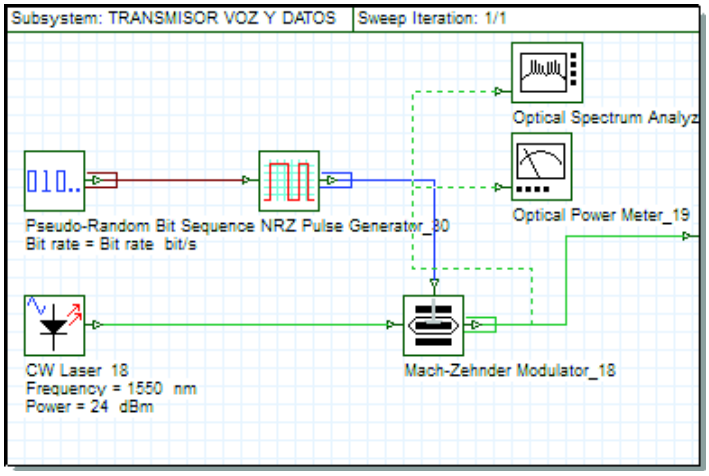


Figura 4.13 Elementos del Transmisor de OLT de Voz y Datos.

De la figura anterior se observan los diferentes componentes que conforman al transmisor de la OLT para Voz y Datos, los mismos que se describen a continuación:

- **Generador de secuencias de bits (*Pseudo-Random Bit Sequence*):** Este elemento permite generar una secuencia binaria pseudo aleatoria, de acuerdo con diferentes modos de operación. La secuencia de bits está diseñada para aproximar las características de los datos aleatorios.

- **Codificador NRZ (*NRZ Pulse Generator*):** Este elemento genera una señal codificada de no retorno a cero. A la salida de este módulo se tendrá la modulante eléctrica.

- **CW *Laser***: Genera una señal óptica de onda continua. Trabaja como portadora óptica para el proceso de modulación posterior. Se debe configurar para operar a una longitud de onda adecuada o su equivalente en frecuencia.

- **Interferómetro de *Match Zehnder*:** Simula un modulador *Mach-Zehnder* utilizando un modelo analítico. A este modulador llega la señal eléctrica enviada por el modulador NRZ y la modula a la portadora óptica recibida del CW láser.

➢ **Transmisor de Video:** El transmisor de video se encuentra conformado por un generador de bits, un modulador y una fuente de luz. En la Figura 4.13 se muestra el detalle del subsistema de la OLT.

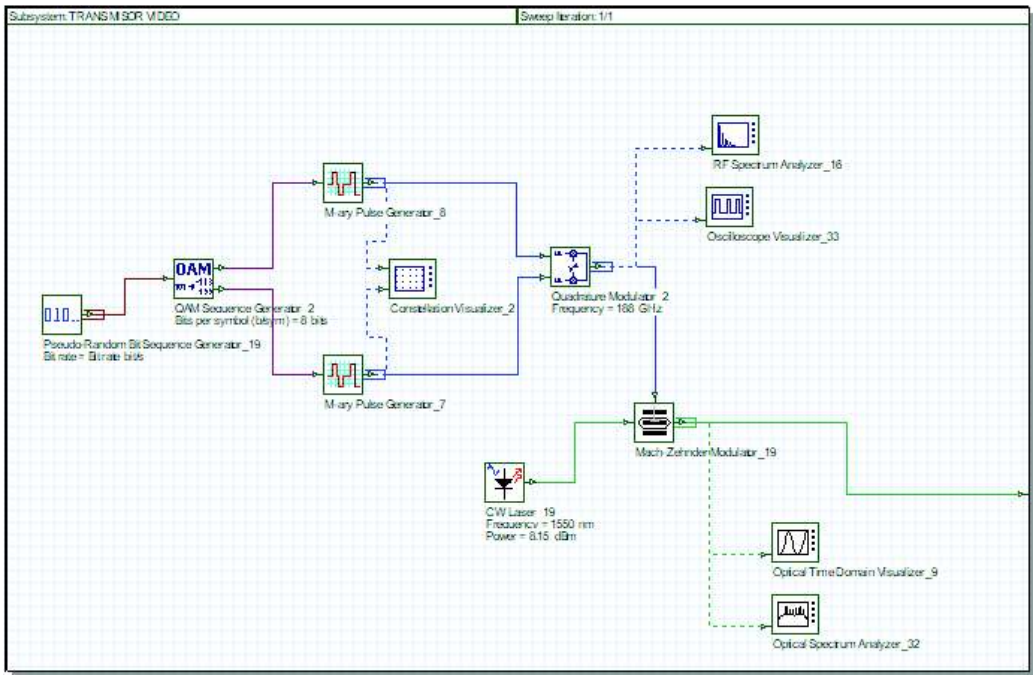


Figura 4.14 Elementos del Transmisor de OLT de Video.

Al igual que en el transmisor de Voz y Datos se tienen los elementos de Generador de secuencias de bits, *CW Laser* y el Interferómetro de *Match Zehnder* que cumplen las mismas funciones descritas anteriormente. Adicionalmente se tienen los

elementos generadores y moduladores QAM, permite que los datos correspondientes al video sean transmitidos mediante una modulación 16-QAM. Adicionalmente los transmisores de Voz/datos y video constan de un modulador externo, el cual permite realizar la modulación en amplitud EOM *(Electro Optic Modulation)* para la transmisión electro-óptica de los datos.

- **Receptor (RX):** El receptor se encuentra conformado por un *Fotodetector* PIN, un filtro de *Bessel* y un *Buffer Selector*. En la Figura 4.15 se muestra el detalle del subsistema de la OLT.

Este módulo es el encardo de Recibir la señal óptica enviada por las ONUs. A continuación, se describen los elementos que conforman el receptor:

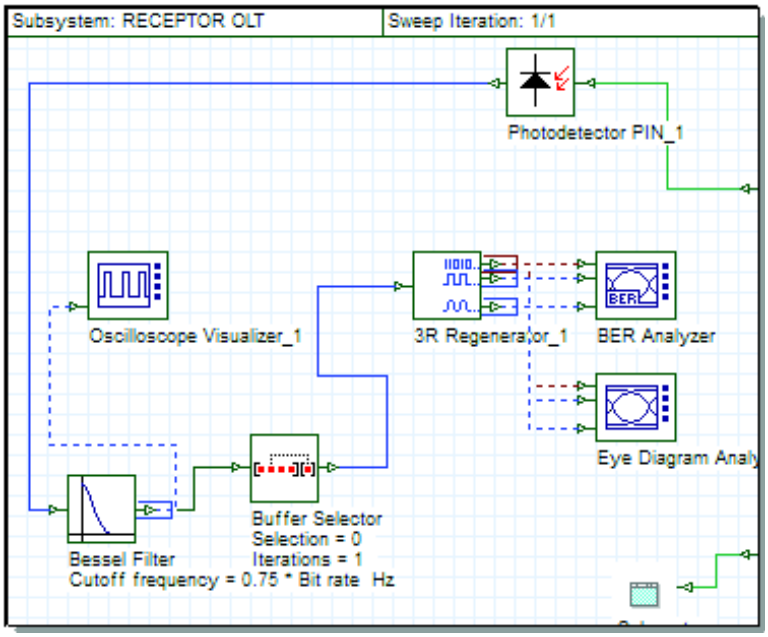


Figura 4.15 Elementos del Receptor de OLT.

Para tal efecto se empleó:

- **Fotodector PIN:** Este componente se utiliza para convertir una señal óptica en una corriente eléctrica basada en la capacidad de respuesta del dispositivo.

- **Filtro de Bessel:** Es un filtro con una función de transferencia de frecuencia Bessel. Se encarga de eliminar a las frecuencias que no corresponden al espectro que debe ser recibido, especialmente el ruido presente a altas frecuencias.
- ***Buffer selector*, Regenerador de señales y Analizador de BER:** Estos elementos permiten visualizar las señales recibidas y analizar la tasa de bits errados, así como el diagrama de ojo de la transmisión.

4.2.1.2 ONT

En la Figura 4.16 se muestra el esquema para la OLT, la cual consta de 3 subsistemas y diferentes componentes para realizar tanto la transmisión y recepción de los datos.

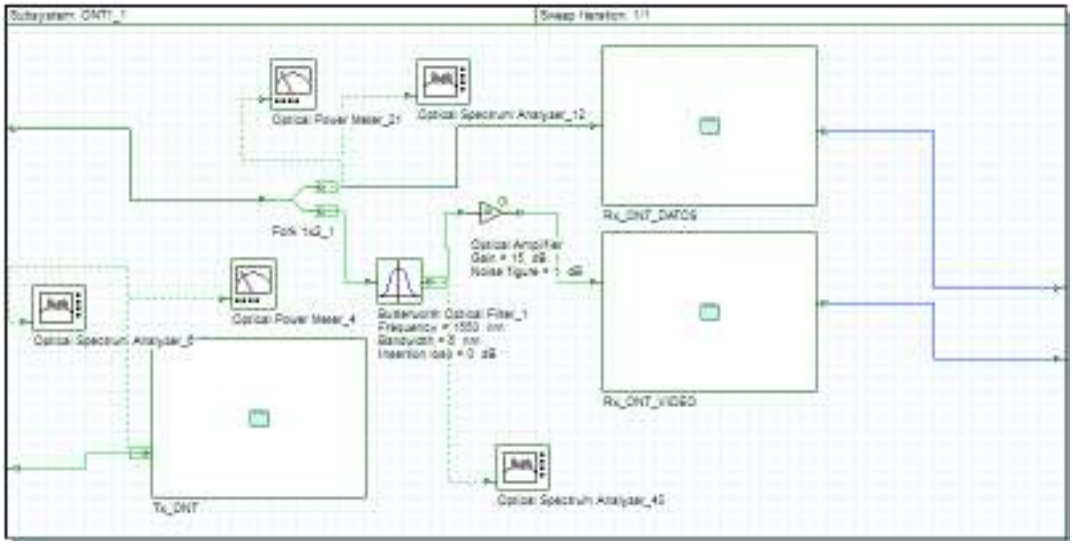


Figura 4.16 Elementos de la ONT.

Como se mencionó la ONT consta de 3 subsistemas tanto para la transmisión y recepción de Voz/Datos y Video tal como en la OLT con sus respectivos elementos ya descritos anteriormente, los cuales se muestran en las Figuras 4.17, 4.18 y 4.19 respectivamente.

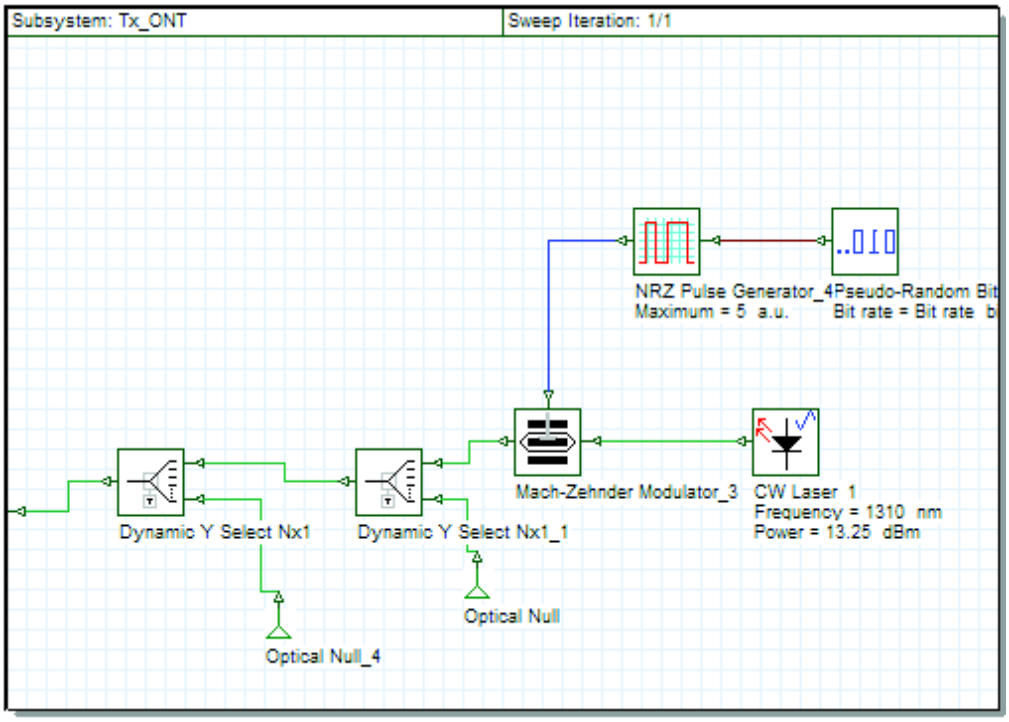


Figura 4.17 TX ONT.

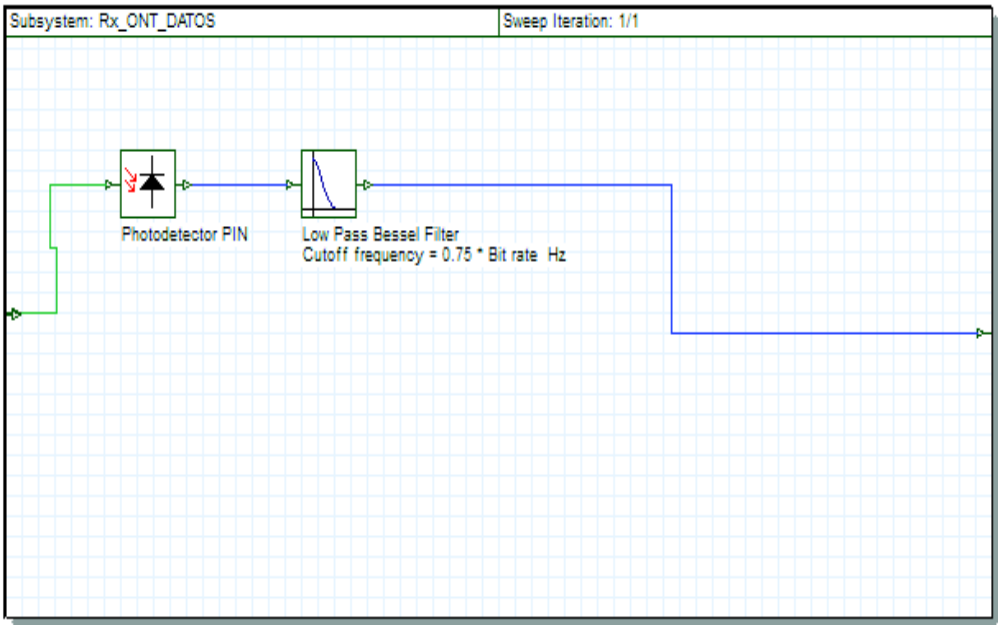


Figura 4.18 Subsistema RX ONT para Datos.

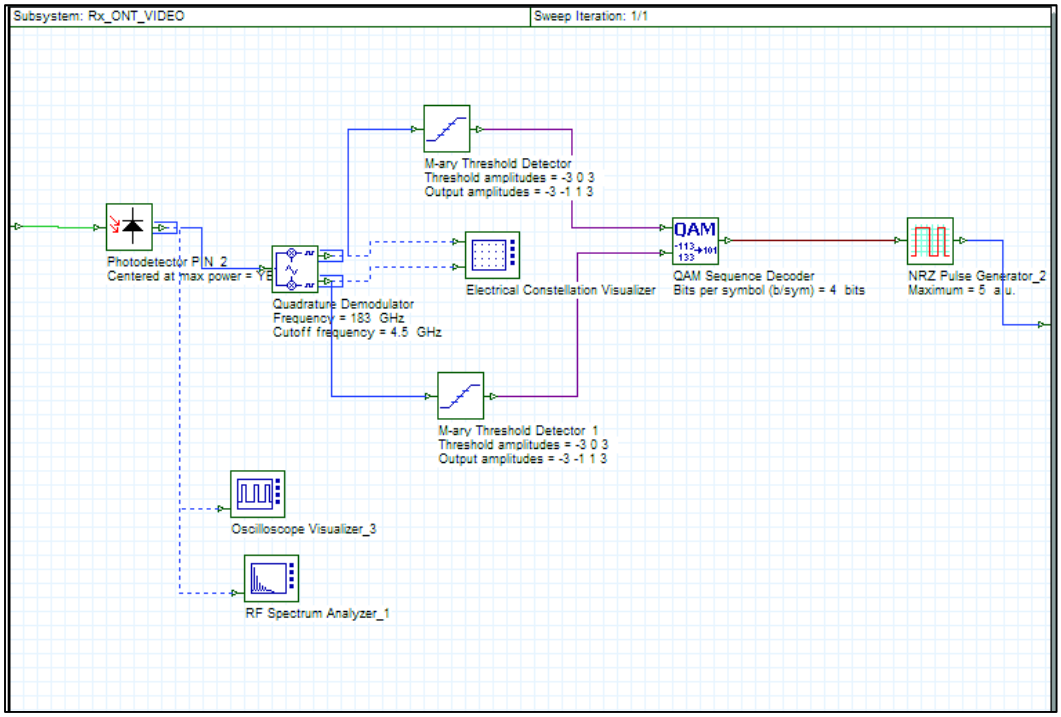


Figura 4.19 Subsistema RX ONT para Video.

4.2.1.3 Elementos de Red Pasivos

Los elementos pasivos que conforman la red de distribución son los *splitters* y la fibra óptica bidireccional, los mismos que se encuentran disponibles en el programa para la simulación.

4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

De acuerdo al esquema de la red a simular mostrado en la Figura 4.20 y en los anexos del proyecto, se pueden apreciar los elementos que conforman la misma, en donde se analizarán los resultados obtenidos.

Como se indicó anteriormente, para la simulación de la OLT se cuenta con bloques visualizadores como osciloscopio y *power meter* donde se obtiene los valores que muestran las figuras (Figura 4.20 y Figura 4.21):

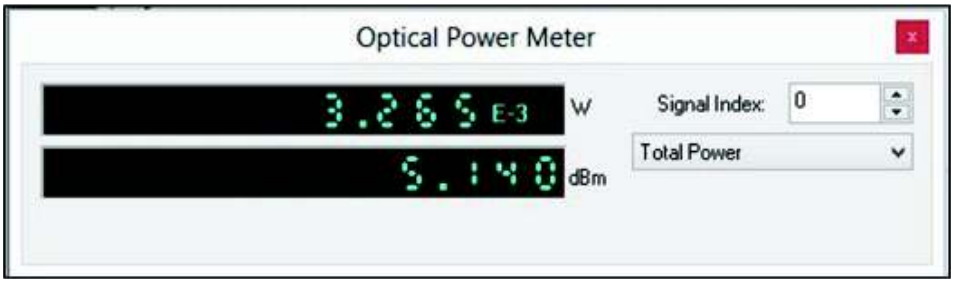


Figura 4.20 Potencia a la salida de la OLT.

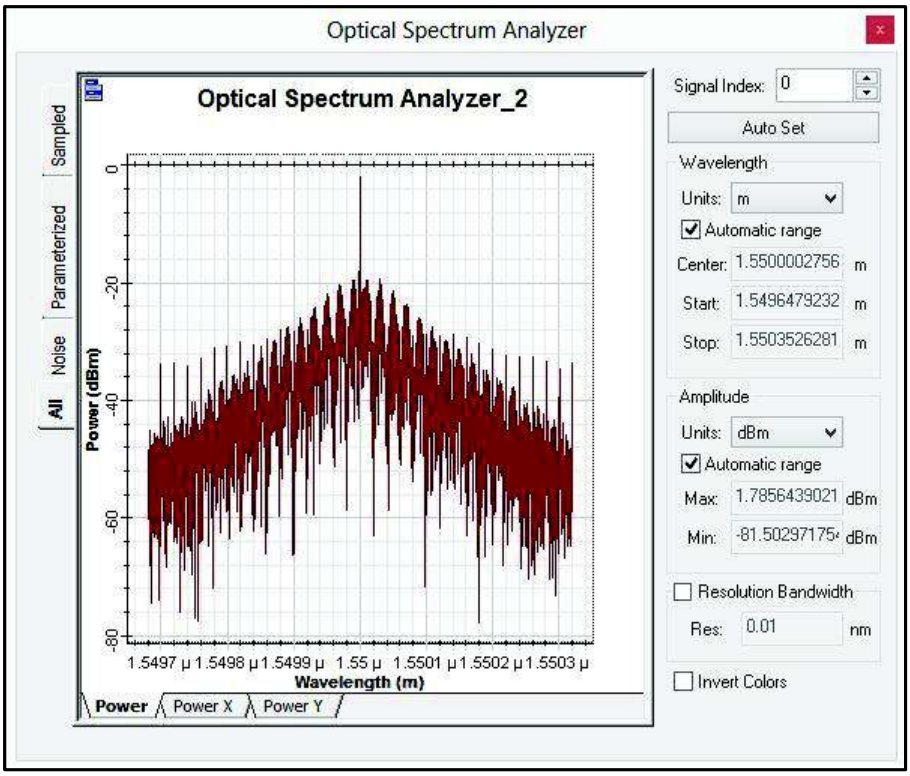


Figura 4.21 Analizador de espectro a la salida de la OLT.

El analizador de espectro óptico muestra anchuras espectrales muy pequeñas lo cual nos dice que el sistema trabajará eficientemente a velocidades muy altas sin ningún inconveniente. A su vez la gráfica del *power meter* muestra el valor de potencia de salida que en este caso simularía la potencia emitida por el puerto PON del equipo. La potencia obtenida (5.1 dBm) está dentro de los parámetros mostrados en las características del equipo en los capítulos anteriores (Desde 1.5 dBm a 5.5 dBm). En el osciloscopio se observa los pulsos emitidos por el equipo a la salida del bloque transmisor (Figura 4.22).

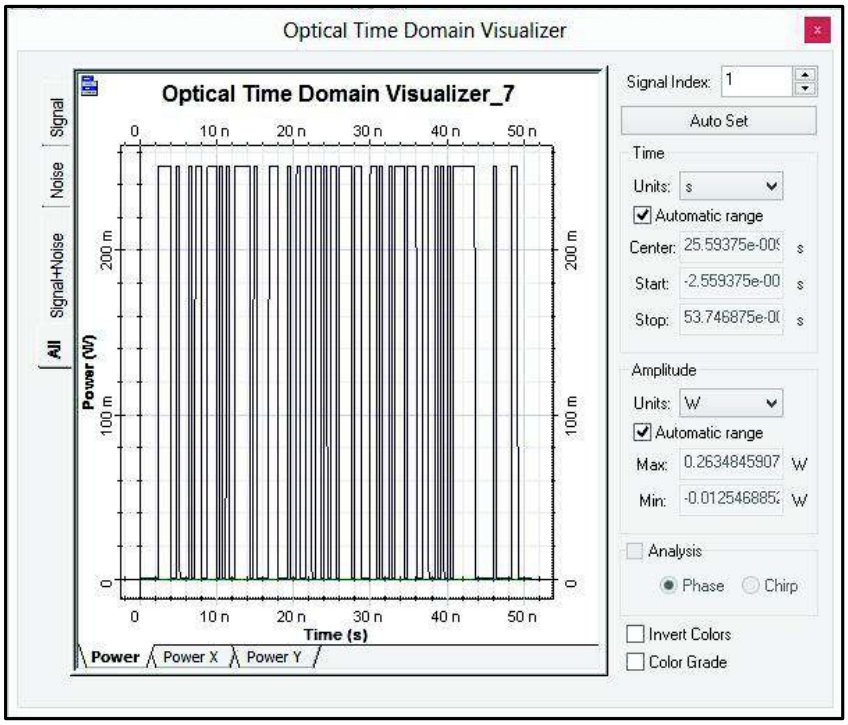


Figura 4.22 Osciloscopio a la salida de la OLT.

Luego de salir de la OLT la señal viaja por la fibra óptica, en este en la simulación se observa unos de los bloques que simula dicho medio de transmisión. En el bloque se puede configurar las distancias de fibra ótica a utilizar, así como también Las diferentes atenuaciones que pueden existir en el camino. Tal como lo muestra la Figura 4.23:

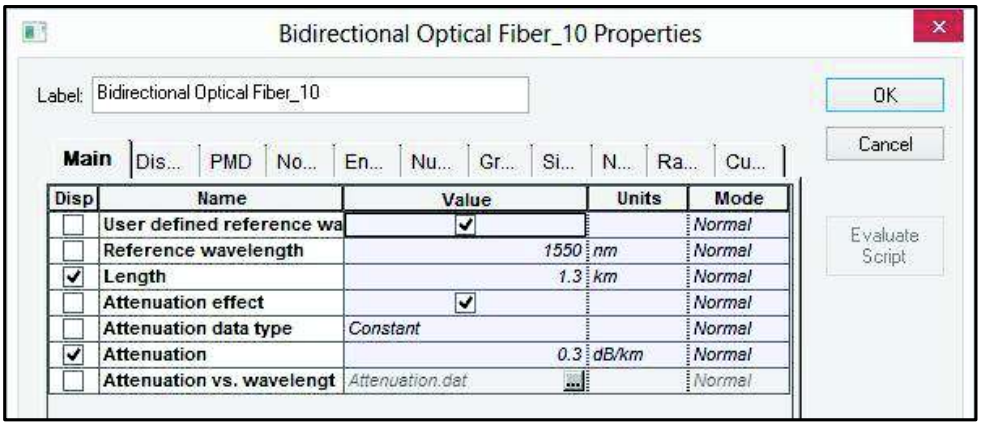


Figura 4.23 Configuración del bloque de fibra óptica.

Para el presente proyecto se plantea una atenuación de 0.3 dB/Km de acuerdo a las características del medio de transmisión tal como se indicó en los capítulos anteriores donde ya se utilizó dicho valor para los cálculos correspondientes.

Al igual que en el bloque anterior (transmisor) se ubican visualizadores que muestran el espectro (Figura 4.24) y la posibilidad de ingresar la llamada dispersión de Raman, la cual es un fenómeno no lineal que se produce al propagar una señal luminosa por la fibra óptica, a fin de determinar su afectación en la calidad de la transmisión. Estos parámetros se pueden incluir dentro del bloque de la fibra óptica bidireccional, señalando la casilla *Raman scattering* y especificando el área efectiva que para este caso será de 63 μm^2 de acuerdo a la fibra óptica seleccionada en el capítulo anterior que cumplen con la recomendación ITU-T G.655 tal como se muestra en la Figura 4.25.

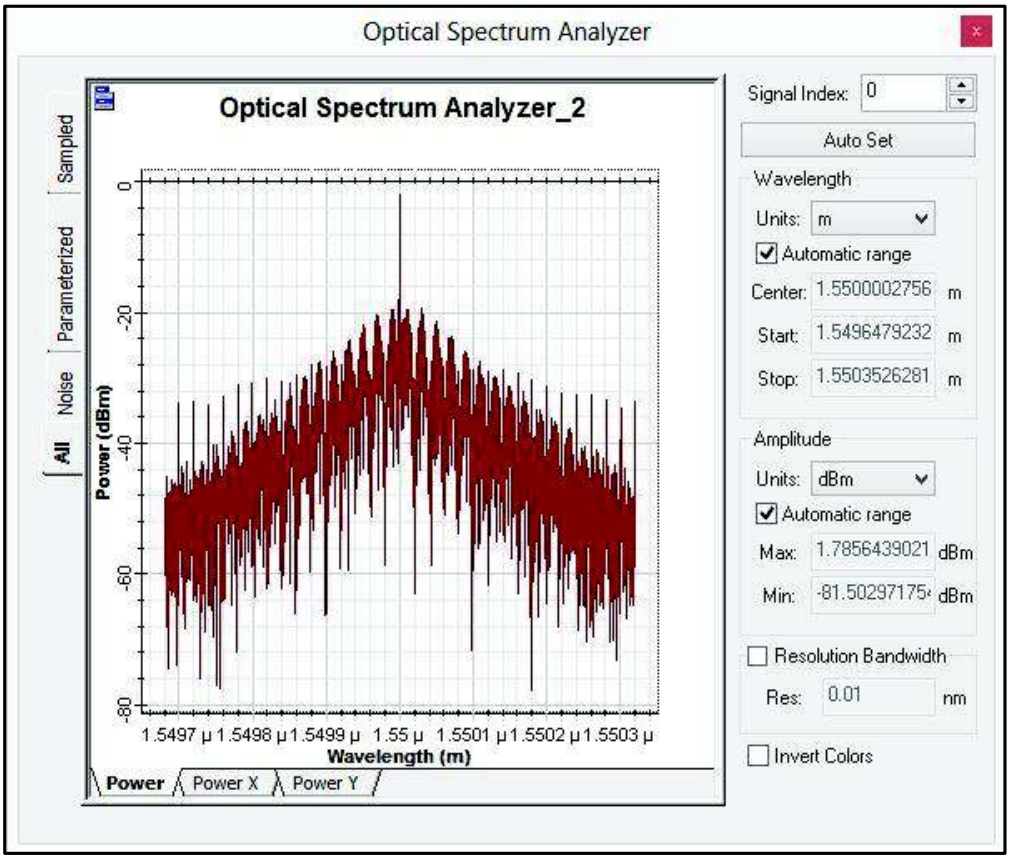
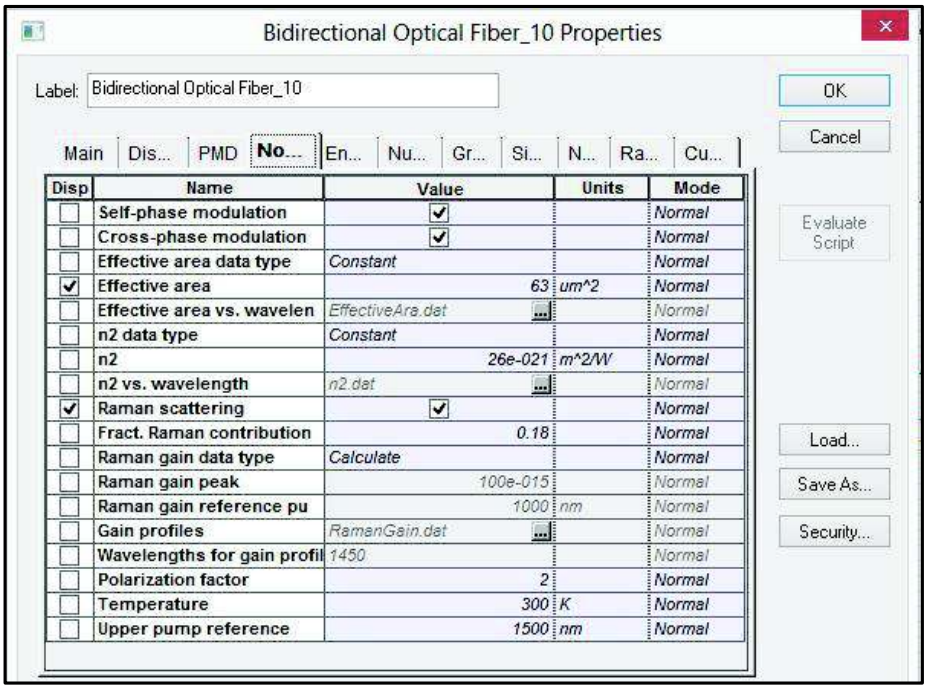


Figura 4.24 Analizador de espectros entrada al bloque de fibra óptica.



Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Self-phase modulation	☑		Normal
☐	Cross-phase modulation	☑		Normal
☐	Effective area data type	Constant		Normal
☑	Effective area	63	um^2	Normal
☐	Effective area vs. wavelen	EffectiveAra.dat		Normal
☐	n2 data type	Constant		Normal
☐	n2	26e-021	m^2/W	Normal
☐	n2 vs. wavelength	n2.dat		Normal
☑	Raman scattering	☑		Normal
☐	Fract. Raman contribution	0.18		Normal
☐	Raman gain data type	Calculate		Normal
☐	Raman gain peak	100e-015		Normal
☐	Raman gain reference pu	1000	nm	Normal
☐	Gain profiles	RamanGain.dat		Normal
☐	Wavelengths for gain profil	1450		Normal
☐	Polarization factor	2		Normal
☐	Temperature	300	K	Normal
☐	Upper pump reference	1500	nm	Normal

Figura 4.25 Parámetros para configurar prueba de Raman.

Como en el caso del bloque transmisor el espectro que se observa a la salida de la fibra óptica conserva características similares al de entrada debido a que los espacios espectrales de la señal son cortos, únicamente con una ligera variación de la potencia producto de la atenuación de la fibra óptica, con lo cual se comprueba que la calidad de la señal no sufrirá alteraciones significativas. Los resultados se muestran en la Figura 4.26.

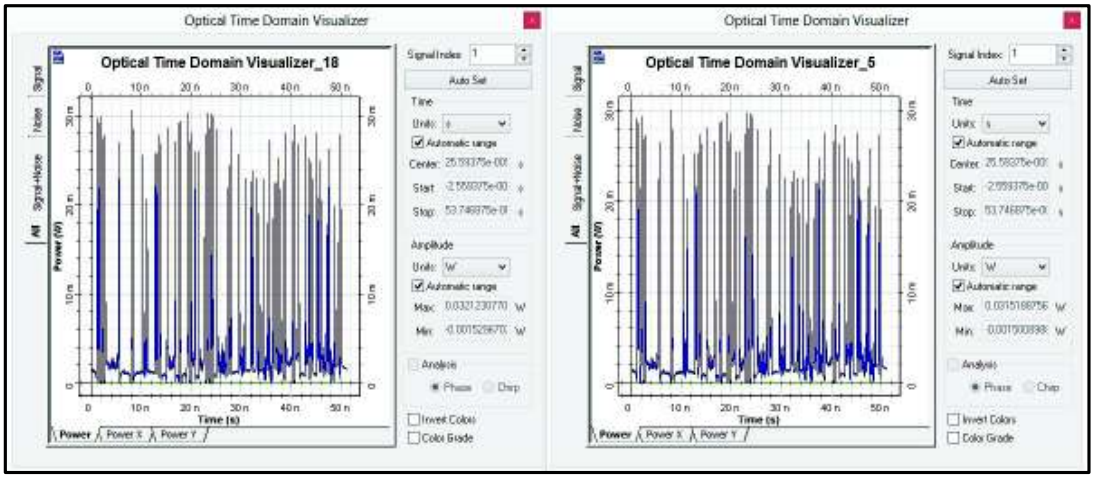


Figura 4.26 Gráficas de la prueba de Raman.

Posterior a esto se tiene la inclusión de los *splitters*, luego de los mismos existe la posibilidad de ubicar atenuadores de potencia los cuales permiten regular la potencia que recibe el dispositivo final para que no presente daño alguno cuando la potencia sea muy alta o baja.

Adicionalmente como dato informativo se presenta la curva de Luz vs Corriente (L-I) caracterizada por las propiedades de emisión de un láser semiconductor, ya que muestra la corriente que se debe aplicar para obtener una cierta cantidad de energía. Esta información se la obtiene en la simulación al desplegar la opción Bowser y buscar las gráficas correspondientes como se muestran en la Figura 4.27.

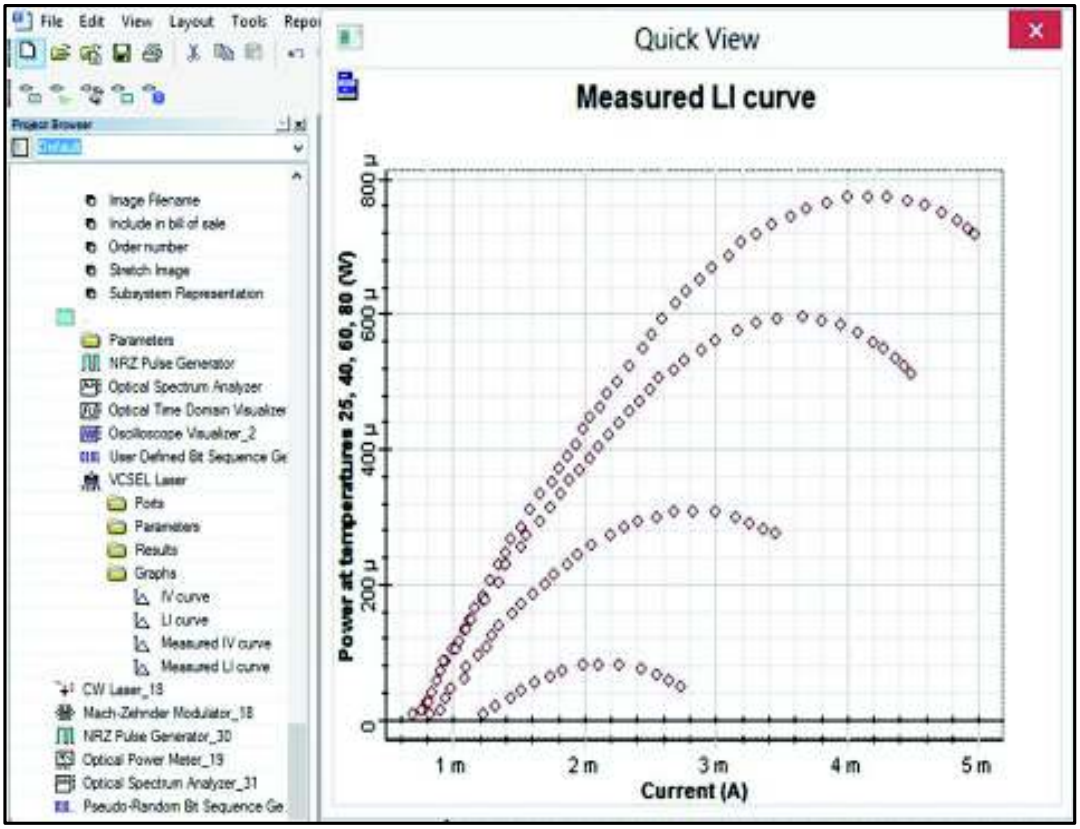


Figura 4.27 Gráficas de la Curva L-I.

- **ONT más cercana**

En la Figura 4.28 se muestra el esquema de la ONT más cerca en la Red:

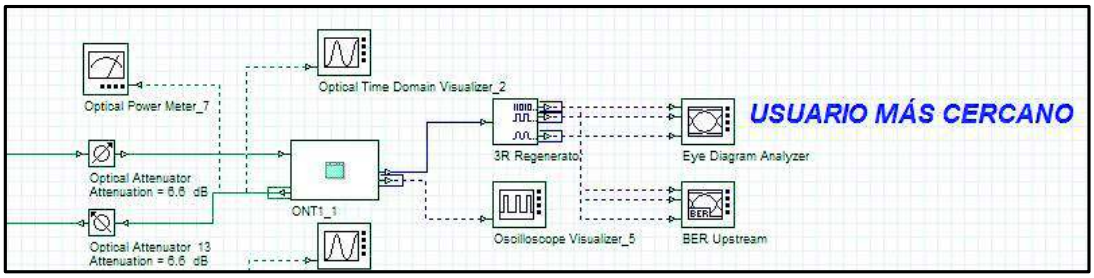


Figura 4.28 Esquema para la ONT más cercana.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso de la ONT más cercana (Figura 4.29 y Figura 4.30):

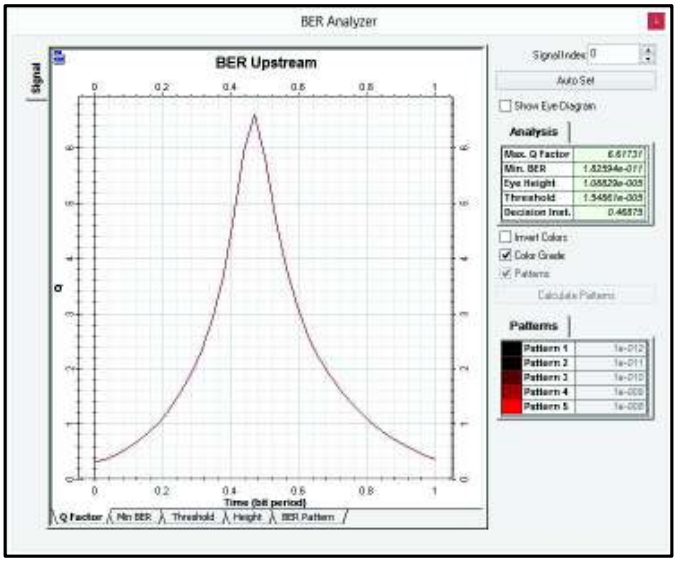


Figura 4.29 Resultados BER para la ONT más cercana.

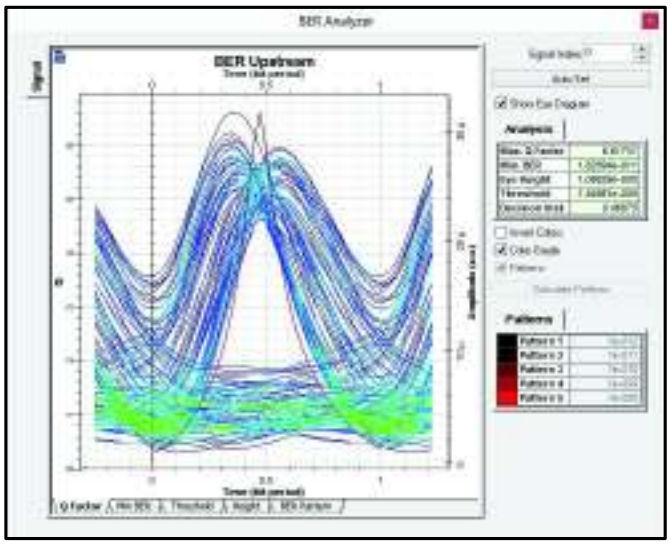


Figura 4.30 Resultados Diagrama de Ojo para la ONT más cercana.

Analizando los gráficos obtenidos en el Analizador de BER para la ONT más cercana, se observa que la gráfica tiene un factor de calidad de valor 6.61 (pico de la curva) durante un periodo de tiempo sumamente corto, debido a que el factor de calidad o SNR es inversamente proporcional al valor del BER se supone que el resultado de bits errados debe ser pequeño, como se comprueba al observar los resultados del BER en la gráfica (1.8xe^{-11}).

Con el diagrama de ojo del Analizador se puede verificar que el *Jitter* dentro del sistema no va a ser alto, ya que no existe una superposición de señales significativa que hagan que los datos transmitidos no cuenten con la misma calidad cuando lleguen al usuario final. En la gráfica se puede notar la forma del "ojo" con un patrón aceptable y lo que significa que fácilmente el receptor puede recuperar la información de reloj y sincronizarse con el transmisor, además puede mantener una baja tasa de error en la recepción (Bajo BER) como ya se verificó en los resultados de la Figura 4.29.

Para este resultado el diagrama del ojo presenta ciertas distorsiones debido a la distancia y a factores como atenuación, ruido y otros existen en el trayecto del sistema, dichas distorsiones se encuentran dentro de lo contemplado para el presente diseño.

Como factor adicional a la entrada del dispositivo final (ONT) se tiene el valor de potencia, mismo que de acuerdo con las características del equipamiento debe estar dentro de un rango de 0.5 a 5 dBm para su correcto funcionamiento, en la Figura 4.31 se confirma que el resultado se encuentra dentro del rango estipulado.

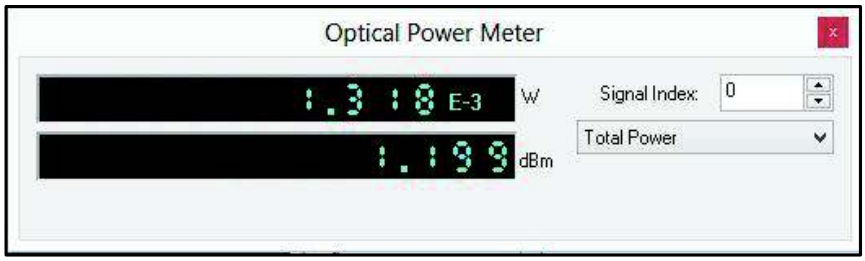


Figura 4.31 Potencia recibida en la ONT más cercana.

- **ONT más lejana**

En la Figura 4.32 se muestra el esquema de la ONT más lejana en la Red:

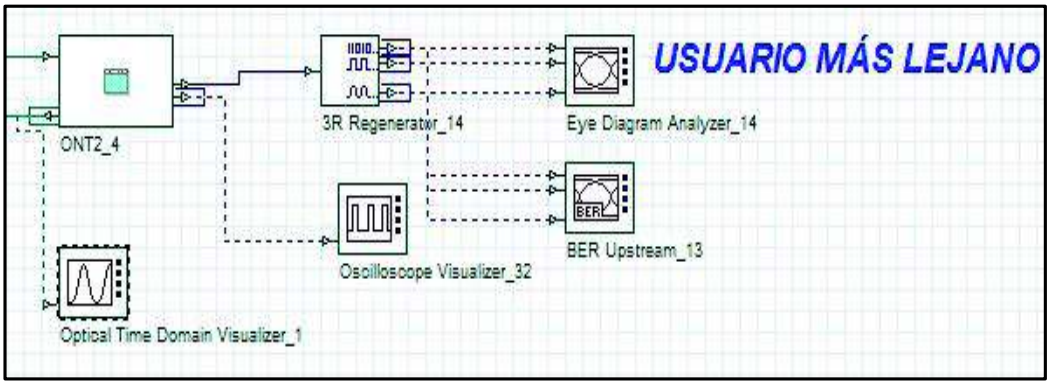


Figura 4.32 Esquema para la ONT más lejana.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso de la ONT más cercana (Figura 4.33 y Figura 4.34):

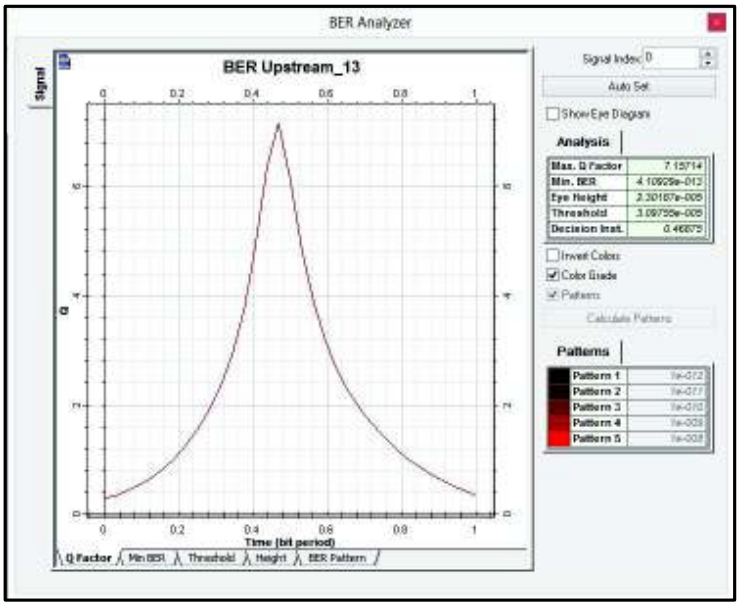


Figura 4.33 Resultados BER para la ONT más lejana.

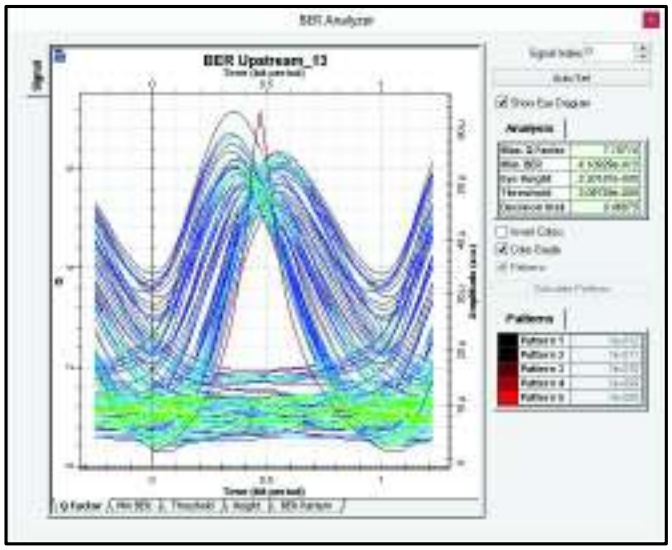


Figura 4.34 Resultados Diagrama de Ojo para la ONT más lejana.

Analizando los gráficos conseguidos como en el caso anterior, se observa que la gráfica tiene un factor de calidad de valor 7.15 (pico de la curva) durante un periodo de tiempo corto, y un resultado de bits errados pequeño, como se comprueba al observar la gráfica del BER (4.1xe^{-13}).

De igual manera se verifica que para la ONT más lejana el *Jitter* no va a ser alto, ya que no existe una superposición de señales significativa. En la gráfica se puede notar un patrón aceptable lo que significa que el receptor recuperará la información de reloj y se sincronizará con el transmisor.

A la entrada del dispositivo final (ONT) se tiene el valor de potencia, mismo que de acuerdo con las características del equipamiento debe estar dentro del rango ya mencionado, en la Figura 4.35 se confirma el resultado.

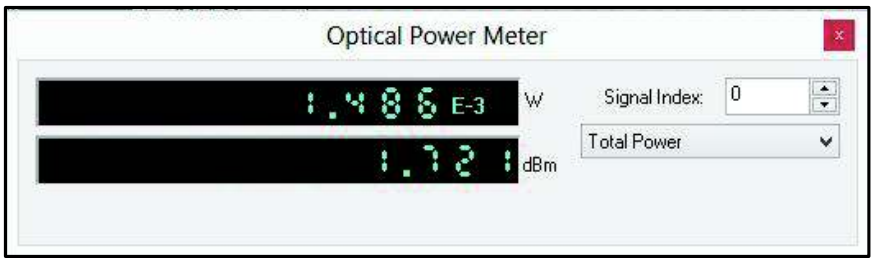


Figura 4.35 Potencia recibida en la ONT más lejana.

De acuerdo a los resultados, se comprueba que el presente diseño trabajará dentro de los rangos esperados.

El *Jitter* es uno de los factores más indeseables en un canal de comunicación, por lo que se debe tratar de disminuirlo. Dentro de los valores y graficas resultantes del sistema este problema no es muy significativo ya que se conservan los patrones de los diagramas de ojo en ambos casos.

CAPÍTULO 5.

5.1 CONCLUSIONES

- El desarrollo de la tecnología y la necesidad de la población en mejorar y acceder a nuevos servicios, ha hecho posible el aparecimiento de nuevos estándares como el analizado en este proyecto. El estándar 10G-PON ofrece una mayor capacidad de ancho de banda en los diferentes servicios de comunicación (hasta 10 Gbps) a diferencia del proporcionado por el estándar G-PON (hasta 2,5 Gbps), el cual es mayormente utilizado en la actualidad.

- El sector de La Mariscal, es una zona en la cual el desarrollo tecnológico debe ser considerado como un punto importante, debido la cantidad de usuarios (3244 proyectados) y a las actividades comerciales y turísticas que van en aumento con el paso de los años. Una de estas necesidades es la demanda y mejora de los servicios Triple Play. Al implementar el presente diseño se podrá cubrir dichas necesidades durante los próximos 5 años, permitiendo a los usuarios beneficiarse de la nueva tecnología.

- Una de las características de la red planteada es la compatibilidad que presentan todos los elementos de la red, es decir la red puede trabajar con varios tipos de fibra óptica de diferentes estándares (G.652, G.657), diferentes tipos de splitters, el equipamiento (OLT-ONT) puede ser adaptado fácilmente a las condiciones que presente la red (entiéndase por condiciones el tipo de conectores, tipo de fibra óptica) lo cual beneficia económicamente la implementación.

- En el proyecto, para el cálculo de la capacidad de la red se tomó en consideración las necesidades actuales de los usuarios al utilizar los servicios Triple Play (telefonía, televisión e internet) simultáneamente, aun cuando el usuario solamente desee tener una mayor capacidad en uno solo de los servicios. Esto debido a que el equipo utilizado en el diseño, es decir la OLT MA5800 cuenta con características que permiten satisfacer dichos requerimientos de conexión ya que posee tarjetas con varios puertos SFP

cuya capacidad de transmisión es de 10Gb, cada puerto permite 128 usuarios, entre otras ventajas.

- El área del diseño permite presentar diferentes posibles rutas para el tendido de la fibra óptica. Para el presente diseño se evaluó varias rutas verificando principalmente las canalizaciones y sobre todo cumpliendo con las normativas municipales. Se evaluó costos y utilización de diferentes dispositivos (OLT, ONT, *splitters* divisores de potencia) con la finalidad de abarcar una mayor cantidad de usuarios (3244) y para cumplir con la calidad que este tipo de enlaces debe ofrecer.

- Tomando en consideración el equipamiento a utilizar en el presente diseño, las características que presentan los mismos pueden fácilmente cumplir las expectativas de los usuarios. Los servicios otorgados presentan la calidad requerida y permitirán brindar a los abonados la capacidad de ancho de banda de 2,006 Gbps en el canal de bajada y 201,32 Mbps para el canal de subida calculada para el sector residencial y de 3,041 Gbps en el canal de bajada y 462,26 Mbps para el canal de subida calculada para el sector comercial en todos sus servicios, de acuerdo a las normativas ITU-T G.987 para el estándar 10 Gigabit (XG-PON).

- La inversión del proyecto de $747.278,80 ha sido evaluada y tiene una estimación de 5 años desde la implementación del diseño, aunque basándose en las diversas características que presentan los equipos dicha estimación puede aumentar sin ningún inconveniente, con el paso de los años esta tecnología estará en la capacidad de brindar los requerimientos que vayan apareciendo a todos los abonados sin problema.

- El cálculo realizado para la obtención de las pérdidas en el enlace debe utilizar parámetros muy parecidos a la realidad para que el diseño funcione aun cuando se tengan las peores condiciones. Tanto para el usuario más lejano como para el usuario más cercano se trata de que las potencias de recepción calculadas de -27.5 dB y -25.8 dB respectivamente sean las

adecuadas para que el equipo en el abonado no presente daños, haciendo que el dimensionamiento sea el correcto.

- Para evitar daños en el equipo final ONT se debe utilizar atenuadores, con la finalidad de controlar los valores de potencia recibida, la misma que siempre debe estar dentro del rango dispuesto por las características de cada equipo, en el caso del presente trabajo entre 0.5 dBm y 5 dBm.

- En el análisis de resultados de la simulación se pudo comprobar que los valores obtenidos en las gráficas muestran que la calidad de la señal del sistema de comunicaciones no va a tener una degradación significativa que afecte al diseño planteado, debido a que se diseñó tomando en cuenta las peores condiciones de trabajo.

- El presente diseño luego de ser analizado, y al ubicar parámetros muy cercanos a la realidad puede ser utilizado por empresas que trabajan actualmente en el mercado de las telecomunicaciones, más específicamente en la ciudad de Quito sin ningún problema, esto se observa al verificar con certificados otorgados (de acuerdo a las normativas que se utilizan en las diferentes empresas prestadoras de servicios) por personas que laboran en este campo, mismos que se los encuentra anexos a este proyecto de titulación.

- Para la realización de la planimetría de la red de acceso presentada en los anexos del proyecto (planos de canalización, dispersión y distribución) se utilizó el software de diseño para dibujo AutoCAD, basados en las normativas que utilizan las empresas proveedoras de servicios de redes PON en el país.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar un dimensionamiento de la red tomando en cuenta las peores condiciones, con esto se puede evitar errores en la proyección

del uso de dispositivos que causarían gastos innecesarios e incrementarían el presupuesto haciendo que el diseño necesite ser readecuado.

- Es importante realizar estudios en el área antes de proceder con el diseño puesto que es imprescindible considerar la capacidad requerida por los abonados, esto con el fin de evitar un mal dimensionamiento de los elementos necesarios para que la red óptica de acceso funcione adecuadamente.

- Es indispensable tomar una cantidad mayor de muestras para realizar la encuesta, esto con la finalidad de obtener datos más precisos que permitan un mejor dimensionamiento de la red.

- Al utilizar el software de simulación, en la configuración de los diferentes elementos o bloques se debe tomar en cuenta todas las opciones de activación, ya que al no ser activadas pueden variar los valores durante la simulación y mostrar resultados erróneos que complican el diseño.

- Se recomienda utilizar un software de simulación más completo que contenga elementos más exactos (OLTs, ONTs, splitters, etc.) a los disponibles en el mercado con la finalidad de obtener resultados más precisos a la hora de simular la red, debido a las limitaciones que presenta el programa Optisystem. Adicionalmente se debe tomar en cuenta los tiempos que requiere el programa para realizar la simulación, necesitando de varios minutos con cada parámetro que se modifica y se incrementa según el número de elementos que conforman la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Guía de Implementación de Redes PON, tomado en línea de http://www.comunitelsa.com.ar/micrositios_contents/78arch_guia_implem_redes_pon.pdf (consultada a diciembre de 2016)

[2] CEDRIC F. Lam, PASSIVE OPTICAL NETWORKS: PRINCIPLES AND PRACTICE, Elseiver Inc., 2008.

[3] MARCHUKOV Yaroslav, DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS FTTH, Gandía, 2011.

[4] ORDOÑEZ Ángel, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LOS EFECTOS DE FWM EN UNA RED UDWDM PON, Quito, 2015.

[5] VILLACÍS Andrea, DISEÑO DE UNA RED 10G-PON PARA EL BARRIO DE CARCELÉN ALTO 3D, Quito, 2013.

[6] Figura tomada en línea de http://wikitel.info/wiki/FTTx, (consultada a diciembre de 2016)

[7] GUEVARA, Juan Sebastián, TECNOLOGÍAS DE REDES PON, tomado en línea de:http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APOn_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf (consultada a enero de 2017)

[8] Redes Ópticas Pasivas, tomado en línea de http://es.slideshare.net/ivandarklife/redes-opticas-pasivas-xpon-39658803 (consultada a enero de 2017)

[9] Figura tomada en línea de http://wwwen.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2009year/no9/articles/201001/t20100112_179553.html (consultada a enero de 2017)

[10] ITU-T G.987.1: Sistemas y medios de transmisión, Sistemas y redes digitales. Secciones digitales y sistemas digitales de línea – Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales, Red Óptica Pasiva con capacidad 10 Gigabit (XG-PON), Requerimientos Generales, Documento año 2010.

[11] ITU-T G.987.2: Sistemas y medios de transmisión, Sistemas y redes digitales. Secciones digitales y sistemas digitales de línea – Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales, Red Óptica Pasiva con capacidad 10 Gigabit (XG-PON), Especificación de la capa dependiente de los medios físicos (PMD – *Physical Media Dependent*), Documento año 2010.

[12] ITU-T G.987.3: Sistemas y medios de transmisión, Sistemas y redes digitales. Secciones digitales y sistemas digitales de línea – Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales, Red Óptica Pasiva con capacidad 10 Gigabit (XG-

PON), Especificación de la capa de transmisión convergente (TC - *Transmission convergence*), Documento año 2010.

[13] Nuevos estándares PON para sistemas, tomado en línea de: http://redeweb.com/articulos/articulo.php?id=1316&categoria=componentes (consultada a mayo de 2017).

[14] Parámetros ópticos GPON, tomado en línea de: https://www.aleashop.es/blog/2017/02/13/parametros-opticos-gpon/. (consultada a mayo de 2017).

[15] Huawei MA5800 X7, tomado en línea de: http://www.thunder-link.com/HUAWEI-MA5800-X7_p928.html. (consultada a mayo de 2017).

[16] 10G GPON FTTH Solution Poster, tomado en línea de: http://support.huawei.com/enterprise/en/doc/DOC1000103806?idPath=7919710%7C9856746%7C9858687%7C9858837%7C21484577###. (consultada a mayo de 2017).

[17] 10G GPON FTTH Tri-folder Brochure, tomado en línea de: http://support.huawei.com/enterprise/en/doc/DOC1000119714?idPath=7919710%7C9856746%7C9858687%7C9858837%7C21484577. (consultada a mayo de 2017).

[18] GPON Technology Poster, tomado en línea de: http://support.huawei.com/enterprise/en/doc/DOC1000119091?idPath=7919710%7C9856746%7C9858687%7C9858837%7C21484577. (consultada a mayo de 2017).

[19] SmartAX MA5800 Multi-service Access Module V100R1017C10 Specification List, tomado en línea de: http://e.huawei.com/en/marketing-material/onLineView?MaterialID={AB4E384D-FA37-4004-BF9E-030472054DF3}. (consultada a mayo de 2017).

[20] GPON Introducción y Conceptos Generales, Adolfo García Yagüe. Noviembre 2012, tomado en línea de: http://www.telnet-ri.es/wp-content/uploads/2014/10/gpon-introduccion-conceptos.pdf (consultada a mayo de 2017).

[21] Nuevos requisitos para otorgar títulos habilitantes en servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión, tomado en línea de: http://www.pbplaw.com/arcotel-procedimiento-requisitos-titulos-habilitantes-telecomunicaciones-radiodifusion/ (consultada a mayo de 2017).

[22] Comentarios sobre el término FAT, tomado en línea de: http://www.fibraopticahoy.com/blog/comentarios-sobre-el-termino-fat/ (consultada a mayo de 2017).

[23] FRENZEL Louis E., SISTEMAS ELECTRONICOS DE COMUNICACIONES, Alfaomega grupo editor, México D.F., 2003.

[24] BARRAGAN Raúl, DISEÑO DE REDES DE FIBRA ÓPTICA, Centro de educación continua EPN, Quito, 2015.

[25] LEVIN Richard y RUBIN David, ESTADISTICA PARA ADMINISTRADORES, PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, Sexta Edición, México, 1996.

[26] DURAN ALEXIS, ENTRENAMIENTO GPON, HUAWEI TECHNOLOGIES, Quito.

[27] Accesorios para Fibra Óptica, tomado en línea de: http://www.ciemtelcom.com/accesorios.html (consultada a mayo de 2017).

[28] Fibra Óptica Canalizada, tomado en línea de: http://www.ciemtelcom.com/fibracanalizada.html (consultada a mayo de 2017).

[29] MSc. JIMENEZ María Soledad, COMUNICACIONES OPTICAS, ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, Quito.

[30] INEC DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, LAMINAS – PLANOS CENSALES DIGITALES.

[31] POBLACIÓN POR PARROQUIAS URBANAS QUITO CENSO 2010, INEC.

[32] Echolife HN8055Q, tomado en línea de: http://support.huawei.com/enterprise/en/access-network/echolife-hn8055q-pid-21506184, datasheet. (consultada a mayo de 2017).

[33] RUBIO B., INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE LA FIBRA ÓPTICA, ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA, ESTADOS UNIDOS, 1994

[34] Elementos pasivos para redes ópticas, tomado en línea de: http://globalelectric.com.ec/categoria-producto/telecomunicaciones/elementos-pasivos-para-redes-opticas/ (consultada a mayo de 2017).

[35] SPL1202 Rack-mounted Optical Splitter, tomado en línea de: http://m.huawei.com/enmobile/enterprise/products/network/fiber/splitter/hw-188691.htm (consultada a mayo de 2017).

[36] Pérdida por nivel de división de potencia, tomado en línea de: https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/divisores-splitters-para-ftth/ (consultada a junio de 2018)

[37] Manual instrumentación 2008, tomado en línea de: https://grupos.unican.es/gif/lsco3/Manual%20instrumentacion%202008.pdf (consultada a enero de 2018).

[38] OPTIWAVE. OptiSystem, Getting Started, tomado en línea de: https://optiwave.com/?wpdmdl=157 (consultada a enero de 2018).

ANEXOS

ANEXO 1. NORMATIVAS (Formato Digital)

ANEXO 2. EQUIPAMIENTO CARACTERÍSTICAS EQUIPOS Y RED (Formato Digital)

ANEXO 3. PLANOS (Formato Digital)

ANEXO 4. ENCUESTAS (Formato Digital)

ANEXO 5. MEMORIA TÉCTICA Y ACEPTACIÓN (Formato Digital)

ANEXO 6. MANUAL Y SOFTWARE DE ACEPTACIÓN (Formato Digital)