

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO-CAMPUS SUR

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO GPON PARA
PROVEER SERVICIOS TRIPLE PLAY (INTERNET, TELEFONIA Y
TV), PARA LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO DE LOS
TSÁCHILAS, A TRAVÉZ DE LA RED HÍBRIDA DE LA EMPRESA
CABLEZAR SOLUCIONES CREATIVAS DE COMUNICACIONES”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS

ELABORADO POR:

MAURICIO ALEXANDER GUDIÑO PAZMIÑO

REMIGIO MISAEL TACO TOPÓN

DIRECTOR DE TESIS:

ING. JOSÉ ANTONIO PAZMIÑO

QUITO – ABRIL 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, MAURICIO ALEXANDER GUDIÑO PAZMIÑO, REMIGIO MISAEEL TACO TOPÓN, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra auditoria; que no ha sido previamente presentada por 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 Universidad Politécnica salesiana, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

f.....

MAURICIO ALEXANDER GUDIÑO PAZMIÑO

f.....

REMIGIO MISAEEL TACO TOPÓN

Quito, Marzo 18 del 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo titulado **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO GPON PARA PROVEER SERVICIOS TRIPLE PLAY (INTERNET, TELEFONÍA Y TV), PARA LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, A TRAVÉZ DE LA RED HÍBRIDA DE LA EMPRESA CABLEZAR SOLUCIONES CREATIVAS DE COMUNICACIONES”**, realizado por MAURICIO ALEXANDER GUDIÑO PAZMIÑO y REMIGIO MISAEL TACO TOPÓN, ha sido asesorado y revisado de acuerdo a los lineamientos establecidos en el protocolo inicial y al cronograma establecido, por lo que después de reunir los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad, autorizo su presentación para los fines consiguientes.

.....
ING. JOSÉ ANTONIO PAZMIÑO

Director de tesis

Quito, 18 de Marzo del 2013

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento imperecedero a nuestros padres por su perenne e incondicional apoyo a lo largo de toda nuestra vida; quienes se han constituido en nuestros guías orientándonos con su sabiduría y profundo amor.

Agradecemos a nuestros hermanos coparticipes de nuestros anhelos e inquietudes de superación.

Una cordial expresión de gratitud para todos nuestros maestros, familiares y amigos por su decidido apoyo y orientación.

Y de manera muy especial al Ing. José Antonio Pazmiño un gran amigo y profesional quien nos brindó toda su experiencia y su tiempo de manera desinteresada permitiendo contribuir en la elaboración de este trabajo.

Remigio y Alexander.

DEDICATORIA

A nuestros queridos padres quienes con su ejemplo de amor, sacrificio y abnegación, nos enseñaron a valorar el estudio, el trabajo y la perseverancia; cualidades que han hecho posible la culminación de una de las metas de nuestra tan anhelada realización profesional.

Y en especial a todas las personas que cada día se esfuerzan por conseguir y hacer realidad sus ansiados sueños.

Remigio y Alexander.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO-CAMPUS SUR

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO GPON PARA
PROVEER SERVICIOS TRIPLE PLAY (INTERNET, TELEFONIA Y
TV), PARA LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO DE LOS
TSÁCHILAS, A TRAVÉZ DE LA RED HÍBRIDA DE LA EMPRESA
"CABLEZAR SOLUCIONES CREATIVAS DE
COMUNICACIONES"**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS

**ELABORADO POR:
MAURICIO ALEXANDER GUDIÑO PAZMIÑO
REMIGIO MISAEL TACO TOPÓN**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. JOSÉ ANTONIO PAZMIÑO**

QUITO – ABRIL 2013

RESUMEN EJECUTIVO:

El presente proyecto trata sobre el diseño de una red de acceso GPON, utilizando la tecnología de última milla, para la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas, usando la red HFC del Grupo Cablezar SCC. Se presenta un estudio actual de las plataformas tecnológicas GPON y la combinación de las tecnologías FTTX, exponiendo sus principales características técnicas, realizando un análisis comparativo encontrando las ventajas y desventajas tecnológicas, se presenta estudios sobre la factibilidad técnica al momento de implementar una red óptica pasiva, hallando y mostrando argumentos válidos tanto técnicos como económicos, con costos referenciales de equipos disponibles en el mercado para implementar este tipo de redes en un determinado sector de la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas.

Las redes de fibra óptica surgen como la solución al problema, en la actualidad la gran competitividad en las telecomunicaciones, trae consigo construir nuevas redes ópticas a menor costo posible

En el capítulo I se hace referencia a los antecedentes del Grupo Cablezar y la problemática del porque la implementación de una red de nueva generación NGN.

En el capítulo II se hace referencia a los fundamentos teóricos de la fibra óptica, se describen las redes pasivas que emplean la fibra y que en la actualidad dominan el mercado tecnológico, Dentro de las Redes Ópticas Pasivas se particulariza el análisis de las tecnologías FTTX y sus servicios hacia el usuario final. Se describen los estándares de GPON que proveen un desarrollo completo de servicios orientados a la compatibilidad ITU-T (*International Telecommunication Union*) G-984.1/2/3/4.

En el capítulo III se hace el estudio del estado actual de la red HFC, se dimensiona la red de acceso estableciendo la ubicación de la oficina central donde se encuentra la OLT, ubicación de los nodos geográficos y de los splitters

primarios y secundarios, las rutas del tendido de la fibra por toda la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas.

El capítulo IV, se detalla el diseño de la red GPON, la estructura y topología que mejor se adapta a las necesidades que se desea suplir. Se analiza los costos de los equipos y características que fortalecerán el diseño de la GPON.

En el capítulo V, se concluye y se recomienda que una nueva red de comunicaciones en la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas con tecnología GPON, permitirá al Grupo Cablezar SCC, suministrar servicios de banda ancha basados en fibra óptica, entregando estos beneficios tecnológicos a empresas de todos los tamaños y usuarios residenciales, sin la necesidad de disponer de costosos componentes electrónicos activos en la planta exterior, permitiendo que las organizaciones cuenten con los servicios integrados de comunicaciones, con el ancho de banda que requieren, calidad de servicio y a un precio atractivo

INDICE DE CONTENIDO

1.1.	ANTECEDENTES	8
1.2.	PROBLEMÁTICA	9
1.3.	OBJETIVOS:.....	11
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	11
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4.	JUSTIFICACIÓN	13
1.5.	ALCANCE DEL PROYECTO	14
1.6.	DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO	17
1.6.1.	ACCESO A INTERNET DE ALTA VELOCIDAD: MODEMS DE CABLE.....	17
2.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ÓPTICAS	21
2.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA	21
2.1.1.	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	23
2.1.2.	ESTRUCTURA	23
2.1.3.	PRINCIPIO DE TRANSMISIÓN	24
2.1.4.	ATENUACIÓN	25
2.1.5.	DISPERSIÓN	26
2.2.	TIPOS DE FIBRA ÓPTICA	29
2.2.1.	FIBRA MONOMODO	29
2.2.2.	FIBRA MULTIMODO	33
2.3.	ELEMENTOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA	35
2.3.1.	FUENTES O EMISORES DE LUZ.....	36
2.3.2.	DETECTORES.....	38
2.3.3.	ACOPLADORES	41
2.3.4.	FILTROS	42
2.3.5.	AMPLIFICADORES ÓPTICOS.....	42
2.3.6.	CONECTORES	46
2.3.7.	TÉCNICAS DE EMPALME.....	49
2.4.	TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN EN SISTEMAS ÓPTICOS.....	51
2.4.1.	TDM (Multiplexación por División de Tiempo).....	51
2.4.2.	FDM (Multiplexación por división de frecuencia).....	52
2.4.3.	CDMA (Multiplexación por división de código)	53
2.4.4.	MULTIPLEXACIÓN WDM (Multiplexación por división de onda).....	53

2.5.	ARQUITECTURAS DE ACCESO CON REDES DE FIBRA ÓPTICA	54
2.5.1.	TIPOS DE REDES FTTX (Fiber to the X)	55
2.6.	TECNOLOGÍAS DE LA FAMILIA xPON	58
2.6.1.	VENTAJAS DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS	58
2.6.2.	ESTRUCTURA DE UNA RED PON	60
2.6.3.	REDES FAMILIA xPON	62
2.6.4.	TIPOS REDES PON	62
2.6.5.	REQUERIMIENTOS DE UNA RED GPON	70
2.6.6.	CONFIGURACIÓN DE UNA RED GPON	73
2.6.7.	CUADRO COMPARATIVO TECNOLOGÍA PON	76
2.6.8.	CALIDAD DE SERVICIO QOS	77
2.7.	REDES HFC (Híbridas Fibra Óptica Coaxial).....	78
2.7.1.	ARQUITECTURA DEREFERENCIA DE UN RED HFC	79
2.7.2.	ESPECTRO Y CANALIZACIÓN DE UNA RED HFC	81
2.7.3.	SISTEMA DE TELEVISIÓN POR CABLE CATV HFC	82
2.7.4.	RED XDSL (x Digital Subscriber Line)	84
3.	ANÁLISIS ACTUAL DE LA RED HFC DE CABLEZAR SCC Y ANÁLISIS DE SUS REQUERIMIENTOS	86
3.1.	RED HFC (Híbrido de Fibra y Coaxial).....	86
3.1.1.	ELEMENTOS ACTIVOS DE LA RED HFC.....	88
3.2.	CANALES DE TRANSMISIÓN	93
3.2.1.	CANAL DE DOWNSTREAM (descendente).....	93
3.2.2.	CANAL DE RETORNO O UPSTREAM (ascendente).....	93
3.3.	RED CATV.....	94
3.4.	SERVICIOS BIDIRECCIONALES	94
3.4.1.	FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL SOFTSWITCH	95
3.4.2.	TELEFONÍA – ARQUITECTURA PACKETCABLE	95
3.4.3.	CABLE MODEM O MTA	96
3.5.	RED XDSL (Digital Suscribe Line)	97
3.5.1.	FUNCIONAMIENTO DE XDSL	97
3.5.2.	EQUIPOS DSLAM	98
3.5.3.	EQUIPOS MPLS	98
3.6.	SERVICIOS MEDIANTE CPE.....	101
3.6.1.	CAJA SIP	101
3.7.	SERVICIOS MEDIANTE RED METROETHERNET	102
3.7.1.	BACKBONE DE LA RED SDH	103
3.7.2.	CTU-R (Network Terminating Unit).....	103

4.	DISEÑO DE LA RED GPON PARA GRUPO CABLEZAR SCC	105
4.1.	CONSIDERACIONES INICIALES.....	105
4.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	108
4.3.	PROYECCIÓN CLIENTES MASIVOS	112
4.3.1.	MASIVOS DE INTERNET	113
4.3.2.	MASIVOS DE TELEFONÍA.....	114
4.3.3.	MASIVOS TELEVISIÓN	119
4.4.	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	121
4.5.	UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS	123
4.5.1.	TOPOLOGÍA PARA CENTROS COMERCIALES	127
4.6.	RED DE FIBRA	127
4.6.1.	RED TRONCAL	127
4.6.2.	RED DE ACCESO	127
4.7.	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS	128
4.8.	MEDIO DE TRANSMISIÓN Y SPLITTERS EN LA RED.....	131
4.9.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	139
4.9.1.	ANÁLISIS DE COSTO DE EQUIPOS	140
4.10.	PLAN DE MIGRACIÓN	142
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN	144
5.1.	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED Y SU FUNCIONAMIENTO.....	144
5.2.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	144
5.3.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	145
5.3.1.	EQUIPOS	145
5.3.2.	MATERIALES	146
5.3.3.	COSTOS ADICIONALES	147
5.4.	DEPRECIACIONES	147
5.5.	INGRESOS DEL PROYECTO	148
5.5.1.	TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento).....	148
5.5.2.	COSTOS DE SERVICIO POR USUARIO	149
5.6.	ANALISIS ECONÓMICO	149
5.6.1.	VAN (Valor Neto Actual)	150
5.6.2.	TIR (Tasa Interna de retorno).....	151
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	156
6.1.	CONCLUSIONES	156
6.2.	RECOMENDACIONES.....	158

INDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1.1 RED HFC _____	19
FIGURA 2.1 ESTRUCTURA INTERNA DE UNA FIBRA ÓPTICA _____	22
FIGURA 2.2 ESTRUCTURA DE UNA FIBRA ÓPTICA _____	24
FIGURA 2.3 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UN HAZ DE LUZ _____	25
FIGURA 2.4 ATENUACIÓN EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA _____	26
FIGURA 2.5 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA _____	27
FIGURA 2.6 ELEMENTOS DE UNA FIBRA ÓPTICA _____	30
FIGURA 2.7 PROPAGACIÓN DEL HAZ DE LUZ EN LA FO MONOMODO _____	30
FIGURA 2.8 FIBRA MULTIMODO _____	33
FIGURA 2.8.1 PROPAGACIÓN HAZ DE LUZ EN UNA FIBRA MULTIMODO IE _____	34
FIGURA 2.9 ELEMENTOS DETECTOR PIN _____	39
FIGURA 2.10 ESTRUCTURA DE UN APD _____	40
FIGURA 2.11 AMPLIFICADOR ÓPTICO _____	43
FIGURA 2.12 DIAGRAMA DE NIVELES ENERGÉTICOS DEL ERBIO _____	44
FIGURA 2.13 CONECTOR GENÉRICO DE FIBRA ÓPTICA _____	47
FIGURA 2.14 PC (PHYSICAL CONTACT) Y APC (ANGLE PHYSICAL CONTACT) _____	47
FIGURA 2.15 UBICACIÓN DE LA FO EN LOS EXTREMOS _____	50
FIGURA 2.16 PROCESO TDM _____	52
FIGURA 2.17 ESQUEMA FDM _____	53
FIGURA 2.18 MULTIPLEXACIÓN CDMA _____	53
FIGURA 2.19 ESQUEMA BÁSICO DE UNA RED FTTX _____	55
FIGURA 2.20 ESQUEMA FTTB _____	56
FIGURA 2.21 ESQUEMA FTTH _____	57
FIGURA 2.22 ESQUEMA FTTC _____	57
FIGURA 2.23 ESQUEMA FTTN _____	58
FIGURA 2.24 COMPONENTES DE UNA RED PON _____	61
FIGURA 2.25 ESQUEMA DE APON _____	63
FIGURA 2.26 ESQUEMA BPON _____	64
FIGURA 2.26.1 ESQUEMA EPON _____	65
FIGURA 2.27 CONFIGURACIÓN DE GPON _____	74
FIGURA 2.28 BLOQUES FUNCIONALES OLT _____	75

FIGURA 2.29 ESTRUCTURA DE HFC _____	79
FIGURA 2.30 ARQUITECTURA DE REFERENCIA HFC _____	80
FIGURA 2.31 ESPECTRO Y CANALIZACIÓN EN RED HFC _____	82
FIGURA 2.32 COMPONENTES DE UN SISTEMA POR CABLE _____	84
FIGURA 2.33 TIPOS DE TECNOLOGÍAS xDSL _____	85
FIGURA 3.1 RED HFC DEL CABLEZAR _____	88
FIGURA 3.2 RECEPTOR ÓPTICO RED HFC _____	89
FIGURA 3.3 RECEPTOR ÓPTICO RED HFC _____	89
FIGURA 3.4 TRANSMISOR ÓPTICO RED HFC _____	90
FIGURA 3.5 FUENTE DE PODER RED HFC _____	91
FIGURA 3.6 AMPLIFICADOR DE RED HFC _____	92
FIGURA 3.7 EQUIPOS DE ADMINISTRACIÓN DE ACCESO _____	100
FIGURA 3.8 EJEMPLO RED BACKBONE EN LATINOAMÉRICA. _____	104
FIGURA 4.1 TOPOLOGÍA PUNTO-MULTIPUNTO _____	109
FIGURA 4.2 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE COBERTURA _____	110
FIGURA 4.3 ARQUITECTURA DE UNA RED GPON _____	111
FIGURA 4.4 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LONGITUD DE ONDA _____	112
FIGURA 4.5 ESQUEMA TOPOLÓGICO PLANTA EXTERNA DE COBRE _____	116
FIGURA 4.6 CURVA LOGÍSTICA DE CRECIMIENTO TÍPICA _____	117
FIGURA 4.7 DENSIDAD TELEFÓNICA, PARA S.D. TSACHILAS _____	118
FIGURA 4.8 COMPARACIÓN DE SDTV Y HDTV _____	119
FIGURA 4.9 ESQUEMA DE CONEXIÓN IPTV MEDIANTE GPON _____	120
FIGURA 4.10 ESQUEMA DE LA ONT PARA TV _____	121
FIGURA 4.11 ESQUEMA GENERAL DEL BACKBONE Y DIVISIÓN DE LA MANGA _____	126
FIGURA 4.12 ESQUEMA GENERAL DE CONEXIÓN FINAL _____	126
FIGURA 4.13 ESQUEMA DE LA RED DE FO _____	128
FIGURA 4.14 ESQUEMA RED GPON CON LOS EQUIPOS SELECCIONADOS _____	142
FIGURA 4.15 ITU PENETRACIÓN DE ACCESOS A FTTX VS BANDA ANCHA _____	143

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Índices de refracción _____	24
Tabla 2.2 Características Fibra Óptica 652.B _____	31
Tabla 2.3 Conectores de FO _____	49
Tabla 2.4 Cuadro comparativo de xPON _____	66
Tabla 2.5 Velocidades de transmisión en GPON _____	71
Tabla 2.6 Cuadro comparativo tecnologías PON _____	77
Tabla 3.1 Distribución del espectro en la red HFC _____	87
Tabla 4.1 Posibles usuarios potenciales G. Cablezar SCC _____	107
Tabla 4.2 Proyección del ancho de banda óptimo por usuario _____	113
Tabla 4.3 Consumo del AB años 2009 – 2012 _____	114
Tabla 4.4 Proyección población Santo Domingo de los Tsáchilas 2009-2015 _____	117
Tabla 4.5 Densidad telefónica, para S.D. Tsáchilas _____	118
Tabla 4.6 Comparación de Pixeles entre SDTV y HDTV _____	120
Tabla 4.7 Clientes encuestados para migrar a GPON _____	122
Tabla 4.8 Valores de Up y Downstream en GPON _____	123
Tabla 4.9 Ubicación geográfica de Nodos en las zonas _____	124
Tabla 4.10 Ubicación de splitters dentro del área de cobertura _____	125
Tabla 4.11 Valores de transmisión de la fibra G.652D _____	130
Tabla 4.12 Descripción equipo Huawei SmartAX MA5683T ONT _____	132
Tabla 4.13 Especificaciones equipo GPON EchoLife OT925-G _____	133
Tabla 4.14 Equipos PON Motorola _____	135
Tabla 4.15 Equipos GPONs de Alloptic Inc _____	137
Tabla 4.16 Elementos de la red de Fibra Óptica _____	138
Tabla 4.17 Características FO Optronics ANSI/TIA/EIA-568-C3 _____	139
Tabla 4.18 Detalle de costos de equipos y accesorios para Instalación _____	141
Tabla 4.19 Detalle de costos de equipos y accesorios para Transporte _____	141
Tabla 4.20 Detalle de costos de equipos y accesorios para Enlace _____	141
Tabla 5.1 Costo de valores de Equipos de Transporte y Enlace _____	146
Tabla 5.2 Costo de valores de Materiales de Instalación _____	146
Tabla 5.3 Detalle Costos Adicionales _____	147

Tabla 5.4 Depreciaciones anuales de activos fijos _____	148
Tabla 5.5 Depreciación anual de equipos _____	148
Tabla 5.6 TMAR a Febrero del 2013 _____	149
Tabla 5.7 Costo planes internet _____	150
Tabla 5.8 Costo planes de televisión _____	150
Tabla 5.9 Detalle de gastos en 5 años _____	153
Tabla 5.10 Ingresos proyectados a 5 años. _____	154

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A PLANO REFERENCIADO STO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS __	164
ANEXO B FOTOS ACTUALES RED CABLEZAR / EQUIPOS _____	165
ANEXO C CONECTORES Y ADAPTADORES DE FIBRA ÓPTICA _____	170
ANEXO D RECOMENDACIONES ITU-TG984.X Y ITU-T G984.1 _____	174
ANEXO E RECOMENDACIONES ITU-T G984.2 _____	176
ANEXO F RECOMENDACIONES ITU-T G984.3 _____	177
ANEXO G RECOMENDACIONES ITU-T G984.4 _____	178
ANEXO H RECOMENDACIONES ITU-T G984.5 _____	179
ANEXO I LISTADO DE CLIENTES ACTUALES _____	180
ANEXO J DETALLE DE NODOS EN PLANO REFERENCIADO _____	181
ANEXO K DIVISIÓN DE ZONAS PARA GPON _____	182
ANEXO L DESCRIPCIÓN DE LA ZONA 5 _____	183
ANEXO M ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS FIBRA ÓPTICA _____	184
ANEXO N CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES DE GPON _____	191
ANEXO O TABLA COMPARATIVA DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS PON _____	192

CAPÍTULO I

1.1. ANTECEDENTES

Uno de los principales problemas del GRUPO CABLEZAR SCC, es el estado estructural de la red HFC¹ utilizado para brindar el servicio de Televisión. La red del GRUPO CABLEZAR SCC fue diseñada y construida hace 15 años, sin tener en cuenta las necesidades de la población, tales como información, comunicación, distracción (internet, telefonía), además que la tecnología en ese tiempo no cubre ciertas necesidades en el sistema de comunicaciones de hoy, pese a que hace algunos años se creó un canal propio de la ciudad que permite informar a la gente con noticias de su ciudad. Existen otros nodos que no tienen muchos abonados, u otros donde la red no puede ser utilizada, porque fue extendida a lugares de difícil acceso, sumándole a esto el no poder controlar la legalidad de los clientes activos, ya que existen lugares donde los clientes son activos, pero no legales ya que ellos hurtan la señal de televisión de forma muy fácil pues carecen de seguridades.

Todos estos antecedentes terminan en una gran cantidad de visitas técnicas, haciendo que GRUPO CABLEZAR SCC tenga pérdidas en sus ingresos. Con la necesidad y afán de terminar con gran parte del problema, se quiere dar la migración de tecnología de HFC a GPON².

Interzar es otra división de la empresa, la cual presta servicios de internet, mediante el uso de la red telefónica utilizando la última milla que presta servicio la CNT Corporación Nacional de Telecomunicaciones que ha ido ampliando los servicios que se puede prestar desde los años 90 se ha generalizado su utilización para el envío de fases, y la interconexión de ordenadores para dar servicio de internet.

¹ **HFC** (Híbrida de fibra y coaxial) es un término que define una red conformada por fibra óptica así como también cable coaxial para crear una red de banda ancha.

² **GPON** Es una Red Óptica Pasiva con Capacidad de acceder al servicio de banda ancha mediante fibra óptica hasta el hogar una red Gigabit

Sin embargo, los tradicionales 56 Kbps que se podía alcanzar con los módems V.90 sobre la Red Telefónica Básica y la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) que trabajaba a 64 ó 128 Kbps, quedaron atrás puesto que no son suficientes para la conexión a Internet de los usuarios domésticos (home), que cada vez el usuario está más acostumbrado a disfrutar de servicios variados de alta velocidad y contenidos multimedia que cada vez más requiere de un mayor ancho de banda.

ADSL fue la solución de las operadoras de telefonía fija para aprovechar el cableado telefónico, concebida por Bellcore en 1989, y abierta por primera vez al público en Estados Unidos durante 1997. El ADSL permite el acceso a Internet, de forma comercial desde septiembre de 1999.

La tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line o línea de abonado digital asimétrica), es una tecnología que por medio de módems, proporciona un acceso asimétrico y de alta velocidad a través de un par de cables de cobre que utiliza la línea telefónica instalada en las oficinas y casas con velocidades de transmisión de datos de la central hasta el usuario de hasta 1,5 Mbps sobre distancias de 6 Km, El sistema de acceso ADSL se consta de dos módems uno en cada extremo de la línea telefónica. Los problemas con el internet empiezan en casos donde a pesar de disponer de óptimos requisitos, la señal de internet es intermitente se conecta y desconecta sin razón aparente, en esos casos es posible que la línea telefónica no tenga condiciones óptimas para entregar el servicio ADSL de calidad. Este es el problema del GRUPO CABLEZAR SCC que con una proyección a futuro, quiere reestructurar los nodos para brindar estos servicios utilizando un único medio de transmisión.

1.2. PROBLEMÁTICA

En redes generalmente se dan problemas y hacen que la comunicación, el intercambio de información y la calidad de los servicios prestados no sean lo propuesto algunas veces, esto hace pensar en buscar otras soluciones o alternativas, para evitar perder clientes que es la parte esencial para todo negocio, y poder captar nuevos abonados, este es el caso del GRUPO CABLEZAR SCC.

El ruido es un problema que se presenta siempre y es causado por varios factores como: conexiones en mal estado, perturbaciones que ocurren en cualquier circuito u otro componente eléctrico causado por radiaciones electromagnética, producidas por componentes externos que se encuentran muchas veces en los postes como los transformadores eléctricos, equipos de otras operadoras de servicios que pagan por el uso de los postes a la empresa eléctrica, las emisoras radiales con sus frecuencias también afectan, el clima, las lluvias, el sol o cualquier objeto artificial o natural, que posee corriente eléctrica pueden ser los causantes de las interrupciones o de la degradación del rendimiento de los sistemas de comunicación o transmisión de datos.

Otro problema más notorio con el internet es la intermitencia y lentitud del servicio, por razones de que GRUPO CABLEZAR SCC, utiliza la última milla de la CNT EP, cuya red de cobre no se ha dado el mantenimiento respectivo y necesario, además que muchas líneas son antiguas y no permiten altas velocidades; generalmente las líneas nuevas son las que mejor servicio prestan pero él no contar con puertos disponibles, limita las operaciones de la empresa, sumando un inconveniente para GRUPO CABLEZAR SCC, es que CNT EP no abarca zonas distantes, no tiene disponibilidad de red secundaria para la apertura de nuevos puertos, y esto perjudica a GRUPO CABLEZAR SCC, ya que se limita a brindar servicio solo donde CNT EP posee puertos.

Frente a estos problemas con el internet, empiezan las falencias en el Ancho de Banda que se vuelve un limitante para los clientes home y corporativos, sin dejar de resaltar un problema más en el servicio prestado por GRUPO CABLEZAR SCC, está el estado estructural de la red HFC utilizado para brindar el servicio de Televisión, podemos apreciar este estado mirando las fotos en el Anexo B. El GRUPO CABLEZAR SCC realizó el diseño y construcción de la red hace 15 años, sin proyección a futuro; se han reestructurado nodos, pero el diseño no abastece la demanda de clientes, motivo por el cual el servicio de televisión presenta fallas, como pixelación y congelación de la imagen. En cambio en otros nodos que no existe muchos abonados, la red no puede ser utilizada, porque fue extendida a lugares de difícil acceso.

El no tener control de los clientes activos legales y el objetivo es contar con un registro de inventarios, información suficiente y útil para minimizar costos de

producción, mantener un nivel de inventario óptimo y comenzar a utilizar la tecnología de cable módems con la consecuente disminución de gastos operativos, puesto que con estos equipos el corte de los abonados que no pagan el valor mensual por el servicio prestado, se lo realiza en forma automática sin movilizar a los técnicos, además que existen lugares dentro de los nodos donde los clientes son activos, pero no legales porque ellos toman la señal de forma muy fácil, tan solo conectando un cable RG6 al TAP de la red HFC.

La señal de cable tiene determinada fuerza o potencia, cuantas más conexiones (derivaciones) existan sin control más baja será la fuerza de la señal, si tenemos un solo equipo ya sea televisor o cable modem es distinto a conectar muchos equipos y aun peor con muchas uniones o empalmes en la instalación, estas son razones suficientes para que la señal pierda, la señal suele tener de 5 a 14 DB¹ cada divisor o también llamado splitter resta 3,5 DB, la señal para una conexión aceptable va en un rango de -3 a 3, sin en la casa existen más de 3 conexiones o puntos, estaríamos al límite, si no se tiene una señal dentro de estos rangos, hay que atenuarla sobre todo para el servicio de internet.

Todos estos inconvenientes generan una gran cantidad de visitas técnicas en los dos servicios que hoy presta la empresa como son la TV y el internet, haciendo que GRUPO CABLEZAR SCC invierta más de lo que puede proyectar, puesto que la empresa tiene un grupo de personas que trabajan los fines de semana realizando auditorias en la red, verificando la situación de los contratos o si los clientes son o no legales. Estos problemas conllevan a que los usuarios busquen otra alternativa o solución.

1.3. OBJETIVOS:

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio y diseño de una red de acceso GPON para el GRUPO CABLEZAR SCC.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ofrecer una solución de acceso de alta capacidad para el paquete *triple play* (voz, datos y video) que complementarían el servicio ya prestado por el GRUPO CABLEZAR SCC.
- Realizar un estudio de las especificaciones, características y costes de los equipos para complementar la red óptica del GRUPO CABLEZAR SCC.
- Analizar la zona donde se implementará la red GPON para el GRUPO CABLEZAR SCC.
- Diseñar la red que permita cumplir con las expectativas planteadas a favor al GRUPO CABLEZAR SCC.
- Eliminar intermitencias en los servicios prestados por el GRUPO CABLEZAR SCC mediante la implementación de GPON como última milla, cuyo rango de cobertura es de 20 km como máximo, aunque el estándar se ha preparado para los 60 km, que podría ser utilizado en sectores fuera de cobertura tecnológica.
- Mejorar la calidad del servicio que presta el GRUPO CABLEZAR SCC por la inmunidad que presenta la fibra frente a los ruidos electromagnéticos y a la capacidad de transmisión que tiene la fibra como última milla.
- Utilizar una única red propia como última milla, evitando gastos externos al rentar otras redes para llegar a cada usuario, representando así mayores ingresos económicos para el GRUPO CABLEZAR SCC.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Por la demanda y al avance de las tecnologías de información y comunicación conjuntamente con la globalización de las telecomunicaciones y el hecho de no poseer un servicio llamado triple play, ha hecho que el GRUPO CABLEZAR SCC algo obsoleta; las diferentes operadoras de telecomunicaciones han optado por migrar a una red óptica pasiva.

En vista de que actualmente la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios de las redes cada vez es mayor, debido al surgimiento de nuevos servicios ofrecidos por las operadoras como Telmex, Tv Cable, CNT EP, etc. entre los cuales se destaca; redes privadas virtuales, telefonía sobre IP, videoconferencia, televisión de alta definición, video sobre demanda, juegos en línea, transmisión de datos, etc; GPON permite a los usuarios tener un ancho de banda mayor y con la ventaja de que GPON es una red FTTH (Fiber to the Home), permite cambiar elementos activos de una red por elementos pasivos, reduciendo así notablemente los costos de la red del GRUPO CABLEZAR SCC.

Con la reducción de costos se estaría dejando de usar como última milla el cobre, propiedad de CNT EP, y que en algunos sectores como el referenciado para el estudio, tiene intermitencias en los servicios tanto como de voz como de datos, debido a que la red de cobre está ya cumpliendo su ciclo de vida.

Las empresas que entrarían en competencia con el GRUPO CABLEZAR SCC, serían Telmex y TvCable ya que son las únicas empresas grandes que manejan REDES HFC, con la desventaja que la red TvCable está ya cumpliendo su vida útil en ciertas zonas o regiones del país, con respecto a TELMEX aún tiene prohibición para implementar TV, y su red no se extiende sino solo en la ciudad de Quito y Guayaquil.

Por el contrario de CNT EP y su proyecto de IpTv, está aún en pruebas, con 500 clientes locales tiene problemas de intermitencias y equipos desenganchados ya que con IpTv se tiene muchas restricciones en lo que es distancia y capacidad del puerto para soportar mínimo 6 megas, y conjuntamente a esto se adjunta la última milla de CNT EP ya está casi obsoleta, por lo que tienen problemas de ruido e interferencias.

Se está realizando el presente estudio para así solventar en gran parte el problema de última milla y brindar soluciones a los problemas del presente y respuestas al servicio del mañana.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

El presente estudio y diseño abarca todo lo referente a la tecnología óptica incluyendo la familia XPON, el estudio con GPON, en su diseño, estructura, elementos y funcionamiento. El diseño de la red óptica, se basará en la calibración de frecuencias de los elementos activos y pasivos que integran toda la red Híbrida del GRUPO CABLEZAR SCC.

Este diseño va a expandir el servicio hacia los sectores que normalmente no son accesibles, por la distancia o por falta de estructura física.

Los estudios y las calibraciones realizadas para conocer la calidad de la red del GRUPO CABLEZAR SCC, han dado valores que se manejan entre los parámetros dables para que este sistema de red sea viable; es decir que la infraestructura es óptima, tomando en cuenta que la red ya tiene sus años de vida, lo que sí beneficia es el buen mantenimiento y la actualización de equipos operativos. Con estos datos a favor, se puede ofrecer los nuevos servicios o a su vez mejorarlos mediante GPON.

El objetivo central es cambiar, mejorar la calidad del servicio del GRUPO CABLEZAR SCC, expandirse mediante la utilización de una red GPON y rigiéndose al Estándar ITU-T G.984 (ver Anexo D,E,F,G,H), explotar sus beneficios, ofrecer un soporte global multi servicio (Voz, Ethernet, ATM, Video) Conociendo el diseño y estructura de la red híbrida y sus parámetros, se empieza a delimitar a Santo Domingo de los Tsáchilas en ZONAS como se muestra en el Anexo A.

Los planos existentes del diseño HFC son la base y referencia para clasificar ZONAS de mayor o menor productividad.

El diseño de la red estará estructurado por el número de nodos existentes en cada Zona, ya que de ello depende la rentabilidad de cada sitio.

Una vez obtenido el resultado de los estudios comerciales de factibilidad y de rentabilidad del servicio a ofertar o mejorar tomando en cuenta la densidad

poblacional y la cantidad de negocios existentes, se tomará la decisión de optar por 2 de las 5 zonas (ver Anexo A) totales las cuales tendrán un solo head end o cabecera, el mismo que estará ubicado en una zona estratégica. (Edificio del GRUPO CABLEZAR SCC).

Con las 2 zonas (ver Anexo A) elegidas estratégicamente y con los valores favorables para la empresa se procederá a diseñar la estructura de la red FTTH.

La delimitación por zonas (ver anexo A) es la siguiente:

Zona 1

Norte : Av. Quito
Sur : Av. Abraham Calazacón / Jipijapa
Este: Av. Río Toachi
Oeste : Bahía de Caráquez

Zona 2

Norte : Av. Abraham Calazacón
Sur : Av. 29 de Mayo
Este : Av. Monseñor Schumacher
Oeste : Av. De los Tsáchilas / Av. Las Delicias / Paseo Shopping

Zona 3

Norte : Av. 29 de Mayo / Av. Chone
Sur : Av. Abraham Calazacón
Este : Av. Abraham Calazacón
Oeste : Av. Río Toachi

Zona 4

Norte : Av. De los colonos
Sur : Av. Chone
Este : Av. Bomboli
Oeste : Av. Monseñor Schumacher

Zona 5

Norte : Av. Chone

Sur : Av. Quevedo / Calle De los Incas / Emilio Estrada

Este : Av. Bomboli

Oeste : Av. Abraham Calazacón

Resuelto ya la delimitación por zonas, el diseño se llevará a cabo por etapas, dichas etapas se detallan a continuación:

Etapas 1:

Nueva revisión de estado de la red externa HFC de las zonas elegidas.

Etapas 2:

Homologación tecnológica de equipos activos y pasivos.

Etapas 3:

Calibración y validación de frecuencias en los equipos activos y pasivos.

Etapas 4:

Estructuración y diseño de red GPON en zonas designadas como potenciales.

Etapas 5:

Pruebas piloto con zonas elegidas hacia y desde el head end.

Cada etapa tendrá su tiempo de ejecución, en dicho tiempo se realizará a cabalidad lo normado por la ITU-T G98X, para su perfecto desempeño. Adicional a esto, se trabajará con el personal de CABLEZAR TV, gente que estará auditando y verificando se cumpla con los objetivos planteados.

El resto de objetivos se irán dando y desarrollando tal cual se vaya ejecutando cada etapa.

Al finalizar la ejecución de las etapas se ofrecerá un servicio de datos con una velocidad mayor a la ofrecida incluyendo un servicio de televisión de alta definición a 10 Mbps, telefonía a 64 kbps y acceso a Internet a 50 Mbps, con una velocidad de subida de 12 Mbps a 70.000 posibles suscriptores; adicional a esto las alternativas de negocio, entretenimiento, educación a través de los servicios de televisión, telefonía fija e Internet de Banda Ancha aumentarán.

Los usuarios de servicios de telecomunicaciones ven la competencia en ancho de banda entre operadores, lo cual hace que aumente la demanda de servicios innovadores como (HDTV, videoconferencia, entre otras); de esta forma, los principales operadores están definiendo avanzadas redes convergentes de banda ancha basadas en IP, maximizando así el valor de sus activos para atraer nuevos clientes y fidelizar a los existentes ofreciendo más servicios sobre la misma infraestructura a unos precios cada vez más competitivos; además, de reducir la inversión necesaria en equipamiento de red, esta convergencia trae consigo para los operadores una reducción de la complejidad de la gestión y unos costes operativos más bajos.

1.6. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

1.6.1. ACCESO A INTERNET DE ALTA VELOCIDAD: MODEMS DE CABLE.

Las redes HFC, trabajan por medio de módems diseñados para las comunicaciones digitales en redes de cable, tienen capacidad para ofrecer servicios de acceso a redes de datos como Internet, voz y video, trabajan a velocidades muy superiores a las que estamos acostumbrados a navegar a través de los conocidos módems telefónicos. Los módems de cable (o cable módems) están convirtiendo las redes de CATV en verdaderos proveedores de servicios de telecomunicación de vídeo, voz, y datos. Un módem de cable típico tiene las siguientes características:

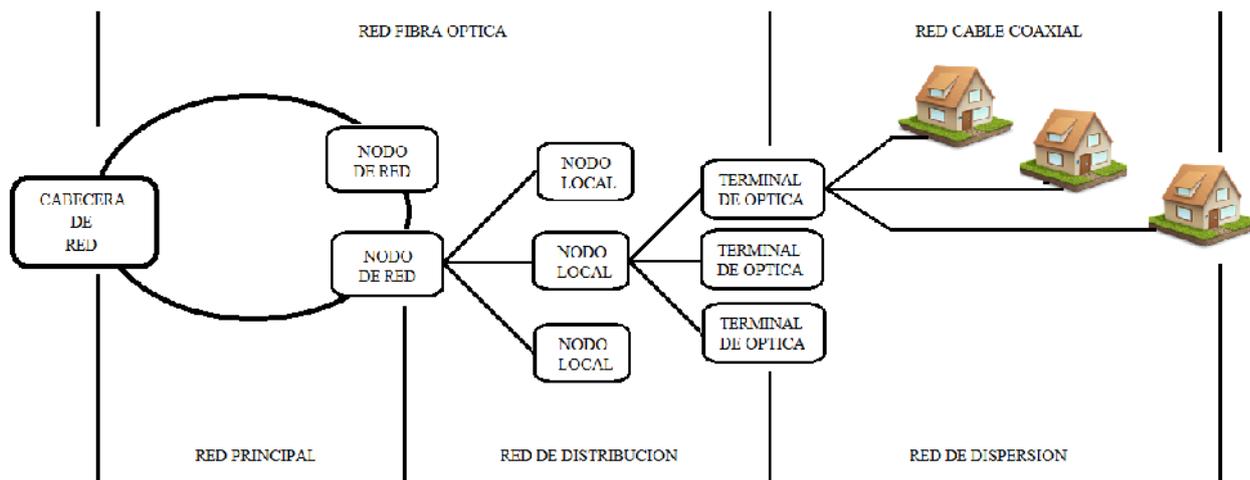
- Es un módem asimétrico. Recibe datos a velocidades de hasta 30 Mbps. y transmite hasta 10 Mbps.

- Se conecta a la red HFC mediante un conector de cable coaxial, y a la PC del abonado a través de una interface de red Ethernet que éste debe incorporar.
- La recepción de datos se realiza por un canal de 6 MHz. del espectro descendente (entre 45 y 860 MHz.) con modulación digital. El módem de cable demodula la señal recibida y encapsula el flujo de bits en paquetes Ethernet. La PC del abonado ve la red HFC como una enorme red local Ethernet.
- En sentido ascendente, el módem de cable descompone los paquetes Ethernet que recibe de la PC y los envía a través de un canal de retorno (entre 5 y 45 MHz.) con modulación digital. La cabecera dispone de unos equipos que realizan las funciones de *router* y *switch*, y que adaptan el tráfico de datos de la **red HFC** al protocolo IP.

En el acceso a Internet a través de un módem telefónico, se establece entre éste y el módem del proveedor de servicio una conexión con circuito dedicado, que ofrece al usuario; una capacidad constante y simétrica (igual descendente que de retorno) y que termina cuando éste cuelga.

La mayoría de los módems de cable se diseñan con capacidades de recepción de datos mayores que las de transmisión a través del canal de retorno, es porque en un ingreso rápido a una página de cualquier sitio web por medio de un equipo de usuario en promedio se descarga 1 Mbyte de información, mientras que devolvemos unos 70 KBytes que representan clics de ratón y reconocimientos de llegada de paquetes. La relación entre el tráfico descendente y ascendente muestra una asimetría de un factor de 15 ó más.

Las redes **HFC** son redes de telecomunicaciones que funcionan por cable y que combina la fibra óptica y el cable coaxial en la transmisión de las señales. Se compone básicamente de cuatro partes claramente diferenciadas: la cabecera, la red troncal, la red de distribución, y la red de acometida de los abonados

FIGURA 1.1 RED HFC³

La cabecera es el centro desde la que se gobierna todo el sistema. Su complejidad depende de los servicios que ha de prestar la red; por ejemplo, para el servicio básico de distribución de señales unidireccionales de televisión (analógicas y digitales) dispone de una serie de equipos de recepción de televisión terrenal, vía satélite y de microondas, así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de producción. La cabecera es también la encargada de monitorear la red y supervisar su correcto funcionamiento.

La red troncal suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios; los nodos primarios alimentan a otros nodos (secundarios) mediante enlaces punto a punto o bien mediante anillos. En éstos nodos secundarios las señales ópticas se convierten a señales eléctricas y se distribuyen a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus de coaxial, la red de distribución. Cada nodo sirve a unos pocos hogares lo cual permite emplear cascadas de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha como máximo; con esto se consiguen muy buenos niveles de ruido y distorsión en el canal descendente (de la cabecera al abonado). La red de acometida salva el último tramo del recorrido de las señales descendentes, desde la última derivación hasta la base de conexión de abonado.

³ RED HFC en Telecomunicaciones, es un término que define una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. Fuente personal

La red de distribución y la de acometida a los abonados es lo que comúnmente se conoce como la red de última milla.

Las modernas redes de telecomunicaciones por cable híbridas fibra óptica-coaxial están preparadas para ofrecer un amplio abanico de aplicaciones y servicios a sus abonados. La mayoría de estos servicios requieren de la red la capacidad de establecer comunicaciones bidireccionales entre la cabecera y los equipos terminales de abonado, y por tanto exigen la existencia de un canal de comunicaciones para la vía ascendente (upload) o de retorno, del abonado a la cabecera.

El canal de retorno ocupa en las redes HFC el espectro comprendido entre 5 y 45MHz.. Este ancho de banda lo comparten todos los hogares servidos por un nodo óptico.

Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías; una señal generada por el equipo terminal de un abonado recorre la red de distribución en sentido ascendente, pasando por amplificadores bidireccionales, hasta llegar al nodo óptico; allí convergen las señales de retorno de todos los abonados, que se convierten en señales ópticas en el láser de retorno, el cual las transmite hacia la cabecera.

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ÓPTICAS

Actualmente los medios de comunicación necesitan niveles de velocidad y capacidad en la transmisión de datos sobre los Mbps⁴, debido a la gran exigencia de los usuarios; las comunicaciones a largas distancias por medio de dispositivos avanzados es lo que ha logrado que en el área de telecomunicaciones se desempeñen de una manera más eficiente.

De esta forma, se ha llegado a alternativas de gran impacto, como es la fibra óptica; utilizada como opción para incrementar la densidad de las comunicaciones más rápidamente y con un mayor ancho de banda con respecto al medio de transmisión más popular que es, el cobre.

Para ello se estudiará a la fibra óptica como un medio de transmisión de datos, su principal característica constructiva es la de estar formada por un material dieléctrico generalmente de vidrio (silicio), aunque también puede ser de materiales plásticos, capaz de guiar una potencia óptica (lumínica), generalmente introducida por un láser o por un LED⁵. Las fibras utilizadas en telecomunicaciones a largas distancias son siempre de vidrio.

Las nuevas tecnologías como en el caso de la fibra óptica atraviesan diferentes ciclos en su desarrollo, por lo que se realizan acciones concretas para potenciar sus ventajas y disminuir sus desventajas entre una y otra tecnología obteniendo mejores resultado

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica ha ganado gran importancia en el campo de las redes de área local, al contrario que las comunicaciones de larga distancia, estos sistemas

⁴ Megabits por segundo, Mbit/s. Un mbps equivale a un millón de bits (o 1000 kbit) transferidos por segundo.

⁵LED, Light-Emitting Diode, diodo emisor de luz

permiten conectar una serie de abonados locales con equipos centralizados como ordenadores (pc's) o impresoras. Este sistema aumenta el rendimiento de los equipos y permite fácilmente la incorporación a la red de nuevos usuarios.

Otros recursos informáticos conectados son las redes de área amplia WAN⁶ o las centrales particulares PBX⁷. Las WAN son similares a las LAN⁸, pero conectan entre sí ordenadores separados por grandes distancias, situados en distintos lugares de un país o diferentes países, para todo esto se emplean equipos costosos y equipo físico especializado.

La fibra óptica, como medio de transporte es una guía de onda dieléctrica que opera a frecuencias ópticas que en su presentación básica de filamento está formada por un núcleo central de vidrio o plástico y un recubrimiento del mismo tipo con un índice de refracción menor al que posee el núcleo como se muestra en la Figura 2.1

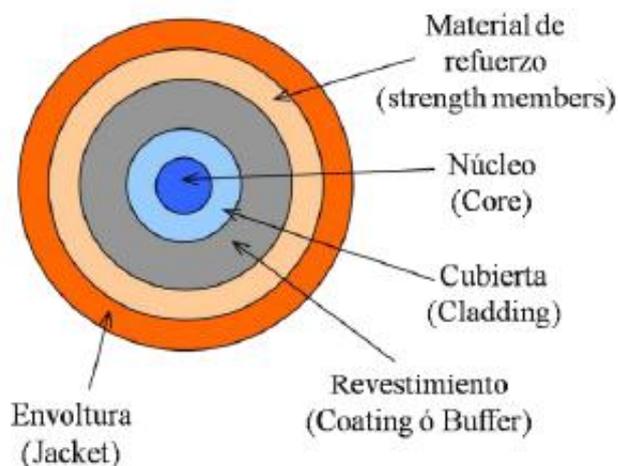


FIGURA 2.1 ESTRUCTURA INTERNA DE UNA FIBRA ÓPTICA⁹

En la forma comercial el cable tiene cinco partes generales: Núcleo, Revestimiento, Amortiguador, Material Resistente y un Revestimiento Exterior o Envoltura.

⁶ WAN Wide Area Local Network, Red de Área Extensa

⁷ PBX, Private Branch Exchange, dispositivo que actúa como una ramificación de la red primaria pública de teléfonos

⁸ LAN, Area Local Network, red de area local

⁹ <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/optral/cap2/fibra-6.htm>

2.1.1. ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción de una fibra óptica, es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio, esto permite obtener las características de propagación en los sistemas ópticos de comunicación y en consecuencia algunos parámetros indispensables para comunicaciones por fibra óptica, como son: los diámetros del núcleo y el revestimiento, la atenuación y la respuesta de la banda base.

El índice de refracción se determina mediante el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. Se simboliza:

$$n = c / v_p$$

Dónde:

Índice de refracción (n)

Cociente de la Velocidad (c)

Velocidad de fase, agua vidrio, etc. (v_p)

2.1.2. ESTRUCTURA

La mayoría de las fibras ópticas se hacen de arena o silicio materia prima abundante en comparación con el cobre, con un kilogramo de vidrio pueden fabricarse aproximadamente 43 kilómetros de fibra óptica. Las constituyentes esenciales de las fibras ópticas son el núcleo que es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz, y su revestimiento o manto puede ser fabricado en vidrio o plástico con diámetro de 50 a 125 micras.

El núcleo y el revestimiento rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno, tal como se muestra en la Figura 2.2.



FIGURA 2.2 ESTRUCTURA DE UNA FIBRA ÓPTICA¹⁰

2.1.3. PRINCIPIO DE TRANSMISIÓN

La fibra óptica no es más que un conductor de luz, esta queda atrapada en este conducto y se propaga a la máxima velocidad posible a lo largo del mismo, dicha velocidad de propagación depende del tipo de material empleado, ya que la máxima velocidad $c = 299.792.458$ m/s sólo se alcanza en el vacío, en el resto de medios la propagación se produce a menor velocidad. La relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en otro medio, se conoce como índice de refracción del medio y es característico de cada material. En la Tabla 2.1. se muestra los índices de refracción para cada material.

MATERIAL	VELOCIDAD (KM./SEG.)V	INDICE DE REFRACCION N
VACIO	300.000	1,000
AIRE	299.900	1,0003
AGUA	225.000	1,333
CRISTAL CUARZO	200.000	1,5

TABLA 2.1 ÍNDICES DE REFRACCIÓN

¹⁰ platea.pntic.mec.es/~lmarti2/optral/cap2/fibra-6.htm

2.1.3.1. MODO DE TRANSMISIÓN

El modo en el que se basa la transmisión en una fibra óptica se le conoce como "Reflexión Interna Total" o TIR (Total Internal Reflection), debido a que el índice de refracción del manto, n_2 es menor que el núcleo, n_1 , lo que permite que la luz quede atrapada dentro del núcleo y pueda viajar por él.

Cuando un rayo de luz incide (haz incidente) en el plano de separación de dos medios que tienen diferente índice de refracción, ocurre 2 fenómenos:

- Haz reflejado: La cantidad de la luz reflejada depende de la relación entre los índices de refracción de ambos medios, es decir el rayo sufre una desviación o reflexión hacia el medio del que procede.
- Haz refractado: El rayo experimenta una variación en la trayectoria original.

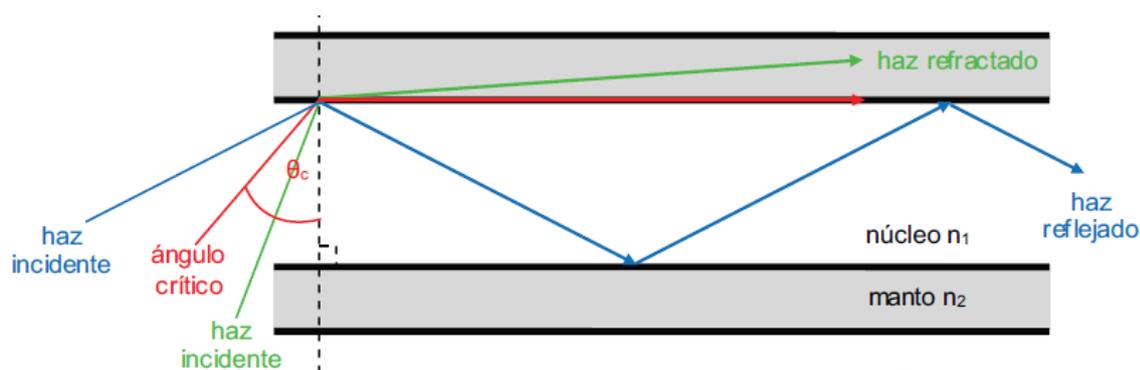


FIGURA 2.3 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UN HAZ DE LUZ¹¹

En la Figura 2.3 se puede ver que cada fenómeno dependerá del ángulo con el que incide el rayo de luz, con un ángulo de incidencia que sea mayor que un ángulo crítico (donde $\theta_i > \theta_c$), por lo tanto, todo rayo de luz que incida con un ángulo mayor al crítico es atrapado y reflejado dentro del núcleo de la fibra óptica y podrá propagarse largas distancias, hasta los 2km cuando es multimodo y a los 300km aproximadamente cuando es monomodo.

2.1.4. ATENUACIÓN

La atenuación se manifiesta con la pérdida o disminución de potencia de la señal óptica conforme aumenta la distancia; la atenuación del canal es lo que

¹¹ Fuente Personal

fija la distancia entre repetidores (amplificadores de señal), la fibra empezó a ser un medio muy interesante de transmisión, cuando bajó su atenuación por debajo de los 5dB/Km que es la atenuación típica de un conductor metálico. Los factores que intervienen en estas pérdidas son la longitud de onda de la luz y el material por el que se propaga.

La unidad en la que se expresa la atenuación son dB/km, este valor significa la pérdida de la luz en un kilómetro y se define como la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada de la fibra, en consecuencia al disminuir la potencia de la luz también se reduce el ancho de banda, la velocidad de transmisión, la eficiencia y la capacidad total del sistema.

En cuanto a los factores propios de la fibra óptica que intervienen en la atenuación se pueden destacar dos principales; la pérdida por absorción y la pérdida por dispersión. En la siguiente Figura 2.4, se distingue las pérdidas de transmisión frente a la longitud de onda, y las ventanas de transmisión en la fibra óptica.



FIGURA 2.4 ATENUACIÓN EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA¹²

2.1.5. DISPERSIÓN

La dispersión es el fenómeno por el cual un impulso se deforma a medida que se propaga a través de la fibra óptica, debido a que las distintas componentes de la señal viajan a distintas velocidades llegando al receptor en distintos instantes de tiempo.

¹² <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/fibra.htm>

¹³ www.yio.com.ar/fo/atenuacion.html

La dispersión supone una reducción del ancho de banda pues al ensancharse los pulsos limitan la tasa de transmisión; este ensanchamiento aumenta con la longitud recorrida y con el ancho espectral de la fuente óptica. La dispersión es normalmente especificada en nanosegundos por kilómetro (ns/km).



FIGURA 2.5 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

En la Figura 2.5 se muestra como la señal de entrada al momento de salir sufre una distorsión muy significativa, con respecto al inicio.

Los tipos de dispersión son:

2.1.5.1. DISPERSIÓN MODAL

La dispersión modal, se debe a que los distintos modos de una fibra óptica tienen distintas velocidades de grupo, es decir los tiempos de propagación de los rayos de luz toman diferentes trayectorias por una fibra. La dispersión modal puede ocurrir solo en las fibras multimodo.

Por lo tanto, este efecto puede solucionarse empleando fibras ópticas monomodo de índice gradual¹⁴ que reduce la velocidad de grupo.

2.1.5.2. DISPERSIÓN CROMÁTICA

La dispersión cromática (CD) es un parámetro que limita la capacidad de transmisión de la fibra óptica. En sistemas de comunicación de alta velocidad y larga distancia es fundamental controlar su efecto, ya que limita fuertemente la capacidad de transmisión del sistema y para ello es necesario utilizar sistemas de compensación de dispersión cromática.

¹⁴ Índice Gradual no tienen un índice de refracción constante en el núcleo

El fenómeno de la dispersión cromática surge debido a tres razones:

2.1.5.2.1. DISPERSIÓN CROMÁTICA DE MATERIAL

Es el principal causante de la dispersión, y consiste en que el índice de refracción del silicio, material usado para fabricar las fibras ópticas, depende de la frecuencia, por ello los componentes de distinta frecuencia viajan a velocidades diferentes por el silicio.

2.1.5.2.2. DISPERSIÓN CROMÁTICA DE GUÍA DE ONDA

Para comprender este componente hay que mencionar que la potencia de un modo se propaga parcialmente por el núcleo y parcialmente por el revestimiento. El índice efectivo de un modo se sitúa entre el índice de refracción del núcleo y del revestimiento, acercándose más a uno u otro dependiendo de cuál sea el porcentaje de la potencia que se propaga por ellos (si la mayor parte de la potencia está contenida en el núcleo, el índice efectivo estará más cerca del índice de refracción del núcleo). Como la distribución de la potencia de un modo entre el núcleo y el revestimiento depende de la longitud de onda, si la misma onda cambia, la distribución de potencia también cambiará, provocando un cambio en el índice efectivo o constante de propagación del modo.

2.1.5.2.3. DISPERSIÓN DE MODO DE POLARIZACIÓN

La dispersión de modo de polarización (PMD), puede distorsionar la señal, hasta hacer inmanejables los bits, destruyendo la integridad de la red.

El problema principal, es que el núcleo de la fibra óptica no es completamente redondo, lo que origina dispersión a un grado tal que puede dejar a la señal en un estado que difícilmente se óptima. Cuando la luz viaja en una fibra monomodo hacia el receptor, tiene dos modos de polarización que viajan en dos ejes, y se mueven formando un ángulo recto uno del otro. En una fibra ideal, las dos polarizaciones se propagarían a la misma velocidad de fase, pero

en realidad cualquier asimetría, curvatura o torsión hace que las dos polarizaciones se propaguen a diferente velocidad lo que provoca dispersión de modo de polarización.

2.2. TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica se puede definir en tres variantes debido al material constituido.

- Plástica: Fibra óptica con núcleo de plástico y manto de plástico.
- Plastic Clad Silica (PCS): Fibra óptica con núcleo de vidrio y manto de plástico.
- Silica Clad Silica (SCS): Fibra óptica con núcleo de vidrio y manto de vidrio.

Las fibras de plástico son más flexibles y fuertes que las hechas de vidrio, resisten mejor la presión, son más livianas y más económicas, además son más fáciles de instalar en paredes y lugares estrechos, su desventaja es que no propaga la luz tan eficientemente como las fibras de vidrio.

En términos del tipo de propagación que toma la luz dentro de la fibra se la puede en cambio clasificar en Multimodo, y Monomodo o modo sencillo si hay solo una trayectoria.

2.2.1. FIBRA MONOMODO

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz; se consigue reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación; su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

En la Figura 2.6 se detallan las partes de una fibra óptica monomodo.



FIGURA 2.6: ELEMENTOS DE UNA FIBRA ÓPTICA¹⁵

2.2.1.1. CARACTERÍSTICAS FIBRA MONOMODO

Las principales características de la Fibra Óptica son las siguientes:

- Las fibras monomodo tienen la capacidad de transmitir el mayor ancho de banda posible y son ideales para enlaces de transmisión a largas distancias.
- Las fibras monomodo poseen una atenuación más baja que las fibras multimodo.
- Mayor Anchura Espectral.
- Se dispone de fibras monomodo para longitudes de onda óptica de 1310 y 1.550nm

En la Figura 2.7 se muestra la propagación del haz de luz en una fibra óptica monomodo.

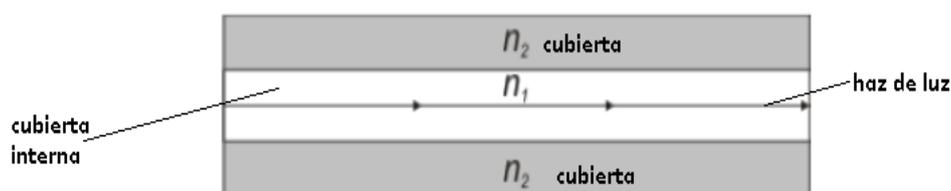


FIGURA 2.7: PROPAGACIÓN DEL HAZ DE LUZ EN LA FO MONOMODO

¹⁵ <http://cactuspinchudo.tumblr.com/post/25958320332/fibra-optica-multimodo-vs-monomodo>

Pueden utilizarse a mayores velocidades de transmisión y a mayores distancias (varios Gbps en 30km por ejemplo). En velocidades menores a 1Gbps se pueden llegar a distancias del orden de 500km sin repetidores; estas capacidades en cuanto a ancho de banda son constantemente mejoradas por nuevos desarrollos.

Debido al pequeño tamaño del núcleo, es muy difícil acoplar luz a la fibra Monomodo y se debe utilizar componentes de mayor precisión.

2.2.1.2. FIBRA MONOMODO ESTÁNDAR

Conocida por sus siglas en ingles SSMF (Standard Single Mode Fiber) y especificada en la norma G.652, donde se describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310nm, optimizada para uso en la región de dicha longitud de onda, y que puede utilizarse en la región de 1550nm (en la que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital. En la Tabla 2.2 se especifican las características de una fibra óptica monomodo estándar.

Características de la fibra. G.652.B.			Ancho de banda de transmisión
Diámetro campo modal	Longitud de onda	1310 nm	1310 nm, 1150 y 1625 nm (Bandas O, C y L)
	Rango	8,6 – 9,5 μm	
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$	
Pendiente de dispersión cromática de 1300 – 1324 nm	SO Max	0,092 ps/nm ² .km	
Características del cable			
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm	
Coeficiente de atenuación	Max a 1310 nm	0,40 dB/km	
	Max a 1550 nm	0,35 dB/km	
	Max a 1625 nm	0,40 dB/km	
Coeficiente de PMD	M	20 cables	
	Q	0,01%	
	Max PMDq	0,20 ps/km	

Tabla 2.2: Características Fibra Óptica 652.B¹⁶

¹⁶ www.telnet-ri.es/.../fibra-optica.../fibra-optica/fibra-monomodo-g652

2.2.1.3. FIBRA DSF (DISPERSION SHIFTED FIBER)

Mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir desplazar la longitud de onda de dispersión nula a tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazadas. Sus pérdidas son ligeramente superiores (0.25 dB/km a 1550nm), pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra Monomodo estándar.

Este tipo de fibras no son en principio adecuadas para sistemas DWDM¹⁷ (Dense WDM), ya que el fenómeno no lineal de mezclado de 4 ondas (FWM¹⁸) produce degradaciones significativas. Este tipo de fibras se describe en la recomendación ITU G.653

2.2.1.3.1. FIBRA NZDSF (FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO NULA)

Para resolver problemas de no linealidades de la fibra de dispersión desplazada surgieron este tipo de fibras, que se caracterizan por valores de dispersión cromática reducidos pero no nulos a 1550nm. En el mercado se pueden encontrar fibras con valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-). La recomendación ITU G.655 describe este tipo de fibras.

2.2.1.3.2. FIBRA MONOMODO CON CORTE DESPLAZADO

Se trata de una fibra Monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300nm con corte desplazado y pérdida minimizados a una longitud de onda en torno a 1550nm y que está optimizada para uso en la región de 1500 – 1600nm. Se describe en la recomendación UIT-T G.654.

2.2.1.4. FIBRA MONOMODO DE DISPERSIÓN PLANA

Hay fibras con dispersión cercana a cero tanto a 1310 como a 1550nm, y se conocen como fibras de dispersión plana o dispersión compensada.

¹⁷DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), multiplexación por división en longitud de onda o multiplexación óptica.

¹⁸FWM (*Four Wave Mixing*), mezcla de cuatro ondas, es un tipo de efecto Kerr y ocurre cuando luz de al menos 2 longitudes de onda distintas viaja por la fibra.

2.2.2. FIBRA MULTIMODO

A diferencia de las anteriores, en estas se pueden propagar varios haces de luz de forma simultánea. El diámetro del núcleo de este tipo de fibras típicamente suele ser 50µm o 62.5µm, por lo que el acoplamiento de la luz es más sencillo que en las fibras Monomodo. Dentro de las fibras Multimodo se tiene dos tipos de fibra según su perfil de índice de refracción.

El ancho de banda de transmisión por fibras Multimodo está limitada por parámetros de la fibra óptica, como la dispersión modal y la dispersión cromática, y también por parámetros de los equipos ópticos, generadores de luz y tiempo de subida (respuesta) del fotodetector.

Cuando se calcula el ancho de banda se debería tener en cuenta todos estos parámetros.

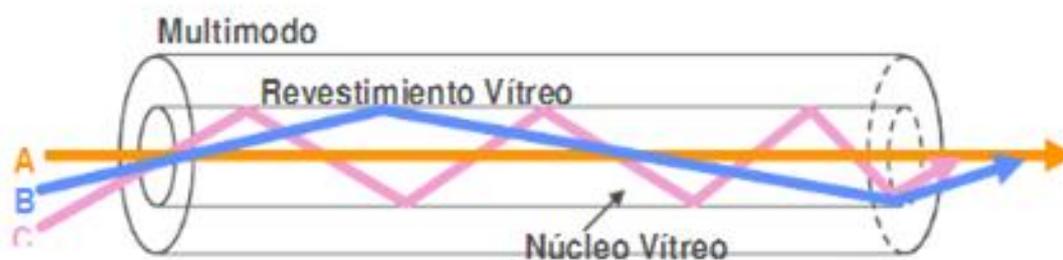


FIGURA 2.8: FIBRA MULTIMODO¹⁹

2.2.2.1. FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO (STEPPED)

Es aquella donde tanto el índice de refracción del núcleo como el índice de refracción del manto son constantes (uniformes), pero diferentes entre sí; en consecuencia si el índice de refracción del núcleo es constante, los diferentes rayos de luz viajarán a la misma velocidad dentro del núcleo (velocidad de propagación es inversamente proporcional al índice de refracción: $V_p = c/n$)²⁰, pero seguirán diferentes trayectorias o modos, llegando por tanto al otro extremo de la fibra a tiempos distintos. De esta manera el pulso de salida llega

¹⁹ www.monografias.com

²⁰ Índice de refracción (n), Cociente de la Velocidad (c); Velocidad de fase, agua vidrio, etc. (V_p)

disperso, y debido a este fenómeno de dispersión se debe restringir la velocidad de transmisión. A esta dispersión de la señal se la conoce como dispersión modal. La dispersión modal es acumulativa con la distancia y origina reducción del ancho de banda de la fibra y consecuentemente limitación en la velocidad de transmisión.

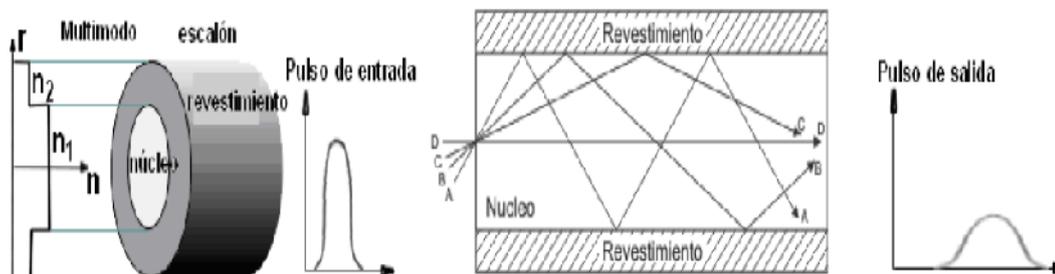


FIGURA 2.8: PROPAGACIÓN HAZ DE LUZ EN UNA FIBRA MULTIMODO IE)²¹

2.2.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO

A continuación se detallará las ventajas más relevantes de una fibra multimodo:

Ventajas:

- La fibra multimodo se adapta mejor a distancias por debajo de los 2 km.
- El ancho de banda de una de fibras multimodo es más dependiente de su longitud, para longitudes superiores a los 2 km se debe utilizar fibra estandar 62.5/125FDDI, con lo que es posible alcanzar un regimen de datos de hasta 100Mbps.
- El equipamiento lógico para fibra multimodo es generalmente más económico que el monomodo. Se utilizan a menudo diodos LED como generadores de luz.
- El cable de fibra multimodo es normalmente más caro que el cable de fibra optica monomodo, pero para distancias cortas el ahorro ene el equipo optico puede equilibrar el coste.
- La fibra óptica multimodo 62.5/125 es la estándar para las comunicaciones de redes LAN, asi como Ethernet, FDDI y Token Ring .

²¹ www.unicrom.com/art_FibraOptica.asp

- La fibra multimodo es adecuada para longitudes de onda de 850 y 1.130 nm.
- Las fibras multimodo están destinadas a aplicaciones de distancias cortas, como lo especifican fabricantes de equipos ópticos.

Desventajas:

- *Conversión electro-óptica*, para todas las aplicaciones con fibra óptica es necesario considerar este proceso, que apunta a una inversión adicional en equipos que realicen este trabajo.
- *Costos*, la instalación, mantenimiento y reparación de los sistemas de fibra óptica es más costoso y difícil que los sistemas cableados metálicos.
- Fragilidad de la fibra, por ser construidos con un material sensible a fisura o ruptura. Los empalmes entre fibra son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de rupturas.
- Resistencia al cambio, la industria y el usuario en general, aun se resisten al cambio a una nueva tecnología. El uso difundido del cobre tradicional dificulta la masificación del uso de la fibra óptica.

2.3. ELEMENTOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA

Las fuentes ópticas son transductores que generan una onda portadora óptica, que será modulada por las señales eléctricas procedentes de un equipo analógico o digital, mientras que los detectores transforman señales ópticas procedentes de una fibra a un equipo terminal o intermedio.

Las fuentes han de emitir luz a una longitud de onda concordante con una de las ventanas de bajas pérdidas en la fibra o al menos deben cumplir otros requisitos no menos importantes como son:

- Bajo consumo
- Alta fiabilidad con los cambios de temperatura
- Pequeño tamaño

- Alta potencia de salida y pureza espectral suficiente en los casos de largas secciones de regeneración.
- La fuente debe admitir en su interior la modulación a la velocidad de transmisión del sistema.

Los detectores ópticos demodulan la portadora óptica recibida a través de la fibra, recuperando la señal eléctrica de información, a la que se somete posteriormente a procesos de amplificación, filtrado, etc. en el receptor, aparte los detectores deben cumplir las siguientes características:

- Alta sensibilidad (potencia mínima necesaria en la entrada del detector para obtener una tasa de error menor que una prefijada).
- Bajo consumo y pequeño tamaño.
- Una baja tasa de error para permitir la recuperación de la señal original.
- Bajo ruido
- Alta eficiencia cuántica – rendimiento – en la conversión optoeléctrica.

2.3.1. FUENTES O EMISORES DE LUZ

Los emisores de luz para comunicaciones ópticas que existen son de dos tipos:

- Emisores de luz no coherente: los diodos emisores de luz (LED)
- Los láser

2.3.1.1. DIODOS LÁSER

Son fuentes de luz coherente de misión estimulada con espejos semireflejantes formando una cavidad resonante, la cual sirve para realizar la retroalimentación óptica.

Estos emiten luz de gran intensidad y monocromática, es decir el ancho espectral es muy estrecho lo que facilita el acoplamiento a las fibras ópticas.

La emisión del Diodo Láser (LD), es siempre de perfil, estos tienen una corriente de umbral y a niveles de corriente arriba del umbral la luz emitida es coherente, y a niveles menores al umbral el LD emite luz incoherente como un LED.

Los tipos básicos de diodos láser son:

- VCSEL (Láser Emisor de Superficie de Cavity Vertical, Vertical-Cavity Surface-Emitting Láser), que emite una longitud de onda de 850nm exclusivamente, y puede transmitir un alto nivel de datos, se usa comúnmente en la fibra multimodo.
- DFB (Láser de retroalimentación distribuida, Distributed Feedback Láser), que incluye una red de difracción la cual se distribuye a lo largo de todo el medio activo. La longitud de onda de la red interna determina la longitud de onda emitida por el láser, en una línea muy fina del espectro.
- DBR (Reflector de Bagg Distribuido, Distributed Bragg Reflector), en este dispositivo la red de difracción está fuera de la zona activa, en donde no circula corriente (parte pasiva de la cavidad).
- Fabry Perot.- En la estructura de láser Fabry Perot la luz es reflejada y vuelta a reflejar entre dos espejos a ambos lados de un semiconductor. El material y los dos espejos forman una cavidad que determinan la longitud de onda. Exhibe cierta inestabilidad en la potencia de salida y se utiliza para la transmisión de datos en el retorno.

2.3.1.2. DIODOS LED

Son fuentes de luz con emisión espontánea o natural (no coherente), son diodos semiconductores de unión P-N que para emitir luz se polarizan directamente. La energía luminosa emitida por el Led es proporcional al nivel de la corriente de la polarización del diodo.

Existen varios tipos de Led:

- SLED (Led de Emisión por Superficie, Surface light Emitting Diode), que emite la luz en muchas direcciones, pero según la forma física de la unión, puede concentrarse en una área muy pequeña denominada

cavidad. Con la ayuda de lentes ópticos que se colocan en la superficie, se puede lograr mayores concentraciones de luz.

- ELED (Led de Perfil o Borde, Edge Light Emitting Diode), que emite luz a través de la sección transversal del dispositivo, este tipo es más direccional.

2.3.2. DETECTORES

Los receptores básicamente pueden tener mayor o menor sensibilidad y de ahí su posible uso, además dependiendo del tipo de material (germanio, silicio, etc), tienen una sensibilidad específica según la longitud de onda.

Convierten las señales ópticas que proceden de la fibra en señales eléctricas, y se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente; esta corriente es proporcional a la potencia óptica recibida.

Las condiciones que deben cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones ópticas, son las siguientes:

- La corriente de oscuridad (en ausencia de la luz), debe ser muy pequeña para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo debe ser mínimo.

Esencialmente, se pueden distinguir dos tipos de detectores básicos: los fotodiodos PIN y los avalancha APD.

2.3.2.1. DETECTORES PIN

Este diodo está conformado por una capa intrínseca, casi pura, de material semiconductor, introducida entre la unión de dos capas de materiales semiconductores tipo n y p. Se aplica una tensión de polarización inversa. En la Figura 2.9, se muestra todos los elementos de este detector.

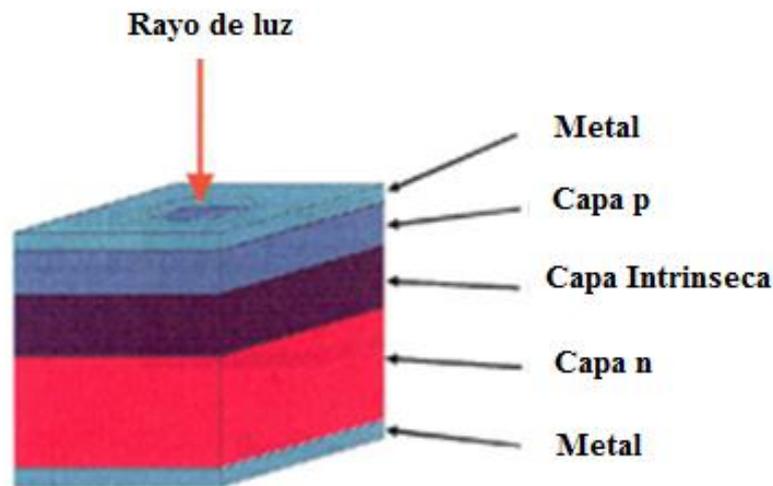


FIGURA 2.9: ELEMENTOS DETECTOR PIN²²

La luz entra al diodo por una ventana muy pequeña y es absorbida por el material intrínseco, el cual agrega la energía suficiente para lograr que los electrones se muevan de la banda de valencia a la banda de conducción y se generen portadores de carga eléctrica que permiten que una corriente fluya a través del diodo.

Los elementos más utilizados en la fabricación de este tipo de detectores son el Germanio y últimamente se utiliza el GaAs, GaInAs, InP, con resultados muy buenos. Los diodos PIN requieren bajas tensiones para su funcionamiento, pero deben utilizar buenos amplificadores.

2.3.2.2. DETECTORES APD

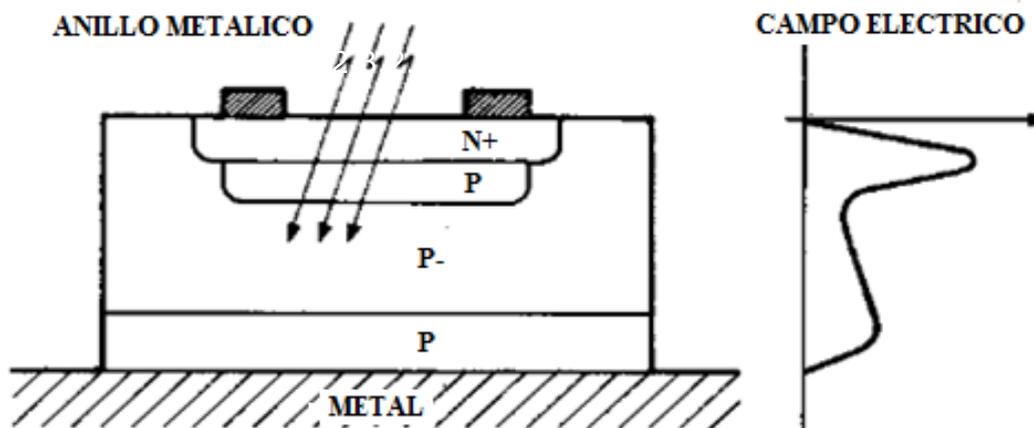
Los fotodiodos de avalancha son una estructura de materiales semiconductores, ordenados en forma p-i-p-n.

Debido al gran campo eléctrico generado por la polarización inversa, los electrones adquieren velocidades muy altas y al chocar con otros electrones de otros átomos, hacen que éstos se ionicen. Los átomos ionizados ionizan a su vez otros átomos, desencadenando un efecto de avalancha de corriente fotoeléctrica.

Los fotodiodos APD son 10 veces más sensibles que los diodos PIN y requieren de menos amplificación adicional. Su desventaja radica en que los

²² www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/.../tesis%20final.doc

tiempos de transición son muy largos y su vida útil es muy corta. En la siguiente Figura 2.10 se muestra como se mantiene un campo eléctrico en un APD



La estructura de una APD mantiene un campo eléctrico elevado en la union polarizada inversamente

FIGURA 2.10: ESTRUCTURA DE UN APD²³

Los fotodiodos APD de Silicio presentan ruido bajo y un rendimiento hasta del 90% trabajando en primera ventana. Su factor de ganancia, M , es alto (de 50 a 150) y no es crítico, porque la ganancia del receptor es fácilmente controlable mientras el factor F sea bajo.

Su sensibilidad es casi inversamente proporcional a la velocidad binaria, típicamente de -64 dBm a 8 Mb/s y -50 dBm a 140 Mb/s y el tiempo medio entre fallas es de 10^7 horas. La corriente de oscuridad es relativamente baja: a 25 °C está entre 1 y 5 nA. En cuanto a los anchos de banda obtenidos comercialmente, superan 1 GHz.

Como inconveniente, está su alta tensión de alimentación (200-300 V), los fotodiodos APD de germanio trabajan con longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm y rendimientos del 70%, presentan como inconveniente el ajuste y control de factor M que, por cierto, tiene un valor óptimo más bajo que en los de silicio. Se puede prolongar su funcionamiento hasta los 1550 nm, pero necesitan entonces una zona de depleción próxima a las 10 μm , frente a las 3 ó 4 que son habituales. Además de esto, la aplicación para 1550 nm suele ir acompañada de mayores velocidades de transmisión y en este sentido el APD de germanio es bastante limitado.

²³ www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/.../tesis%20final.doc

De lo indicado, la corriente de oscuridad es alta (del orden de $0,1 \mu\text{A}$) y se duplica cada 9 ó 10 °C, afectando a su sensibilidad.

Esta varía, igual que en los de silicio, con el régimen binario, siendo valores habituales los siguientes:

- -45 dBm a 34 Mb/s
- -40 dBm a 140 Mb/s
- -35 dBm a 565 Mb/s

En cuanto a la tensión necesaria para la polarización, es del orden de los 30 V, encontrándose en el mercado fotodiodos de este tipo cuyos anchos de banda alcanzan hasta 1 GHz.

2.3.3. ACOPLADORES

Este elemento permite la transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de luz del extremo conectado de un cable de fibra óptica a otros cables. Los acopladores ópticos pueden ser construidos con un número variado de entradas y salidas.

El más simple puede tener dos entradas y una salida, hoy en día pueden construir acopladores hasta de 144×144 entradas/salidas, sin que esto signifique complejidad de fabricación. El acoplador más sencillo, es el acoplador "T" es un dispositivo pasivo que une tres fibras (puertos), dos entradas aisladas pueden ser combinadas en una sola salida, o al revés, una sola entrada hacia dos salidas independientes.

La cantidad de pérdidas por acoplamiento usualmente expresadas en decibelios (dB) se determina por el diseño y construcción del acoplador.

Los acopladores en estrella son una estructura más compleja, son también pasivos y con un número usualmente mayor de entradas y salida, son utilizados en aplicaciones diversas de las redes de telecomunicaciones. Una señal óptica introducida en un puerto de entrada se distribuye hacia todos los puertos de salida

Los splitter son un tipo de acoplador que desempeña un rol importante en los sistemas de comunicaciones ópticas.

Este dispositivo bidireccional tiene un puerto de entrada y múltiples puertos de salida. La señal óptica de entrada (downstream)²⁴, es dividida entre los puertos de salida, permitiendo a múltiples usuarios el compartir una sola fibra óptica y consecuentemente el ancho de banda disponible en la misma.

2.3.4. FILTROS

Un filtro óptico es un dispositivo capaz de seleccionar una banda de longitudes de onda y de eliminar el resto. Las principales aplicaciones donde se utilizan los filtros son:

- Eliminación de ruido, introducido por ejemplo por los amplificadores ópticos
- La ecualización de la respuesta de los amplificadores ópticos.
- La selección de canales en sistemas WDM.

Para realizar estas funciones, los filtros deben tener pérdidas de inserción reducidas, su banda de paso debe ser plana para evitar la distorsión de la señal, además de la banda de transición, su respuesta debe ser fuerte para evitar la diafonía (cross talk)²⁵, de los canales próximos.

2.3.5. AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Los amplificadores ópticos se asemejan al principio físico de un láser, pero sin retroalimentación y cuyos portadores excitados amplifican la señal incidente; ellos amplifican luz incidente a través de la emisión estimulada, la cual utiliza el mismo mecanismo del láser. La ganancia óptica es realizada cuando el amplificador es bombeado (ópticamente o eléctricamente) para llevar a cabo la inversión de población, la ganancia óptica en general depende no sólo de la frecuencia (o longitud de onda) de la señal incidente, sino también de la intensidad del haz local en cualquier punto del amplificador.

²⁴ Downstream, es la velocidad de bajada en el canal de comunicaciones
Diafonía o Cross talk²⁵ .- Es la interacción o acoplamiento entre señales cercanas.

Cada amplificador óptico requiere de una fuente de energía externa para proveer la energía necesaria para la amplificación. Los amplificadores ópticos pueden ser usados para compensar la atenuación de la señal (resultado de una distribución de una red cualquiera), pérdidas de transmisión, etc., pero un amplificador óptico no puede ser un dispositivo ideal, por lo que este presenta algunas restricciones como son; el ruido generado por él es sumado a la señal en la salida, y la ganancia espectral no es constante sobre una región en la cual las señales pueden ser transmitidas. En la Figura 2.11 se muestra el proceso de un amplificador óptico.

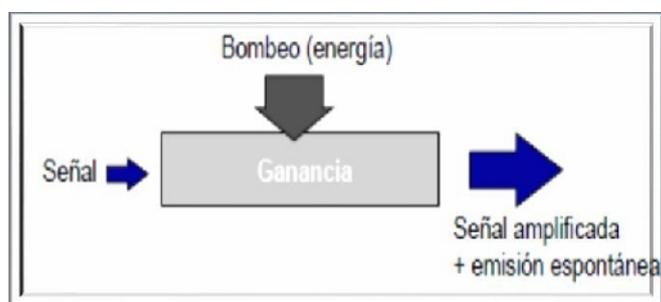


FIGURA 2.11: AMPLIFICADOR ÓPTICO²⁶

Estos amplificadores necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican.

Típicamente, las longitudes de onda de bombeo son 980 nm o 1480 nm y para obtener los mejores resultados en cuanto a ruido se refiere, debe realizarse en la misma dirección que la señal.

2.3.5.1. AMPLIFICADOR SOA (AMPLIFICADOR SEMICONDUCTOR ÓPTICO)

Un amplificador óptico semiconductor suele ser de pequeño tamaño y el bombeo se implementa de forma eléctrica. Su elevada no linealidad hace atractivos a los SOAs para aplicaciones de procesamiento como la conmutación óptica o la conversión de longitud de onda. También se está estudiando su uso para implementar puertas lógicas.

²⁶ www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/codificacion.pdf

Se tiene algunas características a considerar:

- Tiene control por corriente
- Son compactos e integrables
- Ganancia entre 25 – 30 dB
- Factor de ruido entre 5 y 6 dB
- Banda de paso 30 – 60 nm
- Potencia de salida 10dB
- Rango de operación 1300 – 1600 nm

2.3.5.2. AMPLIFICADOR EDFA (AMPLIFICADOR DE FIBRA DOPADA CON ERBIO)

El EDFA es el amplificador de fibra dopada más empleado en la actualidad, ya que es posible amplificar señales en la tercera ventana (1550nm). El motivo puede deducirse del diagrama de niveles del erbio, mostrado en la Figura 2.12.

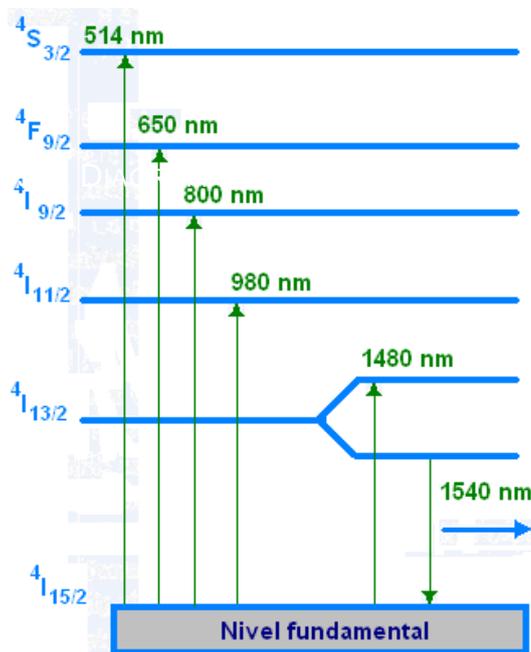


FIGURA 2.12: DIAGRAMA DE NIVELES ENERGÉTICOS DEL ERBIO²⁷

Al dopar con iones de erbio el núcleo de una fibra óptica se provoca un ensanchamiento de las bandas de transición. Esto a su vez provoca un ensanchamiento considerable del rango de longitudes de onda que pueden ser

²⁷ http://nemesi.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_8_2.htm

amplificadas. Este efecto puede mejorarse añadiendo al núcleo aluminio y óxido de germanio.

Características comerciales de los EDFAs:

- Ganancia entre 40 – 50 dB
- Frecuencia de operación: bandas C y L (aprox 1530 – 1605 nm)
- Como consecuencia de su geometría cilíndrica sus pérdidas de inserción en las uniones con la fibra óptica son muy reducidas.
- Debido también a su geometría su ganancia es poco sensible a la polarización de la señal.
- El ruido que genera es bajo (3 – 6 dB).
- Banda de paso 20 – 30 nm
- Potencia de salida (13 / 23dBm)
- La potencia de saturación (13 – 23dBm) de la ganancia no ocasiona distorsión.
- Bombeo: Luz 20 – 100mw

2.3.5.3. AMPLIFICADORES RAMAN

Este amplificador se basa en el efecto Raman, SRS *Stimulated Raman Scattering*. Esta no linealidad de las fibras ópticas tiene lugar cuando ésta es atravesada por una radiación monocromática de alta intensidad.

De esta forma, la fibra convencional ya instalada puede ser usada como medio de ganancia para amplificación Raman; sin embargo es mejor usar fibras especialmente diseñadas (fibra altamente no lineal) en las que se introducen dopantes y se reduce el núcleo de la fibra para incrementar su no linealidad.

La señal de bombeo se puede acoplar a la fibra tanto en la misma dirección en la que se transmite la señal (bombeo codireccional), o en el sentido contrario (bombeo contradireccional). Es más habitual el bombeo contradireccional para evitar la amplificación de las componentes no lineales.

Algunas características a considerar son:

- Ganancia de hasta 40 dB
- Usados en la región de 1300 nm.
- Se necesita una potencia de bombeo para producir la máxima ganancia (40 dB), alrededor de 1W, aunque para ganancias menores (5dB), puede bajar hasta los 50mW.
- En general la eficiencia de conversión de potencia para el amplificador Raman es inferior (10%) frente a la del EDFA (60%), por lo que la forma más eficiente es la combinación de ambas tecnologías, utilizando el amplificador Raman como preamplificador de bajo ruido y el EDFA a continuación.

2.3.5.4. AMPLIFICADOR ÓPTICO DE SEMICONDUCTOR (SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER, SOA)

Los amplificadores ópticos de semiconductor tienen una estructura similar a la de un láser pero incluye antireflectante en los extremos y una guía de onda cortada en un ángulo para evitar que la estructura se comporte como un láser. El amplificador óptico de semiconductor suele ser de pequeño tamaño y el bombeo se implementa de forma eléctrica. Su elevada no linealidad hace atractivos a los SOAs para aplicaciones de procesado como la conmutación óptica o la conversión de longitud de onda; también se está estudiando su uso para implementar puertas lógicas. Algunas características a considerar son:

- Tienen control por corriente
- Son compactos e integrables
- Ganancia entre 25 – 30 dB
- Factor de ruido entre 5 -6 dB
- Banda de paso 30-60 nm
- Potencia salida 10 dB
- Rango de operación:1300 a 1600 nm

2.3.6. CONECTORES

Se encargan de conectar cables de fibra óptica a un elemento. La gran mayoría de los conectores actuales tiene algunos elementos comunes, tal como se puede ver en la Figura 2.13

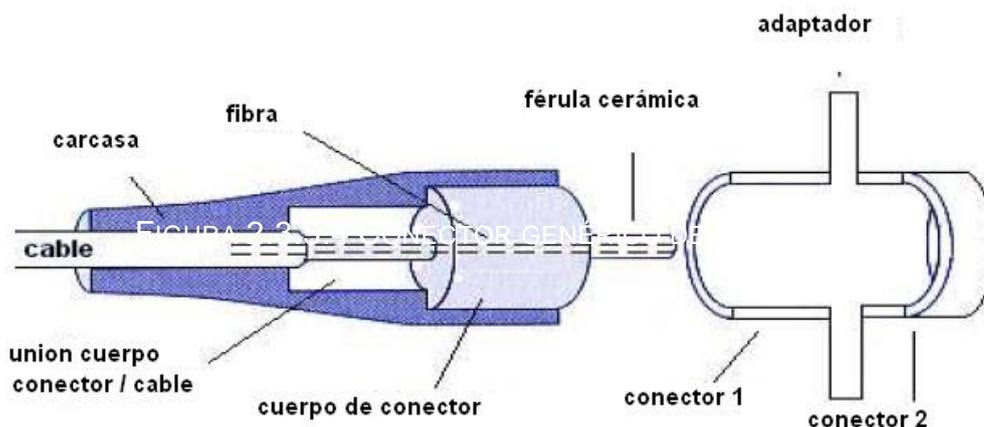


FIGURA 2.13: CONECTOR GENÉRICO DE FIBRA ÓPTICA²⁸

La fibra se monta a lo largo de la férula, un cilindro típicamente de cerámica cuyo diámetro coincide con el diámetro del manto de la fibra, y cuya misión es alinear y proteger mecánicamente a la fibra. El extremo final de la fibra llega al final de la férula, que suele ser pulido o aislado. El pulido de la férula puede ser de dos formas PC (Physical Contact) o APC (Angle Physical Contact).

Una carcasa protege la unión entre el conector y el cable de la fibra; a diferencia de los conectores eléctricos la mayoría de los estándares de fibra carecen de polaridad hembra/macho, por ello los conectores de fibra se acoplan a través de conectores. Los conectores suelen tener un pigtail que es un cable de una sola fibra para poder conectarse a un equipo. A continuación se muestra gráficamente su forma en la Figura 2.14.

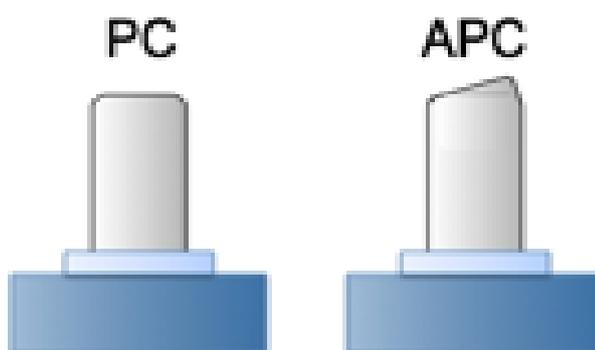


FIGURA 2.14: PC (PHYSICAL CONTACT) Y APC (ANGLE PHYSICAL CONTACT)²⁹

Los conectores de fibra ópticas comercialmente más usadas son los que detallamos en el ANEXO C:

²⁸ www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/codificacion.pdf

²⁹ www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/codificacion.pdf

2.3.6.1. TÉCNICAS DE PULIDO DE FIBRA EN TERMINALES

A diferencia de los conectores electrónicos la mayoría de los estándares de conectores de fibra carece de polaridad macho/hembra. Por ello los conectores de fibra se acoplan a través de adaptadores (a menudo llamados receptáculos de acoplamiento o mangas).

El extremo final de la fibra, la férula suele ser pulido o alisado con la finalidad de realizar la conexión con la siguiente fibra. El pulido de la férula puede ser de tres formas:

1. PC (Physical Contact), En el cuál las dos superficies de las férulas son pulidas siendo levemente esféricas o curvas, la cual elimina el espacio de aire y fuerzas a las fibras al entrar en contacto.
2. UPC (Ultra Physical Contact), Una mejora a PC en el cual las superficies son tratadas con un pulido extendido para una mejor terminación de la superficie.
3. APC (Angle Physical Contact), en el cual las superficies de las férulas son curvadas y también anguladas en 8º grados. Esto mantiene una conexión más firme y reduce al máximo el espacio de aire entre ellas.

2.3.6.2. TIPOS DE CONECTORES ESTÁNDAR

Basado en las técnicas de conexión anteriormente descritas, a continuación se detalla en la Tabla 2.3, algunos tipos de conectores para fibra óptica, los cuales que han sido estandarizados IEC (International Electrotechnical Commission), TIA (Telecommunication Industries Association), y la EIA (Electronics Industries Association), entre otras.

NOMBRE	FOTOGRAFÍA	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
FC (<i>Fiber Connector</i>) FC/PC FC/APC	 [17]	<ul style="list-style-type: none"> • Origen: japonés • Tipos de fibra: multimodo y monomodo • Material de la carcasa: plástico • Material de la férula: acero (parte exterior) cerámica (parte interior) • Modo de ajuste: roscado • Pérdidas: 0.2, 0.1 y 0.08 dB • Aplicaciones: CATV, Redes telefónicas
ST (<i>Subscriber Termination</i>)	 [18]	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de fibra: multimodo y monomodo • Material de la férula: cerámica • Modo de ajuste: bayoneta (similar al BNC) • Pérdidas: entre 0.1 y 0.4 dB • Aplicaciones: Redes LAN de alta velocidad
FDDI (<i>Fiber Distributed Data Interface</i>)	 [32]	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de fibra: multimodo y monomodo. • Número de fibras: 2 (dúplex) • Material de la férula: cerámica • Modo de ajuste: dos retenedores sobre una base mecánica. • Pérdidas: inferiores a 0.2 dB
SMA (<i>SubMiniature version A</i>)	 [33]	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de fibra: multimodo • Material de la férula: Zirconio • Modo de ajuste: roscado • Pérdidas: entre 0.3 y 1.5 dB
Bicónico	 [34]	<ul style="list-style-type: none"> • Origen: norteamericano • Tipos de fibra: multimodo y monomodo. • Modo de ajuste: roscado • Pérdidas: mayor a 0.6 dB

Tabla 2.3: Conectores de FO³⁰

2.3.7. TÉCNICAS DE EMPALME

Los empalmes son uniones fijas que permiten continuidad de los haces luminosos en la fibra. Al realizar los empalmes se presentan pérdidas de acoplamiento entre las uniones de, emisor óptico de fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a foto detector.

Para reducir estas pérdidas en lo posible existen fundamentalmente dos técnicas diferentes de empalme que se emplean para unir permanentemente

³⁰<http://www.conectronica.com/Conectores-de-/para-Fibra-Optica/Los-conectores-de-fibra-%C3%B3ptica.html>

entre sí fibras ópticas y son: el empalme por fusión, que actualmente se usa a gran escala y el empalme mecánico.

2.3.7.1. EMPALME POR FUSIÓN

El empalme por fusión se aplica tanto a fibras monomodo como multimodo y consiste en aplicar una fuente de calor producida ya sea con descarga eléctrica, láser gaseoso o una llama a una fibra preparada (pelada, limpia y alineada por máquina), durante un periodo de tiempo determinado, consiguiendo de esta manera fundir las fibras; posteriormente se realiza la protección y cierre del empalme, tal como se muestra en la Figura 2.15.



FIGURA 2.15: UBICACIÓN DE LA FO EN LOS EXTREMOS

El principal problema que se presenta son las imperfecciones que se encuentran en los extremos de la fibra dando como resultado varios tipos de inconvenientes:

- Falta de material.- se produce por un valor excesivo de la corriente de fusión o por excesivo de tiempo de retardo.
- Exceso de material.- se produce por un valor excesivo de aporte de material.
- Defecto en la superficie de la fibra.- se produce por la desviación angular excesiva en las superficies seccionadas de

las fibras ópticas o por suciedad en las superficies de las fibras.

- Empalme incompleto.- se produce por un valor insuficiente de la corriente de fusión o por un valor insuficiente del tiempo de retardo.
- Empalme excesivo.- se produce por un valor muy elevado de la corriente por fusión o por un valor muy elevado de tiempo de retardo.

2.3.7.2. EMPALME MECÁNICO

Este tipo de empalme se usa en el lugar de la instalación donde el desmontaje es frecuente, es importante que las caras del núcleo de la fibra óptica coincidan exactamente; consta de un elemento de auto alineamiento y sujeción de las fibras y de un adhesivo adaptador de índice que fija los extremos de las fibras permanentemente.

2.4. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN EN SISTEMAS ÓPTICOS

La Multiplexación permite optimizar el uso del medio de transmisión permitiendo que por él viajen varias señales, obteniendo así mayor velocidad, capacidad y funcionalidad. Se pueden tener diferentes alternativas de multiplexación: por división de frecuencia (FDM), por división de tiempo (TDM), por división de código (CDM) o por división de longitud de onda (WDM). WDM es la única tecnología óptica, en lugar de electrónica como las demás. Las multiplexaciones FDM, TDM o CDM se aplican a las señales antes de que sean alimentadas a los transmisores ópticos.

2.4.1. TDM (Multiplexación por División de Tiempo)

La técnica TDM consiste en transmitir varias señales simultáneas sobre un mismo enlace. Para este efecto se divide el tiempo en periodos (ranuras o time slots), asignándose una ranura de tiempo a cada señal.

Es decir, las técnicas de multiplexación por división de tiempo TDM pretenden conseguir un mayor rendimiento en los sistemas de transmisión, ya que permiten enviar por una misma línea de transmisión varias comunicaciones simultáneas. En la Figura 2.16 se puede ver el proceso TDM

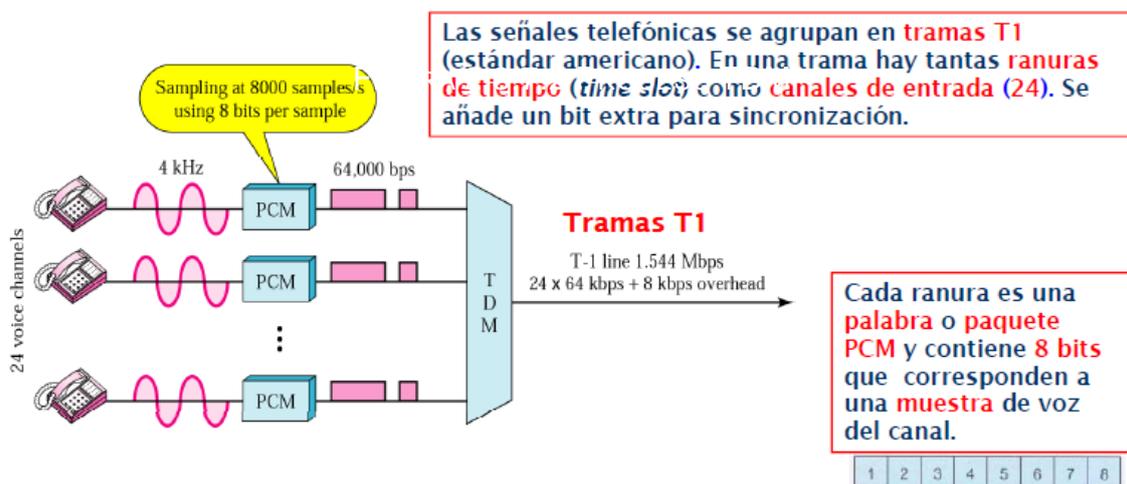


FIGURA 2.16: PROCESO TDM³¹

2.4.2. FDM (Multiplexación por división de frecuencia)

Muy utilizada generalmente en los sistemas de transmisión analógicos de radio y TV y en la transmisión de voz del sistema telefónico analógico.

Para comunicaciones ópticas es posible utilizarla cuando el ancho de banda útil de la fibra exceda el ancho de banda requerido por las señales a transmitirse.

La forma de funcionamiento es la siguiente: a cada señal que se desee transmitir se debe asignar una determinada banda de frecuencia. De esta manera es posible transmitir simultáneamente varias señales por un mismo medio de transmisión. La banda de frecuencia ocupada por cada señal debe estar lo suficientemente separada como para no sobrelaparse con una adyacente, ya que en caso de que se produzca sobrelapamiento de señal en el lado del receptor no podrá ser recuperada.

Es decir la información que entra a un sistema FDM es analógica y permanece analógica durante toda su transmisión. Un ejemplo de FDM es la banda comercial de AM, que ocupa un espectro de frecuencias de 535 a 1605 kHz. Si se transmitiera el audio de cada estación con el espectro original de

³¹ www.slideshare.net/edisoncoimbra/44-multiplexacion-tdm-7031366

frecuencias, sería imposible separar una estación de las demás. En lugar de ello, cada estación modula por amplitud una frecuencia distinta de portadora, y produce una señal de doble banda lateral de 10KHz. En la siguiente Figura 2.17 se muestra el ancho de banda común en función de la frecuencia.

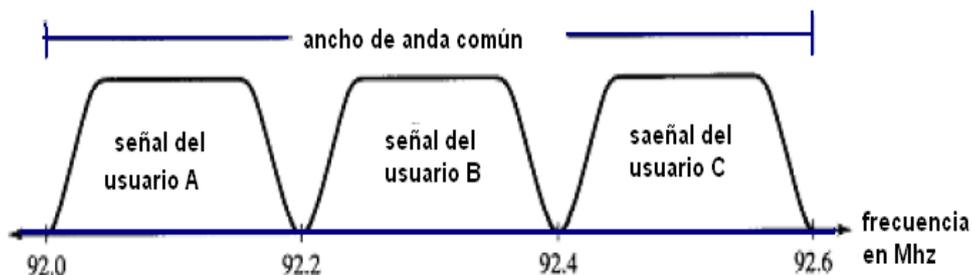


FIGURA 2.17: ESQUEMA FDM³²

2.4.3. CDMA (Multiplexación por división de código)

Se basa en la capacidad de un mismo vínculo de radio para comunicaciones codificadas de modo que solo el originador y el destinatario de cada una de ellas pueden descifrarla, y al mismo tiempo los demás oyentes perciban a la misma comunicación como interferencia, que mientras no sea muy preponderante será perfectamente tolerable, en la Figura 2.18 se muestra un esquema de CDMA.

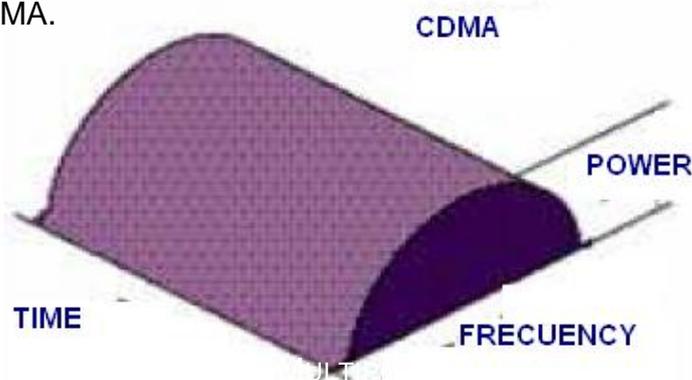


FIGURA 2.18: MULTIPLEXACIÓN CDMA³³

2.4.4. MULTIPLEXACIÓN WDM (Multiplexación por división de onda)

WDM permite que diferentes señales compartan un mismo y único medio de transmisión de alta capacidad (FO), lo cual se logra haciendo que cada

³² Fuente Personal

³³ www.slideshare.net/edisoncoimbra/44-multiplexacion-tdm-7031366

señal transmita utilizando diferentes longitudes de onda. Los sistemas WDM actuales pueden manejar hasta 320 señales, permitiendo expandir un sistema de fibra básico de 40 Gbps a una capacidad total teórica de 12.8 Tbps.

Las ventajas de WDM son las siguientes:

- Maximiza la capacidad de la Fibra óptica existente
- Disminuye la cantidad de fibra óptica nueva que se necesita añadir.
- Permite un crecimiento gradual de la capacidad a medida que se vaya demandando.
- Transmite una variedad de señales ópticas diferentes.

De igual manera tenemos las Desventajas de WDM:

- Los componentes ópticos son más caros debido a la necesidad de utilizar filtros ópticos y láseres que soporten una tolerancia a longitudes de onda más pequeñas.
- WDM y TDM pueden trabajar en conjunto para optimizar la capacidad de la fibra óptica.
- TDM genera los flujos de bits de la forma más rápida, dicho flujo en conjunto con otros flujos multiplexados entran a un sistema WDM donde son nuevamente multiplexados a longitudes de onda asignadas para ser transportadas sobre una sola fibra óptica.
- Cada proceso incrementa el total de la capacidad del enlace.

2.5. ARQUITECTURAS DE ACCESO CON REDES DE FIBRA OPTICA

El acceso con fibra óptica es una de las tecnologías más importantes en las redes de nueva generación, ya que permite incrementar el ancho de banda de la capa de acceso con un desenvolvimiento sustentable.

Una red de acceso con fibra óptica, comúnmente llamada OAN (Optical Acces Network) tiene varios modelos de aplicación:

2.5.1. TIPOS DE REDES FTTX (Fiber to the X)

Las redes FTTHx, es una expresión genérica para asignar arquitecturas de redes de transmisión de alto desempeño sobre la tecnología óptica. Son redes totalmente pasivas también designadas por las siglas PON (Passive Optical Network), donde la Oficina Central (Central Office), transmite la señal a los equipos OLT (Optical Line Terminal) que se encuentran localizados donde los clientes. Se puede ver en la Figura 2.19 tenemos la estructura de los sistemas FTTx.

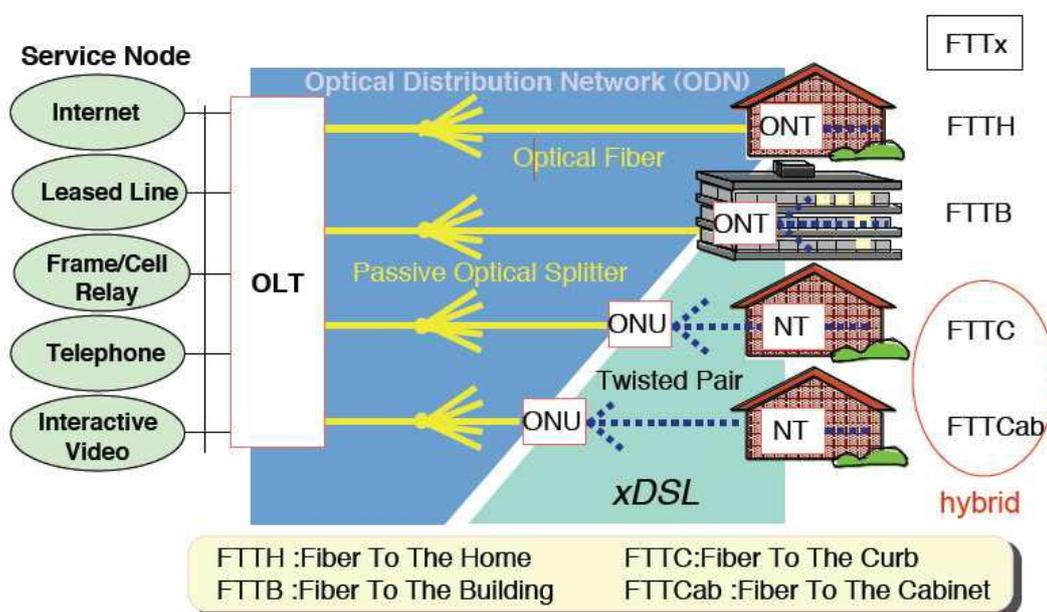


FIGURA 2.19: ESQUEMA BÁSICO DE UNA RED FTTX³⁴

2.5.1.1. Red FTTB (Fibra hasta el edificio)

También conocida en sus siglas en inglés Fiber to the Building, es una arquitectura donde la red de bajada termina en la entrada de un edificio (comercial o residencial). La fibra óptica termina antes de comenzar el espacio habitable, la ruta de acceso puede continuar con otros medios (cobre o wireless).

³⁴ www.slideshare.net/edisoncoimbra/44-tdm

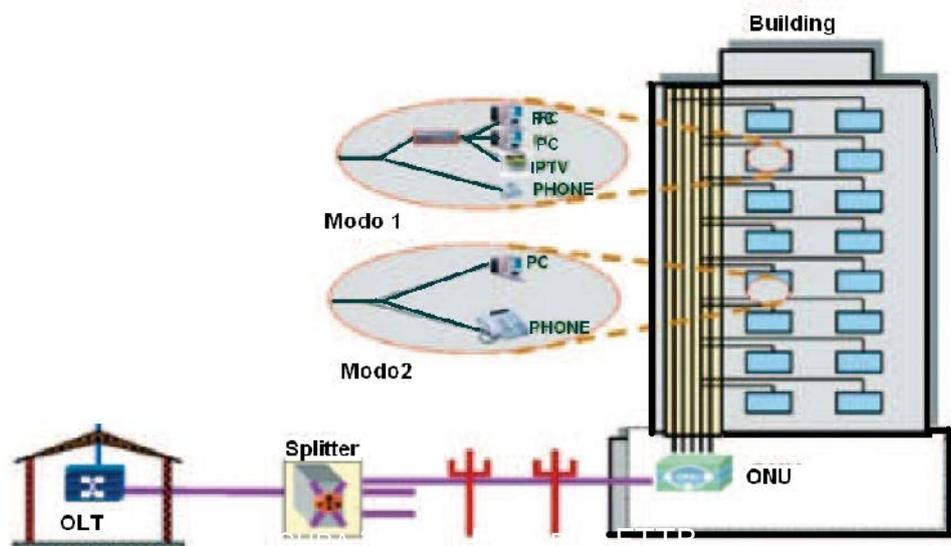


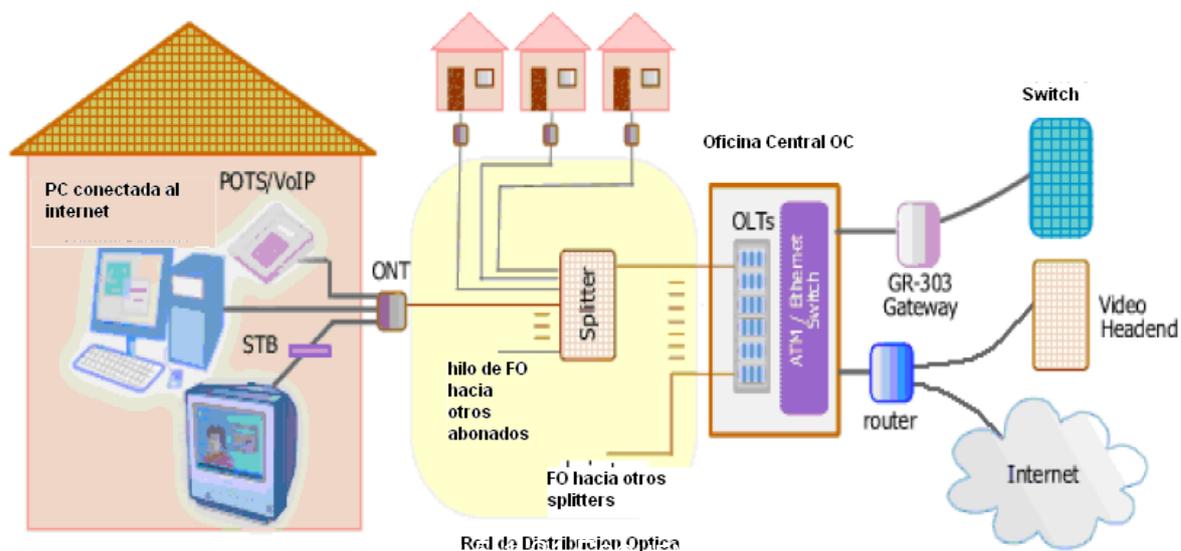
FIGURA 2.20: ESQUEMA FTTB³⁵

En la Figura 2.20 se puede verificar que la señal de la FO llega al armario de telecomunicaciones del edificio, donde se realiza la conversión de la señal óptica a eléctrica, de aquí llegaría al abonado ya sea por medio de cobre o wireless. El ancho de banda que proporciona esta arquitectura es de 50 a 100 Mbps por suscriptor.

2.5.1.2. RED FTTH (Fibra hasta la casa)

FTTH (Fiber to the Home), propone utilizar fibra óptica hasta el usuario final empleando la multiplexación por división de onda (WDM). La interconexión entre el abonado y el nodo de distribución puede realizarse con una topología de estrella, lo cual provee una o dos fibras dedicadas a cada usuario, consiguiendo de esta manera dar un mayor ancho de banda a cada usuario. Las arquitecturas basadas en divisores ópticos se definen como un sistema que no tiene elementos electrónicos activos en el bucle y cuyo elemento principal es el dispositivo divisor óptico (splitter) que dependiendo de la dirección del haz de luz, divide el haz entrante y lo distribuye hacia múltiples fibras o lo combina dentro de una misma fibra. En la siguiente Figura 2.21, la señal óptica llega al interior de la residencia mediante el conversor óptico (ONT), ubicado próximo de la computadora, tv, teléfono del abonado a través de un solo hilo de fibra óptica.

³⁵ Fuente Personal

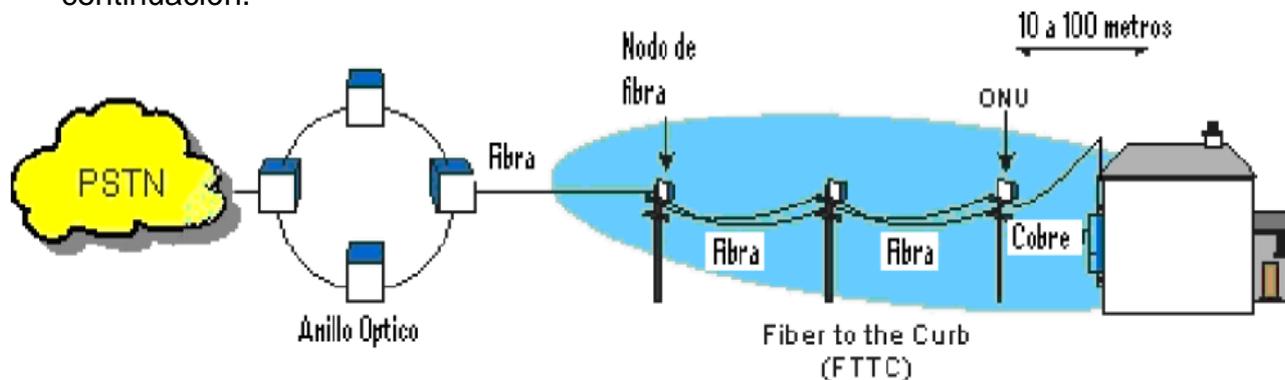
FIGURA 2.21: ESQUEMA FTTH³⁶

2.5.1.3. RED FTTC (Fibra hasta la acera)

La tecnología FTTC (Fiber to the Curb), sirve para interconectar edificios a través de la fibra óptica. El usuario se conecta con la unidad óptica situada en el centro de distribución del edificio (Optical Network Unit) con cable coaxial o par trenzado. Al ser FTTC un sistema en banda base, el mecanismo de multiplexado para repartir la información a los usuarios se realiza con técnicas TDM.

El multiplexado de la unidad óptica puede realizarse mediante un conmutador ATM que maneja anchos de banda del bucle de abonado cercanos a los 50Mbps sobre cable coaxial o par trenzado.

El esquema FTTC se lo puede ver más detallado en la Figura 2.22, situada a continuación.

FIGURA 2.22: ESQUEMA FTTC³⁷

³⁶ FTTH, <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf?sequence=1>

2.5.1.4. Red FTTN (Fibra hasta el nodo)

La tecnología FTTN (Fiber to the Node), va desde las instalaciones del operador hasta un punto alejado del abonado. La ruta de acceso entre el punto intermedio y el abonado no es la fibra óptica, sino otro medio de transmisión como el cobre.

Esto incluye aquellos casos en los que la trayectoria de la fibra óptica termina en el denominado punto de distribución “intermedio”, en la red de acceso local que sirve a un conjunto de viviendas y/o edificios, tal como se muestra en la Figura 2.23

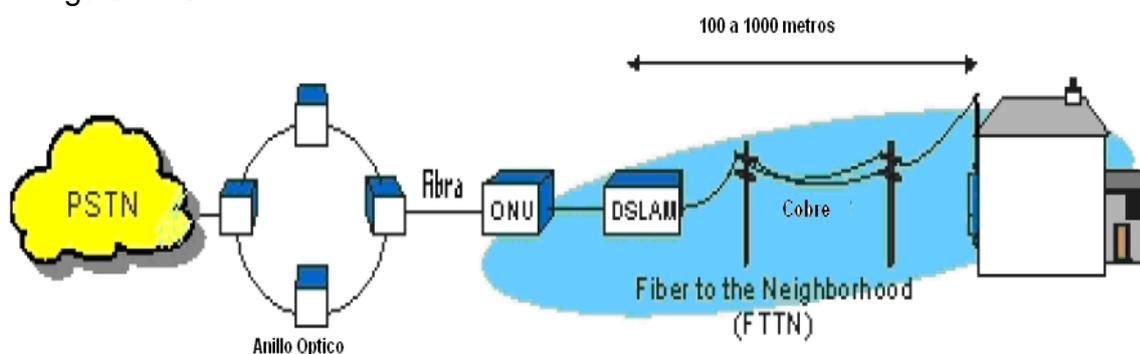


FIGURA 2.23: ESQUEMA FTTN³⁸

2.6. TECNOLOGIAS DE LA FAMILIA xPON

Una Red Óptica Pasiva (Optical Network Passive/PON), permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente, introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos (divisores ópticos pasivos) para guiar el tráfico por toda la red.

2.6.1. VENTAJAS DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS

Las ventajas de Redes Ópticas Pasivas son las detalladas a continuación:

- PON es una tecnología punto-multipunto donde todas las transmisiones en una red PON se realizan entre la OLT³⁹

³⁷ http://www.tfosolutions.com/news/pdf/dosier_ftth.pdf

³⁸ http://www.tfosolutions.com/news/pdf/dosier_ftth.pdf

(Optical Line Terminal), localizada en el nodo óptico u oficina central (OC) y la ONU (Optical Network Unit). La unidad ONU se ubica en el domicilio del usuario configurando con un sistema de tipo FTTH.

- Las redes ópticas pasivas tienen una topología estrella para maximizar su cobertura con el menor número de divisores de red (splitter), es por eso que se reducen las pérdidas en potencia óptica, esto es importante para una red de distribución pasiva que no tiene amplificadores o regeneradores.
- Todas las topologías PON utilizan fibra óptica monomodo para el despliegue.
- En el canal descendente una PON es una red punto-multipunto.
- El equipo OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se reparte a los usuarios mediante multiplicación TDM a las ONUs.
- Finalmente, para optimizar las transmisiones tanto ascendentes como descendentes y evitar que se interfieran se utiliza sobre la fibra monomodo la técnica de multiplicación WDM.
- La mayoría de las implementaciones trabajan en dos longitudes de onda, una para transmisión en sentido descendente y otra para la transmisión en sentido ascendente.
- La multiplicación en tiempo permite que en distintos instantes temporales determinados por el ordenador de cabecera OLT, y equipos ONU puedan enviar su trama en el canal ascendente. De manera equivalente el equipo de cabecera OLT también debe utilizar TDM para enviar en diferentes slots temporales la información del canal descendente que selectivamente deberán recibir los equipos de usuario ONU.

³⁹ Es el elemento activo situado en la central telefónica

- Mejora la calidad de servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan al ruido e interferencia.
- Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.

2.6.2. ESTRUCTURA DE UNA RED PON

Una red óptica pasiva está formada básicamente por un módulo OLT (Optical Line Terminal – Unidad Óptica Terminal de Línea) que se encuentra en el nodo central. Los OLT tienen una capacidad para dar servicio a miles de consumidores conectados al servicio que se desee prestar. A más de lo mencionado anteriormente agrega el tráfico proveniente de los clientes y lo encamina hacia la red de agregación, quizá una de las funciones más importantes que desempeña el OLT es de hacer las veces de enrutador para ofrecer todos los servicios demandados por el usuario.

El divisor óptico o splitter se trata de un pequeño divisor pasivo que divide la señal de la luz que tiene una entrada y varias salidas, permitiendo que el tráfico de bajada de la OLT pueda ser distribuido entre los distintos usuarios. Puede haber una serie de divisores pasivos de $1 \times N$ (donde $N=2, 4, 8, 16, 32$ o 64) en distintos emplazamientos hasta finalmente alcanzar los clientes. Por tanto, se trata de una estructura punto a multipunto, algunas veces descrita como una topología en árbol. El tráfico de subida desde las ONT hasta las OLT que es distribuido en una longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión descendente, es agregado por la misma unidad divisora pasiva, que hace las funciones de combinado en la otra dirección del tráfico. Esto permite que el tráfico sea recolectado desde la OLT sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico de bajada.

Varias ONTs (Optical Terminal Unit - Unidad Terminal Óptica) que están ubicadas en el domicilio del usuario. Las ONT deben estar fabricadas de tal

manera que soporten las peores condiciones ambientales y generalmente vienen equipados con baterías.

La transmisión se realiza entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor, su función depende de si el canal es ascendente o descendente. En la siguiente grafica de la Figura 2.24 vemos claramente la estructura de una PON.

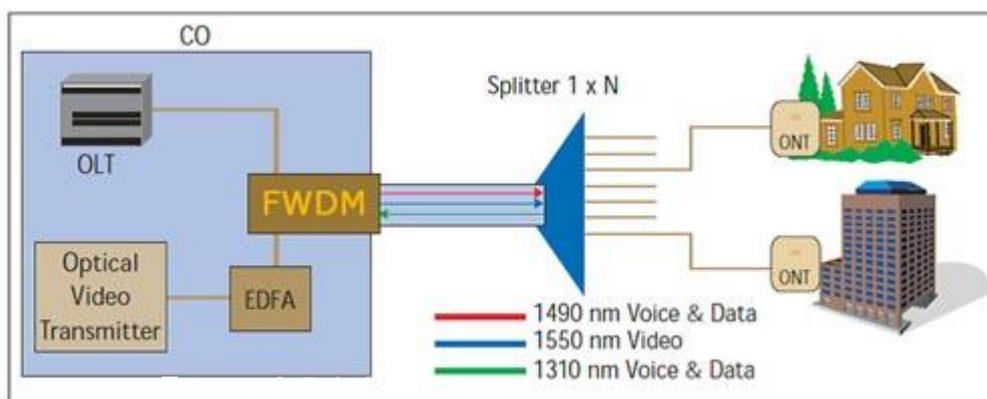


FIGURA 2.24: COMPONENTES DE UNA RED PON⁴⁰

2.6.2.1. FRECUENCIA CANAL DESCENDENTE O DOWNSTREAM

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

2.6.2.2. FRECUENCIA CANAL ASCENDENTE O UPSTREAM

En canal ascendente una PON es una red punto a punto, donde las diferentes ONUs transmiten contenidos a la OLT; por este motivo también es necesario el uso de TDM para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes, controlados por la unidad OLT.

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal ascendente y descendente se usan dos longitudes de onda diferentes utilizando técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing). Al utilizar

⁴⁰ <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf?sequence=1>

longitudes diferentes es necesario el uso de filtros ópticos para separarlas después.

Finalmente, las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central, de tal manera que, un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor de la ráfaga de contenidos para no saturar su fotodiodo receptor, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia mayor.

2.6.3. REDES FAMILIA xPON

Las redes PON, constituyen una familia de redes (xPON), cuyo origen se encuentra en una primera red que fue definida por la FSAN, grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones, con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas. Así pues, a continuación se van a describir tanto las distintas arquitecturas de las redes PON existentes, como todas sus características.

Las redes ópticas pasivas tienen una topología de estrella para maximizar su cobertura con el menor número de divisores de red (splitters), es por eso que reducen sus pérdidas en potencia óptica, esto es importante para una red de distribución pasiva que no tiene amplificadores o regeneradores.

2.6.4. TIPOS REDES PON

Los tipos de redes PON son las siguientes:

2.6.4.1. APON (ATM Passive Optical Networks)

Las APON 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), el cual utiliza el estándar ATM como protocolo de señalización de la capa 2 (Enlace de Datos). Los sistemas APON usan el protocolo ATM como

portador. APON se adecua a distintas arquitecturas de redes de acceso, como, FTTx. La transmisión de datos en el canal de bajada se da por una corriente de ráfagas de celdas ATM de 53 bytes cada una con 3 bytes para la identificación del equipo generador ONU. Estas ráfagas van a una tasa de bits de 155.52 Mbps que se reparten entre el número de usuarios que estén conectados al nodo óptico, es decir al número de ONU's existentes.

En el canal descendente, a la trama de celdas ATM se introducen dos celdas que indican el destinatario de cada celda y otra más para información y mantenimiento. Las APON pueden funcionar en modo simétrico o asimétrico. La versión simétrica proporciona 155 Mbps tanto en el canal ascendente como descendente, mientras que la versión asimétrica dispone de 622 Mbps en el canal descendente y 155Mbps en ascendente.

En la Figura 2.25, se puede observar el esquema general de una APON.

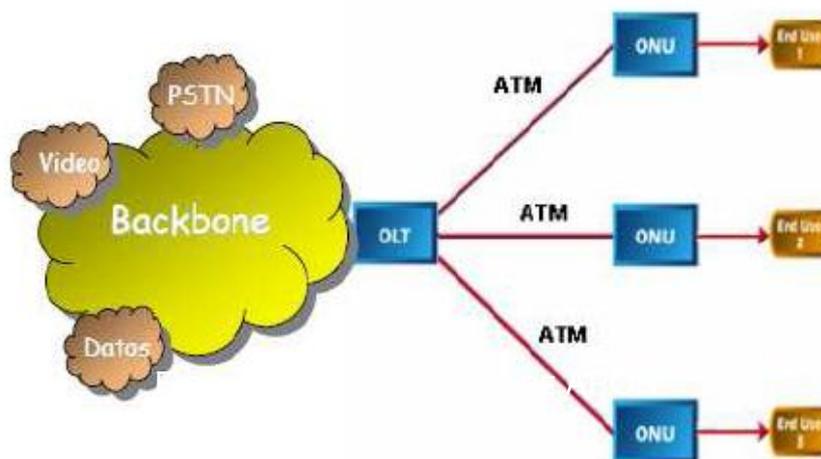


FIGURA 2.25: ESQUEMA DE APON⁴¹

2.6.4.2. BPON (Broadband Passive Optical Network)

Esta tecnología de las redes BPON 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 un mayor ancho de banda, entre otras mejoras.

Aparte de ser una mejora de APON también basa su arquitectura en dicha tecnología. Broadband-PON (BPON) se define en varias revisiones al estándar

⁴¹ dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8498/7/T10525CAP2.pdf

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 de bajada es el mismo para el canal de subida (155 Mbps). Esta norma fue revisada un tiempo después para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y para permitir arquitecturas:

- Trafico asimétrico: canal descendente de 622 Mbps canal ascendente de 155 Mbps
 - Trafico simétrico: canal descendente y canal ascendente de 622 Mbps
- No obstante presentaban un coste elevado y limitaciones técnicas

En la Figura 2.26, se visualiza un esquema general de BPON.

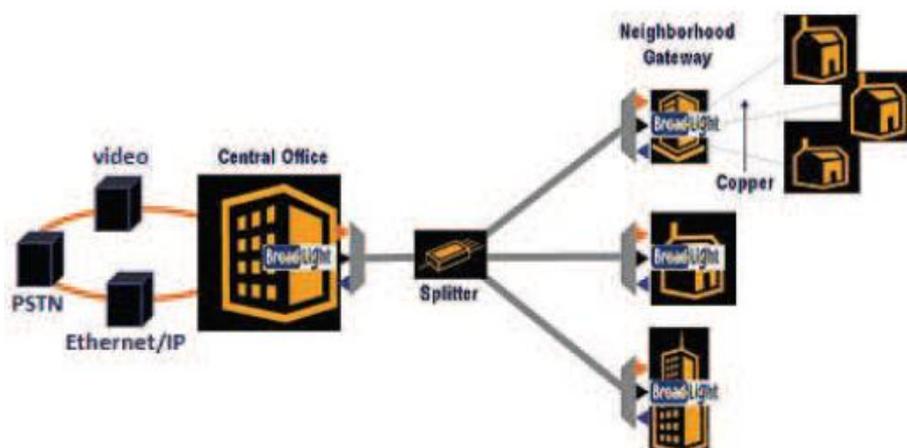


FIGURA 2.26: ESQUEMA BPON⁴²

Características de BPON:

- Para un tráfico asimétrico, velocidades de 622 Mbps en sentido descendente y 155 Mbps en sentido ascendente.
- Para un tráfico simétrico, una velocidad de 622 Mbps, tanto en sentido ascendente como descendente.
- Soporte distancias de hasta 20 km.
- Soporta un máximo de 32 niveles de spliteo.
- Para la transmisión descendente , emplea multiplexación WDM

⁴² dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8498/7/T10525CAP2.pdf

- Para la transmisión ascendente, emplea multiplicación TDM con tramas divididas en 36 time slots, donde cada ranura contiene una celda ATM.

2.6.4.3. EPON (Ethernet Passive Optical Networks)

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

En cuanto a la gestión y administración de la red, EPON se basa en el protocolo SNMP, tal como se muestra en la Figura 2.26.1, reduciendo la complejidad de los sistemas de gestión de otras tecnologías.

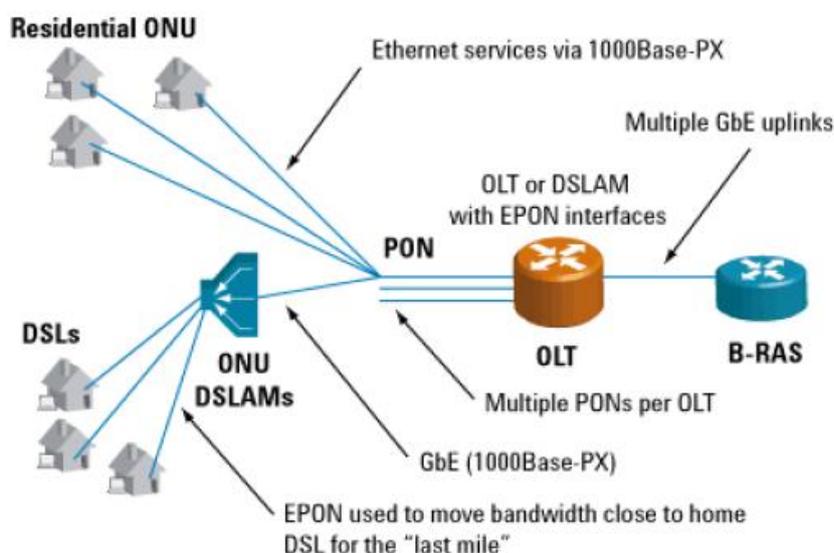


FIGURA 2.26.1: ESQUEMA EPON⁴³

A continuación vemos la Tabla comparativa 2.4 de las tecnologías xPON actuales:

⁴³ www.telnet-ri.es/.../acceso-gpon...redes.../pon-passive-optical-networ.

Donde se nota que GPON se antepone antes sus comunes APON, BPON y EPON, por sus características superiores.

	APON / BPON	GPON	EPON
Velocidad del canal de bajada	155 – 622 Mbps (108 – 454 Mbps)	622–1250-2500 Mbps (578-1160-2360 Mbps)	1250 Mbps (980 Mbps)
Velocidad del canal de subida	155 – 622 Mbps (108 – 454 Mbps)	155 – 622-1250 Mbps (144 – 578 - 1160 Mbps)	1250 Mbps (612,5 Mbps)
Eficiencia	82% en “downlink” 73% en “uplink” Max 32 usuarios / ONU	93% en “downlink” 93% en “uplink” Max 64 usuarios / ONU	98% en “downlink” 97% en “uplink” Max 32 usuarios /ONU
Tipo de laser Distancia	Clase B o C 20 / 25 Km.	Clase C 20 / 25 Km.	Clase B o C 20 / 25 Km.

Tabla 2.4: Cuadro comparativo de xPON⁴⁴

2.6.4.4. GPON (Gigabit Passive Optical Networks)

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

Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2,488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Esto comparado con las velocidades de 155 y 622 Mbps de las anteriores tecnologías deja ver un gran avance en cuanto a eficiencia y escalabilidad. Las velocidades más usadas por los administradores de equipos con arquitectura GPON usan velocidades de 2.488 Gbps para el canal de bajada y de 1.244 Gbps para el canal de subida, compartidos por cada 64 abonados sobre distancias de hasta 20 km.

⁴⁴ es.wikipedia.org/wiki/xPON

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 OAM⁴⁵ avanzado, logrando así una gran gestión y mantenimiento desde las centrales hasta las acometidas.

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

2.6.4.4.1. CARACTERÍSTICAS GPON

A continuación se enumera las características más relevantes en GPON:

- La principal característica a destacar de las redes GPON tiene que ver con el despliegue de una red totalmente pasiva, es decir, el uso de los equipos que funcionan de forma independiente a un servicio eléctrico continuo en su alimentación, evitando la necesidad de conectar los equipos instalados en la red de distribución óptica a la red eléctrica, lo que reduce de manera significativa los costes de implementación.
- El estándar GPON es una solución de acceso de alta capacidad para los servicios triple play (voz, datos y video). Tal vez una de las características más importantes sea el alcance que puedan soportar, máximo de 20 km, aunque el estándar se ha preparado para que pueda alcanzar los 60 km.

⁴⁵ OAM.- Operaciones, administración y gestión o de las operaciones, administración y mantenimiento de cualquier sistema.

- Posee un soporte de varias velocidades con el mismo protocolo, incluyendo velocidades simétricas de 622 Mbps, 1.235 Gbps, y asimétricas de 2.5 Gbps en el enlace descendente y 1.5 Gbps en el ascendente.
- Otra de sus características es la abundancia de protocolos y servicios preparados para la seguridad de datos. El método de encapsulación que emplea GPON es GEM (GPON Encapsulation Method), que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 ms . GEM se basa en el estándar GFP (Generic Framing Procedure) del ITU-T G.7041, con modificaciones menores para optimizarla para las tecnologías PON. GPON de este modo, no solo ofrece mayor ancho de banda que sus tecnologías predecesoras, además es mucho más eficiente y permite a los operadores continuar ofreciendo sus servicios tradicionales sin tener que cambiar los equipos instalados en las instalaciones de sus clientes. Además, GPON implementa capacidades de OAM (Operation Administration and Maintenance) avanzadas, ofreciendo una potente gestión del servicio extremo a extremo.
- Entre otras funcionalidades incorporadas cabe destacar: monitorización de la tasa de error, alarmas y eventos, descubrimiento y ranking automático, etc.

2.6.4.4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA

A continuación citamos varias ventajas y desventajas de GPON:

- La red GPON diseñada en base a la tecnología FTTH presenta mayores virtudes ya que se cuenta con un despliegue total de fibra desde la oficina central hasta el usuario final, lo que obliga a un constante monitoreo de la red debido a la susceptibilidad a fallas del enlace. Tal vez la principal desventaja de esta infraestructura es el hecho de que al usar elementos ópticos pasivos la localización de fallas se torna difícil.

- En GPON se debe anotar que su rápida adaptabilidad y funcionabilidad se debe a un proceso de evolución de sus antecesores como APON, BPON, y EPON, que en síntesis combina varias características y su mejora. Parte de ello tiene que ver con la eficiencia que se alcanza a utilizar un procedimiento aplicado en APON en la determinación de la distancia de las distintas terminales de la red, a fin de ajustar la asignación de los ciclos de transmisión y maximizar la operación del sistema.
- En GPON, el retardo máximo de la señal de transferencia es de 1.5 ms.
- Los rangos de los splitter que se utilizan para dividir las señales en GPON son dados por las distintas capas, así por ejemplo para la capa física se utilizan splitter de hasta 1:64 y en capa de transmisión de convergencia de hasta 1:128.
- En la Recomendación G.984.1 se describen las características generales de un sistema PON: su arquitectura, velocidades binarias, alcance retardo de transferencia de señal, protección velocidades independientes de protección y seguridad.
- En la Recomendación G.984.2 se describe una red flexible de acceso en fibra óptica capaz de soportar los requisitos de banda ancha en los servicios a empresas y usuarios residenciales.
- Las técnicas GPON permiten mantener la red de distribución óptica, el plano de longitud de onda y los principios de diseño de la red de servicio integral consignados en la Recomendaciones G.983.

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

- Soporte global multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET SDH), Ethernet 10/100BaseT, ATM, Frame Relay, etc.
- La implementación de la fibra óptica en servicios de datos y video de banda ancha permite alcanzar una distancia física de 20 km, presenta ligeras atenuaciones frente a las estructuras montadas en la

actualidad de cobre o que representa una ventaja al momento de seleccionarla.

- Soporta varias tasas de transferencia, incluyendo tráfico simétrico de 622 Mbps, tráfico simétrico de 1.24416 Gbps y asimétrico de 2.48832 Gbps en sentido descendente y de 1.24416 Gbps en sentido ascendente.
- Importantes facilidades de gestión, operación y mantenimiento, desde la cabecera OLT al equipamiento del usuario ONU.
- Seguridad a nivel de protocolo (encriptación) debido a la naturaleza multicast del protocolo.
- GEM es un método de encapsulación de datos sobre GPON y permite transportar cualquier tipo de servicio basado en paquetes. Con GEM, las tramas Ethernet son fragmentadas permitiendo el uso del tramado periódico constante, lo que posibilita que ciertos servicios con requerimientos estrictos sean transportados en el momento correcto. Además las tramas Ethernet pueden ser reensambladas después de la recepción.

2.6.5. REQUERIMIENTOS DE UNA RED GPON

Hay que tener muy en cuenta a la hora del diseño de las redes GPON los requisitos de los clientes. No tiene sentido el utilizar una misma GPON para servir a 15 clientes Gigabit Ethernet debido a que el medio es compartido y por tanto será imposible garantizarles y ofrecerles dichas velocidades. La filosofía que se debe conseguir es la de re-aprovechar la fibra de clientes GPON que demanden velocidad de 10 y 100 Mbps. Para lo cual, a continuación se revisará algunos parámetros de GPON que se debe cumplir en la capa Physical Medium Dependent (PMD).

2.6.5.1. VELOCIDAD NOMINAL DE LA SEÑAL

La velocidad nominal de la señal en la línea de transmisión debe ser de 8K.

El sistema tendrá las siguientes velocidades nominales de línea especificadas en la Tabla 2.5 a continuación:

	SENTIDO DESCENDENTE	SENTIDO ASCENDENTE
VELOCIDAD 1	1244 Mbps	155 Mbps
VELOCIDAD 2	1244 Mbps	622 Mbps
VELOCIDAD 3	1244 Mbps	1244 Mbps
VELOCIDAD 4	2048 Mbps	155 Mbps
VELOCIDAD 5	2048 Mbps	622 Mbps
VELOCIDAD 6	2048 Mbps	1244 Mbps
VELOCIDAD 7	2048 Mbps	2048 Mbps

Tabla 2.5: Velocidades de transmisión en GPON⁴⁶

Los valores de los parámetros especificados corresponden al caso más desfavorable en condiciones normales de funcionamiento (temperatura, humedad), incluido los efectos del envejecimiento y un BER mejor que 1×10^{-10} para el caso extremo de condiciones de atenuación y dispersión del trayecto óptico.

2.6.5.2. CÓDIGO DE LÍNEA

Tanto en sentido ascendente como descendente se utiliza codificación sin retorno a cero (NRZ, Non Return to Zero). El convenio utilizado para el nivel lógico óptico es el siguiente:

- Nivel alto de emisión de luz: 1 Binario
- Nivel bajo de emisión de luz: 0 Binario

2.6.5.3. LONGITUD DE ONDA DE TRABAJO

Son los siguientes:

- El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de una sola fibra será de 1480 – 1500 nm.

⁴⁶ deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1115pub.pdf - España

- El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido ascendente en los sistemas de una sola fibra será de 1260 – 1360 nm.

2.6.5.4. INTERVALO DE ATENUACIÓN

Se especifican 3 rangos de atenuación, definidas como clases:

- Clase A: 5-20 dB
- Clase B: 10-25dB
- Clase C: 15-30dB

Para las especificaciones de atenuación se han supuesto valores del caso más desfavorable, incluyendo pérdidas debido a los empalmes, conectores, atenuadores ópticos, u otros dispositivos ópticos pasivos, y todo margen relativo al cable.

2.6.5.5. SENSIBILIDAD MÍNIMA

Se define como el valor mínimo aceptable de la potencia media recibida para obtener un BER de 10^{-10} .

2.6.5.6. SOBRECARGA MÁXIMA

Es el valor máximo aceptable de la potencia media recibida para un BER de 10^{-10} . El receptor debe tener cierta robustez contra el aumento del nivel de potencia óptica debido al arranque o a posibles colisiones durante la determinación de distancia, fase en la que no puede garantizarse un BER de 10^{-10}

2.6.5.7. ALCANCE MÁXIMO LÓGICO

Se define como la longitud máxima que se puede alcanzar en un sistema de transmisión determinado. Se mide en km y está limitado a cuestiones relacionadas con la capa TC y la implementación.

2.6.5.8. ALCANCE MÁXIMO LÓGICO DIFERENCIAL

Es la máxima diferencia de alcance lógico entre todas las ONU, se mide en km y no está limitado por los parámetros PDM⁴⁷ sino por la capa TC y las cuestiones de implementación.

2.6.5.9. PÉRDIDA DEL TRAYECTO ÓPTICO DIFERENCIAL

Se define como la diferencia de pérdida del trayecto óptico, entre la pérdida de trayecto óptico más alta y la más baja para una misma ODN. La máxima pérdida del trayecto óptico diferencial debe ser de 15dB.

2.6.5.10. CALIDAD MEDIA DE TRANSMISIÓN

La calidad media de transmisión debe tener una tasa muy baja de errores de bits inferior a 10^{-9} , a través de todo el sistema PON. Un objetivo de tasa de error requerido para componentes locales debe ser mejor que 10^{-10}

2.6.6. CONFIGURACIÓN DE UNA RED GPON

La configuración del sistema GPON consta de una OLT, varias ONUs, un divisor óptico y fibra óptica. La fibra óptica conectada a la OLT se ramifica en el divisor óptico en hasta 64 fibras, conectándose dichas fibras a las ONUs.

En la capa TC de GPON, se define que el alcance máximo es de 60 km, mientras que la máxima diferencia de distancia de la fibra entre la ONU más lejana y la más cercana debe ser 20 km.

Esta diferencia está limitada para que el tamaño de la ventana de determinación de distancia no sea superior a lo permitido por el QoS (calidad de servicio). La Figura 2.27, mostrada a continuación se tiene los componentes para la configuración de una GPON.

⁴⁷PDM .-Multiplexación por División de Polarización

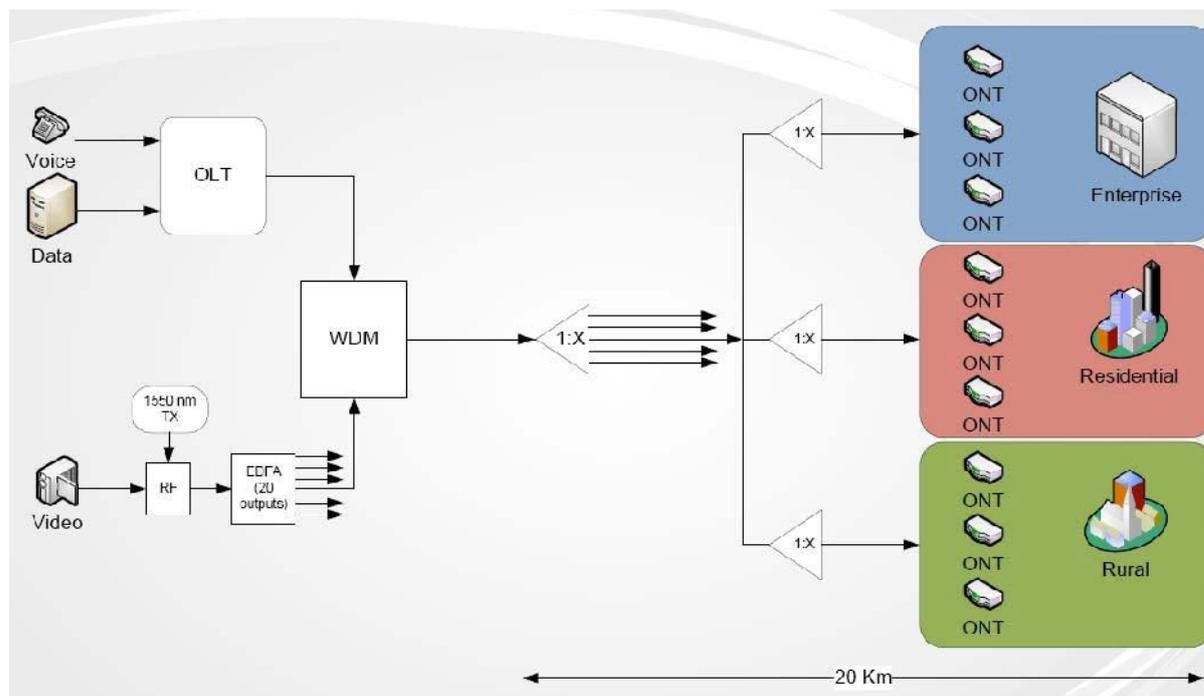


FIGURA 2.27: CONFIGURACIÓN DE GPON⁴⁸

2.6.6.1. BLOQUE OLT (Terminación de Línea Óptica)

Optical Line Terminal (OLT), es el nombre que recibe el equipo en donde acaba el enlace de la fibra óptica. Físicamente se encuentra situado en el nodo central y este nodo hace de interfaz entre la red de acceso y la red de concentración. El terminal de línea (OLT) es un equipo de transmisión que adapta la interfaz de los conmutadores o servidores al medio portador de la red de acceso.

La OLT se conecta a la red mediante interfaces normalizadas. En el lado de la distribución, presenta interfaces de acceso ópticas de conformidad con esta y otras normas GPON, en términos de velocidad binaria, balance de potencia, fluctuación de fase etc.

La OLT consta de 3 partes principales:

- Función de interfaz de puerto de servicio.
- Función de conexión cruzada
- Interfaz de red de distribución óptica (ODN, Optical Distribution Network).

⁴⁸ riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf?

Funciones y características del OLT

Las funciones más relevantes son:

- Provee una interfaz de multiservicios al core de la WAN
- Provee una interfaz Gigabit Ethernet a la PON
- Switching y Routing en Capa 2 y Capa 3.
- Calidad de Servicio (QoS) y Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA).
- Tráfico agregado.

Los bloques funcionales OLT son 4, mismos que se detallan en la Figura 2.28.

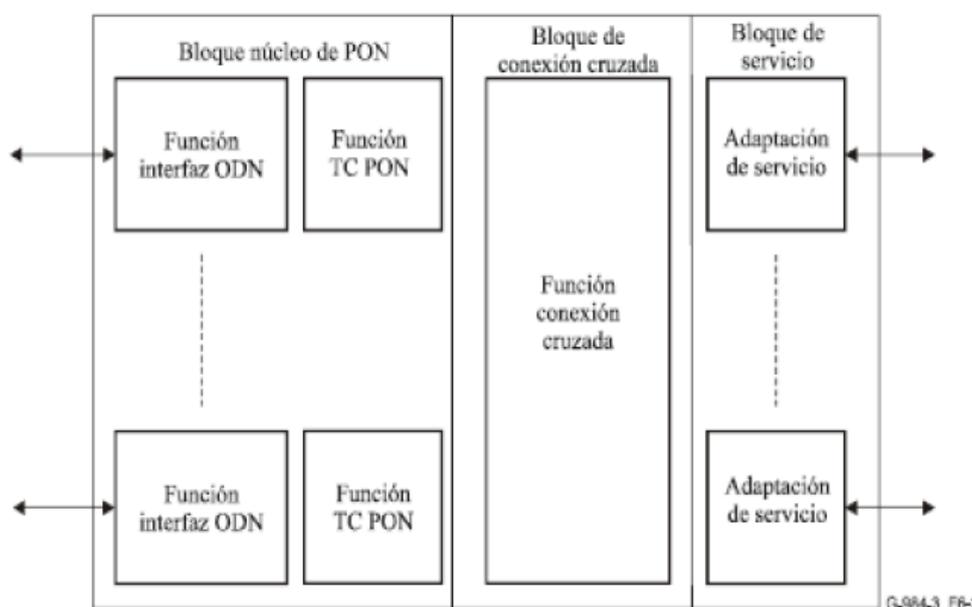


FIGURA 2.28: BLOQUES FUNCIONALES OLT⁴⁹

2.6.6.2. BLOQUE DE NÚCLEO PON

Este bloque consta de dos partes que representan las siguientes funciones: la función de interfaz ODN⁵⁰ y la función de TC PON que incluye el entramado, el control de acceso al medio, la operación, administración y mantenimiento, la alineación de las unidades de datos de protocolo (PDU, Protocol Data Unit) para la función de conexión cruzada, y la gestión de la ONU. Cada TC PON selecciona un modo de entre ATM o GEM.

⁴⁹ es.wikipedia.org/wiki/GPON

⁵⁰ ODN, Optical Distribution Network, Red de distribución óptica, brinda la comunicación entre el OLT y el usuario y viceversa.

2.6.6.3. BLOQUE DE CONEXIÓN CRUZADA

El bloque de conexión cruzada proporciona un trayecto de comunicación entre el bloque de núcleo PON y el bloque de servicio. Las tecnologías para la conexión de este trayecto están en función de los servicios, la arquitectura interna de la OLT y de otros factores. La OLT proporciona la funcionalidad de conexión cruzada de conformidad con el modo seleccionado, ya sean GEM o ATM.

2.6.6.4 BLOQUE DE SERVICIO

Este bloque proporciona la traducción entre las interfaces de servicio y la interfaz de trama TC⁵¹ de la sección PON.

2.6.6.4. BLOQUE ONU (Unidad de red Óptica)

Los bloques constitutivos funcionales de la ONU GPON, son en lo esencial similares a los bloques constitutivos funcionales de la OLT. Puesto que la ONU funciona con una única interfaz PON (o un máximo de dos interfaces con fines de protección), puede omitirse la función de conexión cruzada. Cada TC PON selecciona un modo entre ATM o GEM.

2.6.6.5. BLOQUE ODN (Red de Distribución Óptica)

El ODN, conecta una OLT y una o más ONUs mediante un dispositivo óptico pasivo. Cuando la señal es transmitida desde la OLT a una o varias ONU, teniendo la opción de que estos sentidos se restablezcan en la misma fibra óptica e iguales componentes en modo dúplex/dúplex o a través de distintos elementos o fibras ópticas dedicadas en modo simplex.

2.6.7. CUADRO COMPARATIVO TECNOLOGÍA PON

En la siguiente Tabla 2.6 se resume las siguientes características de las tecnologías PON.

⁵¹ TC, *Transmission Convergence, Convergencia de Transmisión, expone los formatos de trama*

Tecnología	Estándares	Tipo de trama	Divisiones por fibra	Velocidad de Subida	Velocidad de bajada	Alcance
Ethernet FTTH	IEEE.802.3	Ethernet	1	10 Gbps	10 Gbps	10 Km
APON	ITU-T G.983.1	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps	20 Km
BPON	ITU-T G.983.x	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps	20 Km
EPON	IEEE 802.3.ah	Ethernet	32	1.2 Gbps	1.2 Gbps	20 Km
GEAPON²	IEEE 802.3.ah	Ethernet	32	1.25 Mbps	2.5 Gbps	20 Km
GPON	ITU-T G.984.x	ATM GFP	32 64	622 Mbps 622 Mbps	1.2 Gbps 2.5 Gbps	20 Km

Tabla 2.6: Cuadro comparativo tecnologías PON⁵²

2.6.8. CALIDAD DE SERVICIO QOS

La calidad de servicio (QoS o Quality Of Service), se define como la capacidad que tiene un sistema de asegurar, con un grado de fiabilidad preestablecido, que se cumplan los requisitos de tráfico, en términos de perfil y ancho de banda, para un flujo de información dado.

Los parámetros de calidad de servicio de una red son:

- Caudal o ancho de banda
- Pérdida de paquetes
- Retardo total
- Variabilidad del retardo o Jitter

Donde el operador de telecomunicaciones debe cumplir lo que acuerde el contrato con el usuario (SLA, Service Level Agreement o Acuerdo de Nivel de Servicio) respecto a la calidad de servicio, en los servicios ofrecidos, y para ello debe asegurarse que la red de comunicaciones y en especial la red de acceso garanticen el nivel contratado.

⁵² es.scribd.com/doc/45296494/Redes-Pon-Jorge-Rivera

2.7. REDES HFC (Híbridas Fibra Óptica Coaxial)

Una red HFC es una red de telecomunicaciones por cable que combina la fibra óptica y el cable coaxial. Se compone básicamente de cuatro partes claramente diferenciadas a continuación y mostradas en la Figura 2.29:

- a. Cabecera,
- b. Red troncal,
- c. Red de distribución,
- d. Red de acometida de los abonados.

a. *La cabecera*, es el centro desde el que se gobierna todo el sistema. Su complejidad depende de los servicios que ha de prestar la red. Por ejemplo, para el servicio básico de distribución de señales unidireccionales de televisión (analógicas y digitales) dispone de una serie de equipos de recepción de televisión terrenal, vía satélite y de microondas, así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de producción. La cabecera es también la encargada de monitorear la red y supervisar su correcto funcionamiento.

b. *La red troncal*, suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios. Los nodos primarios alimentan a otros nodos (secundarios) mediante enlaces punto a punto o bien mediante anillos. En éstos nodos secundarios las señales ópticas se convierten a señales eléctricas y se distribuyen a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus de coaxial, la red de distribución.

Cada nodo sirve a unos pocos hogares lo cual permite emplear cascadas de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha como máximo. Con esto se consiguen muy buenos niveles de ruido y distorsión en el canal descendente (de la cabecera al abonado). La red de acometida salva el último tramo del recorrido de las señales descendentes, desde la última derivación hasta la base de conexión de abonado.

c. *La red de distribución*, y la de acometida a los abonados es lo que comúnmente se conoce como la red de última milla.

Las modernas redes de telecomunicaciones por cable híbridas fibra óptica-coaxial están preparadas para poder ofrecer un amplio abanico de aplicaciones y servicios a sus abonados. La mayoría de estos servicios requieren de la red la capacidad de establecer comunicaciones bidireccionales entre la cabecera y los equipos terminales de abonado, y por tanto exigen la existencia de un canal de comunicaciones para la vía ascendente (upload) o de retorno, del abonado a la cabecera.

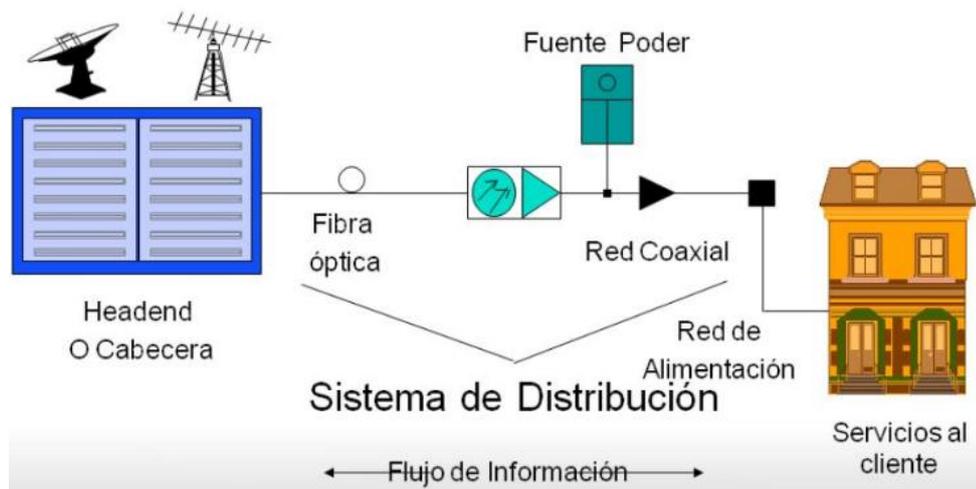


FIGURA 2.29: ESTRUCTURA DE HFC⁵³

- d.** Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías. Una señal generada por el equipo terminal de un abonado recorre la red de distribución en sentido ascendente, pasando por amplificadores bidireccionales, hasta llegar al nodo óptico. Allí convergen las señales de retorno de todos los abonados, que se convierten en señales ópticas en el láser de retorno, el cual las transmite hacia la cabecera.

2.7.1. ARQUITECTURA DE REFERENCIA DE UN RED HFC

La arquitectura de referencia de una Red-HFC (Hybrid Fiber Coaxial), que comienza por la Cabecera de red donde en última instancia se recoge, comprimen, multiplexan las distintas señales ofrecidas por el operador de cable. Una Cabecera de red puede atender millones de hogares.

⁵³ <http://www.slideshare.net/jarvey4/redes-hfc>

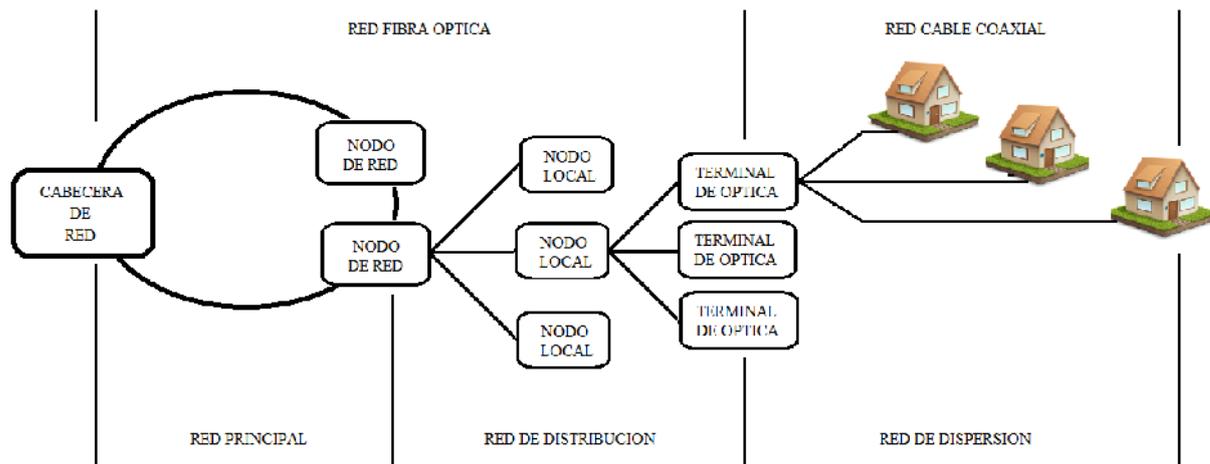


FIGURA 2.30: ARQUITECTURA DE REFERENCIA HFC⁵⁴

Mediante la Figura 2.30 se puede describir que:

La Cabecera de Red alimenta a varios Nodos de Red (NRs), enlazados con ella, típicamente y por razones de seguridad, vía anillos síncronos auto restaurables. Los Nodos de Red incluyen normalmente amplificadores y divisores ópticos.

- *Un Nodo de Red* puede atender hasta unos 800.000 hogares. A su vez, cada Nodo de Red alimenta a varios Nodos Locales (NLs), elementos intermedios de red que, básicamente, amplifican y distribuyen la señal.
- *Un Nodo Local* puede atender alrededor de 40.000 hogares. Como se aprecia en la Figura 6.7, el Terminal de Red Óptica (TRO) realiza la conversión electro-óptica, además de procesar la señal ascendente para su transmisión al Nodo Local.
- *Los usuarios* (hogares conectados) se enlazan al Terminal de Red Óptica a través de una red, de tipo coaxial, con topología árbol-rama (red de Dispersión). Esta red incluye un cable coaxial principal con múltiples ramificaciones, cada una de las cuales da servicio a los usuarios a través de nuevas ramificaciones.
- *Un Terminal de Red Óptica* puede atender a unos 400 usuarios (hogares conectados), aunque normalmente se establece un número inferior

⁵⁴ Fuente *personal*

(unos 250, por ejemplo) con objeto de facilitar la implementación del canal ascendente.

Los usuarios se conectan a la Red-HFC en el Punto de Terminación de Red (**PTR**), instalado en su domicilio, que constituye la frontera entre la infraestructura del operador de red y la red interior del usuario.

En cuanto a la capa que presta los datos, sobre la plataforma bidireccional, se tiene el CMTS (Cable Modem Termination System), ubicado en las cabeceras del sistema, de forma centralizada o distribuida. En la vivienda u hogar del receptor se tiene también el Cable Modem que se conecta al computador. Tanto el canal ascendente como el descendente son canales compartidos, pero en las redes HFC los canales sólo son compartidos por los usuarios de una misma zona, no entre zonas diferentes. En función de la densidad de usuarios del servicio de datos de cada zona el operador puede adoptar estrategias como las siguientes:

- En zonas con densidad baja se pueden agrupar varias en un mismo canal compartido, con lo que a efectos de datos se comporta todo como una misma zona.
- Al tener una densidad alta se pueden asignar varios canales ascendentes y/o descendentes a una misma zona, siendo el resultado la equivalencia de dividir una zona en dos partes. En el caso de los canales descendentes también se puede jugar con el ancho de banda.

2.7.2. ESPECTRO Y CANALIZACIÓN DE UNA RED HFC

El espectro de las redes de cable está evolucionando desde los 300/400/450 MHz de las antiguas redes (de tipo coaxial, y dedicadas, exclusivamente, a la difusión de televisión) hasta los 860 MHz de las modernas redes-HFC.

Dicho espectro se divide, de forma asimétrica, en dos canales: el Descendente (que transporta las señales generadas en la Red, típicamente en la Cabecera, y dirigidas a los usuarios) y el Ascendente (que soporta las señales generadas por los usuarios: telefonía, datos, solicitudes de VoD (v_deo on demand), PPV

(*pay per view*, PpV). Según el Reglamento Técnico para la prestación del Servicio de Telecomunicaciones por Cable (Decreto 2066/1996), la canalización del anterior espectro debe ser de 5-55 MHz para el canal ascendente y de 86-862 MHz para el canal descendente.

A su vez, en el citado Reglamento Técnico también se establece cierta canalización para el canal descendente, como se muestra en la Figura 2.31:

- de 87.5 a 108 MHz para radiodifusión-FM sonora.
- de 118 a 174 MHz y de 230 a 470 MHz para difusión de televisión en formato analógico (tipo PAL).
- de 606 a 862 MHz para televisión digital.

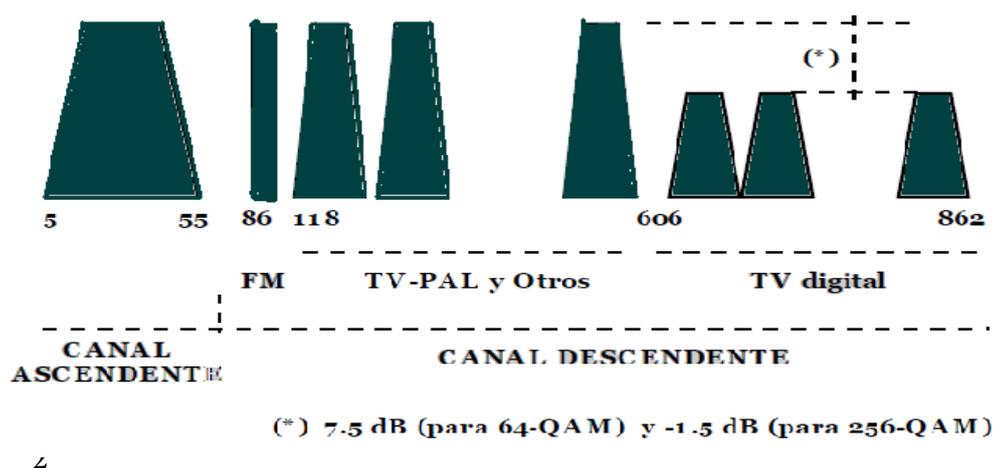


FIGURA 2.31: ESPECTRO Y CANALIZACIÓN EN RED HFC⁵⁵

2.7.3. SISTEMA DE TELEVISIÓN POR CABLE CATV HFC

Las redes HFC son una evolución de las redes CATV, desde que fueron diseñados los sistemas de televisión por cable han cubierto necesidades específicas de los usuarios. En un principio era el único método para que la gente en lugares remotos viera la televisión. Aquellos sistemas fueron llamados Antenas de Televisión Comunitaria (CATV). Tiempos después se fueron agregando más canales, hasta la incorporación de métodos de compresión

⁵⁵ Fuente Personal

digital de señales capaces de transportar varios canales digitales en el mismo ancho de banda de un canal analógico.

En estos últimos años, con el crecimiento de las redes de computadoras se creó un nuevo servicio que puede ser implementado sobre las ya existentes redes de CATV: el cable modem, con él se logra la comunicación bidireccional permitiendo el intercambio de datos entre el usuario y su proveedor, así como el acceso a servicios de internet o redes locales.

Los sistemas de CATV en la actualidad son capaces de transmitir a través de un mismo canal, cable coaxial o fibra óptica, un gran número de canales modulados en RF cuya distribución de frecuencias.

2.7.3.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA POR CABLE

Últimamente las empresas de cable han trabajado en sus redes haciéndolas más robustas e independientes para brindar al usuario servicios de video, voz y datos en una sola infraestructura de telecomunicaciones. A esto se le conoce como “triple play”. Triple Play es un servicio que permite tener al mismo tiempo tres servicios de telecomunicaciones de forma simultánea: Televisión (video en demanda o TV difundida convencional), acceso a Internet de alta velocidad y la posibilidad de hacer y recibir llamadas sobre una sola infraestructura de acceso. Para esto aparecen las redes HFC (Híbrida Fibra Coaxial) que como su nombre indica presentan una mezcla de fibra y cable coaxial. La diferencia no reside solamente en la aparición de un nuevo medio de transporte como es la fibra, sino también en un cambio de la estructura actual que era árbol, y que pasa a ser una fusión de estrella y árbol. Todos los componentes que integran un sistema por cable se muestra en la Figura 2.32.

CMTS: Cable Modem Termination System, es el dispositivo que se encarga de enviar los datos en sentido descendente modulados por el canal de televisión elegido al efecto y también recogen de los cables módems de los usuarios los datos que éstos envían a través del canal ascendente asignado. El CMTS se ubica generalmente en el centro emisor o cabecera de la red, desde allí se conecta al resto de la red (red de transporte) y a Internet por alguna tecnología WAN.

Cable Modem: Dispositivo dispuesto por el usuario, se encarga de sintonizar el canal de televisión elegido para los datos y extraer los que le corresponden, aquellos datos que van dirigidos a él y aquellos que quiere enviar a otra persona ya sea en la misma red (cabecera local) o diferente, esto se realiza por el canal ascendente. Las formas para conectar el cable modem al computador del usuario es por medio de la interfaz Ethernet de 10/100 Mbps que es una interfaz de alta velocidad y bajo costo; también se puede conectar el cable módem desde un puerto USB.

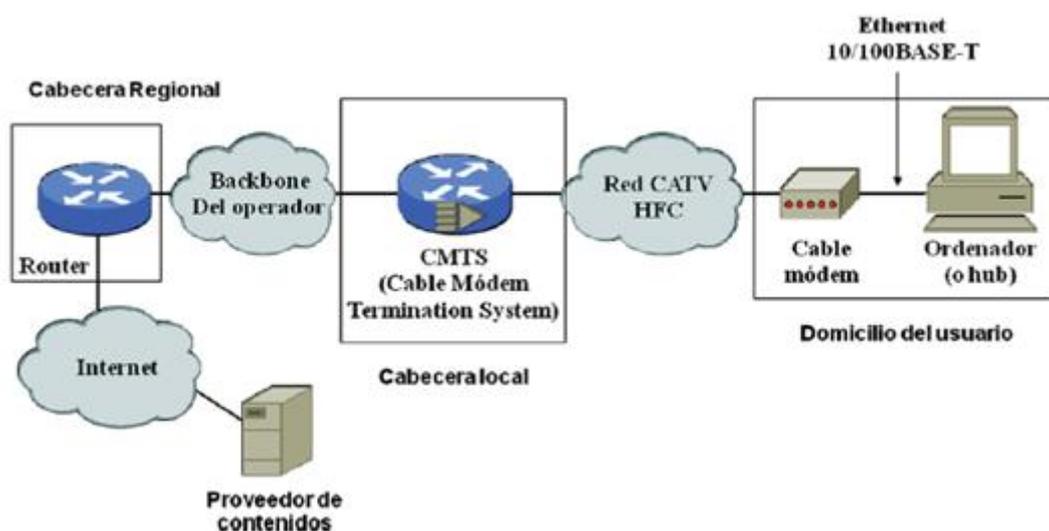


FIGURA 2.32: COMPONENTES DE UN SISTEMA POR CABLE

2.7.4. RED XDSL (x Digital Subscriber Line)

El acrónimo de xDSL se refiere a una familia de tecnologías y estándares relacionados que constituyen las diferentes tecnologías DSL, donde la "x" se utiliza para identificar precisamente a los diferentes estándares y versiones que se han desarrollado. ADSL es una más de las tecnologías xDSL que existen y trabajan sobre la infraestructura de la red de telefonía pública, es decir, sobre el lazo del abonado local (Subscriber Line).

2.7.4.1. TECNOLOGÍAS XDSL

Hay varias tecnologías xDSL, cada diseño especifica fines y necesidades de venta de mercado. Algunas formas de xDSL son propietarias, otras son simplemente modelos teóricos y otras son usadas como estándar.

xDSL es un grupo de tecnologías de comunicación que permiten transportar información multimedia a mayores velocidades, que las que se obtienen actualmente vía modem, simplemente utilizando las líneas telefónicas convencionales.

Las siglas DSL traducidas Digital Subscriber Line o (Línea de abonado digital), es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica local. Tienen en común que utilizan el par trenzado de hilos de cobre convencionales de las líneas telefónicas para la transmisión de datos a gran velocidad. En la siguiente Figura 2.33, se despliega el árbol tecnológico de la red xDSL.

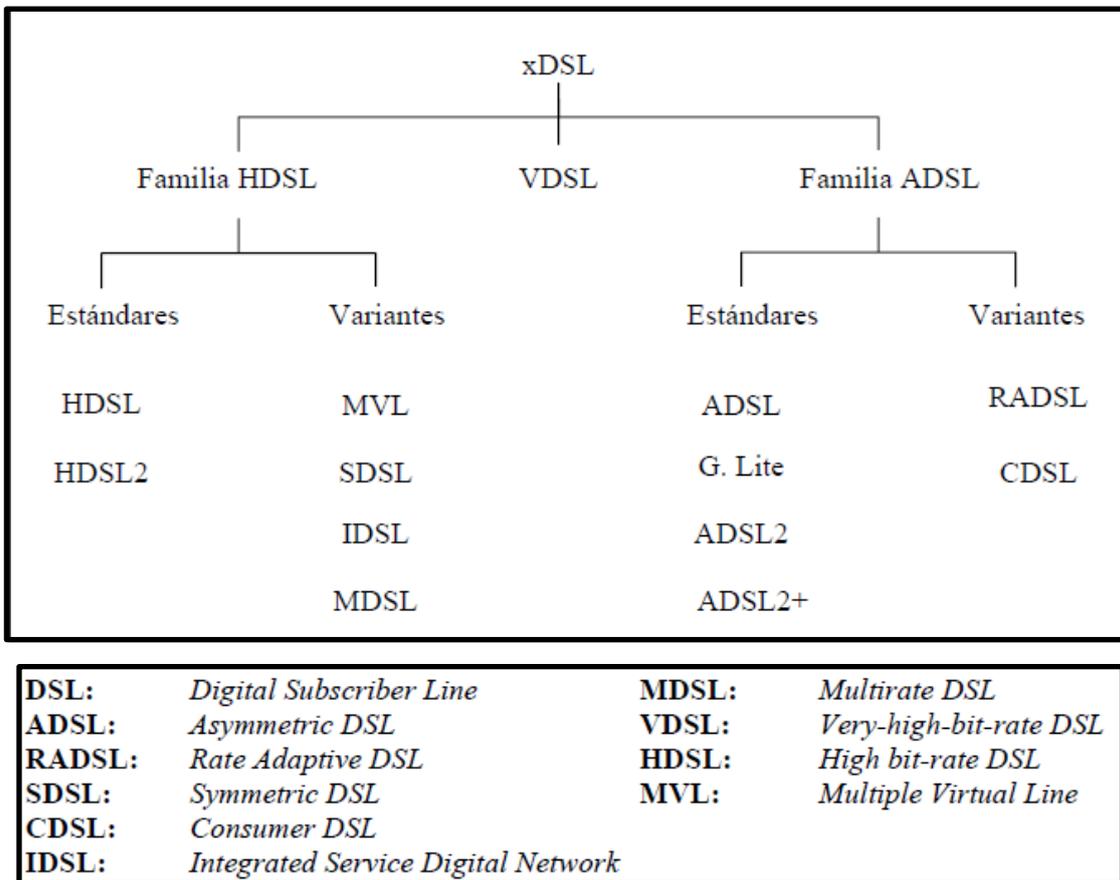


FIGURA 2.33: TIPOS DE TECNOLOGÍAS xDSL⁵⁶

⁵⁶ www.vazart.net/presentaciones/xDSL.pdf - Colombia

CAPÍTULO III

3. ANALISIS ACTUAL DE LA RED HFC DE CABLEZAR SCC Y ANALISIS DE SUS REQUERIMIENTOS

En el año de 1997, tiene sus inicios Cablezar SCC, expandiendo sus redes en varias partes de la ciudad, no tuvo que pasar mucho tiempo para que Cablezar SCC vea la necesidad de ir creciendo y expandiéndose por otros lugares de la ciudad ofreciendo TV por cable en forma masiva. Pocos años después se formarían las empresas Aerozar (AeroCable⁵⁷) TV por frecuencias UHF, servicio implementado para proveer servicio a los abonados que se encuentran en lugares más lejanos donde no llega el servicio convencional de cable. Interzar (Internet) utilizando la última milla de CNT para proveer un servicio más a los abonados que han confiado en la empresa, formándose así el Grupo Cablezar SCC. En anexos consta un mapa dividido con marcas de colores representando las distintas zonas de la red HFC de Cablezar SCC; se tiene 5 zonas que cubren en un 80% de la ciudad.

Pero la infraestructura actual de la red HFC de Cablezar en la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas se volvió inestable, pues se basa sobre redes antiguas de más de 14 años, que ya ha cumplido su ciclo de vida útil.

3.1. RED HFC (Híbrido de Fibra y Coaxial)

La Red HFC o híbrida (fibra-coaxial), es denominada de esta forma claramente por que está compuesta de enlaces de Fibra Óptica y con cable coaxial para llegar al abonado; Estas nacen en evolución a las antiguas redes CATV o televisión de antena comunitaria. Esta consta de dividir las zonas de servicios en grupos de entre 500 a 2000 viviendas llamados nodos, la señal llega a cada nodo por cables de fibra y ésta es repartida dentro de los nodos por cable coaxial.

⁵⁷ AeroCable, televisión pagada que se ofrece de forma inalámbrica por medio de frecuencias de UHF para zonas donde no existe cobertura del sistema cableado.

² Híbrido, la unión de varios tipos de topologías de red

Cada nodo sirve a pocos hogares dependiendo del número de salidas que tenga el TAP colocado en el poste. Suelen emplearse cascadas de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha como máximo. Con esto se consiguen muy buenos niveles de ruido y distorsión en el canal descendente (cabecera del abonado). La red de acometida salva el último tramo del recorrido de las señales descendentes, desde la última derivación hasta la base de conexión de abonado, la red de distribución y la de acometida a los abonados es lo que comúnmente se conoce como la red de última milla.

Servicio	Frecuencia	Ancho de Banda	Transmisión	Modulación
Video	55,25 – 575 Mhz	6Mhz/canal (max 86 canales)	<i>Broadcast</i>	VSB ⁵⁸
Cable modem	597 Mhz	6Mhz	<i>Upstream</i>	QPSK ⁵⁹
Cable modem	31 Mhz	6Mhz	<i>Dowstream</i>	256 QAM ⁶⁰

Tabla 3.1: Distribución del espectro en la red HFC

Estos servicios multimedia se pueden lograr al segmentar el ancho de banda que provee la red HFC, el cual se muestra en la anterior Tabla 3.1. Se pueden alcanzar velocidades desde 27Mbps hasta los 38Mbps en el downstream y desde los 320Kbps hasta 10Mbps en el upstream con una eficiencia espectral de 4.5 y 1.6bps/Hz respectivamente. Cablezar SCC se caracteriza por ser pionera en la TV por Cable en la provincia, y por las características de su red HFC se detallan a continuación; la arquitectura de La red HFC del grupo Cablezar SCC está diseñada de forma segmentada y compuesta por nodos, es decir haciendo pequeñas redes de cable coaxial que

⁵⁸ VSB (Vestigial Side Band), modulación lineal que consiste en filtrar parcialmente una de las dos bandas laterales resultantes de una modulación en doble banda lateral o de una modulación AM.

⁵⁹ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), Codificación por cambio de fase en cuadratura. Cuatro fases equiespaciadas representan los dígitos 00, 01, 11, 10, cada fase transmite dos bits QPSK tiene el doble de eficiencia en ancho de banda que BPSK.

⁶⁰ QAM (Quadrature amplitude modulation), Modulación en Amplitud Cuadratura, Combinación de modulación en fase y modulación en amplitud. La eficiencia espectral de QAM es la misma que PSK.

dan servicio a un determinado grupo de abonados conectados al HeadEnd por el medio óptico. La topología que se está usando es la de anillo para mantener una conectividad bidireccional de los servicios.

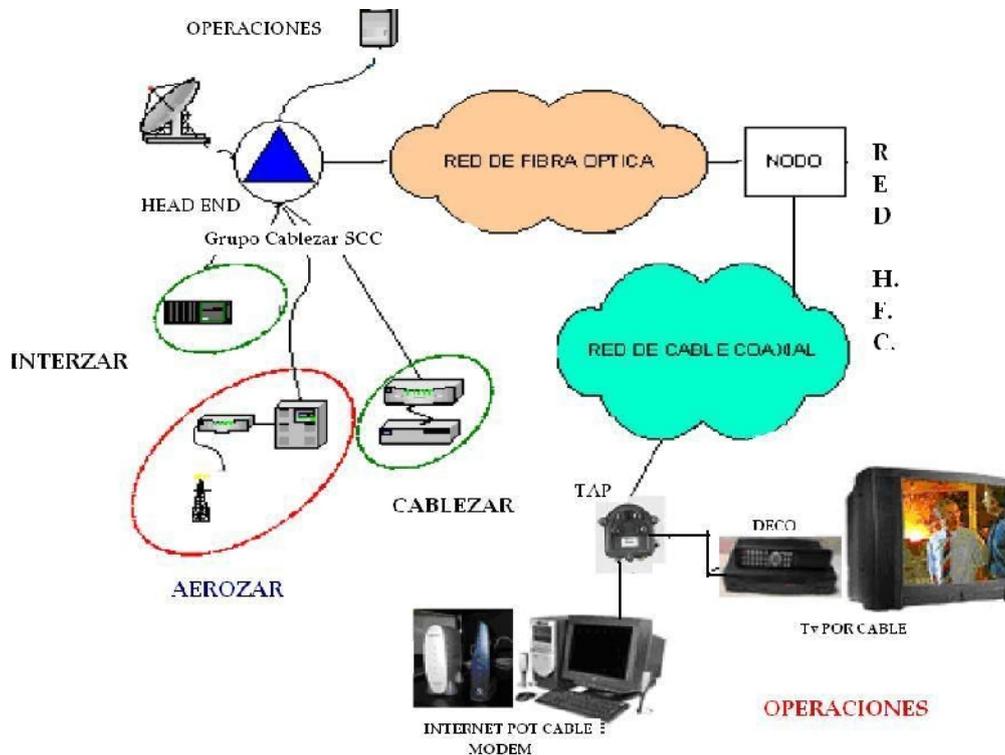


FIGURA 3.1 RED HFC DEL CABLEZAR

3.1.1. ELEMENTOS ACTIVOS DE LA RED HFC

En una red HFC encontraremos una gran variedad de elementos que ayudan a conformar una red híbrida, entre los que encontramos estos tipos de elementos:

3.1.1.1. RECEPTOR ÓPTICO

La red de Cablezar cuenta con estos dispositivos conversores de medios que transforman la señal de luz transmitida de la fibra óptica en señal de RF, para ser enviada por el cable coaxial., es el corazón de una red híbrida, puesto que es el que se comunica directamente con la cabecera además este receptor es el encargado de transmitir la señal a otros amplificadores que son los encargados de regenerarla para que llegue con buena potencia a los abonados (usuarios).



FIGURA 3.2 RECEPTOR ÓPTICO RED HFC



FIGURA 3.3 RECEPTOR ÓPTICO RED HFC

3.1.1.2. TRANSMISOR ÓPTICO

Un equipo de comunicación Óptico es utilizado para transmitir una mayor capacidad de información a grandes velocidades, está compuesto por un modulador y una fuente de luz que trabajan de la siguiente manera La fuente de información fuente genera la señal a transmitir y la envía al modulador. El generador de señales, define el tipo de información que se va a transmitir para el caso de una señal digital, la señal es representada por un conjunto de valores, que en general la comunicación óptica es binaria. Cuando es señal analógica, generalmente se representa por una combinación de senoides, con varias frecuencias y fases.

A.



B.

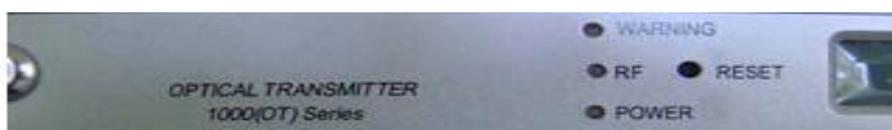


FIGURA 3.4 TRANSMISOR ÓPTICO RED HFC

En la figura anterior se puede ver un transmisor óptico, la potencia óptica emitida por estos equipos, el espectro de radiación de la fuente óptica y la forma de onda de la señal óptica en la salida del transmisor, que depende de la respuesta en frecuencia del dispositivo; la potencia óptica emitida por el LED es, con una buena aproximación, proporcional a la corriente inyectada, aunque para altos niveles de corriente se satura debido a efectos térmicos.

3.1.1.3. FUENTES DE PODER

Las fuentes de poder son elementos activos de una red híbrida (HFC) que se encargan de convertir los 110 VAC que entrega la red de energía, convertirlos en 60 VAC o 90 VAC que se necesita para las redes HFC. Esta fuente tiene un sistema de respaldo en caso de haber una falla en el fluido eléctrico, esta entraría a funcionar por medio de una tarjeta inversora y un banco de baterías similares a las de un auto común (Figura 3.5 A,B,C) y que permitirían respaldarse durante dos horas evitando que los usuarios de ese nodo se queden sin servicio.

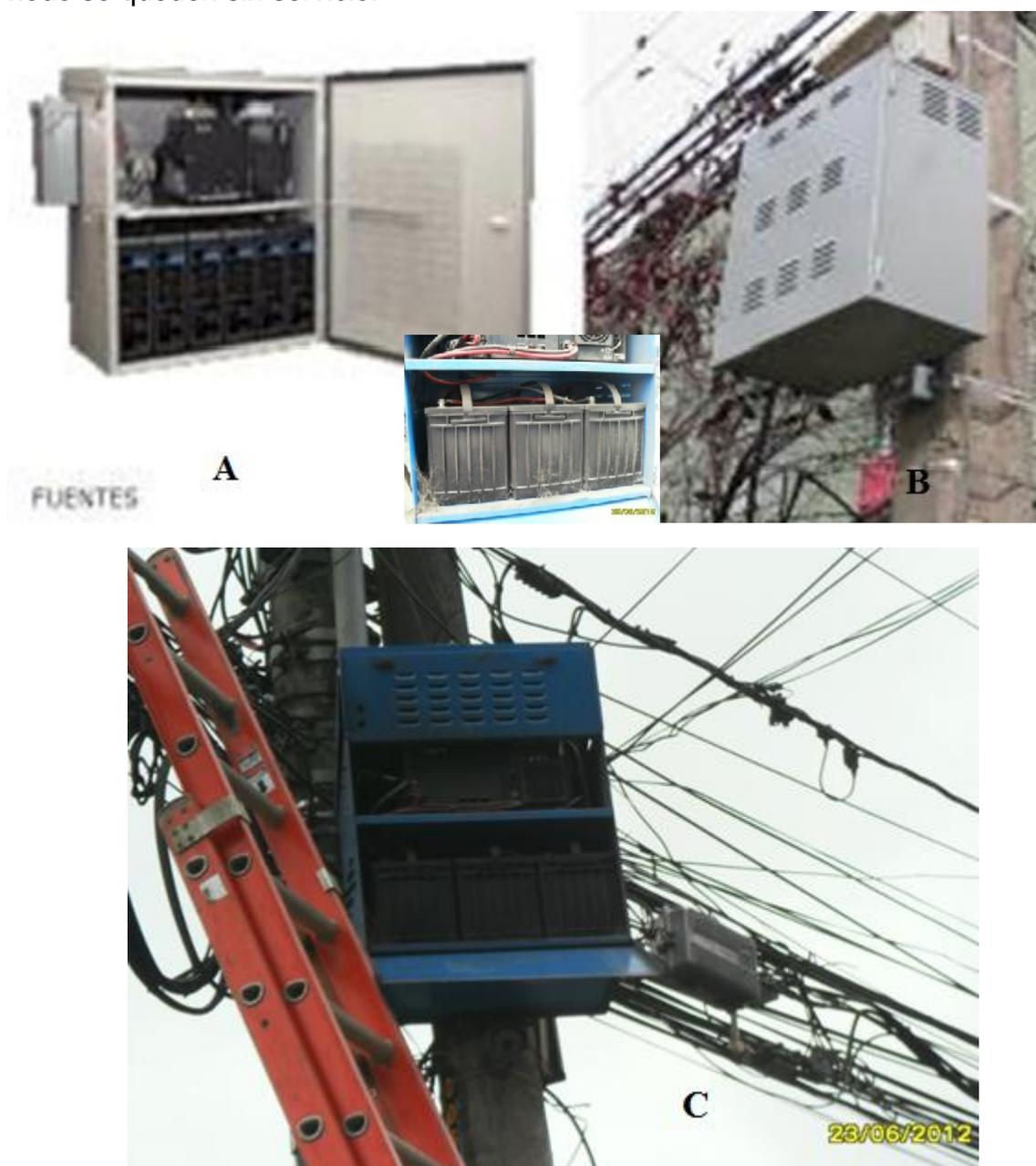
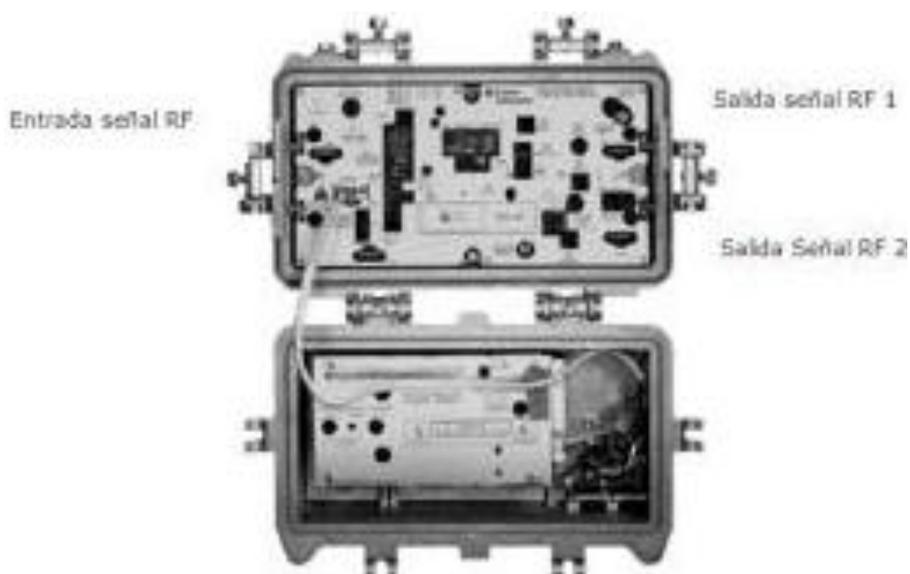


FIGURA 3.5 FUENTE DE PODER RED HFC

La función que cumplen las fuentes de poder es invisible para los usuarios es automático pero la cabecera se dará cuenta de cualquier fallo e inmediatamente mandarán los técnicos correspondientes con baterías de respaldo si fuese necesario.

3.1.1.4. Amplificador de redes HFC

Los amplificadores son usados para mantener la señal en buen estado en la red de distribución; estos lo que hacen es compensar las pérdidas de señal en la red ocasionadas por la atenuación provocadas por el viaje de la señal en el cable coaxial. Los amplificadores aunque lo que hacen es regenerar la señal también le ingresan ruido, es decir que si la señal es aumentada por cada amplificador que pase el ruido también, por eso es aconsejable no tener muchos amplificadores en cascada



A.



B.

FIGURA 3.6 AMPLIFICADOR DE RED HFC

3.2. CANALES DE TRANSMISIÓN

Las redes permiten una transmisión bidireccional, es decir el intercambio de información como voz y datos en 2 tipos de canales de transmisión detallados a continuación.

3.2.1. CANAL DE DOWNSTREAM (descendente)

Es el Canal comprendido entre los 55.25 Mhz y los 860 Mhz de la red HFC destinado para los datos que viajan de la cabecera al usuario, sobre canales de 6 Mhz de ancho de banda, las frecuencias de 55.25 Mhz a 750 Mhz se usan para T.V analógica y de 750 Mhz a 860 Mhz para canales digitales; esta asignación de frecuencias depende de la cantidad de canales analógicos que se tengan en el servicio. Para los canales digitales la transmisión de datos emplea modulaciones digitales de 64 QAM⁴ o 256 QAM con tramas MPEG2⁶¹¹, la información transmitida en este canal se multiplexa por distribución de frecuencia FDM³, debido a las características de este canal donde la cabecera habla y los usuarios escuchan (mensajes de Broadcast) haciendo posible proveer servicio a 2000 abonados por medio de este tipo de canal.

3.2.2. CANAL DE RETORNO O UPSTREAM (ascendente)

Canal comprendido entre los 4 Mhz y los 50 Mhz de la red HFC, destinado para los datos enviados del usuario a la Cabecera, también conocido como canal de retorno; por este canal los usuarios envían su información, este canal es más susceptible al ruido que los canales de Downstream razón por la cual el tipo de modulaciones son más robustas como son QPSK o 16 QAM⁶². La información es enviada a través de tramas Ethernet, la multiplexación usada

⁶¹ **MPEG Moving Picture Experts Group (MPEG)** es un grupo de expertos formado por ISO y IEC para establecer estándares para el audio y la transmisión video

⁶² **QAM (Quadrature amplitude modulation), Modulación en Amplitud Cuadratura, Combinación de modulación en fase y modulación en amplitud. La eficiencia espectral de QAM es la misma que PSK.**

para este canal es una combinación de FDM⁶³ con TDM (multiplexación por distribución de tiempo); por sus características en este canal las redes HFC no sobrepasan los 250 usuarios de retorno por nodo. Muchos operadores de televisión por cable lo emplean para proporcionar acceso a internet sobre una infraestructura HFC

3.3. RED CATV

Existen redes de televisión por cable desde los años 40. La primera red de cable fue montada en EE.UU. por un técnico en Oregón. La red contaba con un sistema de antenas, amplificadores y mezcladores de señal, y la señal era enviada por cables a sus vecinos, haciendo así posible que todos vieran televisión sin necesidad de antenas. Actualmente está extendido por todo el mundo. La **televisión por cable**, también llamada **cable**, es un sistema de servicios de televisión prestado a los consumidores a través de señales de radiofrecuencia que se transmiten a los televisores fijos a través de fibra óptica o cable coaxial. Usualmente se distribuyen a lo largo de la ciudad compartiendo el tendido con los cables de electricidad y telefonía; en oposición al método a través del aire que se utiliza en la radiodifusión televisiva tradicional (a través de ondas de radio) en la que se requiere una antena de televisión. Los programas de radio FM, la internet de alta velocidad, la telefonía y otros servicios similares no televisivos también pueden ser proporcionados por este sistema.

3.4. SERVICIOS BIDIRECCIONALES

Cuando empezaron a funcionar las redes HFC solo se transmitía la señal de los canales de televisión a los abonados, pero con el tiempo y el incremento de la tecnología y se hizo indispensable el transmitir información en los dos sentidos tanto de bajada como de subida dividiendo el canal de comunicación para compartir servicios en forma bidireccional como la telefonía y el internet.

⁶³ *FDM multiplexación por división de frecuencia. Tecnología utilizada en sistemas de transmisión analógica.*

3.4.1. FUNCIONAMIENTO BASICO DEL SOFTSWITCH

Un softswitch es el dispositivo central en una red de telecomunicaciones que conecta las llamadas telefónicas desde la línea de teléfono a otro, normalmente a través de Internet, en su totalidad por medio de software que se ejecuta en una computadora común.

Aunque el término softswitch técnicamente se refiere a cualquier dispositivo de este tipo, es utilizado en un dispositivo que se encarga de llamadas de teléfono IP a IP, el servidor de acceso o "puerta de enlace multimedia" se utiliza para referirse a dispositivos que se originan o terminan en una llamada tradicional (llamadas telefónicas). Estos dispositivos generalmente pueden realizar los dos tipos de enlace.

Un ejemplo práctico una llamada es de Skype⁶⁴ a Skype la cual es totalmente IP (vía Internet), por lo que utiliza un softswitch⁶⁵ en algún lugar de conexión con la persona que llama al interlocutor. Por el contrario, los servidores de acceso pueden tomar una llamada de móvil o una llamada procedente de una línea telefónica convencional, la convierten en conexión IP para ser enviada a través de Internet a otro dispositivo tal, que termina la llamada al invertir el proceso y la conversión de la voz sobre IP devolver la llamada a la RDSI digital o formato analógico PSTN⁶⁶, y conectarlo a un número de teléfono de destino.

3.4.2. TELEFONÍA – ARQUITECTURA PACKETCABLE

Las redes HFC han permitido que las redes de cable provean servicios de transmisión datos a muy altas velocidades y la integración con los servicios de telefonía son sin lugar a dudas la tendencia y ante la necesidad de contar con un conjunto de especificaciones que puedan trabajar con distintos sistemas y así entregar servicios multimedia en tiempo real.

Packetcable fue creado para permitir este tipo de servicios en una red bidireccional de cable. DOCSIS 1.1 (Especificaciones de Interface de servicios

⁶⁴ Skype es un programa que permite la comunicación de texto, voz y video sobre internet.

⁶⁵ Softswich Es un dispositivo que provee control de llamada y servicios inteligentes para redes de conmutación de paquetes. www.monografias.com/trabajos14/softswitch

⁶⁶ PSTN Red Telefónica Pública Conmutada. Que ofrece gran calidad de audio en el servicio.

de datos por cable) utiliza el protocolo de internet para ofrecer una arquitectura multimedia eficiente. Uniendo PacketCable y DOCSIS permite que las empresas de las redes de cable ofrezcan a sus abonados servicios de voz, datos y entretenimiento de manera sencilla y confiable gracias a una arquitectura de banda ancha con un servicio de calidad a cada extremo. Los protocolos de internet fueron creados para garantizar su funcionalidad a cada extremo brindando un servicio de calidad.

3.4.3. CABLE MODEM O MTA

Un cable modem o MTA (agente de transferencia de correo), es un tipo especial de equipo diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable. El término Internet por cable se refiere a la distribución de un servicio de conectividad a Internet mediante la infraestructura de telecomunicaciones ya establecida.

3.4.3.1. FUNCIONAMIENTO DEL MODEM O MTA

El modem emite una señal portadora de tipo eléctrica sinusoidal de mayor frecuencia que la señal moduladora; La misma constituye la información que se prepara para una transmisión el módem prepara la información para ser transmitida, pero no la envía. El demodulador recupera la señal original, quitando la portadora. Las características que se pueden modificar de la señal portadora son la amplitud, frecuencia y fase

3.4.3.2. ESPECIFICACIONES DEL DOCSIS

Es un estándar que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable, lo que permite añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable también llamado CATV. Muchos operadores de televisión por cable lo usan para proporcionar acceso a Internet sobre una infraestructura de red híbrida de

fibra óptica y coaxial HFC existente. La versión europea llamada EuroDOCSIS tiene sus diferencias como en Europa, los canales de cable tienen un ancho de banda de 8 Mhz (PAL⁶⁷), mientras que, en Norte América y algunas partes de Latinoamérica es de 6 MHz (NTSC⁶⁸). Esto se traduce en un mayor ancho de banda disponible para el canal de datos de bajada desde el punto de vista del usuario, el canal de bajada se utiliza para recibir datos, mientras que el de subida se utiliza para enviarlos.

3.5.RED XDSL (Digital Suscribe Line)

Se conoce como XDSL a la familia de tecnologías de acceso a Internet de banda ancha basadas en la digitalización del bucle de abonado digital, La principal ventaja de XDSL frente a otras soluciones de banda ancha es precisamente la reutilización de infraestructuras ya desplegadas como la red telefónica convencional extendida por toda la ciudad.

3.5.1. FUNCIONAMIENTO DE XDSL

El acceso XDSL se basa en la conversión del par de cobre de la red telefónica básica en una línea digital de alta velocidad capaz de soportar servicios de banda ancha además del envío simultáneo de voz. Para lograr esto se emplean tres canales independientes:

2 canales de alta velocidad (uno de recepción de datos y otro de envío de datos).

1 canal para la transmisión de voz

Cada uno de ellos ocupa una banda de frecuencia diferente, de manera que no interfieran entre sí. El canal de voz queda ubicado entre los 200Hz y los 3,4KHz se transmite en banda base, como el servicio telefónico tradicional, mientras que los canales de datos quedan aproximadamente entre los 24KHz y los

⁶⁷ PAL es un sistema de codificación empleado en transmisión de señales de televisión analógica en colores. FUENTE: www.alegsa.com.ar/Diccionario/diccionario.php Diccionario de informática

⁶⁸ NTSC es un sistema de codificación y transmisión de televisión en color analógico desarrollado en USA, empleado en la mayor parte de América y Japón

1,1MHz, distribuyéndose de forma variable entre el canal de subida y el de bajada según el tipo de tecnología XDSL empleada. Se transmiten mediante múltiples portadoras.

Para poder ofrecer servicios de voz compatibles con los terminales telefónicos convencionales, los usuarios deben disponer de unos dispositivos denominados *splitter* o microfiltros de paso bajo que se sitúan entre la toma de red telefónica y los equipos terminales (módem y teléfono) para filtrar la voz de los distintos canales de datos.

Por su parte, los equipos de red del operador (típicamente, la central telefónica local) deben disponer de los denominados DSLAM (“Digital Subscriber Line Access Multiplexer”), que contienen un conjunto de tarjetas con varios módems de central de un número de usuarios, de manera que se concentre y se enrute el tráfico de los enlaces xDSL hacia una red de área extensa.

3.5.2. EQUIPOS DSLAM

Los equipos DSLAM (Multiplexor de línea de acceso de abonado digital) son localizados en la central telefónica y proporcionan a los abonados acceso a los servicios DSL sobre cable de par trenzado de cobre. Este servicio se alquila a la corporación nacional de telecomunicaciones, puesto que son los que proveen la última milla para la entrega de internet.

3.5.3. EQUIPOS MPLS

Un equipo MPLS (Multiprotocol Label Switching) es un mecanismo de transporte de datos estándar creado por la IETF, trabaja entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI⁶⁹. Fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes. Puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP.

⁶⁹ OSI el modelo de referencia OSI es un modelo de los protocolos propuestos por OSI como protocolos abiertos interconectables en cualquier sistema.

3.5.3.1. TECNOLOGÍA MPLS

MPLS es un estándar del IETF⁷⁰ creado para combinar distintas soluciones de conmutación multinivel, en la década de los 90, fue requerido por los distintos fabricantes. Las VPN/IP que se basan en este estándar, ofrecen a los clientes distintas soluciones que no dan seguridad y calidad. Esta tecnología se desarrolla en la base de la red del proveedor de servicios, proporcionando un mayor control sobre la calidad del servicio QOS, la ingeniería de tráfico y la utilización del ancho de banda a la vez que reduce los requisitos a los equipos de comunicación de los clientes que se conectan a un servicio sobre MPLS. Como indica su nombre, una red con MPLS puede transportar información con la ayuda de múltiples protocolos y de forma simultánea, por ejemplo se puede enviar tramas Ethernet realizando conexiones Ethernet sobre largas distancias o redes virtuales privadas.

3.5.3.1.1. COMPONENTES MPLS

El protocolo MPLS trabaja con los siguientes componentes, que se encargan de actividades distintas para lograr un objetivo.

- **LSRs:**(Label Switching Router): Enrutador de alta velocidad especializado en envío de paquetes etiquetados por MPLS.
- **Etiqueta:** Identificador corto, de longitud fija y con significado local empleado para identificar un FEC.
- **FEC** (Forwarding Equivalence Class): Clase que define un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes.
- **LSP** (Label Switched Path): Ruta a través de uno o más LSRs en un nivel de jerarquía que sigue un paquete de un FEC en particular.

3.5.3.2. SISTEMA 8600

Los equipos 8600 son parte de un sistema de comunicación que administran el acceso de las redes que trabajan con IP/MPLS trabajan en la

⁷⁰ **IETF Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet** es una organización internacional abierta de normalización que tiene como objetivo el contribuir a la ingeniería de Internet.

capa de acceso, están provistos con características de redundancia. Son equipos de terminación y distribución de servicios L2; pueden ser administrados desde el mismo gestor de red que los nodos IP/MPLS o por comandos CLI. Existen dos versiones el 8606 que posee 4 puertos GbE y 24 puertos FE; y el 8608 que posee 12 puertos GbE.



FIGURA 3.7 EQUIPOS DE ADMINISTRACIÓN DE ACCESO

3.5.3.3. ENRUTAMIENTO DE ETIQUETAS

El enrutamiento es un proceso en el cual el router envía paquetes a la red de destino, buscando el mejor camino entre todos los posibles para encontrar la mejor ruta. En este proceso de enrutamiento, las etiquetas se añaden a la información en la interfaz de entrada de red; dicha etiqueta inicial será utilizada por el primer router de la backbone para conocer el interfaz de salida del paquete. Al momento de enviarlo por la interfaz mencionada la etiqueta exterior será reemplazada por el valor adecuado hallado en la correspondiente entrada en la LFIB también llamado base de información de etiquetas.

Debido a este mecanismo de sustitución de etiquetas los routers de la backbone se conocen como Routers de Switcheo de etiquetas. Antes de llegar a su destino la etiqueta exterior se elimina, tomando en cuenta a la etiqueta interior para conocer el destino del paquete.

3.5.3.4. INCONVENIENTE DEL RUTEO CONVENCIONAL

Los problemas principales de enrutamiento se pueden dar por el estado de la red, ya que el servidor donde está su información, si no tiene buena infraestructura simplemente no permitiría que los usuarios vean su información;

un host público o puede tener expertos disponibles que puedan abrir firewalls y redirigir puertos para hacer que su equipo sea disponible públicamente.

3.5.3.5. INGENIERÍA DE TRÁFICO

En telefonía o en general en telecomunicaciones se denomina ingeniería o gestión de tráfico a diferentes funciones necesarias para planificar, diseñar, proyectar, dimensionar, desarrollar y supervisar redes de telecomunicaciones en condiciones óptimas de acuerdo a la demanda de servicio, márgenes de beneficios de la explotación, calidad de la prestación y entorno regulatorio y comercial.

3.6. SERVICIOS MEDIANTE CPE

El CPE (Equipo Local del Cliente) es un equipo de telecomunicaciones como por ejemplo: el teléfono, o cualquier equipo que provee un servicio, se encuentra ubicado en las instalaciones del cliente, un solo equipo puede proveer una combinación de servicios incluyendo datos, voz, video y un host de aplicaciones multimedia interactivos. Hoy en día, casi todos los equipos de usuario final pueden ser llamados Customer Premise Equipment y puede ser propiedad del cliente o del proveedor.

3.6.1. CAJA SIP

SIP es el protocolo de Inicio de Sesiones, desarrollado por el IETF, para sentar un estándar que regule sesiones que utilizan funciones multimedia como el video, voz, ahora de moda la mensajería instantánea o chats, además de los juegos en línea y la realidad virtual al iniciar, modificar y finalizar las sesiones interactivas de los usuarios. SIP fue diseñado para implementar otro servicio en internet la telefonía, por eso protocolos como HTTP utilizados en la WEB y SMTP en el servicio de correo electrónico, fueron usados para el desarrollo del SIP

3.6.1.1. FUNCIONAMIENTO SIP

El protocolo SIP actúa de tal manera que permite el mapeo de nombres y el direccionamiento de servicios ofreciendo así la implementación de la red, Para conseguir los servicios de la IN el protocolo SIP dispone de distintas funciones. A continuación se enumeran las más importantes:

- Localización de usuarios (SIP proporciona soporte para la movilidad).
- Capacidades de usuario (SIP permite la negociación de parámetros).
- Disponibilidad del usuario
- Establecimiento y mantenimiento de una sesión.

En definitiva, el protocolo SIP permite la interacción entre dispositivos, cosa que se consigue con distintos tipos de mensajes propios del protocolo que abarca esta sección; dichos mensajes proporcionan capacidades para registrar y/o invitar un usuario a una sesión, negociar los parámetros de una sesión, establecer una comunicación entre dos a más dispositivos y, por último, finalizar sesiones.

3.7. SERVICIOS MEDIANTE RED METROETHERNET

Una red Metro Ethernet, es una red creada para conectar y transmitir información entre redes de área metropolitana MAN y redes extensas WAN; este tipo de red también se denominada de multiservicio, por ellas pasan una gran cantidad de servicios y demás aplicaciones multimedia, soportan tráfico de tiempo real tales como Telefonía IP y Video IP; este tipo de tráfico tiene problemas con el retardo y el ruido no deseado; para esto fue creada interconexión entre la fibra óptica y el cobre para mejorar el servicio en una red metropolitana; IEEE, IETF, ITU son organismos de estandarización que Incluso crearon el MEF⁷¹, organismo dedicado únicamente a definir Ethernet como servicio metropolitano; a continuación se presenta los beneficios que ofrece una Metro Ethernet:

⁷¹ MEF (Metro Ethernet Forum), foro de discusión sobre las redes metropolitanas.

- Los enlaces de cobre de las redes metropolitanas, están constituidos por múltiples pares de en líneas de cobre conocidos como MAN BUCLE y además los enlaces de Fibra Óptica
- La disponibilidad de las líneas de cobre dentro de la ciudad, ayudan con la conectividad de redes WAN.
- La interconectividad con Ethernet simplifica las operaciones de red, administración, manejo y actualización.

3.7.1. BACKBONE DE LA RED SDH

La palabra backbone se refiere a las principales conexiones troncales de internet, Está compuesta de un gran número de routers comerciales, gubernamentales, universitarios y otros de gran capacidad interconectados que llevan los datos a través de países, continentes y océanos del mundo mediante cables de fibra óptica; backbone también se refiere al cableado troncal o subsistema vertical en una instalación de red de área local que sigue la normativa del cableado estructurado.

En la figura 3.8 en la siguiente página, se observa conexiones de red que se extienden a nivel intercontinental; las redes backbones están conformadas por otras redes comerciales, educativas o gubernamentales, además redes militares; algunas grandes compañías que proporcionan conectividad backbone en América Latina, entre otros, son IMPSAT, TELECOM.

3.7.2. CTU-R (Network Terminating Unit)

Es un dispositivo que permite conectar cámaras de red mediante una red digital de servicios integrados (RDSI). La Unidad de terminación de red (NTU) permite que el equipo del cliente se conecte al terminal de conmutación en el centro de la empresa; permitiendo que el usuario observe lo que pasa en la empresa desde cualquier parte del mundo de manera remota.



FIGURA 3.8 EJEMPLO RED BACKBONE PRIVADA EN AMÉRICA⁷².

⁷² <http://culturadigital.br/redeclara/2010/01/19/potencial-red-de-cooperacion-audiovisual-en-america-latina-2/>

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE LA RED GPON PARA GRUPO CABLEZAR SCC EN SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

En la actualidad las redes de acceso tanto alámbricas como inalámbricas no están lo suficientemente desarrollados tecnológicamente como para poder brindar los servicios integrados de comunicaciones sobre una misma plataforma de red. Esta es una de las razones por la que la mayoría de usuarios no poseen este tipo de beneficios en sus domicilios; teniendo prácticamente sólo el servicio de telefonía en el mejor de los casos. Es verdad que han sido implementadas nuevas tecnologías de última milla, pero acceden a ellas sólo determinadas empresas o compañías y determinados grupos sociales; en general la mayoría de la población no puede acceder a este tipo de servicios, debido a que éstos, al no ser muy difundidos, tienen un costo elevado, siendo esta la razón fundamental por la que muchos usuarios no posean de los servicios de voz, datos y video en sus hogares.

4.1. CONSIDERACIONES INICIALES

En los países desarrollados el tráfico de información se manejan sobre redes de fibra óptica permitiendo la convergencia total de los servicios de comunicaciones. Entre las tecnologías más interesantes que están permitiendo esta convergencia cabe destacar en la parte del bucle de abonado a GPON, la tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto más avanzada en la actualidad.

El presente proyecto está orientado en general a todas las empresas, pequeñas, medianas y grandes, considerándose como parte de este grupo a Hoteles, Bancos, Centros Comerciales, Centros Turísticos, entre otros.

Las zonas seleccionadas en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas son 5, mismas que están distribuidas en toda la ciudad en base a la concentración

de clientes potenciales, adicional a esto se considera el alcance y la capacidad que tiene la red del Grupo Cablezar SCC, ya que posee nodos geográficamente situados en zonas estratégicas para cubrir toda la ciudad, que están conectados a la red troncal.

Los clientes potenciales y todos los clientes requieren mayor capacidad, calidad, confiabilidad y por su puesto precios accesibles que les permita mantenerse en el mercado competitivo y tener ventaja ante los comunes.

Hoy en día, los usuarios requieren cada vez más, de servicios y aplicaciones que les faciliten llevar a cabo ciertas operaciones muy habituales en su vida cotidiana, como pueden ser transacciones comerciales y bancarias, videoconferencias, acceso a Internet, intranets, acceso remoto a LAN's, etc.; todo esto se puede lograr, haciendo que toda la infraestructura sea de fibra óptica y disminuir la cantidad de dispositivos activos con lo que se proporcionará una transmisión segura libre de errores con una alta capacidad de transferencia.

Partiendo de esta breve visión se considera que la implementación de una red GPON permitirá que Grupo Cablezar SCC suministre servicios de banda ancha basados en fibra óptica a empresas de todos los tamaños y a clientes home, sin la necesidad de disponer de costosos componentes electrónicos activos en la planta exterior permitiendo que las organizaciones cuenten con los servicios de ancho de banda que requieren y a bajo precio; sin embargo, para brindar los servicios de internet, telefonía y televisión por cable utilizando una sola red, se requiere una actualización de la infraestructura actual HFC⁷³ para que puedan interactuar estos servicios y así soportar altas velocidades de transferencia.

La dimensión del mercado determina el número de clientes y por lo tanto, el número de conexiones necesarias para ofrecer un servicio de calidad.

Considerando todos los segmentos de mercado que se desea cubrir con este proyecto, se ha realizado un análisis de la demanda potencial que justifique el desarrollo del proyecto para el grupo Cablezar SCC.

⁷³ HFC, Hybrid Fiber Coaxial, Redes Híbridas

En la Tabla 4.1 se recopila un listado de clientes potenciales que se encuentran dentro del área o zona de cobertura, en este caso se citará a la ZONA 5 como ejemplo para detallar clientes potenciales.

En primer lugar se tiene los Hoteles que harán uso de servicios triple play, para mejorar los servicios y complacer al cliente. En segunda ubicación a entidades bancarias como las cooperativas, financieras, bancos, y en tercer lugar a complejos turísticos y centros comerciales, de allí hacia abajo se tiene a los clientes home o residenciales.

La recopilación de todos los posibles clientes actuales y potenciales se las realizó de manera manual recorriendo la zona de cobertura número 5 y validando dicha información con la almacenada en la base de datos del Grupo Cablezar SCC.

Empresa	Usuarios Totales	Clientes actuales G. Cablezar SCC	Clientes potenciales
Hoteles	10	5	5
Entidades Bancarias/Sucursales	8	3	5
Centros Comerciales	3	1	2
Centros Turísticos	4	1	3
Cybers	15	5	10
TOTAL	38	15	25

Tabla 4.1: Posibles usuarios potenciales G. Cablezar SCC⁷⁴

Toda la información sobre los clientes actuales G. Cablezar SCC, se detalla en el Anexo I, es decir dirección, nombres, infraestructura, etc.; cabe indicar que entre las entidades bancarias se tomó en cuenta a bancos, cooperativas

⁷⁴ Fuente Grupo Cablezar SCC

tanto matrices como sucursales en caso de estar ubicadas dentro de la Zona 5 de cobertura.

4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

La planta externa es la base de todo sistema de comunicaciones ya que constituye el medio de transmisión, es una de las inversiones más fuertes de las empresas de telecomunicaciones debido a las distancias a cubrir, y en algunos casos, puede constituir hasta el 70% del sistema completo.

Es el punto más crítico de un sistema de comunicaciones, ya que está expuesto a un sin número de factores externos (tránsito, accidentes, clima, descargas atmosféricas, etc.), los mismos que normalmente no afectan a los cuartos de equipos, pues éstos se encuentran en lugares seguros y ambientales controlados; una falla en la planta externa, y por ende en el medio de transmisión, puede implicar la caída completa de toda una plataforma de comunicaciones.

Como se indicó anteriormente, las 5 zonas que cubren la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas están conectadas a la red troncal del Grupo Cablezar SCC misma que se compone por 8 nodos donde se colocaran los splitters conectados a través de la fibra óptica, de estos salen hilos de fibra que irán hacia los usuarios finales.

Los 8 nodos geográficos están conectados todos a un mismo Head-End, ubicado en la Zona 5, en el edificio de Radio Zaracay Av. Quito y Av Aguavil, junto a Banco Pichincha, diagonal al Centro Comercial Paseo Shopping.

La planta externa de la red GPON se debe adaptar a las rutas que sigue la fibra, considerando las no linealidades de las calles, avenidas, etc. En la Figura 4.1 se ilustra la topología punto-multipunto, la misma que se aplica para fines del presente proyecto.

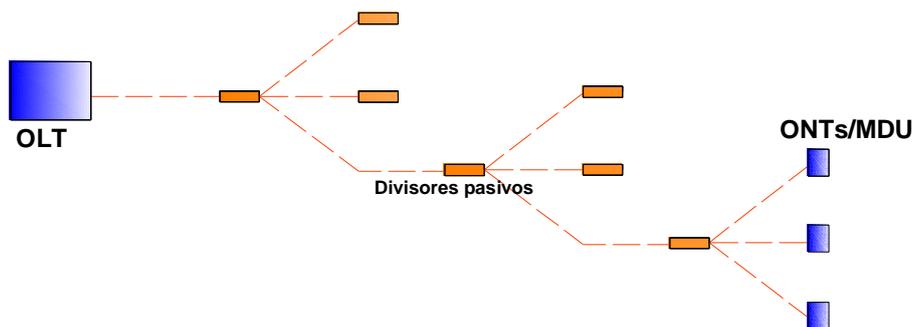


FIGURA 4.1 TOPOLOGÍA PUNTO-MULTIPUNTO

Las acometidas de fibra para establecer los enlaces entre los nodos, se realizan utilizando la fibra óptica G652D de 48 hilos como medio de transmisión para cada enlace; se considera dos niveles de división (splitting), el primero se realiza en la misma oficina central o nodos principales, y el segundo al final de cada nodo o en sitios estratégicos de la zona de cobertura muy cercanos al usuario.

El radio de cobertura de GPON es de 20km pero la gran densidad de usuarios en la ciudad hace que sea recomendable colocar diferentes splitters cerca de las zonas empresariales y realizar conexiones punto a punto hacia los destinos. En la siguiente Figura 4.2, se muestra la distribución de las 5 zonas que abarcan toda la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

⁷⁵ www.tesisde.com/tesis-de-una-red-gpon

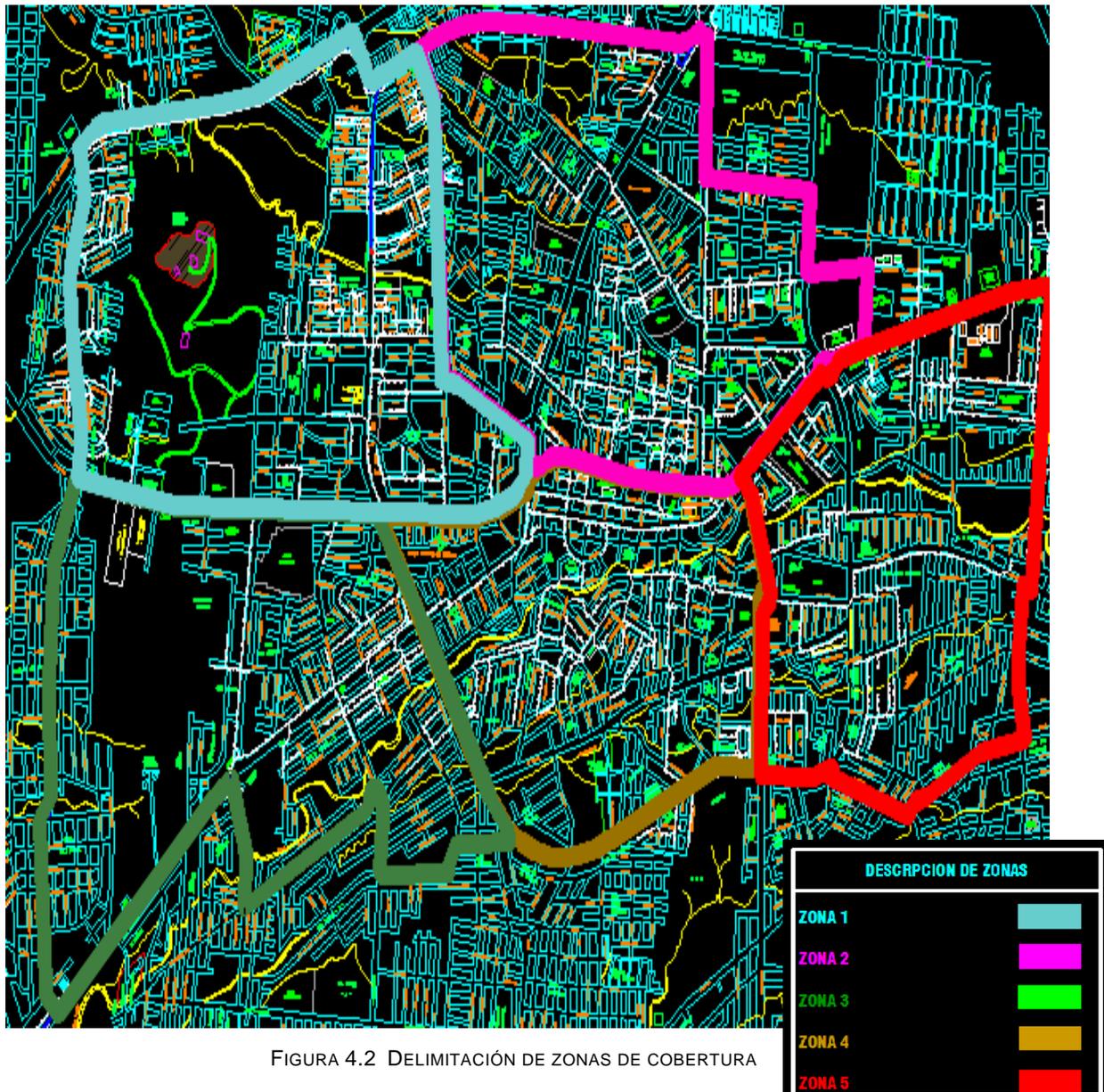


FIGURA 4.2 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE COBERTURA

Cabe indicar que la red GPON utiliza 3 longitudes de onda, para la separación de los tipos de señales.

En la Figura 4.3 indica el funcionamiento de una red GPON, la cual utiliza tres longitudes de onda, para la separación de los tipos de señales que se citan a continuación:

1. 1310nm para voz y datos, desde la ONT, a la OLT, (Upstream, del cliente a la central).
2. 1490nm para voz y datos, desde la OLT, a la ONT, (Downstream, de la central al cliente).

3. 1550nm para video de RF⁷⁶, desde la central a la ONT (Downstream)

Las tres longitudes de onda se combinan en un multiplexor WDM⁷⁷. Para poder entregar la señal de video al usuario final se necesita un transmisor de video en la longitud de onda de 1550nm y un amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA⁷⁸) ubicado en la oficina central del Grupo Cablezar SCC.

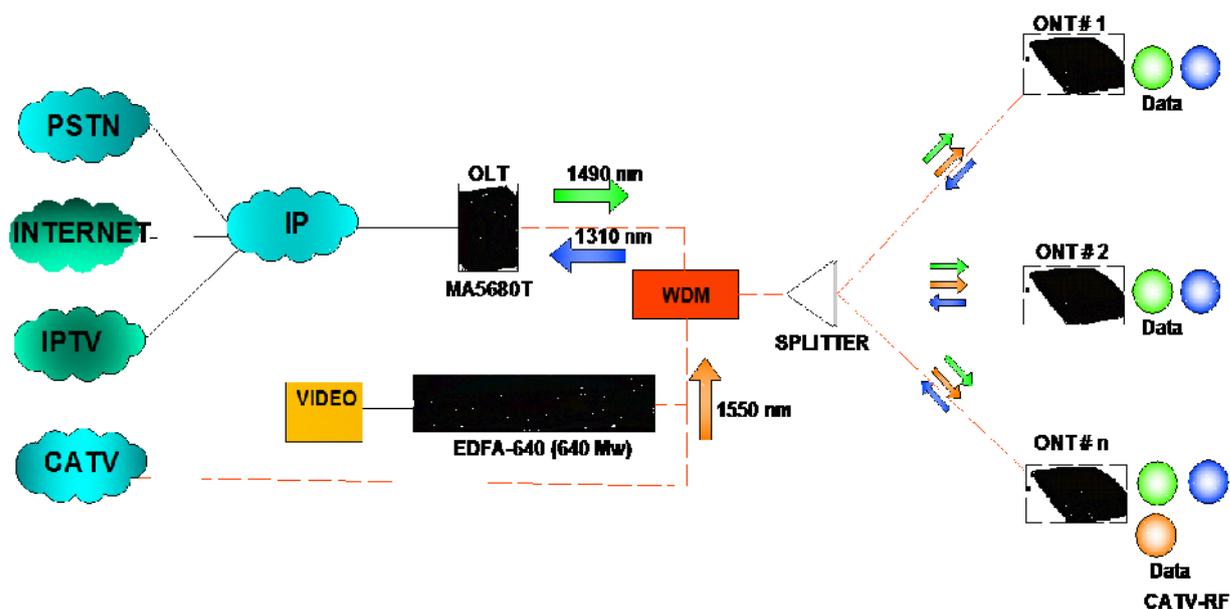


FIGURA 4.3 ARQUITECTURA DE UNA RED GPON

En la Figura 4.4 se muestra el principio de funcionamiento de WDM, la misma que se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta y multiplexados dentro de una única fibra.

⁷⁶ RF, Radio frecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético.

⁷⁷ WDM, (Wavelength Division Multiplexing) Multiplexación por división de longitud de onda. En la fibra óptica, la técnica consiste en acomodar múltiples señales de luz en un solo cable, utilizando diferentes frecuencias.

⁷⁸ EDFA, (Erbium Doped Fiber Amplifier), que se basa en el dopaje con Erblio de una fibra óptica.

⁷⁹ Arquitectura de una red GPON, www.gopogle.com.ec/searcharquitectura+de+una+red+gpon

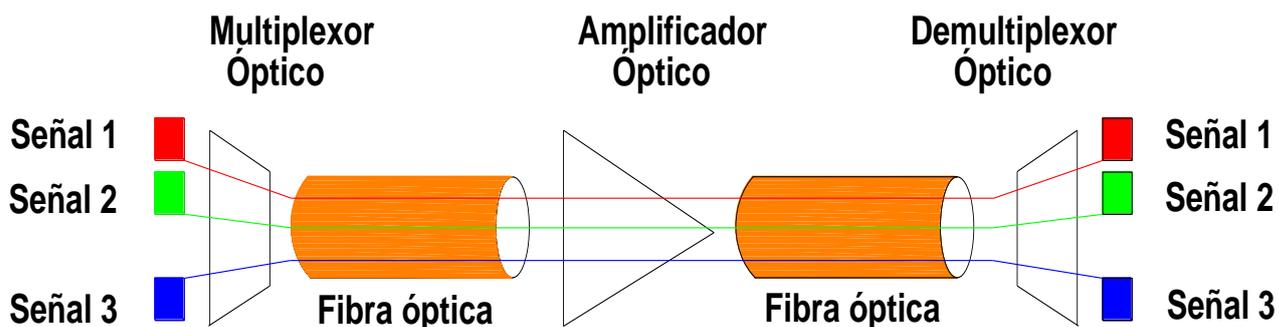


FIGURA 4.4 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LONGITUD DE ONDA

De esta forma, una única fibra puede transportar múltiples servicios incrementando de manera considerable la capacidad de las redes de fibra óptica.

4.3. PROYECCION CLIENTES MASIVOS

Para determinar la población y establecer una muestra para desarrollar este proyecto, se considera encuestar a los señores técnicos que trabajan en las empresas de comunicaciones y que están migrando hacia la tecnología GPON, como son TELMEX, CNT, TV Cable, TELCONET, entre otras, la razón se debe al grado en el que se encuentra el mayor grado de conocimientos y sus experiencias sobre redes de acceso o de última milla.

La información recolectada de personas que tengan un alto dominio sobre el tema de investigación, permitirá obtener no solo sus puntos de vista sino que además sus críticas, experiencias, e intereses, que ayudarán a profundizar los conocimientos.

Como la población a ser encuestada es muy reducida no es necesario desarrollar una muestra.

La Tabla 4.2 muestra la demanda del ancho de banda por parte de los usuarios en la actualidad, esto debido al surgimiento de nuevos servicios ofrecidos por las Operadoras de Telecomunicaciones en el Ecuador.

⁸⁰ Multiplexacion por division de onda, <http://es.scribd.com/doc/75834692/MULTIPLEXACION-POR-DIVISION-DE-LONGITUD-DE-ONDA>

Se detalla datos de los clientes que tiene actualmente están en la base de datos de Grupo Cablezar SCC, mismos que se proyectan a un servicio de calidad.

Servicio	AB Upstream	AB Downstream
TV ESTÁNDAR (SDTV)	64 Kbps	4 Mbps
TV EN HD (HDTV c/c)	64 Kbps	20 Mbps
Internet	128 Kbps - 640 Kbps	128 Kbps - 1,5 Mbps
Juegos on Line	2 - 3 Mbps	2 - 3 Mbps
Telefonía	64 – 256 Mbps	64 - 256 Kbps
Videoconferencia	384 Kbps - 1,5 Mbps	384 Kbps - 1,5 Mbps
Transferencia archivos	128 - 512 Kbps	128 - 512 Kbps
Total	6,164 Mbps	36,768 Mbps

Tabla 4.2 Proyección del ancho de banda optimo por usuario⁸¹

Se determina que la demanda del ancho de banda para cada uno de los usuarios de la base de datos del Grupo Cablezar SCC requieren aproximadamente una capacidad de 6Mbps de Upstream y 37Mbps de Downstream para poder usar los servicios requeridos.

Basados en esto, para el presente proyecto se ha seleccionado la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas distribuida en 5 zonas que son la de mayor índice comercial y empresarial, por lo que existe una concentración alta de clientes potenciales, adicionalmente se considera el alcance y la capacidad que tiene la red del Grupo Cablezar SCC hoy en día, es decir, se tienen nodos geográficos que cubren este sector y que se encuentran conectados mediante enlaces de fibra óptica como se ilustra en el plano de la ciudad Anexo J.

4.3.1. MASIVOS DE INTERNET

Considerando el segmento de mercado que se pretende cubrir con el presente proyecto, se ha realizado un análisis de la demanda que justifique el

⁸¹ *Proyección del ancho de banda optimo por usuario LATTANZI Miguel, Redes FTTx Conceptos y aplicaciones, IEEE 2008*

desarrollo del mismo; este análisis se ha basado en recopilar un listado de los clientes potenciales que se encuentren dentro del área de cobertura.

En la Tabla 4.3 se muestra el consumo de AB anual que tienen 10 clientes actuales del Grupo Cablezar SCC, datos que se obtiene de la BDD⁸², en el cual se puede verificar que existe un crecimiento considerable en el servicio de internet, esto es indicio de que el servicio está en constante crecimiento.

	CLIENTE	CONSUMO DE WB ANUAL			
		2009	2010	2011	2012
1	HOTEL COLORADO	256	256	1024	1024
2	HOTEL ZEUS	128	128	128	256
3	HOTEL SAN CARLOS	64	128	128	256
4	HOTEL OBELISCO	256	256	256	352
5	HOTEL EL PALMAR	256	128	256	352
6	BANCO INTERNACIONAL	64	64	128	128
7	BANCO SOLIDARIO	64	64	64	128
8	CC EL SOL	512	512	512	756
9	CYBER-NAUTA	1024	1024	1024	1500
10	C.TURISTICO TIO JUAN	128	256	512	512
	PROMEDIO	275,2	281,6	403,2	526,4

Tabla 4.3: Consumo del AB años 2009 – 2012⁸³

4.3.2. MASIVOS DE TELEFONÍA

En nuestro país actualmente se presta el servicio de telefonía fija a través de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, propietaria de la

⁸² BDD, Base de Datos

⁸³ Consumo del AB años 2009 – 2012, BDD Grupo Cablezar SCC

UM⁸⁴ de cobre a nivel nacional. Las redes de acceso de cobre que se utiliza para el servicio de telefonía pública conmutada o telefonía tradicional, son los medios físicos por los que se transmiten las señales eléctricas procedentes de los equipos activos xDSL del abonado y viceversa, esto permitirá digitalizar el bucle de abonado.

Al tener la telefonía fija donde la última milla es de cobre, está compuesta en planta externa por:

- **MDF (Main Distribution Frame) Conmutación:**
Son Bastidores donde se terminan los pares de cobre desde la central telefónica para próxima conexión a transmisión de planta externa; estos elementos están asignados por puertos a los cuales, desde la central de conmutación se asigna un número telefónico para conexión hasta el puerto final.
- **MDF Transmisión**
Son los MDF de planta externa, se utiliza para conexión hasta la caja multipar en el poste o un shelter⁸⁵. Dichos MDF están asignados por área geográfica específica, colonia, pasaje, calle, poste o shelter; esto para identificar el más cercano al lugar de instalación y poder hacer cableado desde el puerto de MDF de conmutación asignado hacia el puerto de transmisión del lugar donde se terminará el par.
- **Caja Multipar**
Cuenta con las terminaciones de los pares de cobre desde la planta interna hacia el poste; es utilizada para identificar y conectar el par de cobre externo de bajada hacia donde se realizará la conexión telefónica. En este caso se utilizará una caja telefónica de 20 pares.
- **Caja conexión cableado externo/interno para conectar el cable de planta externa que viene de la caja multipar con el cable interno para entrar a la residencia u oficina; antes de dicha caja se conectan herrajes para eliminar la tensión física del cable aéreo que viene de la caja multipar ocasionado por el peso del cable, viento, lluvia o cualquier otra manipulación.**

⁸⁴ UM, Última Milla, es el medio de transmisión en la planta externa.

⁸⁵ Shelter, cuarto de máquinas equipado con lo necesario para su funcionamiento

- Instalación de bajada cable telefónico externo.
Se realiza la conexión desde la caja multipar por medio de cable telefónico externo utilizando un puerto. Dicha conexión debe ser realizada sin exceso de cable descubierto para evitar interferencias.
- Conexión de cable telefónico externo a caja de bajada
Se realiza la conexión mecánica del cable aéreo con el cable telefónico interno para posterior conexión interna; se deberá verificar como se realiza la instalación del herraje para eliminar tensión física.
- Conexión de cable telefónico
Terminar la conexión del cable interno a caja telefónica con puerto RJ11 para conexión con aparato telefónico.
- Comprobación la conexión
En la Figura 4.5, se visualiza el esquema de la instalación origen y destino de una línea telefónica vía cobre, partiendo desde la central telefónica cruzando por su red primaria, enlazándose a un armario de distribución y enlazándose a la red secundaria y haciendo un tope en la caja de dispersión donde su última parada es la casa del cliente, conexión con conector RJ11⁸⁶.



FIGURA 4.5 ESQUEMA TOPOLÓGICO PLANTA EXTERNA DE COBRE

Al ser el medio de transmisión el cobre, se tiene que el ruido más perjudicial es el producido por inducción electromagnética, generado por los cables de potencia eléctrica que se localizan en las mismas instancias que los cables telefónicos; con la implementación de la red de nueva generación GPON ya no

⁸⁶ RJ11, conector para conexiones en telefonía

⁸⁷ Esquema topológico planta externa de cobre, Fuente personal

se tendrá este tipo de problemas porque el medio de transmisión será fibra óptica la misma que no tiene ningún tipo de afectación en la transmisión.

La proyección en telefonía fija que se tiene para la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas es en relación al crecimiento poblacional, según datos sugeridos por INEN (2.87%) año 2009, los cuales se detallan en la siguiente Tabla 4.4.

Años	Población INEC	Población Tesis	% Variación
2009	109341	104248	4,66
2010	112749	107240	4,66
2011	115707	110318	4,66
2012	119028	113484	4,66
2013	122444	116741	4,66
2014	125958	120091	4,66
2015	129573	123538	4,66

Tabla 4.4. Proyección población Santo Domingo de los Tsáchilas 2009-2015⁸⁸

Con los datos obtenidos se hará el cálculo denominado “Curva Logística de Crecimiento”, donde la variante es el crecimiento (P) en función del tiempo (t), tal como se muestra en la Figura 4.6. Al principio existe un crecimiento exponencial, pero luego de un cierto tiempo tiene tendencia a acotarse, hasta que al final se estabiliza en una asíntota⁸⁹, es el valor de densidad telefónica esperado en el año final de la estimación ($t \rightarrow \infty$), según la UIT15 la asíntota debería ser 45%.

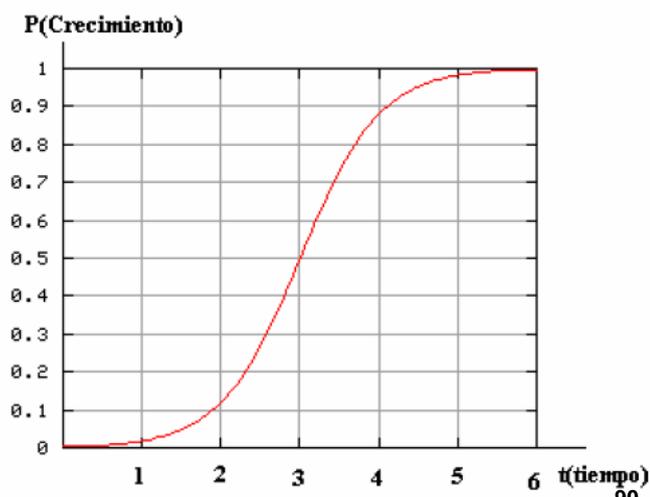


FIGURA 4.6 CURVA LOGÍSTICA DE CRECIMIENTO TÍPICA⁹⁰

⁸⁸ Fuente, INEC 2009

⁸⁹ Asíntota, es el valor de densidad telefónica esperado en el año final de la estimación ($t \rightarrow \infty$), según la UIT15 la asíntota debería ser 45%.

⁹⁰ Fuente Personal

$$T(t) = a / (1 + e^{b(t-t_0)}) \quad (\text{Ec 4.0})$$

Donde T es el valor de densidad telefónica, a es coeficiente del valor de densidad al año final (en nuestro caso 45%), b es coeficiente de crecimiento de acuerdo a los valores históricos, e es la base de los logaritmos naturales (2,71828), t_0 es el año inicial de la medición. De acuerdo a la ecuación anterior se puede crear los datos de densidad telefónica para la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, tal como se muestra en la siguiente Tabla 4.5 y en la Figura 4.7.

Densidad Calculada S. Domingo Tsachilas	
Años	Densidad Teléfonos/100 Habitantes
2009	5,55
2010	6,85
2011	8,00
2012	9,03
2013	9,93
2014	10,72
2015	11,65

Tabla 4.5: Densidad telefónica, para S.D. Tsáchilas⁹¹

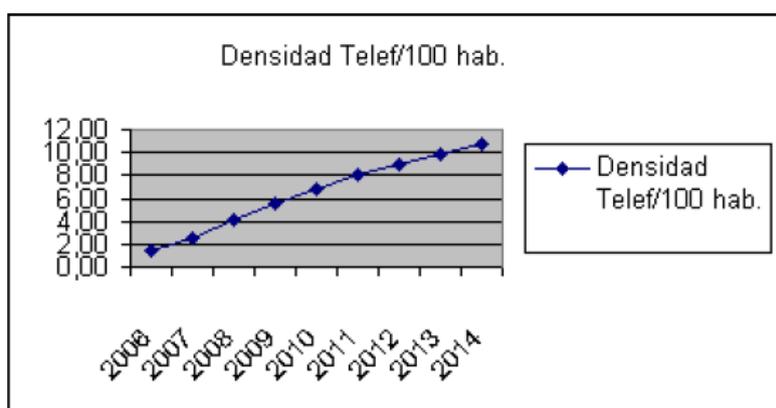


FIGURA 4.7 DENSIDAD TELEFÓNICA, PARA S.D. TSACHILAS⁹²

⁹¹ Fuente Personal

⁹² Tomada de la página del CONATEL "Indicadores de Telecomunicaciones Ecuador 2009".

4.3.3. MASIVOS TELEVISIÓN

La televisión digital, es un nuevo tipo de tecnología de transmisión en donde la señal está virtualmente libre de interferencias, es mucho más eficiente en comparación con la tecnología analógica, la mayoría de proveedores de servicios ofertan el sistema SDTV (Estándar Tv), mismo que lo consideramos de baja calidad(ver Figura 4.8), con la implementación de GPON se puede ofrecer HDTV (Televisión en Alta Definición), específicamente a lo que se refiere es a los contenidos de televisión y video que precisan un ancho de banda en el acceso cada vez mayor. Si esto se une a la necesidad de proveer distintos contenidos simultáneos de TV y video bajo demanda, en este caso, las ONTs dispondrán de una salida de video RF que ira conectada al STB1 tradicional; con IPTV la señal de video que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a internet de banda ancha.

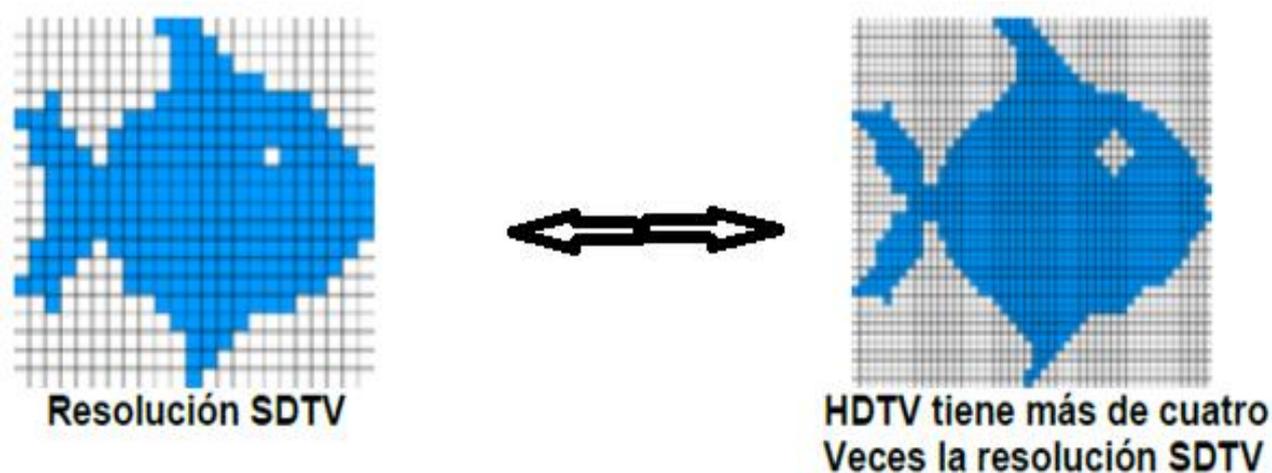


FIGURA 4.8: COMPARACIÓN DE SDTV Y HDTV

El STB⁹³ conectado mediante Gigabit Ethernet al ONT convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de video, mediante IPTV y GPON, cuyos equipos incorporan capacidades de QoS⁹⁴ y multicast IP avanzadas. En la Figura 4.9, se muestra el esquema de una conexión de IPTV mediante GPON y los elementos que intervienen.

⁹³ STB, **Set-top Box** Receptor de televisión o Decodificador

⁹⁴ Qos, **quality of service**, son mecanismos que se definen y que garantizan que los paquetes sean priorizados dentro de la red,

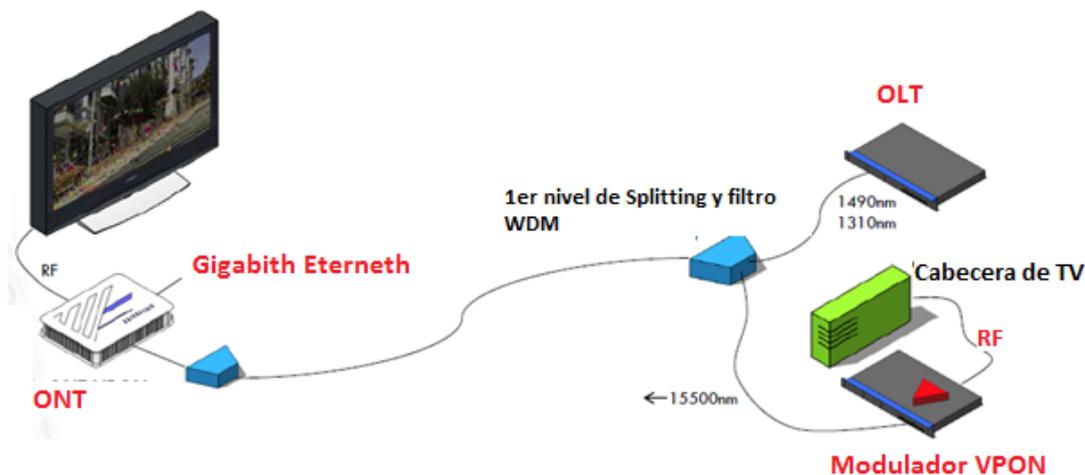


FIGURA 4.9 ESQUEMA DE CONEXIÓN IPTV MEDIANTE GPON

En la siguiente Tabla 4.6 se muestra la diferencia en porcentaje de Pixeles entre SDTV y HDTV.

Imagen Digital	Resolución Horizontal	Resolución Vertical	Numero de pixeles	Proporción
SDTV	720	480	345,600	4:3
HDTV	1920	1080	2 millones	16:9

Tabla 4.6: Comparación de Pixeles entre SDTV y HDTV⁹⁶

Actualmente se maneja la señal de retorno mediante un RPD (*Return Path Demodulator*), el mismo que provee un enlace de *uplink* que se necesita para la comunicación con la *Set Top Box*, en cambio en este caso se utilizarán ONTs que tengan el módulo RPD integrado para que la solución interactúe con el sistema de video actual, de esta manera se puede reutilizar los equipos terminales que disponen los usuarios y simplemente se requiere adaptar la red del proveedor a las nuevas exigencias.

Cuando se habla del equipo terminal que se debe instalar donde el usuario final, se requiere que la ONT disponga de un puerto RF para entregar la señal de video, por este motivo el equipo terminal dispondrá de un demultiplexador mediante el cual se manejan los dos tipos de señales y además se deberá

⁹⁵ Fuente Personal

⁹⁶ <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>

tener un módulo de RF que debe estar integrado para conectarse a la *Set Top Box*, tal como se muestra en la Figura 4.10.

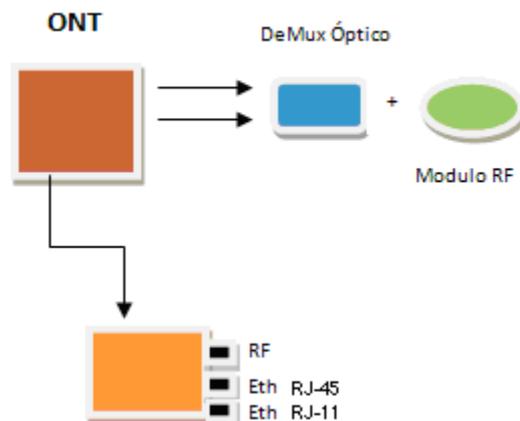


FIGURA 4.10 ESQUEMA DE LA ONT PARA TV

4.4. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Desde el punto de vista técnico no se tiene inconvenientes para dimensionar los equipos, pues después de revisar la disponibilidad de soluciones PONs, se ve que la tecnología para brindar los servicios con GPON es factible y por lo tanto técnicamente es viable la implementación de esta tecnología. Las posibles configuraciones que se adopten en el Head-End dependerá principalmente de los requerimientos de los usuarios, es decir del número de servicios que deseen tener o contratar tales como: Internet, voz, y video, solo uno de ellos o en paquete. El Grupo Cablezar SCC, tiene toda la infraestructura pasiva de la red, tanto en servicios como en materiales, partiendo desde la OLT en el Nodo, hasta el usuario final.

En primer lugar los 8 nodos que forman parte del anillo principal de la red del Grupo Cablezar SCC, a nivel de la ciudad están en puntos estratégicos. El nodo principal el cual se conecta directamente al Head-End está ubicado en una zona de cobertura cerca del Head-End y finalmente cuenta con el espacio físico suficiente para la instalación de nuevos equipos de comunicaciones a ser utilizados en la operación de la red.

Para dimensionar los equipos a ser utilizados se trabajará considerando encuestas que se realizó a clientes actuales y se presenta en la anterior Tabla 4.3, a estos clientes se les consultó la posibilidad de migrarlos a la nueva plataforma, para recibir un mejor servicio, por un costo accesible, una de las

preocupaciones de los clientes era el tiempo de afectación del servicio que tendrían al migrar a la nueva tecnología, es decir si el servicio se suspendería, se les indicó que ellos mantendrían el servicio hasta que se complete la estructura con GPON y se los pueda migrar, ellos tendrían el servicio en paralelo para que no haya afectación al momento de migrar a la nueva plataforma GPON.

	CLIENTE	Interesados en migrar a GPON S/N	Preocupación del nuevo costo S/N	Afectación de servicio S/N
1	HOTEL COLORADO	S	N	N
2	HOTEL ZEUS	S	N	N
3	HOTEL SAN CARLOS	S	N	N
4	HOTEL OBELISCO	S	N	N
5	HOTEL EL PALMAR	S	N	N
6	BANCO INTERNACIONAL	S	N	N
7	BANCO SOLIDARIO	S	N	N
8	CC EL SOL	S	S	N
9	CYBER-NAUTA	N	S	N
10	C.TURÍSTICO TIO JUAN	N	S	N

Tabla 4.7: Clientes encuestados para migrar a GPON⁹⁷

En la Tabla 4.7, se detalla los resultados de la encuesta a 10 de los clientes del grupo Cablezar SCC, resultados que indican que el 80% de los clientes actuales estarían dispuestos a migrar a la nueva tecnología, debido a las múltiples ventajas que GPON proporcionaría. Los clientes tenían preocupación por el tiempo de afectación que tendrían al momento de migrar a GPON, tal

⁹⁷ Encuesta Personal

como se detalló anteriormente se indicó que no tendrían afectación del servicio porque se trabajará con enlaces en paralelo.

En la Tabla 4.2, se detalló los rangos en los cuales sería óptimo el consumo y contratación del ancho de banda con GPON, mientras en la Tabla 4.8, se hace referencia a los valores del ancho de banda tanto en subida como bajada manejándose con 2 niveles de splitteo, 1:32 así como para 1:64; estas velocidades se puede asignar a cada usuario siempre y cuando a todos los clientes se les asigne un mismo valor, dependiendo del número de clientes en cada OLT, es decir basándose teóricamente en la Norma UIT-T G 983.1, si un puerto OLT⁹⁸ está fuera de servicio con la misma velocidad a 64 ONT⁹⁹ entonces los clientes tendrían 37.5Mbps de Downstream y 18.75 Mbps de Upstream.

Dirección de transmisión	GPON(Gbps)	Ancho de Banda por Cliente			
		1:8 splitter	1:16 splitter	1:32 splitter	1:64 splitter
Downstream	2.4 Gbps	300 Mbps	150 Mbps	75 Mbps	37.5 Mbps
Upstream	1.2 Gbps	150 Mbps	75 Mbps	37.5 Mbps	18.75 Mbps

Tabla 4.8: Valores de Up y Downstream en GPON¹⁰⁰

4.5. UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los nodos de acceso a la red están distribuidos en lugares estratégicos de la ciudad, cada uno de ellos diseñados para brindar ciertas características de acceso, que ofrecen ventajas o facilidades de uno respecto a otro y para cierto tipo de tráfico. En la Tabla 4.9, se detallan los 8 nodos con su respectiva ubicación geográfica en las 5 zonas delimitadas en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, ver Anexo 3.

⁹⁸ OLT, (Optical Line Terminal - Unidad Óptica Terminal de Línea) que se encuentra en el nodo central.

⁹⁹ ONT, Optical Network Termination, es el elemento situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario

¹⁰⁰ <http://www.slideshare.net/redstelnet/gpon-extender-3104636>

Nodo	Ubicación Geográfica	Distancia al Head-End (m)	Ubicación en Zona
PIO XII	Av. 6 de noviembre y Av. Pio XII	116m	5
Calazacón	Av. Abraham Calazacón y Av. Diógenes Paredes	1.555m	1
Juan Montalvo	Av. Juan Montalvo y Av. J. Gonzáles	3.472,25m	4
27 de Agosto	Av. Río Pove y Av. Severino Fiorini	2.102,44m	3
Los Laureles	Av. De los Tsáchilas y Policía Nacional	1.323,58m	2
Los Colonos	Av. De los Colonos y Av. Vicente Saona	4.724,35 m	1
Megacentro	Av. Azogues y Av. De las Provincias	824,32 m	2
Los Unificados	Av. Saraguro y Av. Unificados	855,70 m	5

Tabla 4.9: Ubicación geográfica de Nodos en las zonas

La ruta de fibra atraviesa por los ODF¹⁰¹ que se encuentran dentro de los nodos detallados anteriormente y llega a definir un camino del cual se derivan los empalmes de fibra hacia las zonas de cobertura respectivas.

Una vez delimitadas las zonas y los nodos existentes, se tiene que el área de cobertura tiene 9,98Km², teniendo en cuenta el nodo sur Juan Montalvo ubicado en la zona 4 y nodo Los Colonos en la zona 1 en el otro extremo.

En la Tabla 4.10, se desglosará las ubicaciones geográficas que se han designado para colocar los splitters secundarios que servirán a las diferentes zonas y de allí se conectarán al ODF del cliente.

Cabe recalcar que debido a la rápida proliferación y crecimiento poblacional y por ende el desarrollo microempresarial en todas las zonas se ubicaran splitters de 1x6.

¹⁰¹ ODF, Optical Fibra Óptica y caja de terminación es usado para el empalme de cables de fibra, distribución, terminación, conexión de patchcords, almacenamiento y manejo de la fibra, todo en una unidad.

ZONA	Av. que limitan la zona	# de splitters secundarios	# de splitters primarios, que derivan los splitters secundarios	Ubicación de los splitters
1	Av. Chone, Av. Bomboli, Av. de los Colonos, Av. Palacios, Av. Los Rosales Av. Sta Rosa	3	5	Av. Colonos, Av. Palacios
2	Av. Monsenor Schumacher, Av. Abraham Calazacón, Av. de los Tsachilas, Av. Rio Vinces, Av. rio Yanuncay, Av. 29 de Mayo	3	5	Av. Abraham calazacon Av. rio Yanuncay
3	Av. Bomboli, Av. Quevedo Av. de los Incas Av. Montalvo, Av. Espinoza poli, Av. Calazacón	3	5	Av. Bomboli, Av. de los Incas
4	Av. Calazacón, Av. Rio Toachi, Av. Quito, Av. 29 de Mayo	3	5	Av. Rio Toachi, Av. Quito,
5	Av. Calazacón, Av. Rio Toachi, Av. Quito, Av. Riop Leua, Av. bahía de Caraquez	3	5	, Av. Riop Leua, Av. bahía de Caraquez

Tabla 4.10: Ubicación de splitters primarios y secundarios dentro del área de cobertura

A partir del ODF ubicado en el nodo se implementara un *backbone* de fibra de 6 hilos que recorrerá de forma aérea, dicho backbone presentará en cada zona mangas de empalme, la manga no es más que un módulo encargado de entregar un hilo de fibra a un splitter primario para esa zona y fusionar los hilos restantes para que continúen su trayectoria por el backbone hasta que el ultimo hilo de fibra sea entregado al último splitter primario en la última manga, dicho esquema se presenta a continuación en la Figura 4.11

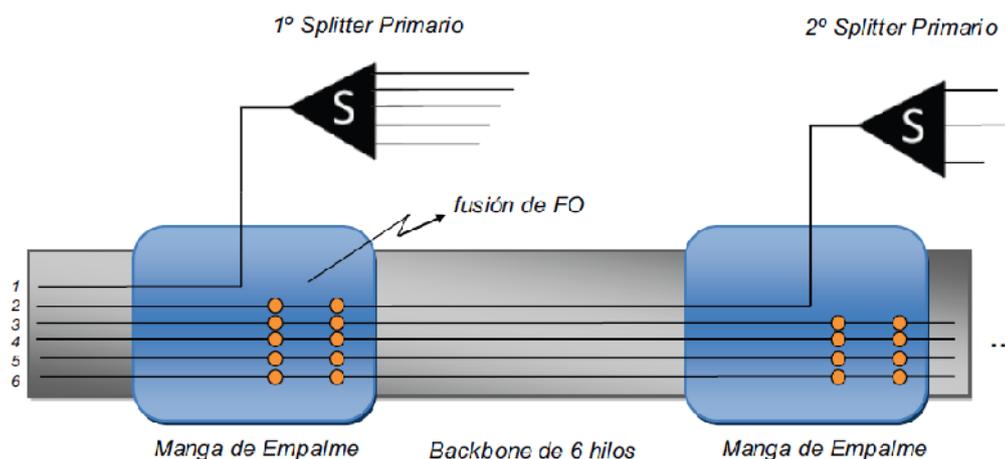


FIGURA 4.11 ESQUEMA GENERAL DEL BACKBONE Y DIVISIÓN DE LA MANGA¹⁰².

En la etapa final en la que se ha llegado a dividir del splitter primario al secundario, es decir que el nivel de splitting ha terminado, la fibra óptica llega por medio de un patch-cord de fibra de 2 hilos desde el ODF ubicado en el sitio o lugar de residencia del cliente hasta el equipo ONT. A partir del equipo ONT, se podrá realizar la interconexión de la red GPON por ejemplo a una red LAN o a una red de TV propia del cliente final, esto gracias a las interfaces de conectividad del ONT, como se muestra en la Figura 4.12

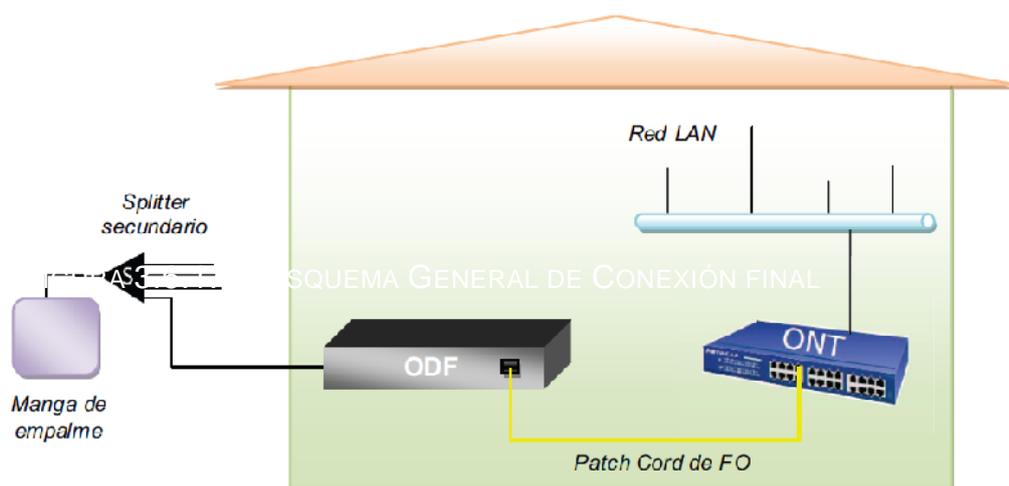


FIGURA 4.12: ESQUEMA GENERAL DE CONEXIÓN FINAL¹⁰³

Cabe recalcar que cada *splitter* primario puede derivar 6 *splitters* secundarios, y los *splitters* secundarios pueden a su vez dar servicio a 6 usuarios finales, sin embargo, en este diseño se ha considerado como pauta colocar *splitter* 1x6

¹⁰² www.mfbarcell.es/redes_de_datos/.../infraestructura_internet.pdf

¹⁰³ Fuente Personal

en cada zona de cobertura con la finalidad de prever un crecimiento comercial. De igual forma cada *splitter* será alimentado por un cable de fibra de 2 hilos que permitirá duplicar la capacidad de usuarios si fuese el caso.

4.5.1. TOPOLOGÍA PARA CENTROS COMERCIALES

En lo referente a los centros comerciales, se les dará un tratamiento como si fuesen un usuario final, colocando un ONT en el cuarto de máquinas o en la central del mismo centro comercial, de este ONT se podrá conectar a diferentes equipos que posea el cuarto de máquinas del centro comercial; como existen varios locales y todos requieren el internet, se podría conectar del ONT a un DSLAM y distribuir a la red interna del Centro Comercial.

4.6. RED DE FIBRA

4.6.1. RED TRONCAL

Una red troncal (o backbone) es aquella red que conecta los nodos y de la cual se derivan hilos para atender a los diferentes sectores; se utilizará cable de 24 hilos para toda la red troncal.

Cabe indicar que este tipo de cable de fibra se encuentra ya instalado como parte de la red del Grupo Cablezar SCC.

4.6.2. RED DE ACCESO

La tendencia mundial para la utilización de redes de acceso óptico, no solo solucionaría el problema de la saturación de las redes de cobre, sino que además sobre ellas se pueden brindar nuevos y mejores servicios, de alta velocidad de transmisión de datos con el afán de ofrecer al cliente un producto de calidad. De esta manera se recuperaría la red de cobre y se la utilizaría para brindar servicios de telefonía fija a pequeños clientes que en la actualidad no pueden acceder a este servicio básico debido a la saturación actual. Adicional a ello, se entiende por red de acceso a aquella que inicia en el segundo nivel de división del hilo de la red troncal y que termina en cada uno de los usuarios.

Se usará cable de 2 hilos para toda la red de acceso, el primero se usará para entrada al *splitter* y el segundo se usará como respaldo para futura demanda.

El cable de fibra óptica deberá tener las características ADSS¹⁰⁴ (para evitar tierras), monomodo que cumpla con la norma G.625 y Loose Tube, dado los tramos cortos que recorrerá este cable, se usará tensores plásticos.

En la Figura 4.13, se refleja el esquema de distribución de la fibra que se seguirá desde la oficina central hasta el usuario final pasando por los splitters ópticos. Se consideran necesarios 4 puertos OLT.

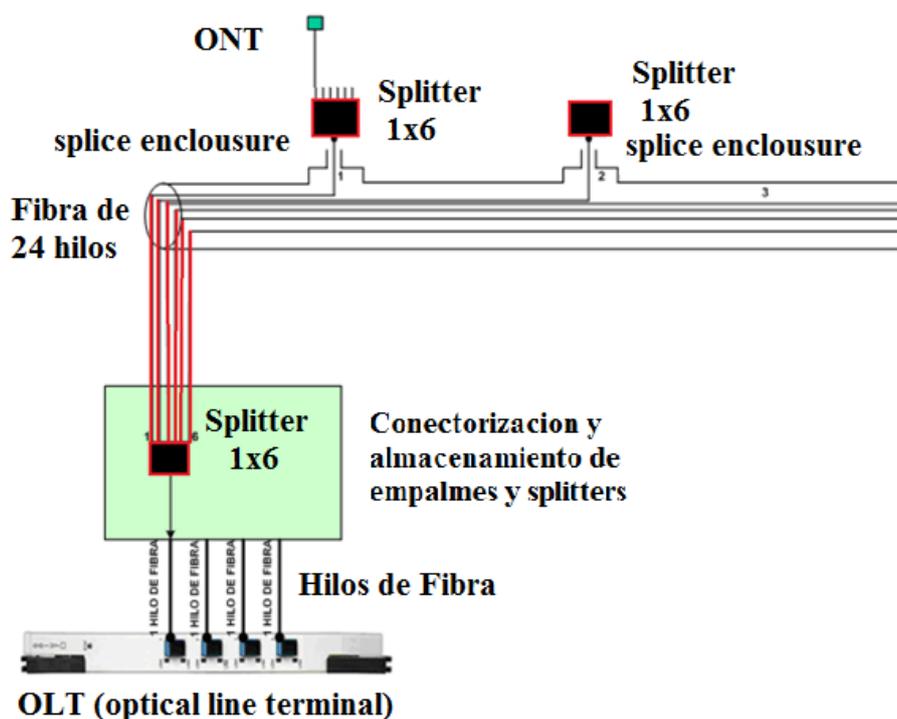


FIGURA 4.13: ESQUEMA DE LA RED DE FO¹⁰⁵

4.7. ANALISIS DE PÉRDIDAS

Es necesario demostrar la factibilidad del enlace, es decir, tomando en cuenta la productividad máxima de recepción de los equipos terminales (OLT/ONT), saber si las pérdidas calculadas están dentro del margen permitido para el correcto funcionamiento de un enlace GPON.

A continuación se describen algunas consideraciones prácticas en una instalación WDM.

¹⁰⁴ ADSS, (ADSS - All-Dielectric Self-Supporting), este cable de alta capacidad ofrece bastante flexibilidad para ser instalado en torres de transmisión elevadas, eliminando así la necesidad de un mensajero.

¹⁰⁵ Fuente Personal

La clave para un cálculo preciso de la previsión de la potencia óptica es conseguir una lectura exacta de la fibra usando un OTDR¹⁰⁶.

Con la utilización de este equipo de medición se puede obtener la siguiente información de un enlace de fibra:

- Longitud de la fibra, ubicación de los conectores.
- Empalmes y fallos en el cable, atenuación en dB del enlace.
- Atenuación de cada una de las secciones del enlace

Las medidas básicas para asegurar el correcto funcionamiento incluyen las pérdidas totales de extremo a extremo y las pérdidas de retorno. Estas medidas de pérdidas en las redes GPON se tornan críticas ya que es necesario enviar altas potencias, debido a las pérdidas que se tiene en los splitters.

El no controlar adecuadamente las pérdidas de retorno puede originar el efecto de MPI (Multipath Interference), debido a las múltiples reflexiones en distintos puntos de la red, la misma señal puede llegar al receptor por distintos caminos, pero en momentos diferentes; esto es especialmente importante para el caso de la transmisión de señales de televisión, que puede causar que la imagen se pixele o freezee.

Es importante recalcar el tipo de laser que se usa tanto en la OLT como en la ONT, un ejemplo es una señal de 1490nm que es transmitida usando un láser DFB¹⁰⁷ (Distributed Feedback), en la mayoría de los casos, la señal de Upstream de 1310nm es transmitida usando un láser Fabry-Perot¹⁰⁸.

Los valores de atenuación de la fibra óptica a utilizar, se encuentran normalizados en la *Recomendación G.652*¹⁰⁹ que trata acerca de las características de los medios de transmisión – Cables de fibra óptica. Dichos valores son los siguientes:

- SM, G.652D, 1310nm: 0,4 dB/Km.
- SM, G.652D, 1550nm: 0,35 dB/Km

En la Tabla 4.11 se indican valores típicos de los parámetros de transmisión de la fibra G.652D, de tipo *Single Mode*.

¹⁰⁶ OTDR, es un aparato que puede evaluar las propiedades de una fibra o de un enlace completo.

¹⁰⁷ DFB, Distributed FeedBack laser, trabaja en una sola

¹⁰⁸ Fabry-Perot o Etalon está, normalmente, constituido por una placa con dos superficies reflectantes, o dos espejos paralelos altamente reflectantes

¹⁰⁹ Recomendación G.652, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es>

Atributo	Valor
Diámetro del campo modal	Gama valores nominales: 8,6-9,5 μm @1310nm
	Tolerancia: $\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal: 125 μm
	Tolerancia: $\pm 1 \mu\text{m}$
Coefficiente de dispersión cromática	0,092 ps/nm x km
Coefficiente de atenuación	0,4 dB/km @1310 nm
	0,3 dB/km @1550 nm
Longitud de onda de corte	1260 nm

Tabla 4.11 Valores de transmisión de la fibra G.652D

Adicional a los valores presentados en la Tabla 4.11, se debe tener en cuenta las siguientes Atenuaciones a nivel de conectores y cables de conexión:

- *Splitter* 1x 6: 9.9 dB
- *Patchcord*: 0, 3 dB
- Evento 1 (E1): ODF = 0,4 dB por conector
- Evento 2 (E2): Constituido por el primer *splitter* 1x6, es decir, 9.9dB + 0,1dB
- (fusión cable de 24 fibras con cable de 2 fibras en hilo asignado a Sector N).
- Evento 3 (E3): Constituido por el *splice enclosure* que contiene al segundo *splitter*, el mismo que produce una atenuación de 9.9 dB y que se ubicará en cada zona (0,1dB por fusión de hilo de entrada con pigtail + 0,4dB por conector de entrada + 0,1dB por fusión de hilo de salida con conector de salida, conexión con cable de 2 fibras en hilo asignado al cliente final saliendo desde *splitter*).
- Evento 4 (E4): Caja Terminal = 0,4dB por conector.

Pérdidas de retorno

Para el cálculo de las pérdidas de retorno, se toma como referencia el valor de la potencia de transmisión de lo ONU que será de 4 dBm y la atenuación total del trayecto desde la OLT hasta la ONU a 1330nm que es 26.789 dB, entonces para el correcto funcionamiento de la OLT en sentido ascendente, deberá recibir una potencia de -22.789 dBm.

4.8. MEDIO DE TRANSMISIÓN Y SPLITTERS EN LA RED

Se detalla características de equipos, splitters que se utilizarán en la red de distribución óptica, al igual que los equipos de conectorización para poner en operación a la red.

Se obtuvo un listado de equipos de distintos proveedores, su descripción como empresa de equipos de redes de alta tecnología y las diferentes alternativas para el equipamiento de la red GPON, donde se incluyen los equipos de CO (Oficina Central), los elementos en la red de acceso y la red del usuario.

A continuación se cita a:

A. EQUIPOS HUAWEI

La empresa Huawei Technologies, es el proveedor y comercializador de GPON OLT líder mundial en redes FTTH.

Huawei Technologies se centra en los desafíos del mercado y en suplir las necesidades de sus clientes proporcionando excelentes soluciones de servicios de TIC con el fin de crear constantemente un máximo valor para sus clientes.

En la Tabla 4.12 se indica las características técnicas del equipo GPON SmartAX MA5683T. El equipo Huawei SmartAX MA5683T es la primera plataforma global del acceso que puede proporcionar el DSL y el acceso integrado óptico. Puede proporcionar acceso del P2P¹¹⁰ de la fibra de alta densidad de ADSL2+, de VDSL2, de los POTES, del ISDN, de PON y de

¹¹⁰ P2P, peer to peer, red punto a punto: Las redes P2P permiten el intercambio directo de información, en cualquier formato, entre los ordenadores interconectados.

Ethernet, servicio de triple-play, y línea arrendada servicios de TDM/ATM/Ethernet para los clientes empresa. Adicional a ello ayuda a simplificar arquitectura de red, permite la migración inconsútil en la red de FTTx (FTTC / FTTB / FTTH / FTTO / FTTM).

EQUIPO HUAWEI OLT Huawei MA5683T	CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR
	<ul style="list-style-type: none"> • posee 8 - puerto de alta - densidad junta gpon • 16 - puerto gpon 2012 en. • Soporta un máximo de split de ratio 1:128 • Apoya la detección y el aislamiento de la ont que funciona en el modo continuo. • 2 puertos ópticos GE, • 2 puertos eléctricos GE • 2 puertos ópticos 10GE. • Servicios: VLAN, Multicast, Servicio de línea privada TDM. Estándar ITU-T G.984.2 	GPON

Tabla 4.12: Descripción equipo Huawei SmartAX MA5683T ONT¹¹¹

En la Tabla 4.13, se detalla el equipo ONT GPON EchoLife OT925-G que es una investigación y desarrollo de Huawei, los productos SBU (solo la unidad de negocio), utilizan la tecnología GPON para proporcionar un único enlace ascendente de fibra 1.244Gbits, 2.488Gbits de enlace descendente para proporcionar un canal de datos de alta velocidad a los usuarios de voz, datos y acceso a los servicios de vídeo.

¹¹¹ SmartAXMA5683T Description” Huawei Technologies Co., Ltd.

El OT925-G localizado en los terminales de los usuarios de negocio de acceso óptico, puede proporcionar una interfaz de varios tipos de redes y es flexible para satisfacer las necesidades de los usuarios en diferentes entornos de red y las necesidades de negocios en redes FTTB.

EQUIPO ONT: OT925-G	CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR
	<ul style="list-style-type: none"> • Puerto para conexión a PBX, <ul style="list-style-type: none"> • Estación Base Inalámbrica, • Puerto para conexión a un conmutador LAN, Routers u otros equipos. • Sensitividad máxima de recepción – 27 dBm • Entrada señal óptica GPON 	GPON

Tabla 4.13, Especificaciones equipo GPON EchoLife OT925-G¹¹²

• EQUIPOS MOTOROLA

Motorola cuenta ya con equipos y soluciones de banda ultra ancha lanzando al mercado productos los cuales se basan en tecnologías GPON y DOCSIS® 3.0, que se diferencian por ofrecer mayor capacidad de transmisión de datos, permitiendo nuevas aplicaciones y servicios a los usuarios finales.

¹¹² <http://www.huawei.com/en/ProductsLifecycle/BroadbandAccessProducts/FTTXProducts/index.htm>

A continuación la Tabla 4.14, se detalla las características específicas sobre los equipos GPON desarrollados por Motorola.

El *Motorola AXS2200 OLT*, se extiende hasta el borde de las redes de proveedores de servicios, lo que permite una banda ultra ancha simétrica de prestación de servicios a los abonados, optimizado la entrega de video.

Las características del AXS2200, renovables es que posee, escalabilidad y flexibilidad. El AXS2200 ofrece mayor capacidad de crecimiento en servicios como IPTV de alta definición de vídeo bajo demanda. El AXS2200 admite un conjunto completo de terminales de red óptica (ONT) para la unidad familiar (SFU), escritorio, SoHo¹¹³, pequeña empresa, unidad de múltiples viviendas (MDU) y unidad arrendataria múltiple (MTU) de las aplicaciones.

<p style="text-align: center;">EQUIPO</p> <p style="text-align: center;">OLT + CHASIS =AXS2200</p> <p style="text-align: center;">Optical Line Terminal¹¹⁴</p>	<p style="text-align: center;">CARACTERÍSTICAS</p>	<p style="text-align: center;">ESTÁNDAR/ UBICACION</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • 22 slots (2 system controllers, 2 switch cards, 18 applications units) • 200 Gbps non-blocking, redundant switch fabric • 1 Tbps backplane with 40 Gbps slot capacity • Common: 200 Gbps switch/WAN with 10GbE and six GbE ports, system controller • Application: IP voice gateway (56x DS1 and 42x E1), 4-port 2.488Gbps/1.244Gbps GPON, 1x GbE / 1x GbE WAN • Desktop: ONT1100GE (4x GbE) • SFU2: ONT1400GT-RP (2xPOTS, 2x GbE, MoCA, +18 dBmV RF video, <ul style="list-style-type: none"> • RF return) • SOHO: ONT1500GT (8x POTS, 2x GbE, MoCA, SyncE, +18 dBmV RF video) 	<p style="text-align: center;">GPON</p> <p style="text-align: center;">NODO CENTRAL</p>

¹¹³ SOHO, Single Office Home Office, (Pequeña oficina, oficina en casa) o SoHo. Empresas mayores, que no cuentan con este modelo de división del trabajo, a menudo son llamadas pequeñas y medianas empresas. las empresas microempresas para ser más exactos.

¹¹⁴AXS2200, http://www.motorola.com/Business/XL-ES/BMS_Site_Search?q=AXS2000&onsite=1&encQ=AXS2000

EQUIPO ONT: 6000GVT ¹¹⁵	CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR/ UBICACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> • ONT que sirve para múltiples unidades de vivienda • Soporta datos de alta velocidad, IPTV, TV , VoD • VoIP. Puede trabajar en cableados Cat. 3 ó Cat. 5 y cable coaxial <ul style="list-style-type: none"> • Posee 12 puertos VDSL2 <ul style="list-style-type: none"> ○ (ONT6000GVT) ó GbE (ONT6000GET) 	<p>usuario final</p>
EQUIPO EDFA: NU10A523S17 ¹¹⁶	CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR/ UBICACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> • Pertenece a la familia de equipos OA500, • soporta una potencia de entrada entre -29 y -6dB <ul style="list-style-type: none"> • ganancia nominal de 23dB 	<p>GPON En la oficina central</p>
Sistema de Gestion Motorola AXS VISION ¹¹⁷	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo, permite encontrar fallas de software. • Diagnóstico Enfocado, permite aislar los problemas a los elementos de red • Sofisticado software integrado de administración, permite guardar automáticamente miles de elementos de la red • Escalabilidad - diseñado para apoyar a más de un millón de suscriptores y cientos de usuarios simultáneos y sesiones • Simplicidad Operacional - fácil de usar, cómodo de usar, fácil de integrar • Gestión del rendimiento de gran alcance. 	<p>GPON HEAD-END</p>

Tabla 4.14: Equipos PON Motorola¹¹⁸

¹¹⁵ ONT 6000GVT, <http://www.Motorola-ONT6000-GVT-OPT-VZ-Optical-Network-Terminal-/250990111270>

¹¹⁶ Edfa, NU10A523, http://www.motorola.com/web/Business/Products/Cable%20Broadband/Optical%20Amplifiers/N2U-OA200/_Documents/Static%20Files/N2U-OA200%20%28doc513564-001%29.pdf

¹¹⁷ AXSVISION, http://www.motorola.com/Business/XLES/BMS_Site_Search?q=AXS2000&onsite=1&encQ=AXS2000

¹¹⁸ http://www.motorola.com/web/Business/Products/Cable%20Broadband/Optical%20Access/AXSvision/_Documents/Static%20Files/AXSvisionDatasheet0707.pdf?pLibItem=1

- **EMPRESA ALLOPTIC**

Alloptic, Inc., líder mundial en diseño y desarrollo de Redes Ópticas Pasivas de Acceso Gigabit Ethernet (GEPON), suministra equipamiento de acceso a redes ópticas pasivas basado en los estándares para los negocios y hogares, además de una unidad para múltiples accesos que simplifica el despliegue de la fibra para el usuario. Alloptic, permite una utilización ultra rápida de Internet, televisión por cable de última generación y conectividad del servicio telefónico fiable, permite a los proveedores de servicio desplegar servicios de triple reproducción, incluyendo los servicios de voz (TDM e IP), vídeo (RF e IP) y datos.

En la Tabla 4.15, se detalla algunas soluciones de esta compañía para GPON.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR/ Ubicación
<p>ONT: Home 4000¹¹⁹</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo que soporta: voz (TDM y VoIP) • video (RF e IP) y datos de alta velocidad. • Diseñado para uso residencial y de pequeños negocios. Posee 4 puertos Ethernet 10/100 BaseT y 1 puerto de RF y 4 puertos POTS (RJ-11). <ul style="list-style-type: none"> • Switch interno (16Gbps). • Interfaz de red que soporta todas las PON's. VLAN's y QoS24 basados en prioridades. Garantiza VoIP y Video Streaming 	<p>GPON Usuario final</p>
<p>OLT:COO2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjeta con 2 puertos PON. • Puede ser instalada en el chasis Edge2000 (en cualquier slot del 1-8), • posee un acoplador óptico interno para enviar señales de RF (uno para cada PON) 	<p>GPON Usuario final</p>
<p>EDFA + WDM = EPSP0103</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo WDM que contiene integrado un EDFA para ofrecer el video a los usuarios 	<p>GPON Oficina Central</p>

¹¹⁹ http://www.ctdi.com/Portals/32/Products/Documents/alloptic/Home4000_CTDI_LR.pdf

<p>Sistema de Gestión: GEM Gigabit Element Management System (GEMS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de gestión que provee las herramientas para manejar y monitorear los elementos de una red Alloptic PON. • Permite la configuración rápida y eficiente de los equipos y ofrece una interfaz gráfica amigable con el usuario. 	<p>GPON Head-end</p>
--	--	---------------------------

Tabla 4.15 Equipos GPONs de Alloptic Inc.

Una vez determinado los equipos en planta interna a utilizar se fijan los splitters necesarios para poner en operación la red y los equipos de conectorización tanto activos como pasivos. A continuación se detalla el tipo de fibra utilizado por el Grupo Cablezar SCC, misma que no se detalla costo por estar ya implantada por Cablezar SCC. Dichos datos se muestran en la Tabla 4.16, datos de splitters, armarios, bandeja de conectorización, clousures, etc.

Cantidad	Descripción FO	V. Unitario (usd)	V. Total (usd)
X	<p>Optronics 24 hilos, ANSI/TIA/EIA-568-C3</p>  <p>24-48 FIBRAS</p>	X	X
X	<p>Optronics 2hilos, ANSI/TIA/EIA-568-C3</p> 	X	X

25	<p>Splitter Óptico Pasivo (Passive Optical Splitter), 1x6</p> 	90	2250
	acopladores, herrajes, Armarios		800
25	<p>Clousures FOSC-400T o caja de empalme</p> 	80	2000
1	<p>Bandeja FIST-GPS3</p> 	250	250
TOTAL			5.300

Tabla 4.16: Elementos de la red de Fibra Óptica

Los Clousures FOSC para fibra óptica son necesarios porque dentro de ellos se realiza la fusión de los hilos de fibra que alimentarán y alojarán a los splitters secundarios.

La bandeja de conectorización se ubicará en la oficina central; mediante esta bandeja se introducirán 4 hilos de FO uno para cada splitter primario, de allí se derivará un cable de FO de 24 hilos que recorrerá los ODF de los nodos que conforman la troncal.

El cable de FO externo armado Optronics utilizado por el Grupo Cablezar es ideal para instalaciones en ductería, enterrado directo o en su caso con un

sistema de instalación de lashing¹²⁰ para instalaciones aéreas. Este tipo de cable ofrece un alto desempeño para la transmisión de señales luminosas de alta calidad con baja atenuación; está disponible en 6, 12, 24, y 48 fibras.

Este tipo de cable de Optronics cuenta con una armadura de aluminio corrugado color verde repelente a roedores lo cual lo vuelve una buena opción para lugares donde estos animales pudieran causar estragos en el cable de la fibra óptica. Los tubos y fibras contenidas en el cable armado Optronics están identificados por colores de acuerdo al estándar ANSI/TIA/EIA-598-A.

En la Tabla 4.17, se detallan las especificaciones de la fibra óptica que se encuentra lanzada en todo el anillo óptico.

Especificaciones											
Tipo de cable		Exterior Unitubo				Exterior Multitubo					
Total de Fibras		6	12	6	12	24	36	48			
Total de tubos		1	1	1	1	2	3	4			
Ø exterior (mm)		10.2	10.2	9.6	9.6	9.6	10.2	11.6			
Peso (kg/km)		105	105	100	100	100	115	150			
Tensión de tracción (lbf/N)		600/1500	600/1500	600/1500	600/1500	600/1500	600/1500	600/1500			
Temperatura de operación		-40° ~ + 70°C	-40° ~ + 70°C	-40° ~ + 70°C	-40° ~ + 70°C	-40° ~ + 70°C	-40° ~ + 70°C	-40° ~ + 70°C			
Sobre la Fibra											
Fibra (µm)	Buffer(µm)	Coeficiente de atenuación (dB/Km)				Ancho de banda (MHz-Km)				Distancia (m)	
		850nm	1300nm	1310nm	1500nm	850nm	1300nm	1310nm	1500nm	1000 BASE SX	1000 BASE LX
50/125	250	≤2.7	≤0.6	---	---	≥200	≥600	---	---	≤550	≤550
62.5/125	250	≤2.3	≤0.6	---	---	≥200	≥600	---	---	≤220	≤550
9/125	250	---	---	≤0.35	≤0.22	---	---	---	---	---	---
Sobre el cable											
Tensión de tracción	Distancia larga	600N			Resistencia a la compresión	Distancia larga	600N/100mm				
	Distancia corta	1500N				Distancia corta	1500N/100mm				
Radio de curvatura	Activo	≥20			Temperatura de Almacenamiento	-40° ~ + 60°C					
	Pasivo	≥10									

Tabla 4.17: Características FO Optronics ANSI/TIA/EIA-568-C3¹²¹

4.9. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Detallado anteriormente las diferentes empresas con sus distintos equipos para implementar la red GPON se ha decidido realizar el diseño con equipos de distintos fabricantes debido a sus especificaciones técnicas y a sus costos.

¹²⁰ Lashing (amarre), el lasher asegura el cable de fibra óptica al de apoyo arrollando un cable de amarre pequeño y continuo alrededor de ellos en forma espiral.

¹²¹ <http://optronics.com.mx/modulos/eCommerce/fotos/41766002-cableexteriorarmado.pdf>

Para los equipos como la OLT y la ONT se utilizará del proveedor Huawei, ya que cubren las necesidades que permiten poner en marcha la red GPON para cubrir el sector de La Carolina.

OLT HUAWEI - SmartAX MA5683T

Este es el equipo que se acopla de mejor forma a la operatividad y necesidades del diseño de la red GPON. El equipo OLT, marca Huawei, modelo MA5683T posee las características operacionales y técnicas que satisfacen plenamente lo necesario para el despliegue de la red a implementar.

ONT HUAWEI- EchoLife OT925-G

Este equipo ONT (**Optical Network Termination**)¹²² de marca HUAWEI, modelo EchoLife OT925-G cumple con las características técnicas que se ajusta a las necesidades de diseño, este equipo estará instalado lo más cerca al usuario con su funcionalidad de voz datos y video.

4.9.1. ANÁLISIS DE COSTO DE EQUIPOS, MATERIALES Y ACCESORIOS

En las siguientes Tablas (4.18, 4.19, 4.20), se muestran los precios referenciales de los equipos necesarios para la implementación de la red GPON. Cabe indicar que la lista a detallar se toma como referencia para la zona 5 que se encuentra geográficamente ubicado en la parte céntrica de la ciudad, ver Anexo K.

INSTALACIÓN					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Tapones para tubería de 4"	U	190	6.81	1.293,9
2	Herrajes de sujeción	U	100	4.15	415
3	Herrajes de paso	U	100	17.00	1.700

¹²² ONT, OPTICAL NETWORK TERMINATION, Es el elemento situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario. Estas interfaces han evolucionado del fastethernet al gigabit ethernet para dar velocidades ofrecidas a los usuarios.

4	Pigtails G652	U	50	12.50	625
5	Mufa indoor	U	10	9.20	92
6	Maleta de herramientas	U	1	150	150,00
7	Accesorios de instalación	U	200	10	2.000
	Subtotal				6.275,90

Tabla 4.18: Detalle de costos de equipos y accesorios para Instalación

TRANSPORTE					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Optronics 24 hilos, ANSI/TIA/EIA-568-C3	X	X	X	X
2	Fibra óptica 12 hilos 568 C3	M	2000	1.50	3.000
3	Splitter Óptico Pasivo (Passive Optical Splitter), 1x6	U	25	210	5.250
4	Splitter Óptico Pasivo (Passive Optical Splitter), 1x4	U	15	230	3.450
5	ONT indoor con salida Ethernet 10/100/1000 Mbits	U	150	308	46.200
	Subtotal				54.903,00

Tabla 4.19 Detalle de costos de equipos y accesorios para Transporte

ENLACE					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Cabina OLT 16 Slots para tarjetas GPON	U	1	1.600	1.600
2	OLT Huawei MA5683T	U	8	5.800	46.400
3	Tarjeta OLT Enlace UPLINK 2x10 GB GPON ITU-T G.984.x	U	1	5.800	5.800
4	EDFA	U	1	6.300	6.300
5	Sistema de Gestión: GEM (GEMS)	U	1	6.500	6.500
6	Chasis OCMR	U	1	3.800	3.800
	Subtotal				70.400,00
	Total				131.374.90,00

Tabla 4.20: Detalle de costos de equipos y accesorios para Enlace

En el Anexo L, se muestran las características y especificaciones técnicas de los equipos seleccionados para armar la red GPON.

A continuación se detalla un esquema de la red con los equipos seleccionados.

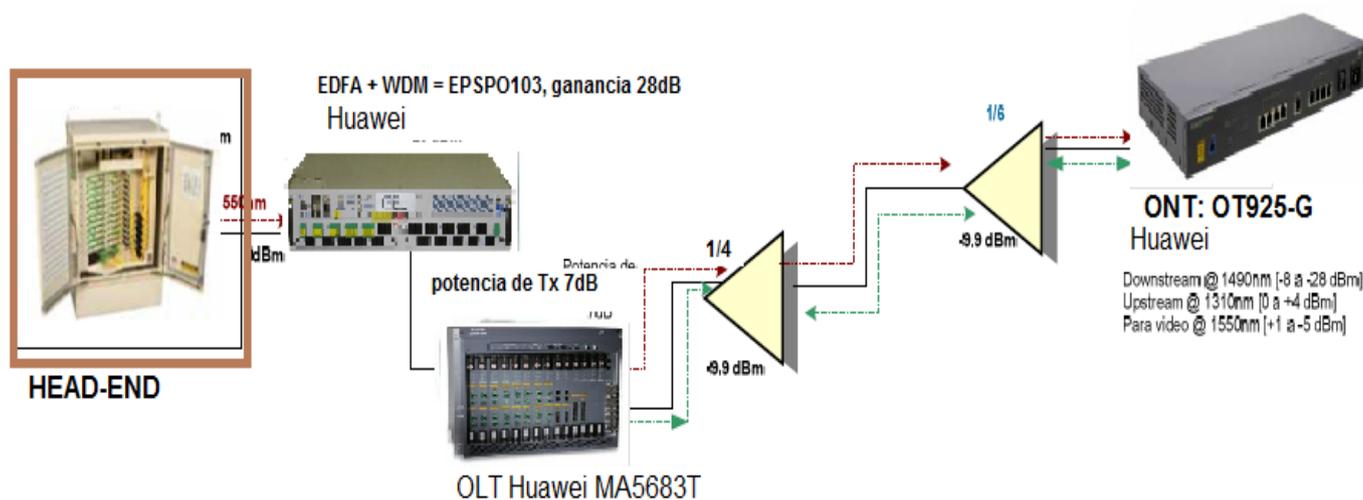


FIGURA 4.14: ESQUEMA RED GPON CON LOS EQUIPOS SELECCIONADOS¹²³

4.10. PLAN DE MIGRACIÓN

La migración se empezaría por el área comercial, teniendo en cuenta a todos los clientes que hayan optado por la nueva tecnología y por el nuevo rubro económico que esto implicaría.

Se tiene en cuenta que la migración al inicio de la operatividad de la red GPON, no se contará con un número tentativo de clientes pero se espera que con proyecciones para el 2013 en adelante se masifique las conexiones a FTTx, por razones existentes en el mundo de migrar hacia nuevas tecnologías de banda ancha y sobre todo por la necesidad de ofrecer altas velocidades de transmisión. Debido a ésta tendencia mundial de migrar a tecnologías de nueva generación la UIT¹²⁴ (Figura 4.15), presentó un estudio a nivel latinoamericano para el año 2012 donde se refleja el crecimiento que tiene la migración a esta tecnología de nueva generación NGN, donde se refleja que existen países con un crecimiento considerable a nivel de redes GPON (FTTx). Con respecto a Ecuador vemos que la tendencia es a crecer en la implementación a redes FTTx.

¹²³ Fuente Personal

¹²⁴ UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones

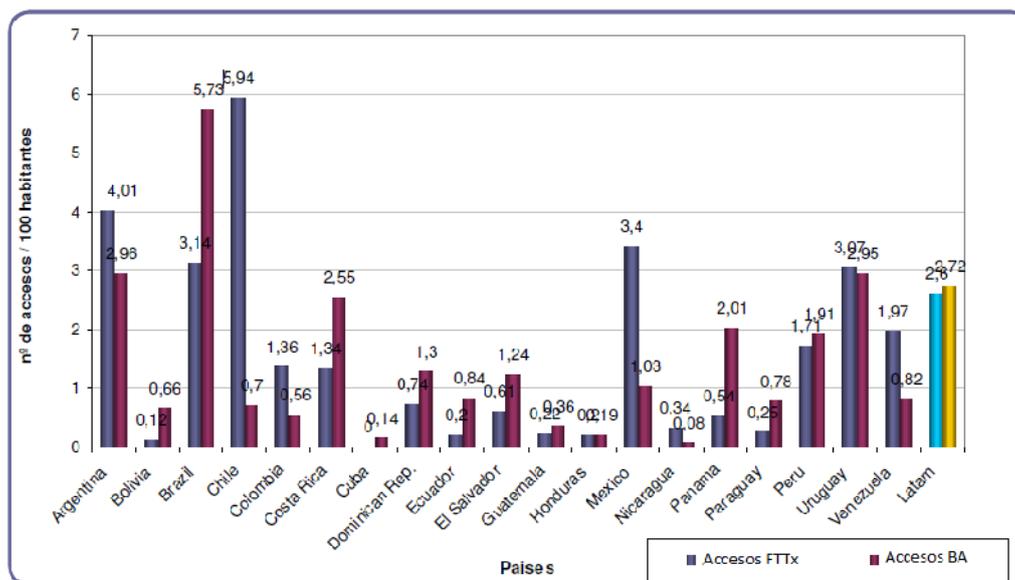


FIGURA 4.15: ITU PENETRACIÓN DE ACCESOS A FTTx VS BANDA ANCHA¹²⁵

La migración proyectada es para todos los clientes del Grupo Cablezar SCC, contando que la migración no se la hará de un día para el otro, por motivos que se requiere de varias acciones previas para el perfecto funcionamiento de GPON.

Una vez implantada la estructura GPON y con el cambio y/o reemplazo de equipos pasivos y activos se deberá realizar pruebas de operatividad con los equipos seleccionados, validar el perfecto funcionamiento y conjugar lo expuesto por los fabricantes de cada uno de los equipos seleccionados.

El siguiente paso a seguir será rectificar o actualizar la ingeniería de todos los clientes corporativos a migrarse al igual que a los clientes Home se deberá configurar perfiles y puertos en la gestión que administre la GPON en el Head-End.

En el sustento teórico técnico cada puerto OLT soporta hasta 64 ONTs, este diseño consideró dos niveles de splitting de 1x6 por lo que cada OLT soportará hasta 36 ONTs.

¹²⁵ www.itu.int/ITU-D/finance/Work%20on%20Financing/Telecom_FTTx_Banda_Ancha_Latinoamerica-sp.pdf

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN

5.1. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED Y SU FUNCIONAMIENTO

En el anterior capítulo, se realizó el diseño de la red GPON para brindar el servicio Triple Play para la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, sin embargo, es necesario evaluar los costos que intervienen en este diseño y realizar el análisis económico para determinar la viabilidad y la rentabilidad diseño.

Se procederá a calcular los costos totales de los equipos seleccionados, como también del material adicional para la instalación, necesarios para la ejecución inicialmente en una de las 5 zonas de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, en este caso se referencia a la zona 5.

5.2. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Descrito el diseño de la red GPON en base a los resultados obtenidos en las encuestas efectuadas (ver Tabla 4.1) y en los requerimientos de los usuarios (ver Tabla 4.2), se pudo conocer las exigencias en cuanto a equipos para la implementación y operación de la red. Se realizará un estudio que pretenda mostrar la inversión total para la implementación de la red GPON, la proyección en un tiempo de 5 años y la rentabilidad que presenta la implementación de la GPON, para esto se calculan ingresos, gastos, depreciaciones entre otros valores.

Inicialmente se establece un periodo de recuperación de la inversión a efectuarse por el Grupo Cablezar SCC, presentando el análisis de la factibilidad del diseño en base a los flujos de caja anuales y el cálculo de los parámetros financieros VAN y TIR.

El Grupo Cablezar SCC, tiene su red HFC y su troncal de fibra óptica tendida por toda la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, razón por la que no será

necesario sumarle al presupuesto de inversión, teniendo en cuenta que los 8 nodos existentes en la ciudad se los fortalecerá con equipos más robustos.

5.3. ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación se indicarán los precios de los equipos, materiales, mano de obra, necesarios para la implementación de la red GPON en la zona 5, de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

5.3.1. EQUIPOS

En la Tabla 5.1 se detallan los valores de los equipos de planta externa e interna que se utilizarán en la zona 5 de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

TRANSPORTE					
Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Optronics 24 hilos, NSI/TIA/EIA-568-C3	X	X	X	X
2	Fibra óptica 12 hilos 568 C3	M	2000	1.50	3.000,00
3	Splitter óptico Pasivo (Passive Optical Splitter), 1x6	U	25	210	5.250,00
4	Splitter óptico Pasivo (Passive Optical Splitter), 1x4	U	15	230	3.450,00
5	ONT indoor con salida Ethernet 10/100/1000 Mbits	U	150	308	46.200,00
ENLACE					
Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Cabina OLT 16 Slots para tarjetas GPON	U	1	1.600	1.600,00
2	OLT Huawei MA5683T	U	8	5.800	46.400,00
3	Tarjeta OLT Enlace UPLINK 2x10 GB GPON ITU-T G.984.x	U	1	5.800	5.800,00

4	EDFA	U	1	6.300	6.300,00
5	Sistema de Gestión: GEM (GEMS)	U	1	6.500	6.500,00
6	Chasis OCMR	U	1	3.800	3.800,00
COSTO TOTAL					128.300

Tabla 5.1: Costo de valores de Equipos de Transporte y Enlace

5.3.2. MATERIALES

En la Tabla 5.2, se detalla los valores de los materiales a utilizarse en la instalación de la red GPON en la zona 5.

INSTALACIÓN					
Nº	Descripción	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Gabinetes SmartRack Premium de 42U de Ubicación Compartida - 2 compartimientos separados	U	4	220,50	882,00
2	Herrajes de sujeción de FO tipo ADSS	U	100	4.15	415,00
3	Herrajes de paso de FO tipo ADSS	U	100	17.00	1.700,00
4	Pigtails G652	U	50	12.50	625,00
5	Mufa indoor	U	10	9.20	92,00
6	Accesorios de instalación	U	200	10	2.000,00
7	Maleta de herramientas	U	1	150	150,00
8	Tapones para tubería de 4"	U	190	6.81	1.293,90
COSTO TOTAL					7.157.90

Tabla 5.2: Costo de valores de Materiales de Instalación

5.3.3. COSTOS ADICIONALES

En la Tabla 5.3 se desglosa los valores y costos necesarios de tomar en cuenta en el Análisis económico.

ADICIONALES					
Nº	Descripción	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Pago de Energía Eléctrica	Mes	12	40,00	480,00
2	Pago mantenimiento técnico planta externa	Mes	12	700,00	8.400,00
3	Banco de Baterías	U	4	600,00	2.400,00
4	Pago personal de seguridad en nodos y planta externa	Mes	12	500	6.000,00
COSTO TOTAL					17.280,00

TABLA 5.3: Detalle Costos Adicionales

5.4. DEPRECIACIONES

La depreciación es el proceso de deterioro o desgaste de los activos fijos tangibles, cuyo deterioro puede ser parcial o total a través del tiempo. La vida útil del activo fijo termina cuando se ha depreciado totalmente o cuando ha perdido su costo.

En el Ecuador la vida útil de los activos fijos se determina con base en el tipo de activo y en el aspecto puramente tributario. Siendo activos fijos los elementos la red GPON, estos se desgastan por igual durante cada periodo anual en un 20%¹²⁶ (ver Tabla 5.4)¹²⁷, y las cuotas de depreciación son iguales o constantes en función de la vida útil de la red que se estima es de 5 años, cuyos valores se muestran a continuación en la Tabla 5.5

¹²⁶ Depreciación Activos Fijos, En el Ecuador la vida útil de los activos se determina con base en el tipo de activo y en el aspectos puramente tributarios estipulados en el numeral 6 del Artículo 20 del Régimen de Aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno.

¹²⁷ www.sri.gob.ec

DEPRECIACIONES DE ACTIVOS FIJOS		
TIPO DE ACTIVO	AÑOS DE VIDA ÚTIL	% DEPRECIACIÓN ANUAL
Construcciones y edificaciones	20	5
Naves, Aeronaves, Barcazas	20	5
Instalaciones	10	10
Maquinaria y Equipo	10	10
Muebles y Equipo de Oficina	10	10
Vehículos y Equipo de transporte	5	20
Equipo móvil y de comunicaciones	5	20
Equipo de cómputo	3	33
Software	3	33

Tabla 5.4: Depreciaciones anuales de activos fijos

EQUIPO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	DEPRECIACIÓN ANUAL 20%
OLT	5.800	46.400	9.280
ONT	308	46.200	9.240
COSTO TOTAL	6.108	96.200	18.520

Tabla 5.5: Depreciación anual de equipos

5.5. INGRESOS DEL PROYECTO

5.5.1. TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento)¹²⁸

La TMAR de un proyecto hace referencia a la tasa máxima que ofrecen los bancos con una inversión a plazo fijo. La referencia para que esta tasa sea determinada es el índice inflacionario. Sin embargo, cuando un inversionista arriesga su dinero, para él no es atractivo mantener el poder adquisitivo de su inversión, sino más bien que ésta tenga un crecimiento real, es decir, le interesa un rendimiento que haga crecer su dinero más allá que compensar los efectos de la inflación. Para esos cálculos se considera la siguiente fórmula:

$$\text{TMAR} = \text{tasa de inflación} + \text{premio al riesgo (riesgo país)} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

¹²⁸ *TMAR, BACA Urbina Daniel. "Fundamentos de Ingeniería Económica" 4ta edición. Mc Graw Hill, pag 87*

Para este caso se considera el cálculo de TMAR en la siguiente Tabla 5.5, tomando valores a Febrero del 2013, donde la Tasa de Inflación según las estadísticas del BCE¹²⁹ a Febrero del 2013 es del 3.48%, sumado a esto el Riesgo país que de igual manera el BCE lo indica es del 7,04%.

TASA DE INFLACIÓN (%)	PREMIO AL RIESGO (%)	TMAR (%)
3.48	7,04	10.52

Tabla 5.6: TMAR a Febrero del 2013¹³⁰

5.5.2. COSTOS DE SERVICIO POR USUARIO

El usuario tiene que realizar pagos mensuales sobre el uso del servicio prestado, a un tiempo determinado, los pagos mensuales que tendrá que realizar el cliente serán de 20 usd por inscripción y 25 usd por uso del servicio, los 25 usd se referencia a que el cliente puede contratar internet, televisión y telefonía. Se determina un número aceptable de clientes con los que se empiece a percibir ganancias y al mismo tiempo con la proyección de que se bajarán los costos para hacerlos competitivos con otros proveedores. El número de usuarios a empezar el servicio GPON en este caso es de 40 de acuerdo a lo especificado en la Tabla 4.1

5.6. ANALISIS ECONÓMICO

Para determinar el análisis económico se pretende mostrar la inversión total de implementación de la red GPON, la proyección en un tiempo estimado de 5 años y la rentabilidad que representa el despliegue de la misma para lo cual se calculan ingresos, gastos, utilidades entre otros rubros. Para el cálculo de los ingresos se tendrán los diferentes planes que se ofrecerán al público y clientes activos tanto para el servicio de internet como la IPTV¹³¹; los valores de los planes se muestran en la Tabla 5.6 y Tabla 5.7 respectivamente.

¹²⁹ Tasa de Inflación a Febrero 2013, http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflación

¹³⁰ Tomado valores expuestos por el BCE a febrero 2013

¹³¹ Esta es una tecnología que permite recibir la señal de TV y video, a través de la conexión de banda ancha. Una de sus características es la personalización del contenido.

Adicional a ello, los clientes deberán pagar un porcentaje por el equipo ONT¹³² que será instalado en su domicilio, monto que será cobrado al momento de la suscripción, este valor se lo considera también un ingreso al momento del cálculo.

PLAN INTERNET	DESCRIPCIÓN Kbps	VALOR (usd)
PLAN HOME	3072	40
PLAN PREMIUM	6144	90
PLAN GOLD	10240	200

Tabla 5.7: Costo planes internet¹³³

PLAN TELEVISIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR (usd)
PLAN 1	TVSTANDAR	20
PLAN 2	TV PREMIUM	40
PLAN 3	TVGOLD	80

Tabla 5.8: Costo planes de televisión¹³⁴

Todos los gastos de equipos, mano de obra, gastos de electricidad, gastos financieros están referidos dentro de los costos de producción.

Adicional a esto se calcula la Taza Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN) y se comparan con el costo de oportunidad, si el valor del VAN es positivo y el TIR calculado es mayor que el costo de oportunidad se concluye que el proyecto rentable, caso contrario se deben variar los valores de ingresos o gastos, para que el proyecto y la inversión sea rentable.

5.6.1. VAN (Valor Neto Actual)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedará alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

¹³² ONT Optical Network Terminal, Es el elemento situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario.

¹³³ Fuente Grupo Cablezar SCC

¹³⁴ Fuente Grupo Cablezar SCC

La ecuación que indica cómo calcular el VAN es la siguiente:

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

Dónde:

I_0 = Flujo Inicial en el año 0

T = Período del flujo de fondos

V_t = Flujo de fondos en cada período

K = Tipo de Interés, en nuestro caso tomaremos el TMAR, en base al riesgo país en Ecuador

n = número de periodos

Para el caso del proyecto, tenemos el cálculo del VAN de la siguiente manera:

$$\text{VAN} = -135.337,90 + 144.337,90 / (1 + 10.52)^1$$

$$\text{VAN} = 770,833333$$

Dónde:

Si el $\text{VAN} > 0 \rightarrow$ el proyecto es rentable.

Si el $\text{VAN} = 0 \rightarrow$ el proyecto es rentable también, porque ya está incorporado ganancia de la TD.

Si el $\text{VAN} < 0 \rightarrow$ el proyecto no es rentable.

Con el cálculo de VAN, se concluye que el proyecto GPON para la empresa Grupo Cablezar SCC, es viable.

5.6.2. TIR (Tasa Interna de retorno)

El TIR se define como la tasa de interés cuando el valor actual neto es igual a cero, el cual mide la rentabilidad del proyecto.

Para hallar la TIR se hace uso de la fórmula del VAN, sólo que en vez de hallar el VAN (el cual se reemplaza por 0), se estaría hallando la tasa de descuento.

Para calcular el TIR, se usará la siguiente ecuación 5.3.

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} = 0 \text{ (Ec. 5.3)}$$

Dónde:

I_0 = Flujo Inicial en el año 0

T= Período del flujo de fondos

V_t = Flujo de fondos en cada período

K= Tipo de Interés, en nuestro caso tomaremos el TMAR, en base al riesgo país en Ecuador

n= número de periodos

Si los resultados que arroja el TIR se los discierne de la siguiente manera:

Si el TIR \geq TMAR, acéptese la inversión

Si el TIR $<$ TMAR, rechácese la inversión

5.6.3. PERIODO DE RECUPERACIÓN DE CAPITALES (PRI)

Es el tercer criterio más utilizado para evaluar un proyecto, ya que tiene por objeto medir en cuánto tiempo se recupera la inversión realizada, incluyendo el costo de capital involucrado para la zona 5. El análisis económico del PRI se lo va a realizar con una proyección a 5 años y con un índice de crecimiento del 3%, teniendo a 40 usuarios iniciales (ver Tabla 4.1).

Los costos de los equipos varían ya que al incrementarse un usuario por año, también se incrementa la compra de una ONT, los costos de los materiales se mantienen más no así el pago del mantenimiento técnico que se incrementa 100 usd por año y también el fluido eléctrico que se incrementa 10 usd por año. Para el análisis de los ingresos proyectado a 5 años, se pone como base una cuota de inscripción por un valor de 200 usd por usuario y un pago mensual de 250 usd.

Todos estos cálculos de valores se ven reflejados en la Tabla 5.8

GASTOS PROYECTADOS A 5 AÑOS									
Año 1 (2013)		Año 2 (2014)		Año 3 (2015)		Año 4 (2016)		Año 5 (2017)	
Usuarios=40		Usuarios= +1		Usuarios= +1		Usuarios= +1		Usuarios= +1	
Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)
Costo de equipos	128.300,00	Costo equipo ONT nuevo usuario (308usd)	308	Costo equipo ONT nuevo usuario (308usd)	308	Costo equipo ONT nuevo usuario (308usd)	308	Costo equipo ONT nuevo usuario (308usd)	308
Costo de materiales	7.157,90	Costo de materiales	0	Costo de materiales	0	Costo de materiales	0	Costo de materiales	0
Pago mantenimiento técnico 700usd(c/mes)	8.400,00	Pago mantenimiento técnico 800usd(c/mes)	9.600,00	Pago mantenimiento técnico 900usd(c/mes)	10.800,00	Pago mantenimiento técnico 1.000usd(c/mes)	12.000,00	Pago mantenimiento técnico 1.100usd(c/mes)	13.200,00
Pago fluido eléctrico 40usd (c/mes)	480,00	Pago fluido eléctrico 50usd (c/mes)	600,00	Pago fluido eléctrico 60usd (c/mes)	720,00	Pago fluido eléctrico 70usd (c/mes)	840,00	Pago fluido eléctrico 80usd (c/mes)	960,00
TOTAL= 144.337,90		TOTAL= 10.508,00		TOTAL= 11.828,00		TOTAL= 13.148,00		TOTAL= 14.468,00	
TOTAL EN 5 AÑOS = 194.289,90									

Tabla 5.9: Detalle de gastos en 5 años

INGRESOS PROYECTADOS A 5 AÑOS									
Año 1 (2013)		Año 2 (2014)		Año 3 (2015)		Año 4 (2016)		Año 5 (2017)	
Usuarios=40		Usuarios= +1		Usuarios= +1		Usuarios= +1		Usuarios= +1	
Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)	Descripción	Total(usd)
Pago de inscripción 200usd	8.000,00	Pago de inscripción 200usd	200,00						
Pago mensual 250usd	120.000,00	Pago mensual 250usd	123.000,00	Pago mensual 250usd	126.000,00	Pago mensual 250usd	129.000,00	Pago mensual 250usd	132.000,00
TOTAL= 128.000,00		TOTAL= 123.200,00		TOTAL= 126.200,00		TOTAL= 129.200,00		TOTAL= 132.200,00	
TOTAL EN 5 AÑOS = 638.800,00									

Tabla5.10: Ingresos proyectados a 5 años.

El análisis económico se lo realizó con proyección a 5 años (ver Tabla 5.4), tiempo en el que se estima que el Grupo Cablezar SCC de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas podrá recuperar lo invertido al inicio del proyecto, dicha inversión fue de 135.457,90 usd., utilizado en equipar y armar la zona 5. Con la realización del estudio respectivo de mercado (ver Tabla 4.1 y Tabla 4.2), se estimó que se iniciaría con un grupo de 40 clientes los cuales se les estableció valores de 200usd y 250usd de inscripción y mensualidad respectivamente (ver Tabla 5.8 y Tabla 5.9), lo cual demuestra que la inversión es recuperada en menos de tres años. Cabe mencionar que en todos estos valores no se ha referido costos por cortes de fibra en la troncal, mensualidad de personal técnico contratado para realizar instalaciones y visitas técnicas al sitio (clientes), robos de equipos de planta externa, transporte del personal técnico contratado, daño de equipos pasivos o activos por cuestiones climáticas. Siendo todos estos factores reales, se valida que el proyecto es factible y que la inversión se la recuperaría (ver Tabla 5.9), en un tiempo menor a 3 años, tomando como proyección a bajar las mensualidades de los clientes.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES

- Con el análisis económico se concluyó que a pesar de ser una inversión alta la que se requiere para la implementación de la red GPON en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, resulta rentable a corto plazo, esto bajo ciertos factores tales como los ingresos, costos administrativos, egresos, y utilidades, que deberán tenerse en cuenta.
- Las redes GPON, gracias a su característica de utilizar equipos pasivos en el transporte, hace que los costos de mantenimiento sean factibles y la escalabilidad de estas redes hacia las nuevas tecnologías presentadas estén al alcance, sin necesidad de recurrir a nuevas inversiones en la planta externa o en la topología de la red.
- El nodo principal ubicado en la zona 5 y los otros 7 nodos se encuentran conectados a través de un cable de fibra óptica, donde la plataforma que permite establecer el diseño de una red GPON para la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, va a ser implementada por el Grupo Cablezar SCC, con la finalidad de ofrecer un servicio de valor agregado a los actuales clientes, ampliando así su cartera de prestaciones, sumando mayores ventajas sobre los actuales proveedores en el mercado.
- El porcentaje de usuarios en la GPON va a estar en función de las capacidades de enrutamientos automáticos o división de la fibra óptica en un punto, si la fibra lo permite se puede seguir dividiendo los accesos de manera jerárquica hasta alcanzar el número máximo de conexiones permitido por los equipos pasivos y activos. También influye el grado de dificultad de acceso a una zona; con geografías difíciles de acceder, no se puede dar el servicio a muchos usuarios, sobre todo si la fibra tiene que ser tendida por lugares de difícil acceso.

- Las ventajas que ofrece la fibra óptica como medio de transmisión, la ha convertido actualmente en una de las mejores opciones tecnológicas para redes de acceso hasta el cliente y se ha escogido la tecnología GPON por que soporta todo tipo de tráfico y ello permite brindar servicio de voz, datos y video con calidad de servicio y un ancho de banda lo suficientemente bueno para suplir las necesidades de cualquier tipo de cliente.
- La implementación de la fibra óptica en servicios triple play (voz, datos y video), permite alcanzar distancias de hasta 20Km y los problemas de ruido, atenuación e interferencia se minimizan debido al tipo de elementos pasivos que se utilizan; la fibra óptica tiene una limitante de tipo físico, la fragilidad, debido a que se encuentra expuesta externamente en los postes de fluido eléctrico y alumbrado público a lo largo de las vías, expuestas de esta manera son susceptibles a cualquier tipo de consecuencia y accidente que puede provocar un corte de la fibra y con ello la caída de servicio.
- GPON, es una tecnología nueva en el mercado de las telecomunicaciones en el país, los costos de implementación y operación todavía son altos, por lo tanto dicha tecnología está dirigida a un segmento de la población con alto poder adquisitivo y comercial, aunque a corto plazo se pretende abaratar los costos para poder ampliar el mercado y masificar el servicio, a sectores donde el cobre tiene atenuaciones que imposibilita el transmitir servicios.
- La migración de la red HFC del Grupo Cablezar SCC, hacia la nueva tecnología GPON, conlleva cambios en equipos activos y pasivos, cambios no bruscos en la red, ya que dicha tecnología utiliza como plataforma base el Ethernet, el cual actualmente está implementado en todas las redes de los proveedores de servicios.
- Existe parámetros a nivel de backbone que son difíciles de evaluar antes de poner en funcionamiento una red y para esto se recurre a los simuladores de red entre los que destacamos el uso del programa OptSim de RSoft Desing Group con el cual se pueden realizar simulaciones de prototipos de un sistema óptico los cuales estaban fuera del alcance del presente trabajo, pero se abre nuevos campos de investigación en el área de comunicación óptica.

6.2. RECOMENDACIONES

- En la actualidad el estudio de nuevas tecnologías en el campo óptico es de vital importancia, por esta razón se debe tener una correcta planificación acerca del crecimiento de los servicios de telecomunicaciones por parte de las diferentes operadoras debido a que se debe mejorar la calidad de servicio que se ofrece al cliente y por ello trabajar con arquitecturas FTTX.
- En este proyecto se contempla el estudio de una red de acceso o de última milla GPON por lo que se recomienda su implementación sobre una red real para poner a prueba su desempeño.
- Para alcanzar una mejor comprensión acerca de la tecnología aquí expuesta se recomienda entender el funcionamiento de las tecnologías que son parte de GPON es decir FTTX y el tipo de modulación que maneja WDM.
- Al ser GPON una nueva tecnología en el país, es necesario contar con personal capacitado en estas nuevas tendencias tecnológicas ya que indiscutiblemente la infraestructura de telecomunicaciones apunta al crecimiento con mayores y mejores servicios. Es necesario entonces solicitar a los fabricantes que dentro de los costos que presupuesten, se incluya el entrenamiento al personal de las operadoras.
- Para lograr un alto grado de visibilidad de toda la infraestructura tecnológica se debe identificar, clasificar y asignar niveles de monitoreo para los suscriptores, servicios y tráfico a través de algún software de gestión de la red, también se debe monitorear cada uno de los recursos como servidores, analizar el tráfico de las conexiones concurrentes y verificar que las políticas establecidas se cumplan a nivel de configuraciones.
- En el país se debe implementar gradualmente redes totalmente ópticas con el objeto de posibilitar servicios de mayor ancho de banda.

BIBLIOGRAFÍA

- EPON(Ethernet Passive Optical Network), Glen Kramer, 2004
- BLUMENTHAL, DANIEL J., *Routing Packets with Lights*", *Scientific American*. Jan.2001.
- Sistemas y Redes Ópticas de Comunicación, José Martín Pereda, editorial Pearson Educación, 2004.
- BLUMENTHAL, DANIEL J., *All-Optical Label Swapping for the future Internet*. Mar.2002.
- Ethernet in the first mile, Wael Diadiab, editorial IEEE, 2006
- CHOMYCZ, BOB; *Instalaciones de Fibra Óptica Fundamentos, técnicas y aplicaciones, España, Mc GRAW - HILL, 1998, pp 77 - 98.*
- FUENTE: GPON *Fundamentals Huawei Technologies Co. LTD 2007*
- FUENTE: LATTANZI, M. GRAF A "Redes FTTx Conceptos y aplicaciones" *IEEE Communication Society disponible en www.comsoc.com Argentina*
- http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D010000050004PDFE.pdf
- Manuales de Diseño de Redes de Fibra Óptica EPN Quito 2010
- http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com15/Documents/tutorials/Optical_access_transmission.pdf
- <http://culturadigital.br/redeclara/2010/01/19/potencial-red-de-cooperacion-audiovisual-en-america-latina-2/>
- <http://www.cableu.net>: "Fiber Amplifiers". 2000.
- <http://www.sigmanetwork.es>
- <http://www.senatel.gob.ec>
- www.huawei.com
- http://www3.alcatellucent.com/Search/s.s?S_FULLTEXT=GPON&siteId=internet&templateId=search&locale=en
- <http://enterprise.huawei.com/en/products/network/transfer-network/index.htm>
- [ITU-T G.984.2] Recommendation ITU-T G.984.2 (2003), *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification.*

- [ITU-T G.984.3] Recommendation ITU-T G.984.3 (2008), *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification*.
- [ITU-T G.984.4] Recommendation ITU-T G.984.4 (2008), *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification*.
- [ITU-T G.984.5] Recommendation ITU-T G.984.5 (2007), *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Enhancement band*.
- alegsa.com.ar/Diccionario/diccionario.php Diccionario de informática

GLOSARIO DE TÉRMINOS

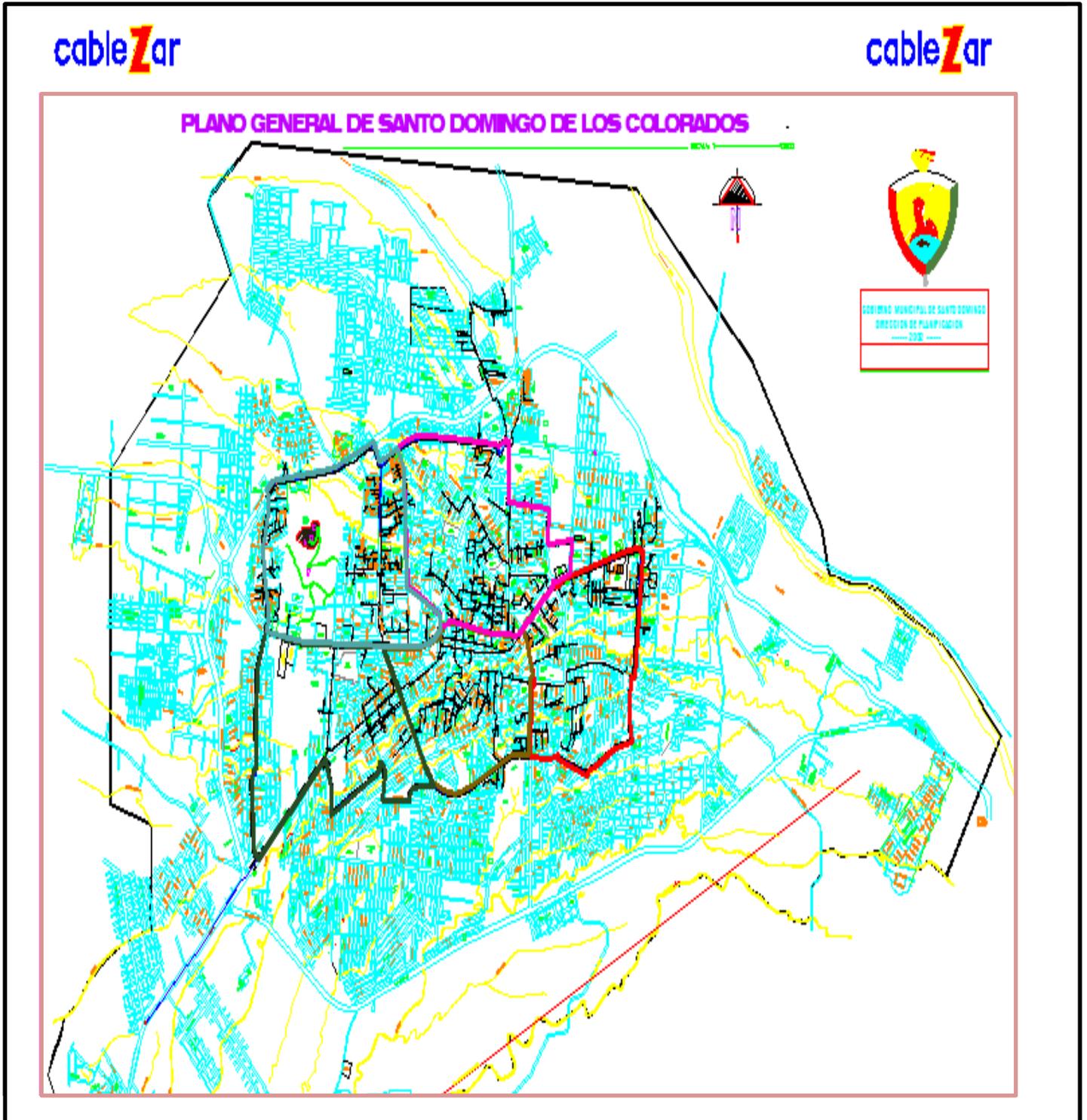
ADSL	Línea de abonado digital asimétrica (<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>)
ADSS	Auto-sustentados totalmente dieléctricos (<i>All Dielectric Self Supported</i>),
APC	Contacto Físico Angulado (<i>Angled Physical Contact</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>Asynchronous Transfer Mode</i>)
B-PON	Red óptica pasiva de banda ancha (<i>Broadband Passive Optical Network</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit error ratio</i>)
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código (<i>Code Division Multiple Acces</i>)
CSMA/CD	Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones (<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection</i>)
DFB	Láser de retroalimentación distribuida (<i>Distributed FeedBack Laser</i>)
DSF	Fibra de dispersión desplazada (<i>Dispersión Shiftedz Fiber</i>),
DSL	Línea de abonado digital (<i>Digital Subscriber Line</i>)
DSLAM	Multiplexor de acceso de línea de abonado digital (<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>)
EDFA	Amplificador de fibra dopado con Erblio (<i>Erbium-Doped Fiber Amplifier</i>)
FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia (<i>Frecuency Division Multiple Acces</i>)
FSAN	Redes de Acceso de Servicio Completo (<i>Full Service Access Network</i>)
FTTB/C	Fibra al edificio/a la acometida (<i>Fiber ToThe Building/Curb</i>)
FTTCab	Fibra al armario (<i>Fiber To The Cabinet</i>)
FTTH	Fibra a la vivienda (<i>Fiber To The home</i>)
GPON	Red de acceso (<i>Gigabits Passive Optical network</i>)
HDSL	Línea de abonado digital de alta velocidad (<i>High Bit Rate Digital Subscriber Line</i>)
ITU-T	Sector telecomunicaciones (<i>International Telecommunications Union</i>)
LAN	Red de área local (<i>Local Area Network</i>)
LT	Terminal de línea (<i>Line Terminal</i>)
MAC	Control de acceso a medios (<i>Media Access Control</i>)
MDU	Equipo Terminal de Red MDU (<i>Multi Dwelling Unit</i>)

NRZ	No retorno a cero (<i>Non Return to Zero</i>)
NZDFS	Fibra de dispersión a cero (<i>Non Zero Dispersion Shifted Fiber</i>)
OCDMA	Óptico Acceso Múltiple por División de Código (<i>Optical Code Division Multiple Acces</i>)
OAN	Red óptica de acceso (<i>Optical Access Network</i>)
ODF	Distribuidor de fibra óptica (<i>Optical Distribution Fiber</i>)
ODN	Red de distribución óptica (<i>Optical Distribution Network</i>)
OLT	Terminación de línea óptica (<i>Optical Line Termination</i>)
OMCC	Canal de control y gestión de la ONT (<i>ONT Management and Control Channel</i>)
OMCI	Interfaz de control y gestión de la ONT (<i>ONT Management and Control Interface</i>)
ONT	Terminación de red óptica (<i>Optical Network Termination</i>)
ONU	Unidad de red óptica (<i>Optical Network Unit</i>)
PLC	(Planar Lightwave Circuit)
PON	Red óptica pasiva (<i>Passive Optical Network</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>Quality of Service</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RDSI-BA	Red digital de servicios integrados de banda ancha
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>)
SDSL	Línea de abonado digital simple (<i>Single Line Digital Subscriber Line</i>)
TDM	Multiplexación por división de tiempo (<i>Time Division Multiplexing</i>)
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo (<i>Time Division Multiple Access</i>)
TIA/EIA	Asociación de Industrias Eléctricas y de Telecomunicaciones (<i>Telecommunications Industry Association</i>)
UDSL	Universal ADSL.
UNI	Interfaz usuario-red (<i>User Network Interface</i>)
VPI	Identificador de trayecto virtual (<i>Virtual Path Identifier</i>)
XDSL	Línea Digital de Abonado (Digital Subscriber Line)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>Wavelength División Multiplexing</i>)

A N E X O S

ANEXO "A"

PLANO REFERENCIADO DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

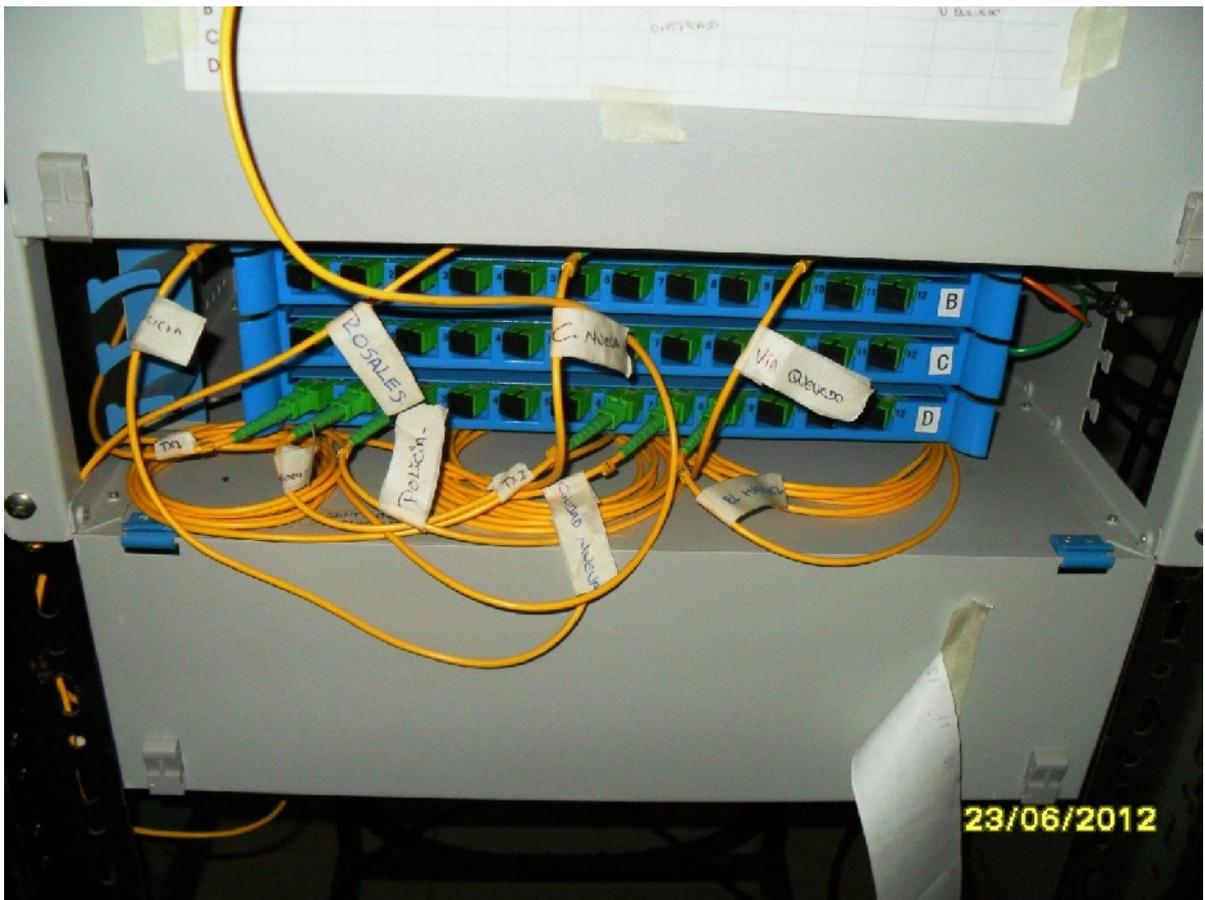
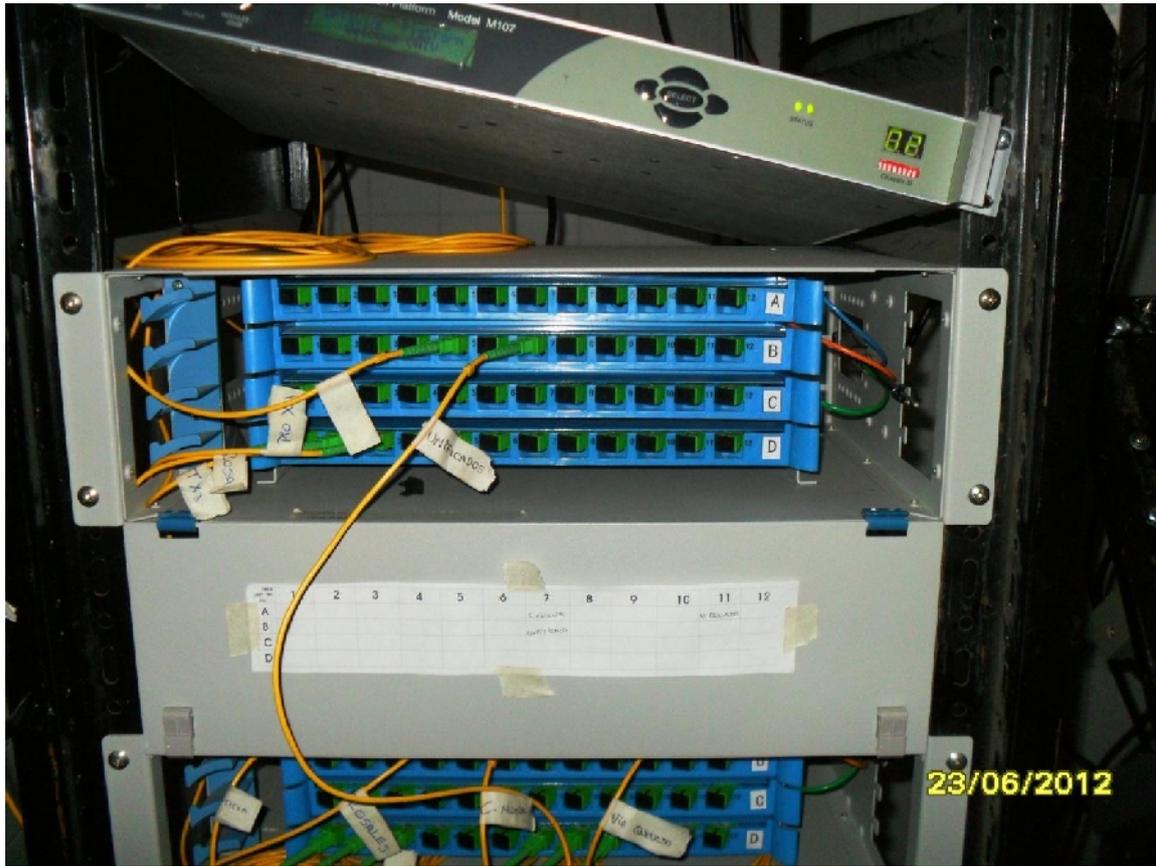


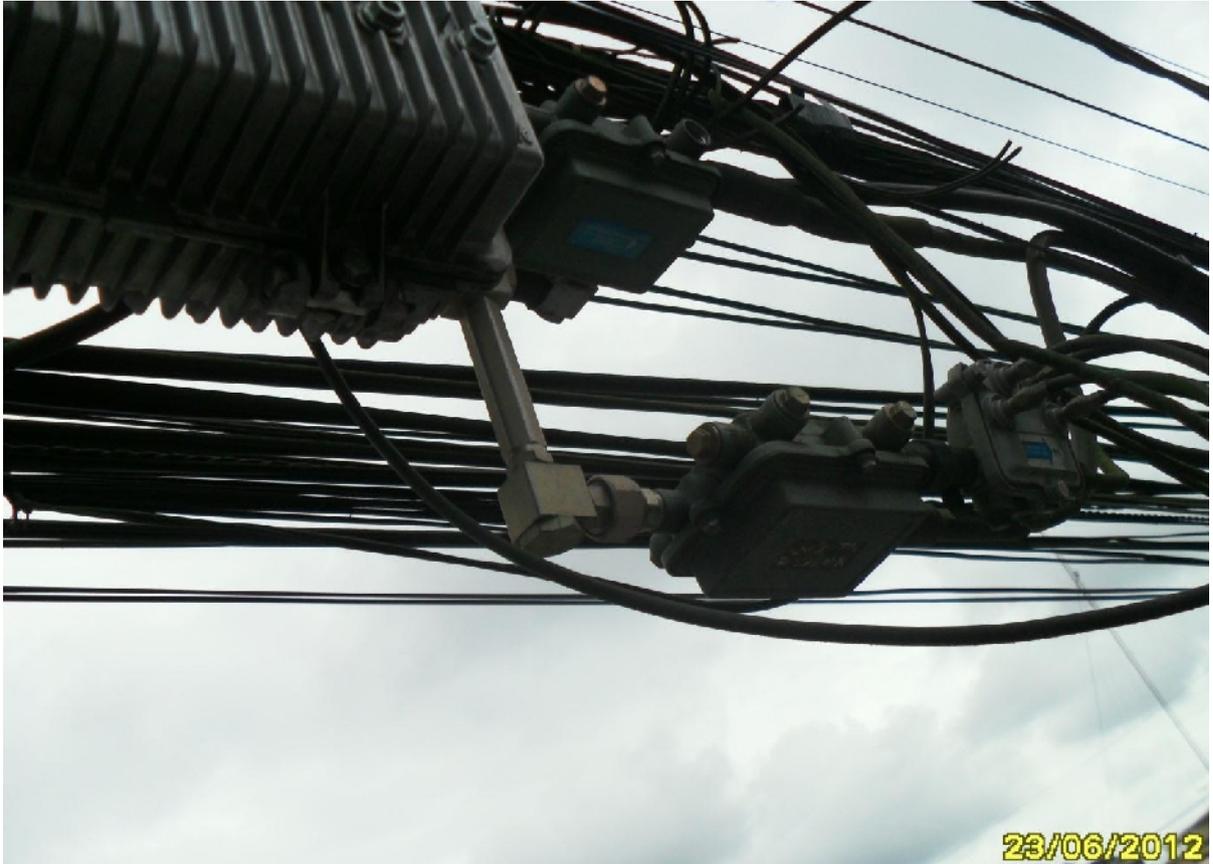
ANEXO "B"

FOTOS ACTUALES RED CABLEZAR / EQUIPOS











ANEXO “C”

CONECTORES Y ADAPTADORES DE FIBRA ÓPTICA



Conector SC/PC Unimodo



Conector SC/PC Multimodo



Conector FC/PC Unimodo



Conector FC/PC Multimodo



Conector ST/PC Unimodo



Conector MTRJ Multimodo



Acoplador LC Multimodo



Acoplador SC-SC Multimodo



Acoplador SC-SC Unimodo



Acoplador SC a ST de Polimero



Acoplador FC-ST de Metal



Acoplador FC-ST de Polimero



Acoplador ST-ST Tipo Bulkhead



Acoplador MTRJ Multimodo



Acoplador FC-FC



Acoplador FC Tipo Bulkhead



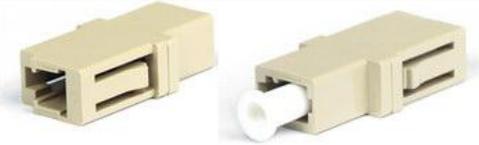
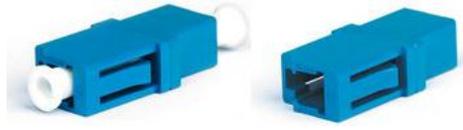
Acoplador FC-FC para Panel



Atenuador LC-SM Tipo Adaptador Macho-Hembra

CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA	
 FC-SM-3 Conector de fibra óptica FC, SM, 3 mm, cuerpo metálico	 FC-SM-0.9 Conector de fibra óptica FC, SM, 0,9 mm, cuerpo metálico
 ST-MM-3 Conector de fibra óptica ST, MM, 3 mm, cuerpo metálico	 ST-MM-0.9 Conector de fibra óptica ST, MM, 0,9 mm, cuerpo metálico
 SC-MM-0.9 Conector de fibra óptica SC, MM, 0,9 mm, simplex	 SC-MM-3 Conector de fibra óptica SC, MM, 3 mm, simplex
 SC-SM-0.9 Conector de fibra óptica SC, SM, 0,9 mm, simplex	 SC-SM-3 Conector de fibra óptica SC, SM, 3 mm, simplex
 MTRJ-MM-M Conector de fibra óptica MTRJ (male), MM, 1,8 mm	 Conector de fibra óptica LC

CONECTORES ADAPTADORES DE FIBRA ÓPTICA	
 <p>SC-SC-MM Conector adaptador SC-SC, MM, simplex</p>	 <p>SC-SC-SM Conector adaptador SC-SC, SM, simplex</p>
 <p>ST-ST-MM Conector adaptador ST-ST, MM, cuerpo metálico</p>	 <p>ST-ST-SM Conector adaptador ST-ST, SM, cuerpo metálico.</p>
 <p>SC-FC-MM Conector adaptador SC-FC, MM, cuerpo de plástico.</p>	 <p>SC-FC-SM Conector adaptador SC-FC, SM, cuerpo de plástico</p>
 <p>ST-SC-MM Conector adaptador ST-SC, MM, cuerpo de plástico</p>	 <p>ST-SC-SM Conector adaptador ST-SC, SM, cuerpo de plástico</p>
 <p>FC-FC-MM Conector adaptador FC-FC, MM, tipo-D, cuerpo metálico</p>	 <p>FC-FC-SM Conector adaptador FC-FC, SM, tipo-D, cuerpo metálico</p>

 <p>LC-LC-MM Conector adaptador LC-LC, MM, cuerpo de plástico</p>	 <p>LC-LC-SM Conector adaptador LC-LC, SM, cuerpo de plástico</p>
 <p>DLC-DLC-MM Conector adaptador DLC-DLC, MM, duplex, cuerpo de plástico</p>	 <p>DLC-DLC-SM Conector adaptador DLC-DLC, SM, duplex, cuerpo de plástico</p>
 <p>DSC-DSC-MM Conector adaptador DSC-DSC, MM, duplex, cuerpo de plástico</p>	 <p>DSC-DSC-SM Conector adaptador DSC-DSC, SM, duplex, cuerpo de plástico</p>
 <p>DST-DSC-MM Conector adaptador DST-DSC, MM, duplex, cuerpo de plástico</p>	 <p>DST-DSC-SM Conector adaptador DST-DSC, SM, duplex, cuerpo de plástico</p>
 <p>DST-DST-MM Conector adaptador DST-DST, MM, duplex, cuerpo de plástico</p>	 <p>MTRJ-MTRJ-MM Conector adaptador, MTRJ-MTRJ, MM, cuerpo de plástico</p>

ANEXO "D"

RECOMENDACIONES ITU-TG984.X Y ITU-T G984.1

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATELITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
Generalidades	G.900–G.909
Parámetros para sistemas en cables de fibra óptica	G.910–G.919
Secciones digitales a velocidades binarias jerárquicas basadas en una velocidad de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Sistemas digitales de transmisión en línea por cable a velocidades binarias no jerárquicas	G.930–G.939
Sistemas de línea digital proporcionados por soportes de transmisión MDF	G.940–G.949
Sistemas de línea digital	G.950–G.959
Sección digital y sistemas de transmisión digital para el acceso del cliente a la RDSI	G.960–G.969
Sistemas en cables submarinos de fibra óptica	G.970–G.979
Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales	G.980–G.989
Redes de acceso	G.990–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.984.1

Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales

Resumen

En esta Recomendación se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de ancho de banda de los servicios para empresas y particulares y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido descendente (hacia el destino) y de 155 Mbit/s, 622 Mbit/s; 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido ascendente (hacia el origen). Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON, *gigabit-capable passive optical network*) simétricos y asimétricos (ascendentes/descendentes). Además, se proponen las características generales de los sistemas GPON basándose en las necesidades de servicio de los operadores.

Esta Recomendación tiene por objeto mejorar el sistema descrito en la Rec. UIT-T G.983.1 para lo cual se examina de nuevo el servicio de soporte, las políticas de seguridad, las velocidades de bit nominales, etc. Para garantizar la máxima continuidad de los sistemas y la infraestructura de fibra óptica existentes, en esta Recomendación se mantienen algunos de los requisitos de la Rec. UIT-T G.983.1.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.984.1 (2003), preparada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 16 de marzo de 2003.

ANEXO “E”

RECOMENDACIONES ITU-T G984.2

Recomendación UIT-T G.984.2

Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos

Resumen

En esta Recomendación se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de anchura de banda de los servicios para empresas y particulares, y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido descendente y 155,520 Mbit/s, 622,080 Mbit/s, 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido ascendente. Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (GPON) simétricas y asimétricas (ascendentes/descendentes). Además, se proponen los requisitos de la capa física y las especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos (PMD). La capa de convergencia de transmisión (TC) y el protocolo de determinación de distancia para los sistemas GPON se describen en otra Recomendación UIT-T.

El sistema descrito constituye una evolución con respecto al de la Rec. UIT-T G.983.1. En esta Recomendación se mantienen los requisitos de la Rec. UIT-T G.983.1, en la medida de lo posible, a fin de lograr la máxima compatibilidad con los sistemas e infraestructura de fibra óptica existentes.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.984.2 fue aprobada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T en el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.9-116 de marzo de 2003.

ANEXO “F”

RECOMENDACIONES ITU-T G984.3

Recomendación UIT-T G.984.3

Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión

Resumen

En esta Recomendación se describe la capa de convergencia de transmisión de redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits, una familia de redes de acceso flexible capaces de proporcionar una gama de servicios de banda ancha y de banda estrecha. Se describen sistemas que funcionan a velocidades de 1,24416 y 2,48832 Gbit/s en sentido descendente, y 0,15552; 0,62208; 1,24416 y 2,48832 Gbit/s en sentido ascendente. Incluye las especificaciones de trama, mensajes, determinación de distancia, funcionalidad OAM y seguridad de la convergencia de transmisión de las PON con capacidad de gigabits (*GTC, gigabit transmission convergence*).

Esta Recomendación forma parte integrante de la serie de Recomendaciones UIT-T G.984 que especifican un conjunto único coherente de sistemas de transmisión de acceso.

La serie de Recomendaciones UIT-T G.984 difiere de la serie G.983 principalmente en que se describen velocidades binarias de línea superiores. Como consecuencia, la serie G.984 abarca numerosos aspectos y características técnicas de forma diferente a la serie G.983. Ambos sistemas no son interoperables.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.984.3 fue aprobada el 22 de febrero de 2004 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

ANEXO “G”

RECOMENDACIONES ITU-T G984.4

Recomendación UIT-T G.984.4

Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica

Resumen

En esta Recomendación se especifica la interfaz de control y gestión (OMCI) de la terminación de red óptica (ONT) para los sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (G-PON), como se define en las Recs. UIT-T G.984.2 y G.984.3.

En primer lugar, se especifican las entidades gestionadas de una base de información de gestión (MIB) independiente del protocolo que determina el intercambio de información entre la terminación de línea óptica (OLT) y la terminación de red óptica (ONT). Además, se describen el canal, el protocolo y los mensajes detallados de gestión y control de la ONT.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.984.4 fue aprobada el 13 de junio de 2004 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

ANEXO “H”

RECOMENDACIONES ITU-T G984.5

ITU-T Recommendation G.984.5

Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Enhancement band

Summary

The purpose of ITU-T Recommendation G.984.5 is to define wavelength ranges reserved for additional service signals to be overlaid via wavelength division multiplexing (WDM) in future passive optical networks (PON) for maximizing the value of optical distribution networks (ODNs).

Source

ITU-T Recommendation G.984.5 was approved on 22 September 2007 by ITU-T Study Group 15 (2005-2008) under the ITU-T Recommendation A.8 procedure.

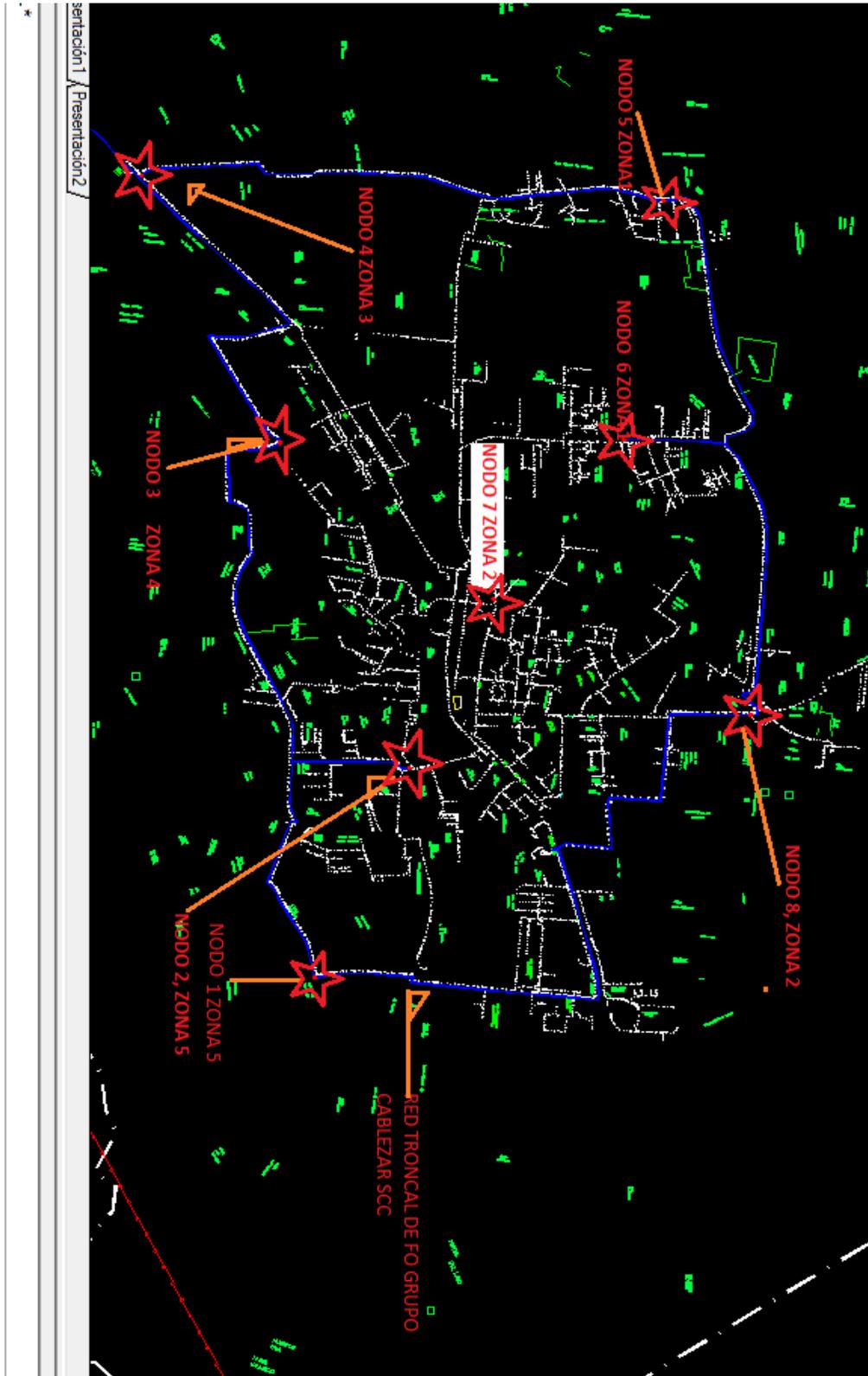
ANEXO "I"

LISTADO DE CLIENTES ACTUALES DEL GRUPO CABLEZAR SCC RN SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

	CLIENTE	CONSUMO DE WB ANUAL			
		2009	2010	2011	2012
1	HOTEL COLORADO	256	256	1024	1024
2	HOTEL ZEUS	128	128	128	256
3	HOTEL SAN CARLOS	64	128	128	256
4	HOTEL OBELISCO	256	256	256	352
5	HOTEL EL PALMAR	256	128	256	352
6	BANCO INTERNACIONAL	64	64	128	128
7	BANCO SOLIDARIO	64	64	64	128
8	CC EL SOL	512	512	512	756
9	CYBER-NAUTA	1024	1024	1024	1500
10	C.TURISTICO TIO JUAN	128	256	512	512
	PROMEDIO	275,2	281,6	403,2	526,4

ANEXO "J"

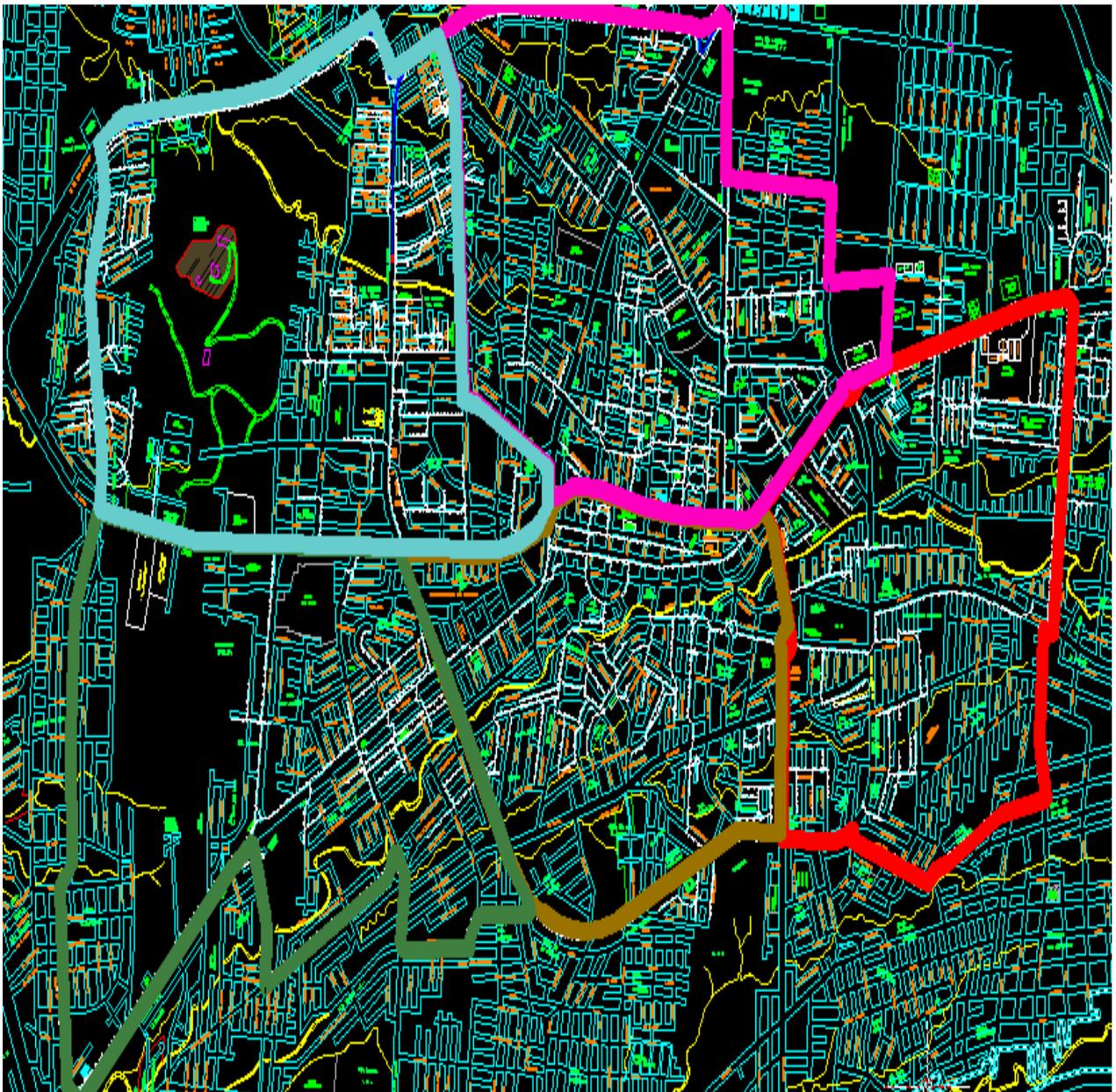
DETALLE DE NODOS EN PLANO REFERENCIADO DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS



ANEXO "K"

DIVISIÓN DE ZONAS PARA GPON EN EL PLANO REFERENCIADO DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

DESCRIPCION DE ZONAS	
ZONA 1	
ZONA 2	
ZONA 3	
ZONA 4	
ZONA 5	



ANEXO "L"

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA 5 EN EL PLANO REFERENCIADO DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

DESCRIPCION DE ZONAS	
ZONA 1	
ZONA 2	
ZONA 3	
ZONA 4	
ZONA 5	



ANEXO "M"

ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

FIBRA ÓPTICA

www.multicominc.com

PRODUCTOS DE CALIDAD DE MULTICOM

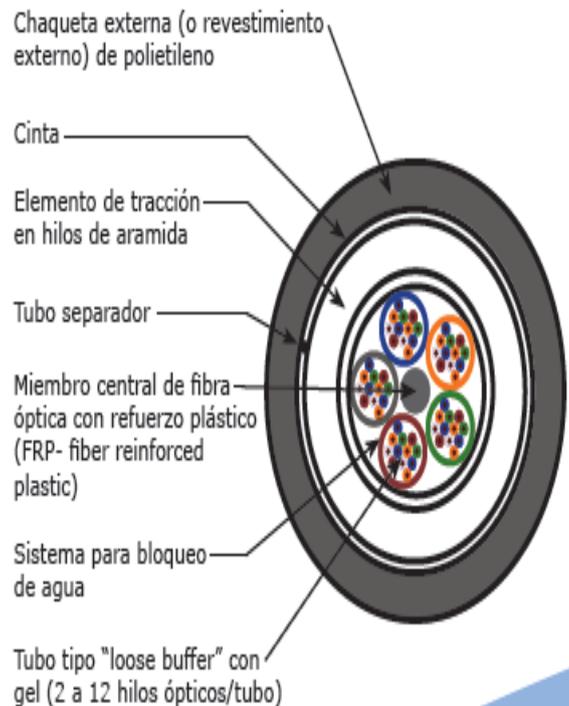
Características principales

La línea completa de cables ópticos auto-sustentados totalmente dieléctricos (ADSS - All-Dielectric Self-Supporting) de Multicom satisface las necesidades de demanda en los ámbitos de transmisión y distribución de cable.

Este cable de alta capacidad ofrece bastante flexibilidad para ser instalado en torres de transmisión elevadas, eliminando así la necesidad de un mensajero.

- Servicios de utilidad rurales alistados (RUS - Rural Utilities Services)
- Monomodo o multimodo
- Diferentes tipos de Spans disponibles

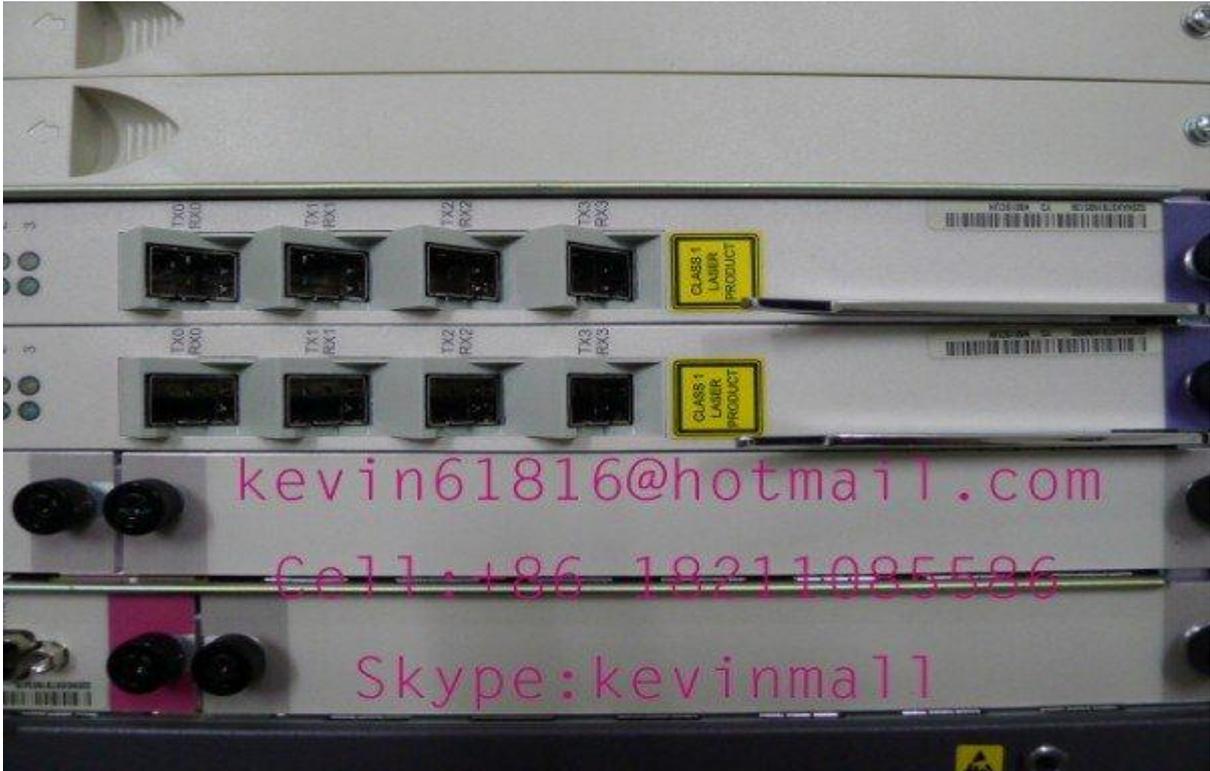
Componentes del cable



OLT Huawei MA5683T
Brand Name: Huawei
Model Number: 5683T
Place of Origin: Guangdong, China (Mainland)









CARACTERISTICAS MA5683T

SmartAX MA5683T is the global first all-in-one access platform which can provide DSL and optical integrated access. It can provide high density ADSL2+, VDSL2, POTS, ISDN, PON and Ethernet fiber P2P access, triple-play service, and TDM/ATM/Ethernet leased line services for business customers.

The MA5680T can also offer mobile backhaul with high reliability and high precision clock, and high density GE/10GE interfaces for cascading remote access equipments. MA5680T helps to simplify network architecture, to enable seamless migration in FTTx network and lower TCO essentially.

Any Access

Support multiple access methods, VDSL2/ADSL2+/G.SHDSL/POTS/ISDN/ PON/Ethernet P2P;

Support multiple scenarios: FTTC / FTTB / FTTH / FTTO / FTTM.

Any Service

Large capacity IPTV service provision, 8K multicast users and 4K multicast channels; H-QoS support 3-level QoS (Different ISP/service/user) guaranteeing OLT wholesale; Traditional E1 service access, NATIVE TDM or CESoP for traditional E1 service of enterprise and mobile backhaul; E2E high reliability guarantee for business and mobile backhaul, BFD/LAG/Smart Link for uplink redundancy and 50ms switching time of Type B for fiber protection;

Support local traffic self-switching, which meets the requirements of enterprise and campus network.

Access and Aggregation Integrated

Large aggregation capacity, 3.2T bit/s backplane capacity, 960G bit/s switch capacity, 512K MAC addresses; High density GE/10GE interfaces for cascading, up to 36*10GE or 140*GE interfaces, no need for additional investment of aggregation switches; High reliability networking support direct connection to the BRAS, and hitless software upgrade function.

Unique ATM DSLAM Cascading

Cascade ATM DSLAM with ATM STM-1 interfaces; Reduce OPEX by reusing ATM DSLAM and removing ATM aggregation network.

Network Seamless Migration, Protect Investment

Unified fiber/copper platform, maximizes network resource value; Lower investment risk in network transformation with equipment reuse: FTTE, FTTC, FTTB, FTTH or mix.



	Services	Size	Mounting	Interfaces	Features
Indoor					
Tellabs 120 Mini Optical Network Terminal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP ▪ IP video ▪ Data 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2.8 in / 71 mm H ▪ 1.6 in / 41 mm W ▪ 2.9 in / 73 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor ▪ In-wall ▪ In-cubicle ▪ Flush wall plate ▪ Secure/lockable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (2) 10/100/1000 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remote or local - Power - Battery ▪ PoE ▪ Expandable
Tellabs 704 Optical Network Terminal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP / POTS ▪ IP video ▪ Data 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5.0 in / 127 mm H ▪ 6.7 in / 170 mm W ▪ 1.5 in / 38 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor ▪ Desk or wall ▪ Free standing ▪ Vertical/horizontal ▪ Secure/lockable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (4) 10/100/1000 ▪ (2) POTS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remote or local - Power - Battery ▪ PoE (future)
Tellabs 705 Optical Network Terminals	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP / POTS ▪ IP video / RF video ▪ Data 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 9.0 in / 228 mm H ▪ 6.1 in / 155 mm W ▪ 1.7 in / 43 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor ▪ Desk or wall ▪ Free standing ▪ Vertical/horizontal ▪ Secure/lockable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (4) 10/100/1000 ▪ (2) POTS ▪ (1) RF video 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remote or local - Power - Battery
Tellabs 709 Optical Network Terminal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP ▪ IP video ▪ Data 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5.8 in / 147 mm H ▪ 10.0 in / 54 mm W ▪ 1.8 in / 46 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor ▪ Desk or wall ▪ Free standing ▪ Vertical/horizontal ▪ Secure/lockable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (4) 10/100/1000 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remote or local - Power - Battery ▪ PoE
Tellabs 728 Optical Network Terminals	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP ▪ IP video ▪ Data 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.7 in / 43 mm H ▪ 17.3 in / 439 mm W ▪ 11.0 in / 279 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor ▪ Rack mount ▪ Comm. closet ▪ IDF or zone box 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (24) 10/100/1000 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A/C power ▪ PoE
Tellabs 729 Optical Network Terminals	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP / POTS ▪ IP video ▪ Data 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.7 in / 43 mm H ▪ 17.3 in / 439 mm W ▪ 11.0 in / 279 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor ▪ Rack mount ▪ Comm. closet ▪ IDF or zone box 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (24) 10/100/1000 ▪ (24) POTS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A/C power ▪ PoE
Outdoor					

Outdoor					
Tellabs 702 Optical Network Terminals	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP / POTS ▪ IP video / RF video ▪ Data 	ONT <ul style="list-style-type: none"> ▪ 11.2 in / 284 mm H ▪ 10.0 in / 254 mm W ▪ 2.0 in / 51 mm D Enclosure <ul style="list-style-type: none"> ▪ 13.0 in / 330 mm H ▪ 13.0 in / 330 mm W ▪ 3.5 in / 89 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outdoor ▪ Wall ▪ In-wall 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (1) 10/100/1000 ▪ (2) POTS ▪ (1) RF video 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hardened ▪ Local power ▪ Local battery
Tellabs 703 Optical Network Terminals	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP / POTS ▪ IP video / RF video ▪ Data 	ONT <ul style="list-style-type: none"> ▪ 11.2 in / 284 mm H ▪ 10.0 in / 254 mm W ▪ 2.0 in / 51 mm D Enclosure <ul style="list-style-type: none"> ▪ 13.0 in / 330 mm H ▪ 13.0 in / 330 mm W ▪ 3.5 in / 89 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outdoor ▪ Wall ▪ In-wall 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (1) 10/100/1000 ▪ (2) POTS ▪ (1) RF video 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hardened ▪ RF video return ▪ RFoG ▪ Local power ▪ Local battery
Tellabs 714 Optical Network Terminals	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VoIP / POTS ▪ IP video ▪ Data 	ONT <ul style="list-style-type: none"> ▪ 11.2 in / 284 mm H ▪ 10.0 in / 254 mm W ▪ 2.0 in / 51 mm D Enclosure <ul style="list-style-type: none"> ▪ 13.0 in / 330 mm H ▪ 13.0 in / 330 mm W ▪ 3.5 in / 89 mm D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outdoor ▪ Wall ▪ In-wall 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (4) 10/100/1000 ▪ (2) POTS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hardened ▪ Local power ▪ Local battery

ANEXO "N"

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES DE GPON

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Estándar	UIT-T G.984.1/2/3/4/5.
Sentidos de Transmisión	Ascendente (Upstream): De la ONU a la OLT. Descendente (Downstream): De la OLT a la ONU.
Tasa de Transmisión	Upstream:155,52Mbps, 622,08Mbps, 1244,16Mbps, 2488,32Mbps. Downstream:1244,16 Mbps, 2488,32 Mbps.
Combinaciones de Velocidad de Transmisión.	Asimétrico (Mbps): 155,52-1244,16; 622,08-1244,16; 155,52- 2488,32; 622,08-2488,32; 1244,16-2488,32. Simétrico (Mbps): 1244,16-1244,16; 2488,32-2488,32.
Código de línea	Upstream: NRZ (Non Return to Zero) + seudoaleatorizado, se define en la especificación de la capa TC). Downstream: NRZ (+ seudoaleatorizado).
Medio de Transmisión	Tanto Upstream como Downstream basado en la Recomendación UIT-T G.652.
Método de Transmisión	Bidireccional (WDM, Wavelength Division Multiplexing) en una fibra. Unidireccional en dos fibras.
Longitud de onda de trabajo	Upstream: 1260-1360nm. Downstream: 1480-1550nm (Sistemas de una sola fibra). 1260- 1360nm (Sistemas de dos fibras).
Alcance Físico	10 Km y 20 Km.
Alcance Lógico	60 Km.
Retardo medio máximo de transferencia de la señal	La GPON debe dar cabida a servicios que requieren un retardo de valor medio máximo de transferencia de la señal de 1,5 ms.
Relación de división	1:16/32/64 Capa PMD (Physical Medium Dependent). 1:128 Capa TC (Transmission Convergence).

ANEXO "O"

TABLA COMPARATIVA DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS PON

	EPON	BPON	GPON
Estándar	IEEE 802.3ah	ITU-T series G.983.x	ITU-T series G.984.x
Medio de Transmisión	Fibra óptica	Fibra óptica	Fibra óptica
Protocolos de capa 2	Ethernet	ATM	Ethernet, TDM sobre GEM, ATM
Tasa bits descendente (Mbps)	1250	155.52, 622.08, 1244.16	1244.16, 2488.32
Tasa bits ascendente (Mbps)	1250	155.52, 622.08,	155.52, 622.08, 1244.16, 2488.32
Alcance máximo Físico	10/20 Km	10/20 Km	10/20 Km
Máxima distancia Lógica	N/A	20Km (ONU-ONU)	60Km (OLT-ONU) 20Km (ONU-ONU)
Codificación	8B/10B	NRZ + Aleatorización	NRZ + Aleatorización
Video	RF+IP	RF+IP	RF+IP
Seguridad	No definida	Churning o AEs	AES
Gestión y Mantenimiento (OAM)	Ethernet OAM, SNMP	PLOAM+OMCI	PLOAM+OMCI
Eficiencia Típica (depende del servicio)	61% upstream 73 % downstream	80% upstream 83 % downstream	94% upstream 93 % downstream
Soporte TDM	TDM sobre paquetes	TDM sobre ATM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre paquetes
Radio de división Máximo	1:32	1:64 (1:32 en la práctica)	1:128 (1:64 en la práctica)
Número de Prioridades	8	4	5
Banda media por Usuario	30 Mbps	20 Mbps	40 Mbps
Costo estimado	El más bajo	Bajo	Mediano