



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

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

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

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

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

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO EN UN SECTOR
RESIDENCIAL PARA PROVEER SERVICIOS *TRIPLE PLAY*
UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE RED GEAPON (*GIGABIT
ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK*) PARA LA EMPRESA
TELCONET S.A.**

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

ANA CRISTINA GUZMÁN ANTAMBA

DIRECTOR: MSc. PABLO WILLIAN HIDALGO LASCANO

Quito, abril 2018

DECLARACIÓN

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

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

Ana Cristina Guzmán Antamba

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Cristina Guzmán Antamba, bajo mi supervisión.

MSc. Pablo Willian Hidalgo Lascano
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradezco a mi Dios todopoderoso y Santísima Virgen del Quinche quienes me iluminaron, bendijeron y acompañaron durante todos estos años para finalizar con éxito este trabajo, pero mi agradecimiento es más profundo porque en este último año a la vez permitieron la creación y llegada maravillosa de un angelito a mi vida, mi amada hijita, dándome así la oportunidad de ser madre.

A mi cálida y bendecida familia, como son mis padres Manuel Amable y Ana Marina, mis hermanos Alex Rodolfo y Manuel Fernando quienes a pesar de las adversidades de la vida siempre me extendieron sus manos para apoyarme “sin darme la espalda”, dándome ánimo en todo momento, en especial para finiquitar esta etapa tan importante de mi vida profesional.

A mi más puro y verdadero amor Lenin Javier G., quien desde que lo conocí y forma parte de mi vida ha permanecido a mi lado inseparablemente, ayudándome y motivándome con mucho amor, confianza y comprensión para la culminación de este trabajo. “Sin su apoyo infinito no lo hubiese logrado”.

A la “grandiosa Poli” EPN por haberme acogido en sus aulas dándome la oportunidad de estudiar mi carrera profesional para servir a mi país y a la sociedad con honradez y humildad. De manera especial a mi director de trabajo de titulación MSc. Pablo Hidalgo quien me proporcionó su gran apoyo, tiempo y paciencia en la realización de este trabajo; e incluso por darme buenos consejos y “jalones de orejas” para afrontar los problemas de la vida con responsabilidad. También mi más profundo agradecimiento a la Sra. Wilmita Guerrero quien con su amistad inigualable en la carrera me apoyó enormemente durante toda mi etapa de titulación.

Y finalmente, a la empresa auspiciante Telconet S.A. por el aporte brindado para la realización de este trabajo, pero en particular al Ing. Hugo Proaño (Gerente Técnico Nacional), quien desde un inicio dio la respectiva autorización e instrucción a las personas adecuadas para la entrega de la información y ayuda necesaria; entre ellos agradezco a los ingenieros Jorge Pazos, Christian Aldaz y Elvis Cabrera. Además, a quienes aportaron con un granito de arena para este trabajo, a mis amigos Fernanda G., Giovanni M., Oscar M., Santiago J. y Santiago O.

Ana Cristina

DEDICATORIA

Dedico con mucha fe, cariño y amor...

A mi único y verdadero Dios por regalarme la vida, salud, sabiduría, comprensión, fortaleza, esperanza, etc., en cada paso que doy día tras día.



A mis abnegados papis Manuel y Anita por todos sus inmensos sacrificios realizados en darme la educación y por guiarme por el camino correcto para ser una persona de bien.

A mis queridos ñaños Alexito y Manuelito por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional para que no decaiga nunca y siga adelante con más fuerza cumpliendo mis proyectos de vida trazados, y a su vez porque en muchos aspectos son un verdadero ejemplo que seguir.

A mi prometido y “amoshi” Lenin por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos, compartiendo considerables experiencias de vida que nos han conllevado a reflexionar y “pulir” para ser mejores personas y más que todo para aprender a vivir una etapa caóticamente hermosa como padres.

En especial a mi más preciado y hermoso regalo de Dios, mi bebita Ana Beatriz, a quien la amo y adoro con todo mi corazón por brindarme felicidad cada día con sus ocurrencias angelicales, y principalmente por ser ahora el motor, la fuente de motivación e inspiración para superarme y salir adelante.

(Pd: Mi princesita chiquitina, perdóname por estos días de no haberte podido dar el tiempo necesario ni de disfrutar plenamente contigo bellos momentos, todo fue por culminar esta etapa y por brindarte un futuro mejor)

¡¡Lenin y Ana Beatriz, los amo del suelo al cielo... 100pre!!  

Ana Cristina

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

(Albert Einstein)

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XXI
RESUMEN.....	XXIII
PRESENTACIÓN.....	XXIV

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 FIBRA ÓPTICA.....	3
1.2.1 DEFINICIÓN.....	3
1.2.1.1 Fibra óptica de vidrio (<i>Glass Optical Fiber, GOF</i>)	3
1.2.2 COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA.....	4
1.2.2.1 Núcleo (<i>Core</i>)	5
1.2.2.2 Revestimiento (<i>Cladding</i>)	5
1.2.2.3 Cubierta (<i>Buffer</i>).....	6
1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA	6
1.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA	7
1.2.4.1 Ventajas	7
1.2.4.2 Desventajas.....	9
1.2.5 FUNCIONAMIENTO DE LA FIBRA ÓPTICA	10
1.2.5.1 Ley de Reflexión.....	11
1.2.5.2 Ley de Refracción o Ley de Snell	11
1.2.5.2.1 <i>Índice de refracción y Reflexión interna total</i>	13
1.2.6 TIPOS DE FIBRAS SEGÚN EL MODO DE PROPAGACIÓN.....	15

1.2.6.1	Fibra óptica monomodo (<i>Single Mode, SM</i>).....	16
1.2.6.1.1	<i>Fibra monomodo estándar (Standard Single Mode Fiber, SSMF)</i>	17
1.2.6.1.2	<i>Fibra monomodo de dispersión desplazada (Dispersion Shifted Fiber, DSF)</i>	17
1.2.6.1.3	<i>Fibra monomodo de corte desplazado (Cut-off Shifted Fiber, CSF)</i>	18
1.2.6.2	Fibra óptica multimodo (<i>Multi Mode, MM</i>).....	18
1.2.6.2.1	<i>Fibra multimodo de índice escalonado (Step Index, SI)</i>	20
1.2.6.2.2	<i>Fibra multimodo de índice gradual (Graded Index, GI)</i>	21
1.2.6.3	Ventanas de trabajo o transmisión para la fibra óptica	22
1.2.7	TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN.....	25
1.2.7.1	Multiplexación por división de tiempo (<i>Time Division Multiplexing, TDM</i>)	25
1.2.7.2	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>Wavelength Division Multiplexing, WDM</i>)	26
1.2.7.2.1	<i>Multiplexación por división de longitud de onda densa (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)</i>	27
1.2.7.2.2	<i>Multiplexación por división de longitud de onda gruesa (Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM)</i>	29
1.2.8	APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA	31
1.3	REDES DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN (NGAN)	32
1.3.1	ANTECEDENTES	32
1.3.2	REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN).....	33
1.3.2.1	Definición de una NGN.....	34
1.3.2.2	Características de una NGN.....	34
1.3.2.3	Beneficios de una NGN	35
1.3.2.4	Arquitectura de una NGN	35
1.3.2.4.1	<i>Capa de conectividad</i>	36
1.3.2.4.2	<i>Capa de control</i>	36
1.3.2.4.3	<i>Capa de servicio</i>	37
1.3.2.4.4	<i>Capa de gestión</i>	37
1.3.2.5	Aplicaciones de una NGN.....	37
1.3.3	REDES PON (<i>Passive Optical Network</i>).....	38
1.3.3.1	Elementos de las redes PON	38

1.3.3.2	Características generales de las redes PON	40
1.3.3.3	Tecnologías de las redes PON	41
1.3.3.3.1	<i>EPON (Ethernet PON)</i>	42
1.3.3.3.2	<i>GEPON (Gigabit Ethernet PON)</i>	42
1.3.3.3.3	<i>GPON (Gigabit PON)</i>	43
1.3.3.3.4	<i>10GEPON (10Gigabit Ethernet PON)</i>	43
1.3.3.4	Comparación de las redes PON	44
1.3.4	REDES FTTx (<i>Fiber To The x</i>)	46
1.3.4.1	FTTN (<i>Fiber To The Node</i>): Fibra hasta el nodo.....	47
1.3.4.2	FTTC (<i>Fiber To The Curb</i>): Fibra hasta la acera.....	47
1.3.4.3	FTTB (<i>Fiber To The Building</i>): Fibra hasta el edificio.....	47
1.3.4.4	FTTH (<i>Fiber To The Home</i>): Fibra hasta el hogar.....	48
1.4	SISTEMAS ÓPTICOS DE COMUNICACIÓN	49
1.4.1	VENTAJAS DE UN SISTEMA ÓPTICO DE COMUNICACIÓN	49
1.4.2	TRANSMISORES ÓPTICOS	50
1.4.2.1	Fuentes de luz.....	50
1.4.2.1.1	<i>Diodo emisor de luz (Light Emitting Diode, LED)</i>	50
1.4.2.1.2	<i>Diodo de inyección láser (Injection Laser Diode, ILD)</i>	51
1.4.3	RECEPTORES ÓPTICOS.....	51
1.4.3.1	Detectores de luz	52
1.4.3.1.1	<i>Fotodiodo PIN (Positive Intrinsic Negative)</i>	52
1.4.3.1.2	<i>Fotodiodo APD (Avalanche Photo Diode)</i>	52
1.4.4	AMPLIFICADORES ÓPTICOS	53
1.4.4.1	Amplificador de fibra dopada con Erblio (<i>Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA</i>).....	54
1.4.4.2	Amplificador Raman	55
1.5	TECNOLOGÍA GEPON (<i>GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK</i>)	56
1.5.1	ANTECEDENTES	56
1.5.2	ORIGEN Y EVOLUCIÓN DENTRO DE LAS REDES ÓPTICAS	56
1.5.3	ESTÁNDARES DE LA TECNOLOGÍA GEPON	58
1.5.4	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES.....	58
1.5.5	ELEMENTOS DE UNA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GEPON.....	59

1.5.5.1	OLT (<i>Optical Line Terminal</i>)	59
1.5.5.2	ONT (<i>Optical Network Terminal</i>).....	61
1.5.5.3	Divisores ópticos (<i>Splitters</i>)	63
1.5.5.3.1	<i>Tecnologías de los splitters</i>	65
1.5.5.3.2	<i>Pérdidas por inserción de los splitters</i>	67
1.5.6	FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA TECNOLOGÍA GEPON	68
1.5.6.1	Canal descendente (<i>Downlink</i>) – TDM	71
1.5.6.2	Canal ascendente (<i>Uplink</i>) – TDMA	72
1.5.7	APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA GEPON	73
1.5.7.1	Operadores de telecomunicaciones	73
1.5.7.1.1	<i>Operadores de servicio de CATV</i>	73
1.5.7.1.2	<i>Operadores de servicio de Datos</i>	73
1.5.7.2	Ambientes campus	74
1.6	SERVICIO <i>TRIPLE PLAY</i>	74
1.6.1	ANTECEDENTES	74
1.6.2	DEFINICIÓN DE <i>TRIPLE PLAY</i>	75
1.6.3	CARACTERÍSTICAS DE <i>TRIPLE PLAY</i>	76
1.6.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE <i>TRIPLE PLAY</i>	76
1.6.4.1	Ventajas	76
1.6.4.2	Desventajas.....	77
1.6.5	FUNCIONAMIENTO DE <i>TRIPLE PLAY</i>	77
1.6.5.1	Internet de banda ancha.....	78
1.6.5.2	Televisión	78
1.6.5.2.1	<i>Televisión de alta definición (HDTV)</i>	79
1.6.5.2.2	<i>Televisión digital sobre el protocolo IP (IPTV)</i>	79
1.6.5.3	Telefonía	79
1.6.6	PROBLEMAS COMUNES ASOCIADOS AL <i>TRIPLE PLAY</i>	80

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA RED DE ACCESO EN UN SECTOR RESIDENCIAL PARA SERVICIOS *TRIPLE PLAY* CON GEPON

2.1	INTRODUCCIÓN	82
2.2	VISIÓN GENERAL SOBRE LA EMPRESA TELCONET S.A.	83

2.2.1 ANTECEDENTES	83
2.2.2 SOLUCIONES SOBRE NGN DE TELCONET S.A.	85
2.2.2.1 Internet Dedicado	85
2.2.2.2 Tránsito al <i>Backbone</i> de Internet	85
2.2.2.3 Internet 2-Redes Avanzadas	85
2.2.2.4 Transmisión de Datos.....	86
2.2.2.5 <i>BackupNet</i>	86
2.2.2.6 Comunicaciones Unificadas	86
2.2.2.7 Transmisión de Video	87
2.2.2.8 Seguridad Lógica	87
2.2.2.9 Cable Submarino.....	88
2.2.2.10 Centro de Datos	88
2.2.3 ESTRUCTURA DEL NÚCLEO DE RED (<i>BACKBONE</i>)	89
2.2.3.1 Fibra óptica utilizada por Telconet S.A.	89
2.2.3.1.1 <i>Latamfiberhome</i>	91
2.2.3.2 Nodos principales	93
2.2.3.2.1 <i>Elementos de los nodos</i>	93
2.2.3.3 Funcionamiento del <i>backbone</i>	96
2.2.3.3.1 <i>Descripción de la capa core</i>	97
2.2.3.3.2 <i>Descripción de la capa distribución</i>	99
2.2.3.3.3 <i>Descripción de la capa acceso</i>	101
2.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE ACCESO DE TELCONET S.A.	103
2.3.1 ANTECEDENTES	103
2.3.2 INFRAESTRUCTURA ACTUAL.....	104
2.3.2.1 Red de Datos	105
2.3.2.2 Red de Internet.....	106
2.3.3 DIRECCIONAMIENTO Y ENRUTAMIENTO IP	107
2.3.3.1 Direccionamiento IP	107
2.3.3.2 Enrutamiento IP.....	108
2.3.3.2.1 <i>Enrutamiento dinámico</i>	108
2.3.3.2.2 <i>Enrutamiento estático</i>	109
2.4 PLANIFICACIÓN DE LA RED DE ACCESO GEPON	111

2.4.1 ANTECEDENTES	111
2.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	111
2.4.2.1 Estudio de la demanda.....	111
2.4.2.1.1 <i>Tamaño de la muestra de posibles clientes</i>	112
2.4.2.1.2 <i>Encuestas de adquisición futura de los servicios</i>	114
2.4.2.1.3 <i>Análisis de los resultados obtenidos</i>	114
2.4.2.1.4 <i>Análisis de la demanda insatisfecha</i>	121
2.4.2.1.5 <i>Cálculo de la demanda del servicio Triple Play</i>	122
2.4.2.2 Requerimiento de ancho de banda.....	125
2.4.2.3 Capacidad necesaria de transporte	127
2.4.2.3.1 <i>Servicio de Internet</i>	127
2.4.2.3.2 <i>Servicio de Telefonía fija</i>	128
2.4.2.3.3 <i>Servicio de Televisión</i>	129
2.4.2.3.4 <i>Compartición del canal</i>	131
2.4.3 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	133
2.4.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE DISEÑO	133
2.4.5 CRITERIOS DE DISEÑO.....	134
2.5 DISEÑO DE LA RED DE ACCESO GEPON.....	134
2.5.1 ANTECEDENTES	134
2.5.2 TRAZADO DE LA TOPOLOGÍA DE RED A DISEÑAR	135
2.5.2.1 Topología de red	137
2.5.2.2 Tecnología de red	138
2.5.2.3 Arquitectura de red.....	139
2.5.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	140
2.5.4 DIVISIÓN DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	140
2.5.5 DETERMINACIÓN DE LOS NODOS.....	143
2.5.6 SELECCIÓN DE LA RUTA.....	146
2.5.6.1 Aspectos por considerar	146
2.5.6.2 Análisis de la ruta	146
2.5.7 DIMENSIONAMIENTO DE ENLACES Y EQUIPOS GEPON.....	149
2.5.7.1 OLT (<i>Optical Line Terminal</i>)	149
2.5.7.2 ONT (<i>Optical Network Terminal</i>).....	150
2.5.7.3 ODN (<i>Optical Distribution Network</i>)	151

2.5.7.3.1 ODF (<i>Optical Distribution Fiber</i>).....	151
2.5.7.3.2 <i>Fibra óptica</i>	152
2.5.7.3.3 <i>Splitters</i>	160
2.5.7.3.4 <i>Mangas de empalme</i>	165
2.5.7.3.5 <i>Cajas de distribución</i>	166
2.5.7.3.6 <i>Roseta óptica</i>	167
2.5.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LA RED	
GEPON	169
2.5.9 CONEXIÓN DE LA RED DE ACCESO GEPON A LA RED	
BACKBONE DE TELCONET S.A.	171
2.5.9.1 Topología de la red de acceso GEPON.....	171
2.5.9.2 Servicio <i>Triple Play</i>	173
2.5.10 PRESUPUESTO ÓPTICO DE POTENCIA	177
2.5.10.1 Análisis de pérdida de potencia	178
2.5.10.1.1 <i>Escenario 1: Cliente más lejano</i>	179
2.5.10.1.2 <i>Escenario 2: Cliente más cercano</i>	179
2.5.10.2 Balance óptico de potencia de recepción	180
2.5.10.2.1 <i>Escenario 1: Cliente más lejano</i>	181
2.5.10.2.2 <i>Escenario 2: Cliente más cercano</i>	182
2.5.10.3 Capacidad de transmisión para el enlace de fibra óptica.....	182
2.5.10.3.1 <i>Cálculo de la distancia máxima del enlace óptico con</i> <i>GEPON</i>	183
2.5.10.3.2 <i>Cálculo del ancho de banda mínimo del enlace óptico con</i> <i>GEPON</i>	185

CAPÍTULO 3

ESTIMACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE LOS EQUIPOS

PARA EL DESARROLLO DE LA RED

3.1 INTRODUCCIÓN.....	188
3.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED	
GEPON PARA UNA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN	189
3.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS	
ACTIVOS Y PASIVOS.....	189

3.2.1.1	OLT	189
3.2.1.2	ONT	191
3.2.1.3	ODF	192
3.2.1.4	Fibra óptica.....	193
3.2.1.5	<i>Splitters</i>	194
3.2.1.6	Mangas de empalme	195
3.2.1.7	Cajas de distribución	196
3.2.1.8	Roseta óptica	197
3.2.2	DESCRIPCIÓN DE COSTOS DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS.....	197
3.2.2.1	Costos de elementos activos.....	198
3.2.2.2	Costos de elementos pasivos.....	198
3.2.3	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS.....	199
3.3	CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS.....	201
3.3.1	CONFIGURACIÓN DEL OLT Y ONT.....	202
3.3.1.1	Configuración de VLANs	205
3.3.1.2	Configuración de puertos <i>uplinks</i>	207
3.3.2	CONFIGURACIÓN DE UN CLIENTE	209
3.4	PRESUPUESTO REFERENCIAL	209
3.4.1	INVERSIONES FIJAS	210
3.4.1.1	Inversión equipamiento activo	210
3.4.1.2	Inversión equipamiento pasivo	211
3.4.1.3	Inversión equipamiento de infraestructura	211
3.4.1.4	Inversión total del equipamiento para la red	212
3.4.2	INVERSIONES DIFERIDAS	212
3.4.3	INVERSIÓN INICIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	213
3.4.4	GASTOS DE OPERACIÓN DEL PROYECTO.....	214
3.4.4.1	Gastos operativos	214
3.4.4.2	Gastos de ingeniería e instalación.....	214
3.4.5	COSTOS DE DEPRECIACIONES.....	215
3.5	PROYECCIÓN FUTURA	217

CAPÍTULO 4**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 CONCLUSIONES	219
4.2 RECOMENDACIONES	223

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	226
-----------------------------------------	------------

ANEXOS

ANEXO A: VALORES CORPORATIVOS DE LA EMPRESA TELCONET S.A.

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO
REC. UIT-T G.652D Y REC. UIT-T G.657A1

ANEXO C: CABLE DE FIBRA ÓPTICA SM ADSS 6 HILOS

ANEXO D: CÓDIGO DE COLORES SEGÚN EL NÚMERO DE HILOS DE FIBRA
ÓPTICA

ANEXO E: MODELO DE ENCUESTA PARA CLIENTES RESIDENCIALES

ANEXO F: RESUMEN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.3ah

ANEXO G: PLANO DE LAS ÁREAS DEL SECTOR RESIDENCIAL BALCÓN DEL
NORTE

ANEXO H: PLANO DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA DEL SECTOR RESIDENCIAL
BALCÓN DEL NORTE

ANEXO I: PLANO DE LA RED GEPON PARA EL SECTOR RESIDENCIAL
BALCÓN DEL NORTE

ANEXO J: EQUIPOS ACTIVOS OLT

ANEXO K: EQUIPOS ACTIVOS ONT

ANEXO L: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ELEMENTOS PASIVOS

ANEXO M: PROFORMA DE OFERTA Y LISTA DE PRECIOS DE PRODUCTOS
GEPON DE DOS PROVEEDORES LOCALES

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1	Fibra óptica de vidrio.....	4
Figura 1.2	Componentes de la fibra óptica.....	4
Figura 1.3	Fibra óptica con cubiertas coloreadas.....	6
Figura 1.4	Ley de Reflexión y Refracción.....	10
Figura 1.5	Ley de Reflexión.....	11
Figura 1.6	Ley de Refracción.....	12
Figura 1.7	Reflexión interna total.....	14
Figura 1.8	Reflexión interna total de la fibra óptica.....	15
Figura 1.9	Modo de propagación de una fibra óptica monomodo.....	16
Figura 1.10	Modo de propagación de una fibra óptica multimodo.....	19
Figura 1.11	Fibra multimodo de índice escalonado.....	20
Figura 1.12	Fibra multimodo de índice gradual.....	21
Figura 1.13	Atenuación y ventanas de trabajo de la fibra óptica.....	23
Figura 1.14	Técnica de multiplexación TDM.....	26
Figura 1.15	Técnica de multiplexación WDM.....	27
Figura 1.16	Sistema DWDM unidireccional.....	28
Figura 1.17	Proceso de la multiplexación CWDM.....	30
Figura 1.18	Longitudes de onda CWDM.....	30
Figura 1.19	Espaciamiento de frecuencias en DWDM y CWDM.....	31
Figura 1.20	Arquitectura de una red de próxima generación (NGN).....	35
Figura 1.21	Componentes de una red PON.....	39
Figura 1.22	Ventanas de trabajo de 10GEPON.....	44
Figura 1.23	Tipos de Redes FTTx.....	46
Figura 1.24	Mapa conceptual de una red FTTH.....	48
Figura 1.25	Sistema óptico de comunicación por bloques.....	49
Figura 1.26	Amplificador óptico EDFA.....	54
Figura 1.27	Amplificador óptico Raman.....	55
Figura 1.28	Estandarización PON.....	57
Figura 1.29	OLT ISCOM5508 GEPON IEEE 802.3ah.....	59

Figura 1.30	ONT Corecess 3800 Series.....	61
Figura 1.31	<i>Splitter</i> óptico 1x8	63
Figura 1.32	Esquema básico de una red GEPON	68
Figura 1.33	Esquema global de una red GEPON.....	69
Figura 1.34	Conexión en el punto terminal de servicio	70
Figura 1.35	Canal descendente (<i>downlink</i>) de una red GEPON.....	71
Figura 1.36	Canal ascendente (<i>uplink</i>) de una red GEPON	72
Figura 1.37	Servicio <i>Triple Play</i>	75
Figura 1.38	Bloques de la infraestructura de prestación del servicio <i>Triple Play</i>	78
Figura 1.39	Esquema ejemplo de <i>Triple Play</i> en una red FTTH.....	81

CAPÍTULO 2

Figura 2.1	Empresa de telecomunicaciones Telconet S.A.....	83
Figura 2.2	Tendido de fibra óptica de Telconet S.A. en el Ecuador a Julio de 2017	92
Figura 2.3	Estructura de <i>racks</i>	94
Figura 2.4	Aires acondicionados instalados en un nodo.....	94
Figura 2.5	APC <i>Back UPS</i>	95
Figura 2.6	Banco de baterías en serie.....	95
Figura 2.7	<i>Switch</i> en una unidad de <i>rack</i>	96
Figura 2.8	Bandeja de <i>rack</i> con <i>Transceivers TP-Link</i>	96
Figura 2.9	Topología de distribución MPLS con los equipos P y PE	97
Figura 2.10	Equipos P de la capa <i>core</i>	98
Figura 2.11	Equipos PE de la capa <i>core</i>	99
Figura 2.12	Conexión de los equipos de las capas <i>core</i> y distribución.....	100
Figura 2.13	Ejemplo de interconexión de los nodos de acceso con la red cliente	102
Figura 2.14	Direccionamiento IPv4	107
Figura 2.15	Diagrama de conexión de los pétalos de Telconet S.A. Quito	110
Figura 2.16	Porcentaje de hogares que tienen servicios con el mismo proveedor.....	115

Figura 2.17	Porcentaje de la frecuencia de uso de los servicios	116
Figura 2.18	Porcentaje del nivel de satisfacción de los servicios	117
Figura 2.19	Porcentaje de pago por los servicios.....	117
Figura 2.20	Porcentaje de los aspectos más importantes de los servicios	118
Figura 2.21	Porcentaje de la tecnología utilizada para los servicios.....	119
Figura 2.22	Porcentaje de aceptación del servicio <i>Triple Play</i>	120
Figura 2.23	Porcentaje de contratación del servicio <i>Triple Play</i>	121
Figura 2.24	Proyección de la población del Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q).....	122
Figura 2.25	Crecimiento de la demanda proyectada del servicio <i>Triple Play</i>	125
Figura 2.26	Uso del Internet en hogares del Ecuador	127
Figura 2.27	Usuarios con línea telefónica en hogares del Ecuador	128
Figura 2.28	Uso de la televisión en hogares del Ecuador.....	129
Figura 2.29	Trazado lógico de la red de acceso a diseñarse para proveer el servicio <i>Triple Play</i>	136
Figura 2.30	Topología de red tipo árbol.....	137
Figura 2.31	Esquema general de la arquitectura de red FTTH.....	139
Figura 2.32	Entrada principal al sector residencial Balcón del Norte	140
Figura 2.33	Ubicación geográfica del sector residencial Balcón del Norte.....	141
Figura 2.34	Áreas del sector residencial Balcón de Norte	142
Figura 2.35	Conexión entre nodos Ponce y Ruiz	144
Figura 2.36	Pétalo Bodega UIO con los Nodos Ponce y Ruiz	146
Figura 2.37	Ruta FO del nodo Ponce hasta entrada sector residencial	147
Figura 2.38	Ruta FO hacia el interior del sector residencial	148
Figura 2.39	Representación del equipo OLT	149
Figura 2.40	Representación del equipo ONT	150
Figura 2.41	ODF de <i>splitters</i> de primer nivel	151
Figura 2.42	Armado de ODF MPLS	152
Figura 2.43	ODF con ubicación de tubos de 144 hilos	152
Figura 2.44	Representación del ODF	152
Figura 2.45	Cable aéreo ADSS	157
Figura 2.46	Cable aéreo Figura 8.....	158

Figura 2.47	Cable aéreo OPGW	158
Figura 2.48	Representación de las fibras ópticas de 2 hilos y 144 hilos	160
Figura 2.49	Representación del <i>splitter</i> 1x8	162
Figura 2.50	<i>Buffers</i> o tubos de fibra óptica de 144 hilos	162
Figura 2.51	Representación del <i>splitter</i> primario en la caja de distribución GEPON	163
Figura 2.52	Representación del <i>splitter</i> secundario en la caja de distribución GEPON	164
Figura 2.53	Manga de empalme tipo lineal para fibra óptica	165
Figura 2.54	Representación de las mangas de empalme	166
Figura 2.55	Caja de distribución para 24 hilos de fibra óptica	166
Figura 2.56	Representación de las cajas de distribución GEPON para splitteo	167
Figura 2.57	Roseta óptica para FTTH de 2 puertos	167
Figura 2.58	Representación de la roseta óptica	168
Figura 2.59	Diagrama topológico de la red de acceso GEPON	171
Figura 2.60	Conexión de los <i>splitters</i> 1x8 con los clientes finales	172
Figura 2.61	Arquitectura general de la red de acceso GEPON para Telconet S.A.	176
Figura 2.62	Escenario de posibles pérdidas en la red GEPON	177
Figura 2.63	Cliente más lejano y cercano respecto al OLT	179

CAPÍTULO 3

Figura 3.1	Solución FTTH GEPON con equipos Corecess	201
Figura 3.2	Conexión para acceder al CLI	202

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1	Clasificación de los tipos de fibra óptica	15
Tabla 1.2	Parámetros característicos de la fibra multimodo de índice escalonado	21
Tabla 1.3	Parámetros característicos de la fibra multimodo de índice gradual	22
Tabla 1.4	Bandas espectrales y ventanas de trabajo de la fibra óptica	24
Tabla 1.5	Distancias máximas en función del tipo de fibra óptica y ventana de trabajo	25
Tabla 1.6	Conversión del espaciamiento entre canales DWDM	28
Tabla 1.7	Comparación entre las tecnologías de las redes PON.....	45
Tabla 1.8	Parámetros ópticos de transmisión y recepción del OLT	61
Tabla 1.9	Parámetros ópticos de transmisión y recepción del ONT	63
Tabla 1.10	Comparación de divisores ópticos FBT y PLC.....	66
Tabla 1.11	Pérdidas por inserción de los <i>splitters</i> 1xN	68
Tabla 1.12	Requerimientos de ancho de banda del servicio <i>Triple Play</i>	80

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1	Utilización de la fibra óptica por el número de hilos	91
Tabla 2.2	<i>Switches</i> agregadores de la capa distribución	100
Tabla 2.3	Capacidades con los proveedores internacionales de Telconet S.A.	107
Tabla 2.4	Valores $Z\alpha$ más utilizados y sus niveles de confianza	113
Tabla 2.5	Resultados de la pregunta 1	114
Tabla 2.6	Resultados de la pregunta 2	115
Tabla 2.7	Resultados de la pregunta 3	116
Tabla 2.8	Resultados de la pregunta 4	117
Tabla 2.9	Resultados de la pregunta 5	118
Tabla 2.10	Resultados de la pregunta 6	119

Tabla 2.11	Resultados de la pregunta 7.....	120
Tabla 2.12	Resultados con respuesta afirmativa de la pregunta 7	120
Tabla 2.13	Población estimada del sector a partir del año 2017	124
Tabla 2.14	Demanda Proyectada del servicio <i>Triple Play</i>	124
Tabla 2.15	Ancho de banda necesario por cliente para el servicio <i>Triple Play</i>	125
Tabla 2.16	Ancho de banda de subida y bajada por cliente GEPON.....	126
Tabla 2.17	Características de la tecnología GEPON.....	138
Tabla 2.18	División del sector residencial Balcón del Norte	142
Tabla 2.19	Coordenadas de los nodos Ponce y Ruiz	143
Tabla 2.20	Comparación de las subcategorías de fibra óptica UIT-T G.652.....	154
Tabla 2.21	Comparación entre la fibra óptica UIT-T G.652 y G.655	156
Tabla 2.22	Comparación entre cables ópticos para tendido aéreo	159
Tabla 2.23	Relación de <i>splitters</i>	160
Tabla 2.24	Distribución de los <i>splitters</i> primarios	163
Tabla 2.25	Distancias del OLT a <i>splitters</i> primarios	163
Tabla 2.26	Distribución de los <i>splitters</i> secundarios	164
Tabla 2.27	Distancias de <i>splitters</i> primarios a <i>splitters</i> secundarios	165
Tabla 2.28	Dimensionamiento de los equipos y elementos de la red GEPON.....	168
Tabla 2.29	Características necesarias de los elementos activos de la red GEPON.....	169
Tabla 2.30	Características necesarias de los elementos pasivos de la red GEPON.....	170
Tabla 2.31	Parámetros para el presupuesto óptico de la red GEPON.....	178
Tabla 2.32	Presupuesto óptico del cliente más lejano.....	179
Tabla 2.33	Presupuesto óptico del cliente más cercano.....	180
Tabla 2.34	Parámetros ópticos según recomendación UIT-T G.984.2 Clase B+	181

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1	Especificaciones técnicas de los equipos OLT	189
Tabla 3.2	Especificaciones técnicas de los equipos ONT.....	191
Tabla 3.3	Especificaciones técnicas del ODF.....	192
Tabla 3.4	Especificaciones técnicas del cable fibra óptica	193
Tabla 3.5	Especificaciones técnicas de los <i>splitters</i>	194
Tabla 3.6	Especificaciones técnicas de las mangas de empalme	195
Tabla 3.7	Especificaciones técnicas de las cajas de distribución	196
Tabla 3.8	Especificaciones técnicas de la roseta óptica.....	197
Tabla 3.9	Costos referenciales de los elementos activos	198
Tabla 3.10	Costos referenciales de los elementos pasivos	198
Tabla 3.11	Comandos para el puerto de administración	203
Tabla 3.12	Inversión equipamiento activo	210
Tabla 3.13	Inversión equipamiento pasivo	211
Tabla 3.14	Inversión equipamiento de infraestructura	211
Tabla 3.15	Inversión total equipamiento de la red GEAPON	212
Tabla 3.16	Costos de instalación del equipamiento activo y pasivo	213
Tabla 3.17	Inversiones diferidas.....	213
Tabla 3.18	Total de inversión inicial	214
Tabla 3.19	Gastos operativos para 5 años de operación	214
Tabla 3.20	Gastos de Ingeniería e Instalación	215
Tabla 3.21	Equipos activos por depreciarse durante 10 años de utilidad	216
Tabla 3.22	Costos de depreciación de los equipos activos	216

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO 1

Ecuación 1.1 Ley de Snell.....	12
Ecuación 1.2 Ángulo crítico de un rayo de luz.....	14

CAPÍTULO 2

Ecuación 2.1 Fórmula para calcular el tamaño de una muestra de población finita	112
Ecuación 2.2 Cálculo del tamaño de la muestra.....	113
Ecuación 2.3 Fórmula para calcular la proyección estimada de una población.....	123
Ecuación 2.4 Cálculo del ancho de banda por cliente GEPON	126
Ecuación 2.5 Cálculo de la capacidad mínima necesaria para la red GEPON	127
Ecuación 2.6 Cálculo de la capacidad mínima para el uso de Internet.....	128
Ecuación 2.7 Cálculo de la capacidad mínima para el uso de la Telefonía fija	129
Ecuación 2.8 Cálculo de la capacidad mínima para el uso de la Televisión	130
Ecuación 2.9 Cálculo de la capacidad mínima con uso simultáneo de <i>Triple Play</i>	130
Ecuación 2.10 Cálculo del porcentaje de reducción de la capacidad de la red.....	131
Ecuación 2.11 Cálculo de la compartición 8:1 del canal de Internet.....	131
Ecuación 2.12 Cálculo de la compartición 2:1 del canal de Internet.....	132
Ecuación 2.13 Cálculo del número de puertos GEPON	149
Ecuación 2.14 Cálculo del tráfico pico promedio por cliente GEPON	150
Ecuación 2.15 Determinación del número de ONTs.....	150
Ecuación 2.16 Determinación del número de hilos fibra óptica	161
Ecuación 2.17 Determinación del número total de <i>splitters</i>	161
Ecuación 2.18 Determinación del número de rosetas ópticas	168
Ecuación 2.19 Relación para calcular el balance óptico de potencia de Rx	180

Ecuación 2.20 Potencia de recepción en el equipo del cliente más lejano.....	181
Ecuación 2.21 Potencia de recepción en el equipo del cliente más cercano.....	182
Ecuación 2.22 Relación para calcular la capacidad de un enlace de fibra óptica	183
Ecuación 2.23 Cálculo de la distancia máxima para el enlace óptico a 1310 nm	184
Ecuación 2.24 Cálculo de la distancia máxima para el enlace óptico a 1550 nm	185
Ecuación 2.25 Fórmula para calcular el ancho de banda total de la fibra óptica	186
Ecuación 2.26 Cálculo del ancho de banda mínimo de la fibra óptica a 1310 nm	186
Ecuación 2.27 Cálculo del ancho de banda mínimo de la fibra óptica a 1550 nm	187

CAPÍTULO 3

Ecuación 3.1 Fórmula para calcular la depreciación de activos fijos	215
Ecuación 3.2 Cálculo de las depreciaciones de los equipos activos de la red	216

RESUMEN

El presente proyecto de titulación abarca el diseño de una red de acceso con tecnología GEPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*), para que provea el servicio *Triple Play* a los clientes de la empresa Telconet S.A. pertenecientes a un sector residencial de la ciudad de Quito; para ello, el desarrollo del proyecto se ha organizado en cuatro capítulos que se detallan a continuación:

Capítulo 1. Se estudian los fundamentos teóricos del medio de transmisión fibra óptica, los conceptos básicos de las redes de acceso de nueva generación NGA (*New Generation Access*), así como también los sistemas ópticos de comunicación y, además se presenta el estudio de la tecnología GEPON. Finalmente, se describe el servicio *Triple Play* como una de las mejores alternativas convergentes de los servicios de Internet, Telefonía y Televisión.

Capítulo 2. Se realiza el diseño de la red de acceso con la tecnología GEPON. Para esto se inicia con una visión general sobre la empresa Telconet S.A. y un análisis de la situación actual de su red de acceso; posteriormente se dimensiona la red y los equipos de acuerdo con el estudio de la demanda de adquisición futura del servicio *Triple Play*, con base en encuestas realizadas a los usuarios del sector residencial. Luego se especifica la forma de conexión de la nueva red de acceso a la red *backbone* indicando la forma que opera GEPON sobre las redes MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) de la empresa.

Capítulo 3. Se describe la estimación y valoración de costos de los equipos para el desarrollo de la red, donde se comparan al menos dos marcas de productos ópticos y se escogen los equipos que mejores características técnicas y económicas presenten. Se elabora un presupuesto referencial y se incluye una recomendación de solución en base al análisis del cumplimiento de los requerimientos y especificaciones técnicas.

Capítulo 4. Se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el transcurso de la elaboración del respectivo proyecto.

Finalmente se adjuntan varios anexos que contienen el modelo de la encuesta, las características técnicas de los componentes usados, los planos del diseño, y otros.

PRESENTACIÓN

El avance tecnológico en el sector de las telecomunicaciones junto con el crecimiento de acceso a las TICs (Tecnologías de la Información y Comunicación), han llevado a que las empresas proveedoras de servicios busquen desarrollar redes de acceso que permitan el empaquetamiento de servicios avanzados como es el denominado *Triple Play*, y con ello puedan satisfacer las necesidades de los posibles usuarios de la mejor manera.

Las Redes de Acceso de Nueva Generación (*New Generation Access, NGA*), generalmente soportadas en fibra óptica, están precisamente pensadas para cubrir oportunamente la proyección de demanda de nuevos servicios de banda ancha con mejores características que las cubiertas a través de las redes de cobre ya existentes.

En Ecuador, aún existen empresas de telecomunicaciones que brindan servicios de forma individual en sectores residenciales. Por tal motivo, se plantea este proyecto como una solución alternativa para brindar servicios de nueva generación de forma grupal o convergente utilizando la tecnología óptica GEPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*), siendo esta tecnología ideal para ofrecer fibra óptica hasta el hogar de los usuarios.

De acuerdo con lo mencionado, en el presente proyecto se diseña una red de acceso con la utilización de la tecnología GEPON para ofrecer el servicio *Triple Play* al sector residencial Balcón del Norte ubicado en la ciudad de Quito. Su propósito es otorgar a los usuarios facilidad dentro del hogar al tener centralizados los tres servicios (Internet, Telefonía fija y Televisión) con un solo proveedor, con un gran ancho de banda y a un precio accesible.

Con base en el conocimiento de las tendencias de evolución de la tecnología, la empresa Telconet S.A., aún considera que GEPON es una de las tecnologías que le permite expandir su red de acceso, brindar multiservicios y mejorar la calidad de vida de sus clientes actuales y futuros, para de esta manera tener la oportunidad de proyectarse con mayor crecimiento en el mercado.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Hace algunos años, en el sector de las telecomunicaciones las redes de cobre eran la base fundamental para proporcionar servicios a los usuarios residenciales; pero con el pasar del tiempo, estas redes han ido quedando obsoletas. Por tanto, hoy en día, este sector busca la sustitución de dichas redes por las Redes de Próxima Generación (*Next Generation Networks*, NGN)¹ basadas en fibra óptica; estas redes permiten brindar nuevos servicios *online* y multimedia, que requieren un mayor ancho de banda y mejor tecnología de transmisión [1].

La fibra óptica es considerada como el medio de transmisión más avanzado y el único capaz de soportar los innovadores servicios de las NGN. Las ventajas y amplios beneficios técnicos como una mayor eficiencia, altas velocidades de transmisión y por el buen desempeño ante posibilidades de error; conllevan a una mejor transmisión de la información en las comunicaciones ópticas. Por tal razón, está siendo muy utilizada en el sector de las telecomunicaciones.

Las Redes de Acceso de Nueva Generación (*New Generation Access Networks*, NGAN)² basadas en fibra óptica presentan un gran impacto en el mercado de las telecomunicaciones, porque permiten ofrecer velocidades de acceso a Internet superiores a las redes tradicionales. Estas redes se diferencian principalmente en el cambio del modelo actual basado en la conmutación de circuitos³, a una arquitectura basada en conmutación de paquetes⁴ multiservicio. Así, las NGAN

¹ **Redes de Próxima Generación:** Conocidas también como Redes de Nueva Generación, donde cuya infraestructura utiliza nuevas tecnologías, nuevos protocolos de comunicaciones y nuevas aplicaciones para transmitir información (datos, voz, imágenes, video, etc.) con calidad de servicio.

² **Redes de Acceso de Nueva Generación:** Infraestructuras evolucionadas de prestación de servicios que conectan las redes de los proveedores de servicios con los usuarios finales mediante tecnologías que enlazan los medios de transmisión de banda ancha, garantizando un nivel de servicio óptimo, obteniendo disponibilidad y reducción de costos operativos.

³ **Conmutación de circuitos:** Establecimiento de un camino dedicado (circuito físico) entre dos usuarios para la transmisión de datos.

⁴ **Conmutación de paquetes:** División de los datos en paquetes para ser transmitidos de forma independiente de un nodo a otro nodo.

permiten proporcionar el servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión), así como comunicaciones VoIP (Voz sobre IP), mensajería integrada multimedia, video comunicación, integración con servicios IPTV (*Internet Protocol Television*), domótica⁵, entre otros; todos con prestaciones de servicios de calidad [2].

La migración de las redes de acceso actuales a las NGA conlleva cierto tiempo para preparar las infraestructuras que soporten los nuevos servicios demandados. Por tal motivo, ante las demandas cada vez más exigentes de los usuarios algunos proveedores de servicios optan por crear y desplegar redes híbridas, donde cuyas infraestructuras de fibra óptica se comparten con las de cobre. Sin embargo, estas redes mixtas con el transcurso del tiempo están llegando a ser completamente de fibra óptica hasta el hogar del usuario.

No obstante, existen proveedores interesados por renovar sus redes hacia un entorno de redes “todo IP” (*all IP*)⁶, tanto a nivel troncal como de acceso, eliminando poco a poco los “cuellos de botella” o limitaciones existentes ya sea en el ancho de banda o en la capacidad de los equipos. La evolución hacia estas redes está ya en la agenda de los reguladores como es el caso de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) desde comienzos del año 2005 [3] [4].

Por otro lado, la arquitectura de red de Fibra Óptica hasta el Hogar (*Fiber To The Home*, FTTH) es una de las soluciones más eficaces para cubrir la creciente demanda de aplicaciones y servicios de alto consumo de ancho de banda, siendo así GEAPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*) una tecnología pasiva FTTH punto a multipunto que además ofrece a los proveedores de servicios una transición sencilla de sus redes “última milla” (*last mile*) basadas en cobre a una infraestructura de fibra, sin la necesidad de utilizar elementos activos a nivel de planta externa. En fin, se considera que una infraestructura de fibra óptica puede ofrecer mayor ancho de banda, seguridad y calidad de transmisión, necesarios para utilizar los servicios demandados por los usuarios en un hogar [2] [5].

⁵ **Domótica:** Conjunto de tecnologías aplicadas para el control, administración y automatización inteligente de una vivienda.

⁶ **Red “todo IP”:** Se trata de una red, donde todos sus componentes “hablan el mismo idioma IP”. Su característica principal es ser una red simplificada que permite el aumento de capacidad de manejo de tráfico de datos, voz y video. Su utilización puede ser tanto en el ámbito fijo como móvil.

1.2 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es el medio de transmisión más utilizado hoy en día en las redes de telecomunicaciones, debido a las reducidas pérdidas que presenta respecto a otros medios de transmisión y por la gran capacidad que tiene para enviar información, ya que a través de un hilo de fibra óptica se pueden enviar miles de millones de bits por segundo (bps) desde un metro hasta cientos de kilómetros. Además, permite acceder a servicios de manera simultánea con gran velocidad y calidad [6].

1.2.1 DEFINICIÓN

La fibra óptica resulta interesante porque toma una definición muy antigua que es la manipulación controlada de la luz dentro de un cable [7]. Por tanto, cuando se habla de fibra óptica se está refiriendo a un tipo de material que ha sido especialmente diseñado para asegurar mayor velocidad y seguridad en el área de las telecomunicaciones. Actualmente, la fibra óptica se vincula casi primordialmente con la banda ancha y con la alta velocidad para navegar en Internet [8].

La fibra óptica es un medio de transmisión filiforme⁷ muy delgado y flexible de vidrio o plástico con un grosor semejante al de un cabello humano que envía sin interrupción señales ópticas⁸ (lumínicas) de un extremo a otro independientemente de la geometría que exista durante su recorrido, incluyendo curvaturas y esquinas.

1.2.1.1 Fibra óptica de vidrio (*Glass Optical Fiber, GOF*)

La fibra óptica de vidrio es fabricada a alta temperatura por un material dieléctrico como es el vidrio de sílice, conocido como dióxido de silicio (SiO_2)⁹ de elevada pureza, a través de la cual se transmiten datos en forma de haces de luz. Consta de un núcleo y una cubierta de vidrio. Aunque también en el mercado se encuentra fibra óptica con un núcleo de plástico o cuarzo fundido. Es ampliamente utilizada en los sistemas ópticos de comunicación, gracias a las grandes ventajas que

⁷ **Filiforme:** Se refiere a los objetos finos y alargados que tienen forma o apariencia de un hilo.

⁸ **Señales ópticas:** Son aquellas señales relacionadas con la luz, utilizadas en comunicaciones por fibra óptica y generadas en frecuencias asociadas al infrarrojo próximo y medio ($1\mu\text{m} - 10\mu\text{m}$).

⁹ **Dióxido de silicio:** Es un compuesto químico formado por una molécula de silicio y dos de oxígeno, llamado comúnmente sílice, el cual se encuentra en la naturaleza en diversas formas ya sea como cuarzo, depósito cristalino, componente de la arena, etc.; y es utilizado para fabricar vidrio, pinturas, cerámicas y cemento.

presenta en comparación con la fibra óptica de plástico, en especial porque permite enviar gran cantidad de datos a una gran velocidad, mayor que las comunicaciones de radio y cable convencional [9]. La Figura 1.1 muestra la fibra óptica con filamentos de vidrio.

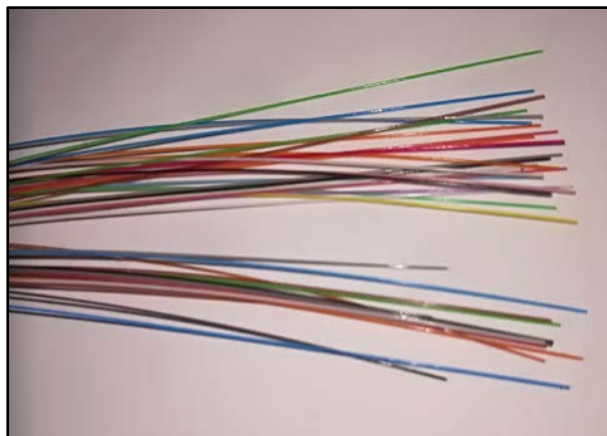


Figura 1.1 Fibra óptica de vidrio

1.2.2 COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica típica es un conductor cilíndrico transparente y largo que se compone esencialmente de tres partes concéntricas de propiedades ópticas diferentes como son: núcleo, revestimiento y cubierta.

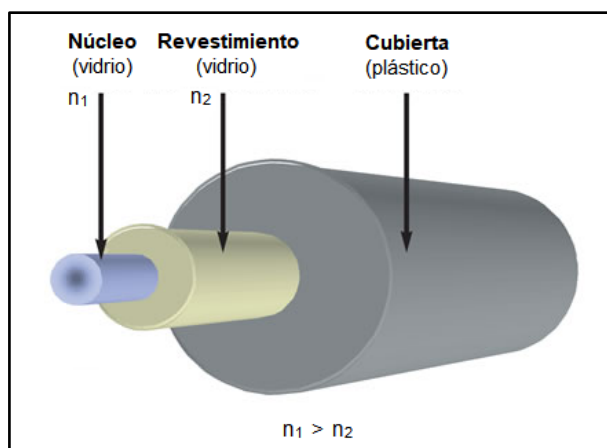


Figura 1.2 Componentes de la fibra óptica [10]

El núcleo y el revestimiento se diferencian en su composición para conseguir así que ambos tengan distinto índice de refracción (n) y obtener el confinamiento necesario de la luz para la propagación de los rayos. Por tanto, como se observa en la Figura 1.2 el material dieléctrico interno del núcleo (*core*) de índice de

refracción n_1 , está rodeado por el otro dieléctrico revestimiento (*cladding*) de índice de refracción n_2 , donde $n_1 > n_2$. A su vez, éste finalmente está rodeado por la cubierta (*buffer*) que lo resguarda del medio ambiente [10].

Por lo general, el núcleo y revestimiento son de vidrio extremadamente puro, mientras que la cubierta es un plástico o un material acrílico¹⁰. El tamaño de la fibra se especifica en el formato “núcleo / revestimiento”. Por ejemplo, una fibra con 62,5/125 significa que tiene un diámetro del núcleo de 62,5 μm y un diámetro del revestimiento de 125 μm .

1.2.2.1 Núcleo (*Core*)

El núcleo es la parte interna y principal de la fibra óptica que permite la transmisión de la luz. Principalmente, presenta baja pérdida y la diferencia entre los índices de refracción del núcleo y revestimiento, es lo que hace que el haz de luz introducido al interior de la fibra se mantenga y se propague a través del núcleo [11].

El proceso de fabricación del núcleo es controlado por medio de equipos computacionales, para permitir que su índice de refracción sea uniforme y evite que la luz atraviese la superficie entre ambos medios, quedando atrapada dentro del núcleo reflejándose completamente hasta el otro extremo de la fibra.

1.2.2.2 Revestimiento (*Cladding*)

El revestimiento es la parte media de la fibra óptica que recubre el núcleo, pero presenta un índice de refracción menor al del núcleo para asegurar la conducción de la luz en el interior de él. Además, el revestimiento de la fibra le proporciona protección contra rayaduras, huellas y contacto con otros núcleos del mismo material.

A pesar de estar formado por el mismo material que el núcleo (SiO_2 o plástico), cambia en su composición debido a la adición de pequeñas cantidades de materiales químicos durante el proceso de fabricación con el objetivo de modificar su índice de refracción; donde los valores más usuales del núcleo n_1 están muy

¹⁰ **Acrílico:** Material derivado del plástico que puede permanecer largo tiempo en la intemperie, sin sufrir daño alguno. Es un material mucho más resistente y de peso más reducido que el vidrio.

próximos a 1,45 dependiendo de su composición; mientras que los índices de refracción del revestimiento n_2 siempre serán menores a los del núcleo [12].

1.2.2.3 Cubierta (*Buffer*)

La cubierta es la parte exterior de la fibra óptica que envuelve el revestimiento, el cual brinda resistencia mecánica y protege tanto al núcleo como al revestimiento de cualquier daño como: la interferencia, la humedad, el calor, la deformación, la oxidación, los roedores, los agentes químicos abrasivos y otros riesgos del medio ambiente. Comúnmente está fabricada de plástico que actúa como un amortiguador resistente al desgaste por fricción y que asegura la protección de la fibra óptica [13].

Por lo general, la cubierta de la fibra óptica de vidrio está coloreada siguiendo los diferentes códigos de color estándar del fabricante, facilitando de esta manera la identificación del conductor óptico. Entre estos doce colores definidos están: rojo, blanco, amarillo, verde, naranja, celeste, café, negro, azul, gris, violeta y rosado, tal como se observa en la Figura 1.3.

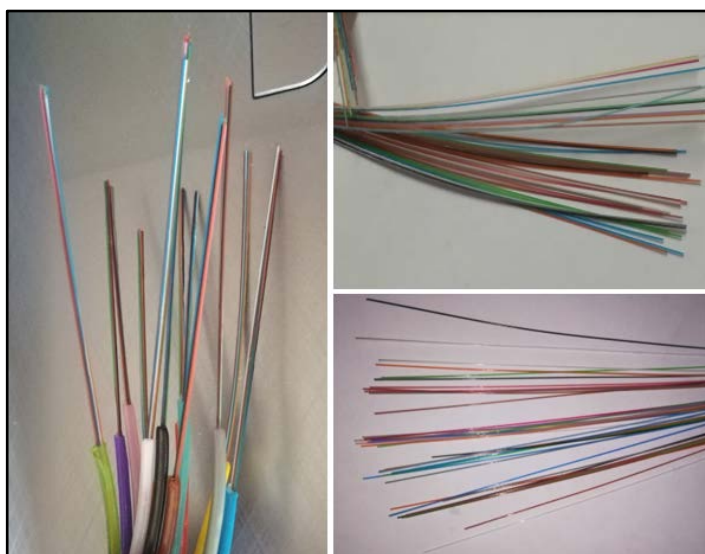


Figura 1.3 Fibra óptica con cubiertas coloreadas

1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica, como un excelente medio de transmisión de información en las comunicaciones ópticas, presenta algunas características que se deben considerar a la hora de evaluar los enlaces y sistemas ópticos. Entre sus características más destacables se mencionan las siguientes [14]:

- ❖ **Tamaño:** Es de tamaño reducido, el cual puede empaquetarse en un solo cable óptico conteniendo una mayor cantidad de hilos de fibra.
- ❖ **Peso:** Es más liviana, por lo que resulta más fácil de manipular y operar.
- ❖ **Resistencia:** Es más resistente a la corrosión de líquidos y gases volátiles, a las altas temperaturas (fuego) y a otros factores ambientales (hongos, agua, emisiones ultravioletas), ofreciendo alta confiabilidad durante su vida útil.
- ❖ **Flexibilidad:** Es flexible y puede enrollarse con facilidad gracias a la existencia del revestimiento que impide sobrepasar el límite del radio de curvatura.
- ❖ **Inmunidad:** Es inmune a las interferencias estáticas (causadas por relámpagos, motores eléctricos u otras fuentes de ruido eléctrico), electromagnéticas (EMI) y radiofrecuencias (RFI).
- ❖ **Versatilidad:** Es versátil, disponible para todos los tipos de comunicación (telefonía, video, televisión, imágenes, ordenadores, etc.).
- ❖ **Fiabilidad:** Es muy estable, no envejece, no se oxida y no se degenera en medios agresivos, dando lugar a menos averías o fallas.
- ❖ **Diseño:** Está diseñada geoméricamente con exactitud, cubierta por protecciones anti-inflamables y rellenos de gel a fin de descartar riesgos y cumplir con las normas de instalación.

1.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica como medio de transmisión más utilizado en las actuales redes de comunicaciones, presenta una serie de ventajas y desventajas; las mismas que deben ser consideradas al momento de diseñar dichas redes.

1.2.4.1 Ventajas

La utilización de la fibra óptica ofrece una serie de ventajas en comparación a otros medios de transmisión (par trenzado de cobre, coaxial, etc.), siendo entre las más relevantes las siguientes [15]:

- ❖ Proporciona elevado ancho de banda disponible con las frecuencias ópticas (desde cientos de MHz.km hasta decenas de THz.km), el cual permite transferir grandes cantidades de información de forma muy rápida, dando lugar a que los sistemas de comunicación puedan ampliar su capacidad de transmisión y mejorar su rendimiento.

- ❖ Brinda mayor velocidad de transmisión, tanto en bajada (descarga desde Internet) como en subida (transmisión de datos hacia Internet). La velocidad máxima comercializable de descarga es de 200 Mbps, aunque el límite teórico por fibra es de 2,4 Gbps según la tecnología actual que se utilice.
- ❖ Presenta baja atenuación o mínimo nivel de pérdidas de transmisión, lo que permite realizar tendidos más allá de los 70 km y transmitir a mayor distancia sin requerir elementos activos intermedios (amplificadores, repetidores o regeneradores), conllevando a ahorros económicos y fácil mantenimiento.
- ❖ Alcanza un reducido porcentaje de error de transmisión, con una tasa de errores de bits (*Bit Error Rate*, BER) menor a 10^{-11} , permitiendo que los protocolos de comunicaciones de alto nivel no implanten procedimientos de corrección de errores para obtener integridad de los datos transmitidos.
- ❖ Opera sobre un alto rango de variación de temperatura (de -550°C a $+125^{\circ}\text{C}$) sin degradación de sus características de transmisión, lo que le da gran resistencia al calor o frío, aumentando su tiempo de vida útil.
- ❖ Ofrece mayor facilidad de transporte, almacenamiento (menos espacio físico), instalación, reparación y mantenimiento, debido a que son más pequeñas y livianas que sus contrapartes metálicas.
- ❖ Puede expandirse fácilmente en función de las necesidades, donde con la misma fibra y cambiando los equipos terminales o la electrónica se puede transformar un sistema de comunicación en uno de mayor velocidad.
- ❖ Concede una muy buena calidad en la transmisión de la información, dado que no conduce electricidad ni radia energía de radiofrecuencia, tampoco existen campos magnéticos asociados.
- ❖ Facilita la localización de cortes en el tendido mediante un proceso basado en la Telemetría, la misma que permite detectar de forma rápida y eficiente el lugar de las averías para su posterior reparación con tiempos de respuesta mínimos.
- ❖ Presenta gran compatibilidad con las nuevas tendencias tecnológicas, aportando mayor facilidad y rapidez para implementar redes redundantes y nuevos servicios.
- ❖ Brinda alto grado de seguridad que su contraparte de cobre, el cual al existir una intrusión en la fibra es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía luminosa en el receptor.

1.2.4.2 Desventajas

Así como la fibra óptica posee muchas ventajas, también presenta ciertas desventajas que pueden limitar en algunos casos los proyectos de despliegue de algunas redes. A continuación, se describen algunas de ellas [15]:

- ❖ El proceso de conversión electro/óptico para transformar la señal eléctrica al espectro óptico, implica un costo considerable en todas las aplicaciones.
- ❖ Para su instalación, reparación y mantenimiento requiere de personal técnico capacitado y equipos especializados como: fusionadora, OTDR¹¹, medidor de potencia óptica (*power meter*), localizador visual de fallas (VFL), entre otros.
- ❖ Necesidad de utilizar equipos adicionales más costosos (transmisores, receptores, detectores, fuentes de luz, amplificadores, multiplexores, etc.) en la instalación de un enlace de fibra óptica; debido a que la forma de transmitir es diferente a la de un enlace convencional.
- ❖ Dificultad de reparación cuando está roto o averiado, ya que no es posible reparar solamente una sección del hilo, lo que conlleva a mayores gastos. Los procedimientos de reparación son más complejos que en redes convencionales y requieren de una mayor preparación.
- ❖ Al no transferir energía eléctrica, no puede ser utilizada para energizar la terminal de recepción, por lo que esta terminal debe energizarse por medio de una línea eléctrica independientemente separada del conducto óptico.
- ❖ Exige mayor precisión en las conexiones y empalmes, ya que debe estar perfectamente limpia y alineada, caso contrario puede provocar pérdidas relevantes por falta de cuidado al momento de realizar la unión entre los equipos y las terminales.
- ❖ Elevado costo en la conexión de fibra óptica para aplicaciones que requieren gran capacidad, por lo que se requiere de una inversión inicial elevada. Esto causa que las empresas opten por cobrar la velocidad de transmisión contratada (Mbps), más no por el tiempo de utilización; conllevando a encarecer el servicio.

¹¹ **Optical Time Domain Reflectometer:** El Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo es un equipo electrónico-óptico multifuncional que funciona bajo la técnica de la reflectometría. Se utiliza para diagnosticar una red de fibra óptica, midiendo la longitud física o distancia y localizando diferentes anomalías a lo largo del tenido del cable, así como también para encontrar averías en conexiones, empalmes y puntos distantes dentro de una red.

- ❖ Considerada como el medio de transmisión más rápido, pero también el más costoso en cuanto a la instalación y el mantenimiento; no obstante, actualmente esto casi ya no es inconveniente, pues su costo es más reducido que permite ahorrar dinero a los proveedores de servicios y a sus usuarios.

1.2.5 FUNCIONAMIENTO DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica tiene una estructura dieléctrica que conduce la luz a través de ella; donde su principio de funcionamiento se fundamenta a partir de las leyes de la Óptica Geométrica o Teoría de Rayos, las mismas que permiten estudiar de forma sencilla la interacción de la luz con los materiales que la conforman. Por tanto, el proceso de la transmisión de la luz se rige de dos leyes totalmente distintas como son la Reflexión y la Refracción.

En general, ambos fenómenos se presentan simultáneamente cuando un rayo de luz incide sobre la superficie de separación de dos medios dieléctricos diferentes, es decir, al incidir un rayo de luz sobre la superficie, parte de la luz resulta reflejada permaneciendo en el primer medio y la otra parte de la luz resulta refractada, penetrando en el segundo medio [16].

La Figura 1.4 muestra el comportamiento de estos dos fenómenos con los que funciona la fibra óptica [17].

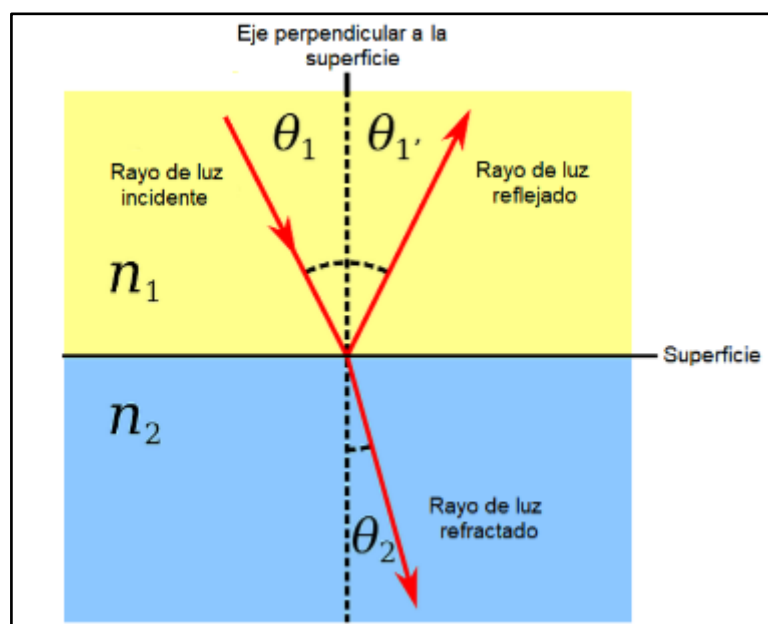


Figura 1.4 Ley de Reflexión y Refracción [17]

1.2.5.1 Ley de Reflexión

La Ley de Reflexión establece el cambio de dirección que experimenta todo rayo de luz al incidir sobre la superficie de separación entre dos medios; en otras palabras, cuando el rayo de luz choca con la superficie éste rebota y saldrá reflejado con un ángulo igual al ángulo de incidencia, el mismo que se forma entre el rayo incidente y eje perpendicular a la superficie. La Figura 1.5 representa el fenómeno de la reflexión de un rayo de luz.

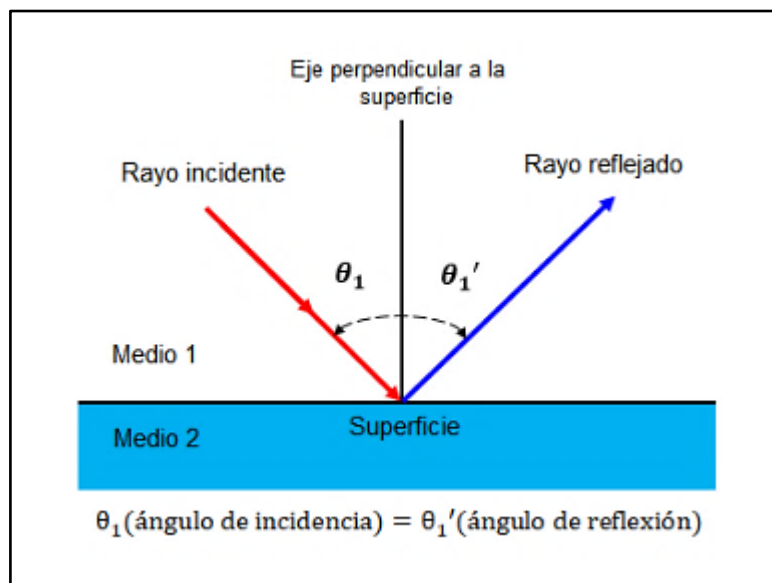


Figura 1.5 Ley de Reflexión

1.2.5.2 Ley de Refracción o Ley de Snell

La Ley de Refracción o Ley de Snell es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz al atravesar oblicuamente la superficie de separación de un medio dieléctrico a otro medio diferente. El rayo refractado sufre un cambio de ángulo, desviándose de la dirección inicial y sigue propagándose rectilíneamente en el segundo medio.

La refracción se debe a la diferente densidad de los medios por los que atraviesa la luz, produciendo un cambio de la velocidad de propagación. La Figura 1.6 muestra los parámetros relacionados con la Ley de Snell; la misma que define una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz, al atravesar la superficie de separación entre dos medios dieléctricos de propagación de la luz con índices de refracción distintos.

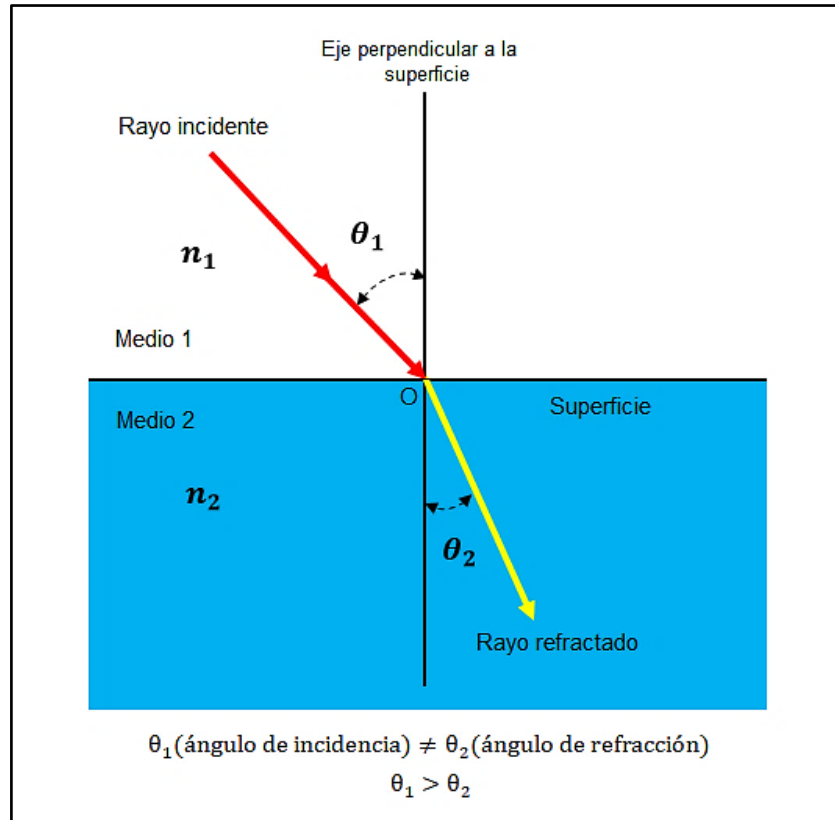


Figura 1.6 Ley de Refracción

Según esta ley, la relación del cociente entre los índices de refracción de los medios es igual a la razón entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción, o bien menciona que el producto del índice de refracción del primer medio por el seno del ángulo de incidencia es igual al producto del índice de refracción del segundo medio por el seno del ángulo de refracción [17]; es decir:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen } \theta_2}{\text{sen } \theta_1}$$

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$$

Ecuación 1.1 Ley de Snell

Donde,

- n_1, n_2 : Son los índices de refracción de los medios 1 y 2.
- θ_1 : Es el ángulo formado entre el rayo incidente y el eje vertical, el cual es perpendicular a la superficie de separación de los dos medios.
- θ_2 : Es el ángulo formado entre el rayo refractado y el mismo eje vertical.

Además de esto, se debe considerar que cuando se despeja de la Ecuación 1.1 cualquier ángulo que sea la incógnita, se puede obtener también el ángulo del rayo de luz reflejado porque lo hace con el mismo ángulo con el que incidió $\theta_1 = \theta_1'$.

Por consiguiente, esta ley es considerada como el principio de propagación, que explica las comunicaciones a través de la fibra óptica y es utilizada en la óptica de rayos para calcular:

- La velocidad de la luz en diferentes medios de propagación.
- Las pérdidas por inserción (*Insertion Loss*, IL)¹².
- Los ángulos de reflexión total.

1.2.5.2.1 Índice de refracción y Reflexión interna total

El índice de refracción (n) es un parámetro propio de cada medio que indica el comportamiento de la luz al atravesarlo. Básicamente, es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en un medio determinado (v). Se trata de un valor adimensional y siempre es igual o mayor a 1 ($n \geq 1$).

Al considerar que la Ley de Snell se expresa en términos del índice de refracción, puede presentarse dos casos cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro medio con diferentes índices de refracción:

- Si $n_1 < n_2$, se tiene $v_1 > v_2$ y ángulo $\theta_1 > \theta_2$; el rayo refractado se acerca al eje vertical.
- Si $n_1 > n_2$, se tiene $v_1 < v_2$ y ángulo $\theta_1 < \theta_2$; el rayo refractado se aleja del eje vertical.

Sin embargo, para determinar cuándo se produce el fenómeno de la reflexión interna total se toma en consideración el segundo caso, donde el rayo de luz pasa de un medio con un índice de refracción mayor n_1 a otro menor n_2 (Ver Figura 1.7). El medio con índice mayor se llama comúnmente medio "interno", ya que el aire con $n = 1,0003$ está normalmente rodeándolo (medio "externo").

¹² **Insertion Loss:** En los enlaces de fibra óptica son las pérdidas de potencia que se producen al introducir un dispositivo óptico pasivo (multiplexores, demultiplexores, módulos ópticos de bajada y subida, aisladores, filtros, conectores, etc.). Se expresa en decibelios (dB).

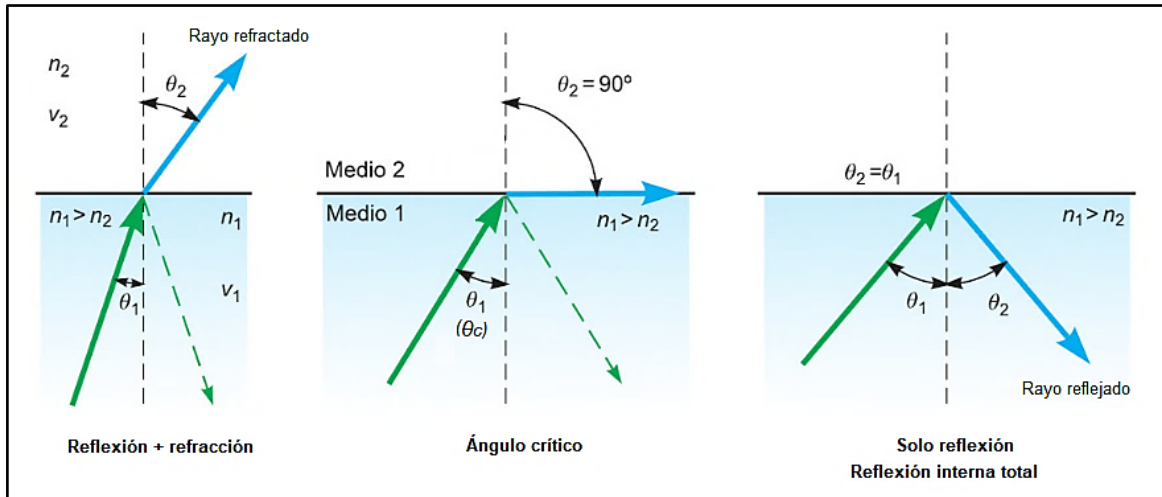


Figura 1.7 Reflexión interna total [18]

En este caso, conforme aumenta el ángulo de incidencia θ_1 , el rayo refractado se va acercando a la superficie. El ángulo de incidencia para que el ángulo de refracción θ_2 sea de 90° se denomina ángulo límite o crítico θ_c . De tal manera que, con ángulos menores al crítico, parte de la luz se refleja y parte se refracta, pero para ángulos mayores toda la luz se refleja, sin existir refracción (puesto que la luz no se puede refractar más de 90°). A este comportamiento se le denomina reflexión interna total, que es la base para la propagación de la luz en la fibra óptica.

Como se mencionó previamente, el núcleo de la fibra óptica tiene un índice de refracción (n_1) ligeramente mayor que el revestimiento (n_2), donde la luz que llega al límite entre el núcleo y el revestimiento con un ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico (θ_c) se refleja y continúa su recorrido dentro del núcleo. Por tanto, el θ_c es una función del índice de refracción de los dos medios, dicha expresión viene dada por la Ecuación 1.2 [19].

$$\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \text{sen}^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Ecuación 1.2 Ángulo crítico de un rayo de luz

En consecuencia, el funcionamiento de la fibra óptica se fundamenta principalmente en las continuas reflexiones internas totales entre la superficie de cambio de medio entre el núcleo y el revestimiento, lo que permite la propagación de la información en forma de ondas luminosas. Dicho concepto se observa en la Figura 1.8 [19].

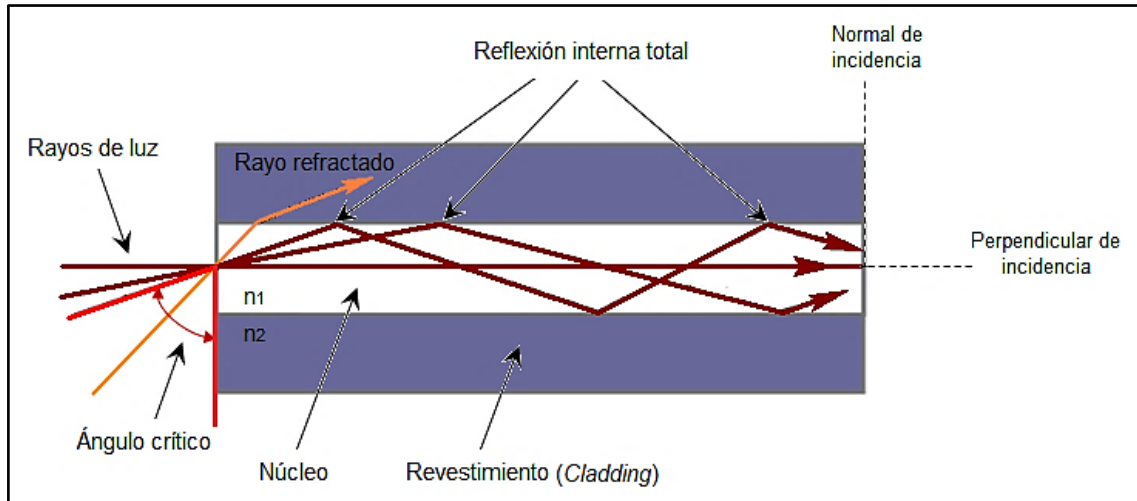


Figura 1.8 Reflexión interna total de la fibra óptica [19]

1.2.6 TIPOS DE FIBRAS SEGÚN EL MODO DE PROPAGACIÓN

La fibra óptica según el modo de propagación de la luz en su interior se clasifica fundamentalmente en dos tipos: Monomodo (*Single Mode*, SM) y Multimodo (*Multi Mode*, MM).

Estas fibras ópticas tienen dimensiones físicas y características de transmisión de luz diferentes, por lo que pueden subdividirse en otras categorías atendiendo a distintos parámetros según los materiales de fabricación y el índice de refracción. Cada una de estas subcategorías brindan la posibilidad de optimizar los parámetros de transmisión uniendo en una misma longitud de onda la mínima atenuación y la mínima dispersión cromática. En la Tabla 1.1 se resume la clasificación de estos dos tipos de fibra óptica [20]. Y, a continuación, se revisan más detalles de cada subcategoría de fibra.

Tabla 1.1 Clasificación de los tipos de fibra óptica [20]

FIBRAS ÓPTICAS			
SEGÚN EL MODO DE PROPAGACIÓN	Monomodo	Según los materiales de fabricación	Fibra monomodo estándar (SSMF)
			Fibra de dispersión desplazada (DSF)
			Fibra de corte desplazado (CSF)
	Multimodo	Según el índice de refracción	Fibra de índice escalonado (SI)
			Fibra de índice gradual (GI)

1.2.6.1 Fibra óptica monomodo (*Single Mode, SM*)

La fibra óptica monomodo es aquella que permite solo un modo o camino de propagación del rayo de luz a través de ella. La transmisión de datos es paralela a su eje, es decir en línea recta directamente por el centro del núcleo como se presenta en la Figura 1.9. La fuente de luz que utiliza es un diodo LÁSER¹³ (Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), el cual genera un rayo de luz infrarrojo de alta intensidad, fuertemente concentrado, enfocado, coherente y potente [21].



Figura 1.9 Modo de propagación de una fibra óptica monomodo [21]

La fibra óptica monomodo se caracteriza principalmente por:

- ❖ Elevada capacidad para transmitir la información, porque puede retener la fidelidad de cada pulso de luz a grandes distancias sin la dispersión multimodal.
- ❖ El diámetro del núcleo es muy pequeño, habitualmente de 8 a 10 µm, siendo el más común de 9 µm, en el que resulta más complicado el acoplamiento de la luz; el revestimiento (*cladding*) es de 125 µm de diámetro.
- ❖ Mayor ancho de banda (decenas de THz.km).
- ❖ Altas velocidades de transmisión (decenas de Gbps).
- ❖ Baja atenuación, oscila entre 0,19 y 0,4 dB/km.
- ❖ Alcanza grandes distancias de transmisión. La distancia máxima dependerá de la longitud de onda en el cual opera.
- ❖ Al ser muy delgada presenta dificultad en su fabricación y manipulación, donde puede experimentar no linealidades que afecten el funcionamiento del sistema.

¹³ La luz de una fibra óptica o de su propia fuente, puede dañar seriamente al ojo, incluso si la luz es invisible. Antes de trabajar con cualquier fibra óptica deben apagarse todas las fuentes de luz. Nunca se debe mirar al extremo de una fibra óptica, ya que pudiera estar acoplada a un láser. Tampoco debe apuntar a otra persona con una fuente de luz láser, especialmente a la cara.

- ❖ Es más sensible a los empalmes (deben ser más perfectos) y conectores; siendo así el equipamiento y los componentes utilizados de costo más elevado.
- ❖ Uso extendido para aplicaciones que requieran baja pérdida de señal y elevados niveles de transmisión de datos a largas distancias. Se usa principalmente para redes troncales (*backbone*) de alta velocidad, FTTH, redes de servicios públicos y en sistemas de radiodifusión, en especial para telefonía y televisión por cable o CATV (*Community Access Television*) también conocido como Cable TV.

1.2.6.1.1 Fibra monomodo estándar (*Standard Single Mode Fiber, SSMF*)

La fibra monomodo estándar está definida en la recomendación UIT-T G.652. Se caracteriza por presentar una atenuación en torno a los 0,2 dB/km y una dispersión cromática¹⁴ de unos 16 ps/(nm.km) en 1550 nm (denominada tercera ventana de trabajo, como se verá más adelante). Al trabajar en esta ventana, las bajas pérdidas de este tipo de fibra con la utilización de amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (*Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA*)¹⁵ permite cubrir grandes distancias, llegando a existir millones de kilómetros instalados en redes ópticas en todo el mundo.

Esta fibra óptica es la más barata y fue la primera que se desplegó en las redes públicas para la transmisión de señales del orden de Gbps. Los enlaces de telecomunicaciones basados en fibra estándar son de enorme interés debido a que tienen mejores características de transmisión que las fibras multimodo.

1.2.6.1.2 Fibra monomodo de dispersión desplazada (*Dispersion Shifted Fiber, DSF*)

La fibra monomodo de dispersión desplazada está definida en la recomendación UIT-T G.653. Esta fibra está diseñada para obtener una dispersión cromática cero o nula en 1550 nm mediante la modificación geométrica del perfil de índice de

¹⁴ **Dispersión cromática:** Variación que experimenta el índice de refracción con la longitud de onda. En general, el índice disminuye a medida que aumenta la longitud de onda. Se mide en ps/(nm.km) [picosegundos/nanómetro.kilómetro] y este valor interesa que sea lo más pequeño posible, ya que una dispersión cromática excesiva produce ensanchamiento de los pulsos y disminución de la velocidad máxima en bps. Esta dispersión solo afecta a las fibras monomodo.

¹⁵ **Erbium Doped Fiber Amplifier:** Amplificador para fibra dopada que evita usar regeneradores eléctricos en puntos intermedios. Está diseñado para amplificar señales ópticas en la tercera ventana (1550 nm) y aumentar la distancia óptica de transmisión por fibra.

refracción; sin embargo, su atenuación aumenta ligeramente con respecto a las fibras SSMF, a unos 0,25 dB/km.

El principal inconveniente de este tipo de fibra es que se ve afectada por los efectos de los fenómenos ópticos no lineales¹⁶ como el mezclado de cuatro ondas (*Four Wave Mixing*, FWM)¹⁷ que degrada significativamente la señal de información e imposibilita su utilización en sistemas de multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing*, WDM).

1.2.6.1.3 Fibra monomodo de corte desplazado (*Cut-off Shifted Fiber*, CSF)

La fibra monomodo de corte desplazado se encuentra definida en la recomendación UIT-T G.654. Este tipo de fibra está optimizada para la transmisión de señales en el rango de 1530 nm a 1625 nm. El diámetro del núcleo es mayor que en las demás fibras monomodo con valores que oscilan entre 9,5 y 10,5 μm . Esta fibra presenta altos valores de dispersión cromática en los 1550 nm (22 ps/nm.km), mientras que la longitud de onda nominal se encuentra alrededor de los 1300 nm. El fenómeno no lineal FWM puede presentarse fuera de los 1550 nm [22].

La CSF introduce poca atenuación, debido a que el núcleo está constituido de sílice puro, lo que conlleva un proceso de fabricación más caro que para las demás fibras. Las pérdidas por macro-curvaturas son bajas y junto a los bajos valores de atenuación permiten su empleo en tendidos de fibra óptica de enlaces submarinos que utilizan amplificadores ópticos y en aplicaciones de transmisión digital de larga distancia [22].

1.2.6.2 Fibra óptica multimodo (*Multi Mode*, MM)

La fibra óptica multimodo es aquella que permite varios modos o caminos de propagación del rayo de luz a través de ella como se observa en la Figura 1.10. En este tipo de fibra cada rayo de luz se propaga simultáneamente rebotando en las

¹⁶ Los fenómenos no lineales en las fibras comienzan a manifestarse cuando se incrementa la potencia de la señal óptica, causando ensanchamientos de los pulsos.

¹⁷ **Four Wave Mixing:** Cuando múltiples longitudes de onda (λ) pasan a través de una misma fibra óptica, ellas interactúan debilitándose entre sí o generando nuevas longitudes de onda, dando lugar al efecto llamado mezcla de 4 ondas, que ocurre cuando 3 longitudes de onda interactúan generando una cuarta λ . Este efecto es debido a la naturaleza no lineal del n de la fibra y resulta importante en la multiplexación WDM.

paredes del revestimiento a diferentes ángulos de incidencia y sigue su propio camino, donde por el desfase existente dentro del núcleo no todos los rayos llegan al mismo tiempo al extremo final de la fibra. La fuente de luz que utiliza es un diodo LED (Diodo Emisor de Luz, *Light Emitting Diode*) [21].



Figura 1.10 Modo de propagación de una fibra óptica multimodo [21]

La fibra óptica multimodo en comparación con la monomodo se caracteriza por:

- ❖ El diámetro del núcleo es mucho más grande, típicamente suele ser de 50, 62.5 o 100 μm, por lo que el acoplamiento de la luz es más sencillo. El diámetro del revestimiento puede ser de 125 o 140 μm.
- ❖ Menor ancho de banda (alrededor de 160 MHz.km) y podría ser un tanto mayor cuanto menor sea el número de modos que se transmiten por ella.
- ❖ Menor velocidad de transmisión, lo cual puede alcanzar hasta los 100 Gbps de *Ethernet*.
- ❖ Mayor atenuación que puede variar entre 0,3 y 6 dB/km.
- ❖ Diseñada para distancias cortas por debajo de los 500 m entre el transmisor y receptor (o viceversa). La distancia máxima recomendada es de 2 km, ya que para tramos más largos los múltiples rayos de luz pueden causar distorsión de la señal en el extremo receptor.
- ❖ En el campo de las comunicaciones, fue la primera fibra en ser fabricada y comercializada; donde se utiliza comúnmente para centros de datos de edificio a edificio, sistemas de video vigilancia, transmisión de datos en redes de área local (*Local Area Network, LAN*) y para ciertas aplicaciones empresariales de poco alcance.
- ❖ Los equipos electrónicos, conectores y transmisores utilizados generalmente son más económicos, incluso la propia fibra es más asequible, lo que significa un costo total del sistema más bajo.

- ❖ Por el gran tamaño del núcleo que presenta es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

1.2.6.2.1 Fibra multimodo de índice escalonado (Step Index, SI)

En la fibra multimodo de índice escalonado tanto el índice de refracción del núcleo como el índice de refracción de revestimiento son constantes (uniformes) pero diferentes entre sí [12]. Es decir, en este tipo de fibra existe una discontinuidad de los índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento. Se caracteriza porque el índice de refracción del núcleo permanece siempre constante y es ligeramente mayor que el valor del revestimiento. El paso desde el núcleo hasta el revestimiento conlleva por tanto a un cambio abrupto en el índice de refracción, de ahí su nombre de índice escalonado, tal como se muestra en la Figura 1.11 [23].

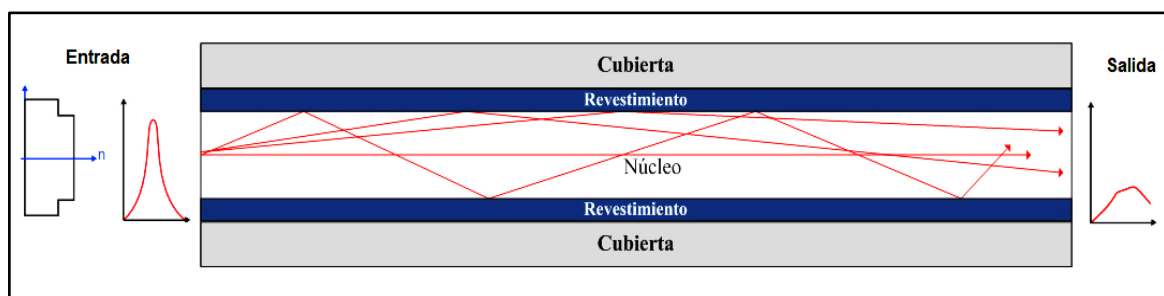


Figura 1.11 Fibra multimodo de índice escalonado [23]

La fibra multimodo de índice escalonado fue la primera en diseñarse y ahora es poco utilizada. Su fabricación es tecnológicamente sencilla y económica que las de índice gradual o las monomodo, pero tiene una alta atenuación y un reducido ancho de banda. La información que viaja a través de ella lo hace de forma demasiado lenta, por lo que no es útil para muchas aplicaciones, debido a su alta dispersión modal¹⁸.

El diámetro del núcleo de una fibra óptica multimodo de índice escalonado típicamente varía entre 50 y 200 μm . Entre las fibras multimodo de índice escalonado típicas están la 100/140 y 200/240 μm [12], donde viajan varios rayos de luz simultáneamente con diferente ángulo de entrada. Por ejemplo, para una

¹⁸ **Dispersión modal:** Es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra óptica. Este tipo de dispersión solo afecta a las fibras multimodo y es la principal causa de la limitación del ancho de banda.

fibra multimodo con un diámetro de núcleo 62,5 μm usando luz de longitud de onda 1300 nm, el número de modos es de aproximadamente 400, dependiendo de la diferencia en índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento [12].

La disparidad entre los tiempos de llegada de los diferentes haces de luz se conoce como dispersión y el resultado es una señal confusa en el extremo receptor. Sin embargo, es importante destacar que la alta dispersión es una característica inevitable de la fibra multimodo de índice escalonado.

En la Tabla 1.2 se describen los parámetros característicos que presenta la fibra multimodo de índice escalonado.

Tabla 1.2 Parámetros característicos de la fibra multimodo de índice escalonado [24] [25]

PARÁMETRO CARACTERÍSTICO	VALOR
Ancho de banda	20 – 200 MHz.km
Atenuación	4 – 6 dB/km
Diámetro del núcleo/revestimiento	100/140 – 200/240 μm
Fuente de luz	LED
Longitud de onda (λ)	660 – 1060 nm

1.2.6.2.2 Fibra multimodo de índice gradual (Graded Index, GI)

En la fibra multimodo de índice gradual, el índice de refracción del núcleo no es constante, sino que va variando gradualmente desde el centro del núcleo hacia la frontera del revestimiento. En este tipo de fibra, el confinamiento de los rayos de luz se realiza por refracción, de tal forma que los rayos siguen trayectorias curvas o parabólicas. La refracción aumentada en el centro del núcleo baja la velocidad de algunos rayos, lo cual permite que todos ellos lleguen al otro extremo casi al mismo tiempo, reduciendo la dispersión modal. La Figura 1.12 muestra el principio operacional de la fibra multimodo de índice gradual [23].

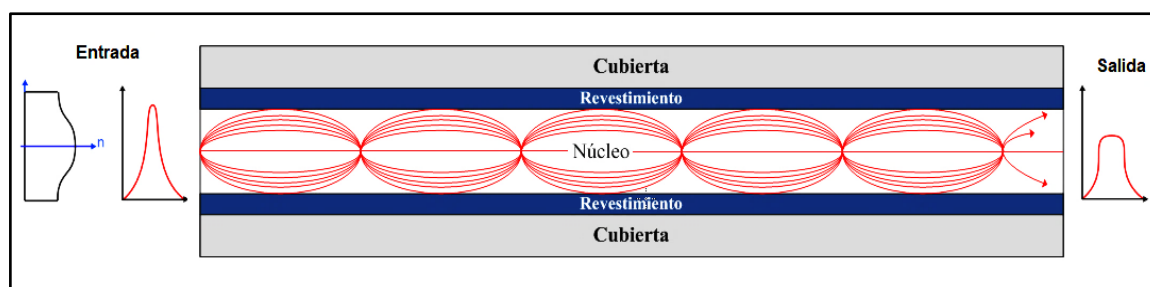


Figura 1.12 Fibra multimodo de índice gradual [23]

El número de modos en una fibra óptica multimodo de índice gradual es alrededor de la mitad que su similar de índice escalonado, lo cual se traduce en una menor dispersión. Entre las fibras multimodo de índice gradual típicas están de 50/125, 62,5/125 y 85/125 μm [12]. Esta fibra ofrece un ancho de banda y alcance mayor que la fibra multimodo de índice escalonado. Su costo es más elevado y se utiliza para redes en planta interna, de área local y de otros sistemas de seguridad.

En la Tabla 1.3 se describen los parámetros característicos que presenta la fibra multimodo de índice gradual.

Tabla 1.3 Parámetros característicos de la fibra multimodo de índice gradual [12] [26]

PARÁMETRO CARACTERÍSTICO	VALOR
Ancho de banda	100 MHz.km – 2 GHz.km
Atenuación	0,3 – 0,5 dB/km
Diámetros del núcleo/revestimiento	50/125 μm ; 62,5/125 μm ; 85/125 μm
Fuente de luz	LED
Longitud de onda (λ)	1300 – 1550 nm

1.2.6.3 Ventanas de trabajo o transmisión para la fibra óptica

Las ventanas de trabajo también conocidas como de transmisión son zonas del espectro electromagnético donde se dan las mejores condiciones para la transmisión de información a través de la fibra óptica con mínima atenuación. Prácticamente se refieren a las distintas frecuencias en las cuales se transmite el rayo de luz¹⁹; es decir, son los valores de longitud de onda que tiene el rayo de luz.

La utilización de las distintas ventanas determinará la atenuación (pérdida de potencia) que limita el alcance máximo de la señal transmitida a lo largo de la fibra óptica. En la Figura 1.13 se presenta el gráfico de la atenuación en función de la longitud de onda; así como las ventanas de trabajo y los picos de pérdidas debido al ion hidroxilo (OH^-)²⁰ [27].

¹⁹ La luz que se usa en las comunicaciones por fibra óptica se sitúa en la región infrarroja, justo debajo de la luz visible (rango 400 – 750 nm) del espectro de radiación electromagnética.

²⁰ **ion hidroxilo:** Es uno de los iones poliatómicos más simples y más importantes que se encuentra en los hidróxidos. Este ion está formado por un oxígeno y un hidrógeno con carga eléctrica -1. Es un tipo de impurezas ocasionadas por partículas de vapor de agua atrapadas en el vidrio durante el proceso de fabricación, cuya presencia causa pérdidas de absorción en una fibra óptica. La amplitud del pico de absorción OH^- no excede de 4 dB/km, habiéndose conseguido valores de 0.04 dB/km.

Generalmente, para las comunicaciones ópticas se seleccionaron ventanas de trabajo bien definidas porque pasan por la fibra óptica más fácilmente. Además, la UIT-T ha definido un conjunto de bandas espectrales que se encuentran en el rango de 1260 nm a 1675 nm representadas por las letras O, E, S, C, L y U, siendo las siguientes:

- **Primera ventana (850 nm):** Fuentes de luz Led, distancias cortas y fibras multimodo. (original)
- **Segunda ventana (1310 nm):** Fuentes de luz Láser, distancias medias y fibras multimodo/monomodo. (Banda O con atenuación menor que en la 1^{era} Ventana)
- **Tercera ventana (1550 nm):** Fuentes de luz Láser, distancias largas y fibras monomodo. (Banda C, con atenuación menor que la 2^{da} Ventana)
- **Cuarta ventana (1625 nm)**²¹: Fuentes de luz Láser y fibras monomodo. En fase de pruebas. (Banda L)
- **Quinta ventana (1470 nm):** Fuentes de luz Láser y fibras monomodo. En fase de pruebas. (Banda E y S)

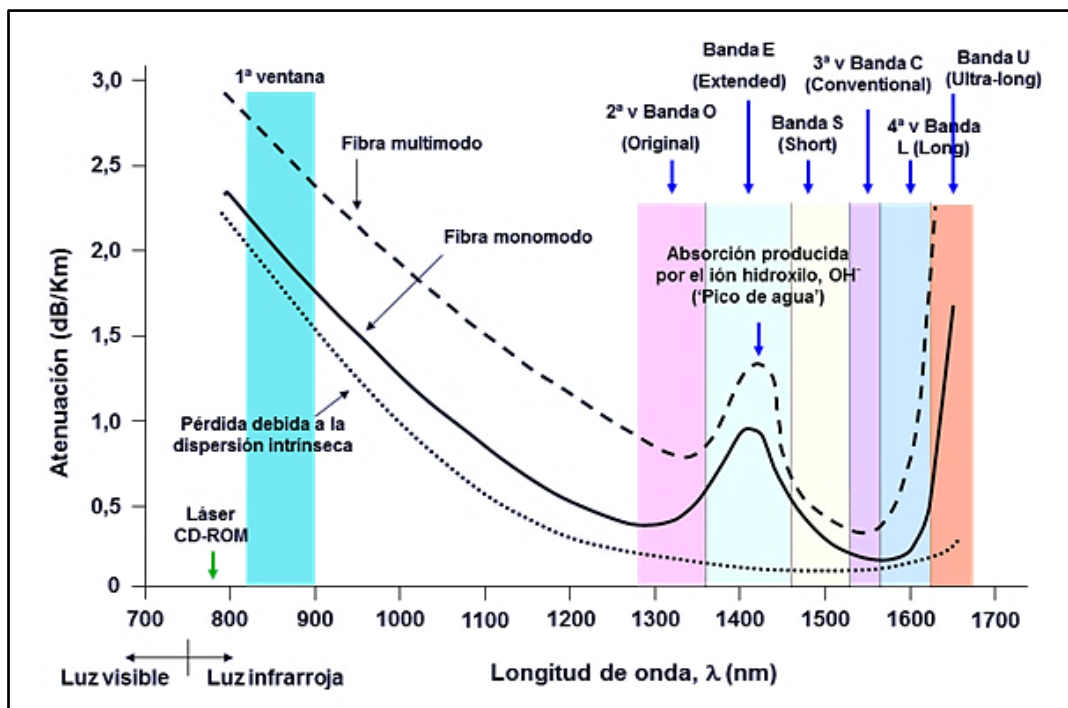


Figura 1.13 Atenuación y ventanas de trabajo de la fibra óptica [27]

²¹ Se ha incorporado una cuarta ventana, donde se ha logrado disminuir significativamente la atenuación.

Como se puede observar, existen zonas espectrales donde la atenuación es mínima, concretamente la segunda y tercera ventana de trabajo. Por otro lado, existe una zona denominada primera ventana donde las pérdidas no son mínimas, pero sí que son constantes, lo cual es un requisito fundamental en el trabajo con fibras ópticas, en especial con las fibras multimodo [28].

Actualmente, las ventanas de trabajo (bandas O, S, C, L) se utilizan para la transmisión de señales en redes de área extendida (*Wide Area Network, WAN*) con velocidades en el orden de los Gbps. La segunda ventana, además, coincide con la zona de mínima dispersión, mientras que la tercera ventana es la que produce mínima atenuación.

La tendencia actual es emplear preferentemente la tercera ventana, porque a más de su mínima atenuación, es la zona donde tienden a operar los sistemas ópticos más modernos y pueden emplearse los amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA) y Raman.

Por otro lado, se habla de una quinta ventana de transmisión, la misma que ha tomado relevancia con el desarrollo de fibras ZWP (*Zero Water Peak*) según las recomendaciones UIT-T G.652C y G.652D, en las que se ha conseguido disminuir las pérdidas por iones hidroxilo (OH^-).

La Tabla 1.4 muestra las distintas bandas correspondientes a las ventanas de trabajo de la fibra óptica con sus valores de atenuación.

Tabla 1.4 Bandas espectrales y ventanas de trabajo de la fibra óptica [27]

BANDA (UIT-T)	VENTANA	RANGO λ (nm)	λ UTILIZADA (nm)	ATENUACIÓN TÍPICA (dB/km)
-	1 ^{ra}	800 – 900	850	2,50
Original (O)	2 ^{da}	1260 – 1360	1310	0,34
Extendida (E)	5 ^{ta}	1360 – 1460	1410	0,31
Corta (S)	5 ^{ta}	1460 – 1530	1490	0,25
Convencional (C)	3 ^{ra}	1530 – 1565	1550	0,20
Larga (L)	4 ^{ta}	1565 – 1625	1610	0,22
Ultra Larga (U) ²²	Sin explorar	1625 – 1675	1650	-

²² La atenuación a partir de los 1650 nm tiende a aumentar, debido a las pérdidas provocadas por la absorción del silicio. Además, existen una serie de picos de absorción debido al ion OH^- .

Los valores de atenuación que recomiendan los fabricantes para las fibras monomodo son de 0,4 dB/km en los 1310 nm y 0,25 o 0,3 dB/km en los 1550 nm.

Además, la apertura numérica máxima, se espera que oscile entre 0,18 y 0,23 para fibras que operan en los 850 nm y, entre 0,15 y 0,20 para fibras con transmisiones ópticas en los 1310 nm y 1550 nm. En cualquier caso, el valor nominal no debe exceder el 2% del valor estándar.

En la Tabla 1.5 se presentan las distancias máximas para distintos tipos de fibra a diferentes ventanas de trabajo [27].

Tabla 1.5 Distancias máximas en función del tipo de fibra óptica y ventana de trabajo [27]

LONGITUD DE ONDA (nm)	TIPO DE FIBRA ÓPTICA	DISTANCIA MÁXIMA (km)
850	Multimodo	2,0
1310	Multimodo y Monomodo	40 – 100
1550	Monomodo	160
1625	Monomodo	160
1470	Monomodo	100

1.2.7 TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN

Las fibras ópticas disponen de un gran ancho de banda de transmisión que puede alcanzar hasta los Terahertz (THz). Por tanto, para mejorar y aprovechar en mayor medida su enorme capacidad de espectro óptico, pueden emplearse las siguientes técnicas de multiplexación de la información a transmitir:

- Multiplexación por división de tiempo (*Time Division Multiplexing*, TDM).
- Multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing*, WDM).

1.2.7.1 Multiplexación por división de tiempo (*Time Division Multiplexing*, TDM)

En la técnica de multiplexación TDM, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal de comunicación durante una fracción de tiempo o *time slot*; el conjunto de *time slots* formarán una trama de datos.

En la Figura 1.14 se esquematiza de forma simple, un conjunto multiplexor-demultiplexor para ilustrar cómo se realiza esta técnica [29].

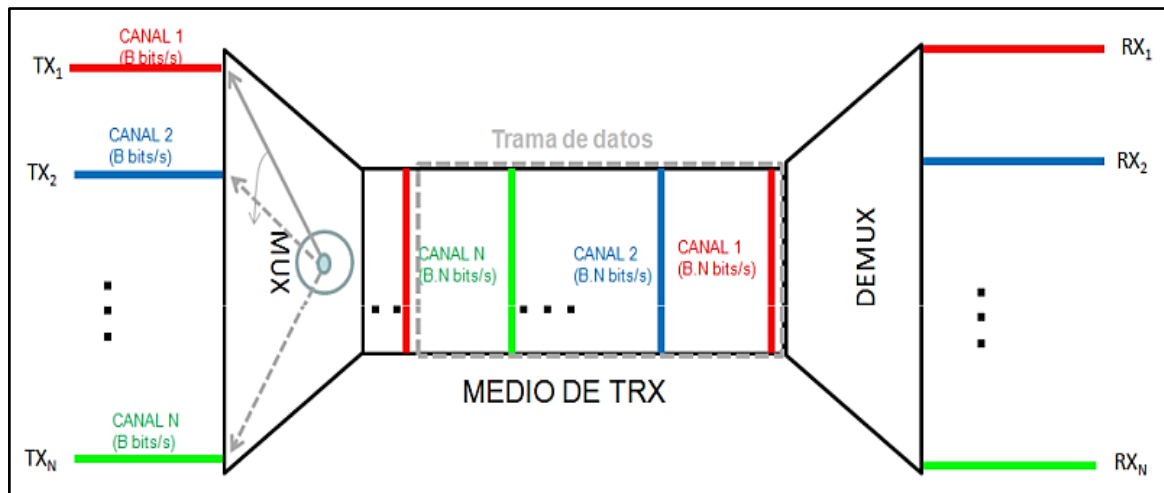


Figura 1.14 Técnica de multiplexación TDM [29]

Como se puede observar, la técnica TDM permite enviar varias comunicaciones simultáneas por un mismo canal de gran capacidad. De esta manera, se consigue un mejor aprovechamiento del medio de transmisión y un mayor rendimiento en los sistemas de transmisión.

Los dos principales problemas al utilizar TDM en sistemas ópticos son la dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización (*Polarization Mode Dispersion, PMD*); los mismos que limitan las velocidades de transmisión, permitiendo alcanzar solamente hasta 10 Gbps. Sin embargo, para obtener mayores tasas de transmisión de varios centenares de Gbps, se requiere realizar esta multiplexación en el dominio óptico, esto es, utilizando la técnica de multiplexación óptica por división de tiempo (*Optical Time Division Multiplexing, OTDM*).

1.2.7.2 Multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*)

La técnica de multiplexación WDM transmite varias señales de luz sobre una misma fibra óptica, mediante portadoras moduladas en diferentes longitudes de onda sin superponerse una con la otra. Multiplexa los canales sobre las longitudes de onda, por lo que se le llama multiplexado por “colores”, en referencia al color de cada longitud de onda. De este modo, es posible incrementar la capacidad de transmisión de la fibra, pues ésta se multiplica por el número de canales. Posteriormente se multiplexan todos los canales en una fibra óptica de gran capacidad y en el receptor un filtro óptico selecciona cada uno de los canales.

El fundamento de la técnica WDM es análogo a la multiplexación por división en frecuencia FDM (*Frequency Division Multiplexing*)²³; la misma que es utilizada comúnmente en los sistemas de comunicaciones de radio, mientras que WDM es utilizada en los sistemas de comunicaciones ópticas, donde la multiplexación y demultiplexación involucran señales luminosas transmitidas a través de canales de fibra óptica. La Figura 1.15 muestra el esquema de multiplexación WDM, donde para cada uno de los canales hay un láser emitiendo a diferente frecuencia [29].

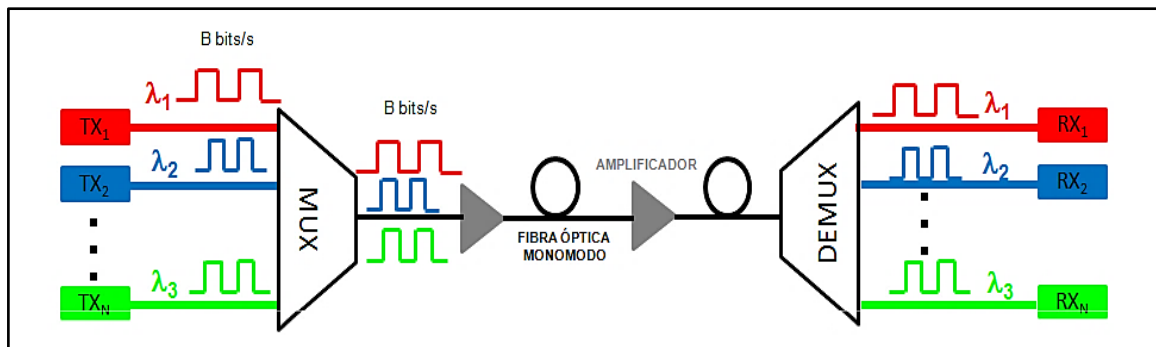


Figura 1.15 Técnica de multiplexación WDM [29]

En el caso de la fibra óptica, con la técnica WDM se trata de incrementar el número de canales por cada hilo de fibra, para lo cual se puede multiplicar la capacidad por 4, 8, 16, 32 o incluso por mucho más (128 canales), alcanzando velocidades de transmisión de más de 1 Tbps sobre una única fibra. Con el fin de disminuir la utilización de gran cantidad de hilos de fibra se utilizan diferentes técnicas de multiplexación WDM como: DWDM (*Dense WDM*) y CWDM (*Coarse WDM*), que permiten llevar diferentes canales de *upstream* por un mismo hilo de fibra.

1.2.7.2.1 Multiplexación por división de longitud de onda densa (*Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM*)

DWDM está definida en la norma UIT-T G.694.1. Es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que usa las bandas C (1550 nm), L (1625 nm) y S (1470 nm) a largo alcance. Se utiliza cuando el número de longitudes de onda que se multiplexan es muy grande y permite obtener más de 16 canales o longitudes de

²³ **Frequency Division Multiplexing:** La multiplexación por división de frecuencia divide el espectro de frecuencias de la señal entre el número de canales. Cada señal se modula en una portadora a una frecuencia distinta. Se utiliza especialmente en sistemas de transmisión de datos analógicos.

onda a través de un hilo de fibra óptica. El espaciamento entre dichas longitudes de onda es muy reducido, siendo de 25 GHz (0,2 nm), 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) o 200 GHz (1,6 nm) a velocidades de 2,5 Gbps, 10 Gbps a 40 Gbps. De esta manera, se consigue una gran densidad de canales y una máxima eficiencia en el uso de la fibra óptica [30].

En la mayoría de los sistemas DWDM típicos se pueden conseguir 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre sí, aunque actualmente se pueden alcanzar hasta 512 canales con el uso de los sistemas llamados U-DWDM (Ultra DWDM) con espaciamento de 10 GHz (0,08 nm) y de 640 canales con los sistemas NG-DWDM (*Next Generation DWDM*) con espaciamento de 6,25 GHz (0,08 nm), esto lo realizan aplicando conceptos de MPLS y ASON (*Automatically Switched Optical Network*) que permiten no sólo aumentar la capacidad sino realizar ingeniería de tráfico para optimizar las redes ópticas [31].

En la Figura 1.16 se presenta un esquema de un sistema DWDM unidireccional y en la Tabla 1.6 se detalla el espaciamento entre canales.

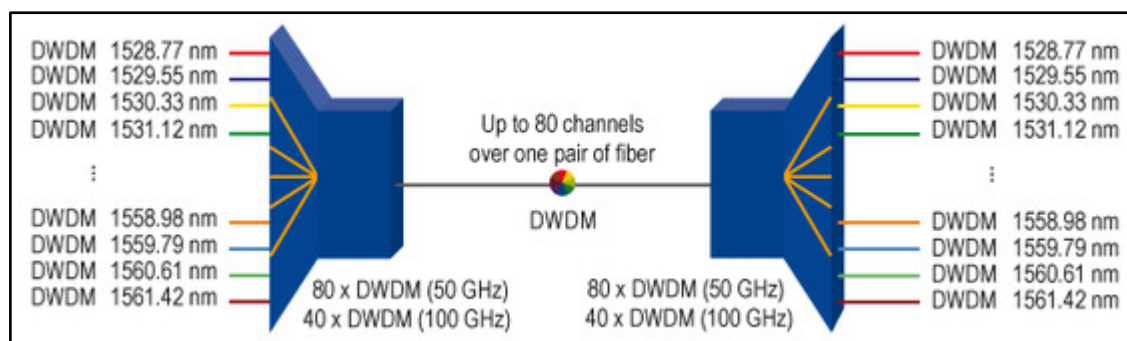


Figura 1.16 Sistema DWDM unidireccional²⁴

Tabla 1.6 Conversión del espaciamento entre canales DWDM [30]

ESPACIAMIENTO ENTRE CANALES DWDM							
GHz	200	100	50	25	12,5	10	6,25
nm	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,08	0,05
Canales	16	40	80	160	360	512	640

Es así como el último avance en las técnicas de multiplexación WDM, en lugar de transmitir canales de alta velocidad con espaciamentos de 50 o 100 GHz,

²⁴ Tomada de: <https://fiberopticsof.wordpress.com/category/dwdm/>

transmiten señales poco más lentas en canales mucho menos espaciados como: 1.25, 1.5, 2.5, 2.8, 3.125, 5, 6.25, 10, 12.5, 15 y 25 GHz; llegando a transmitir hasta 1022 longitudes de onda por cada fibra óptica sobre la banda C (1530 nm a 1565 nm) y alternativamente en las bandas O (1260 nm a 1360 nm), S (1460 nm a 1530 nm), o L (1565 nm a 1625 nm), con un alcance máximo de 100 km de distancia [32].

La diferencia de DWDM radica en transmitir con espaciamientos entre canal cada vez más estrechos, pero con velocidades de transmisión menores, como máximo 10 o 20 Gbps, para evitar los problemas de dispersión que se tienen a muy altas velocidades. En otras palabras, con una densidad de canales mucho más alta. DWDM se caracteriza por ser el mejor enfoque para maximizar la capacidad de la fibra, el cual combina múltiples señales ópticas, de tal manera que pueden ser amplificadas como un grupo y transportadas sobre una única fibra para incrementar su capacidad; cada una de las señales puede ir a una velocidad distinta y con un formato diferente.

Esta técnica es más adecuada para la transmisión en redes ópticas de largo alcance, por su habilidad para permitir la amplificación EDFA. Su empleo disminuye los elementos requeridos en una red y permite a los propietarios de infraestructuras dotar a la fibra ya instalada de más capacidad, casi de manera inmediata, y a los proveedores de servicios ofrecer cualquier tipo de tráfico de voz, datos y/o multimedia, tanto sobre IP como ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) con transmisión síncrona SONET (*Synchronous Optical Network*)²⁵, todo ello sobre una infraestructura de transporte sobre capa óptica.

1.2.7.2.2 Multiplexación por división de longitud de onda gruesa (Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM)

CWDM está definida en la norma UIT-T G.694.2. Es una técnica que usa las bandas O, E, S, C, L para enviar pocas longitudes de onda en una fibra óptica y para aumentar el ancho de banda de esta mediante la multiplexación de varias longitudes de onda (o colores) en ella, tal como en DWDM. Principalmente, puede

²⁵ **Synchronous Optical Network:** Red Óptica Síncrona, es un estándar creado para la transmisión digital de grandes cantidades de información a través de redes de fibra óptica mediante el uso de láser o LED.

transportar hasta 18 longitudes de onda de 1270 nm a 1610 nm en una única fibra óptica, con un espaciado de 2.500 GHz (20 nm) a una velocidad de 2,5 Gbps [30]. Aunque, comúnmente de este grupo de longitudes de onda, solo las 8 de la banda superior de 1470 nm a 1610 nm son las más usadas, ya que las 10 de la banda inferior entre 1270 nm y 1450 nm no son compatibles con las fibras G.652, debido al incremento de la atenuación en dicha banda [33].

La Figura 1.17 y Figura 1.18 presentan el proceso de la multiplexación y las longitudes de onda de CWDM respectivamente.

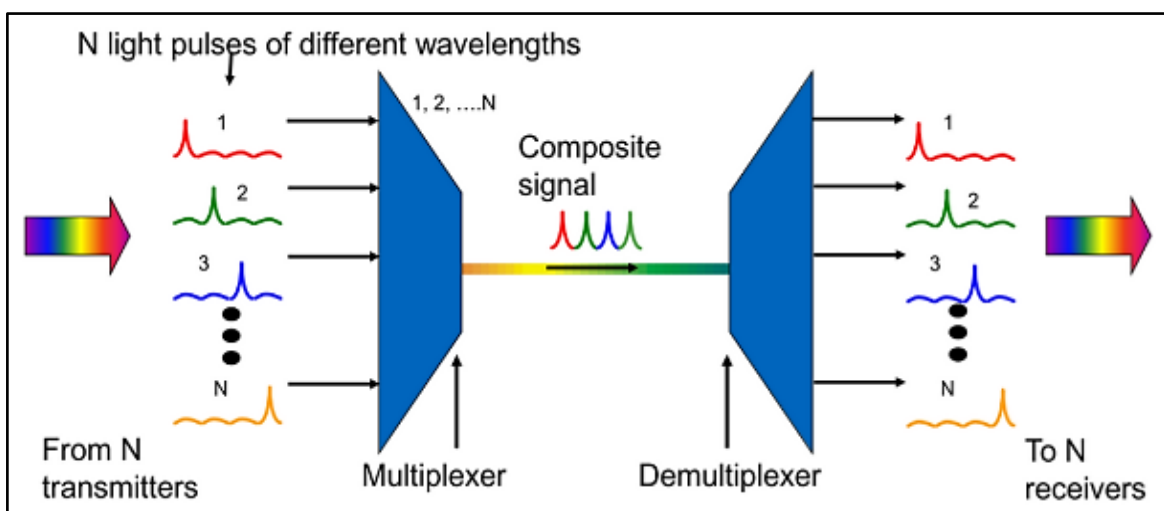


Figura 1.17 Proceso de la multiplexación CWDM²⁶

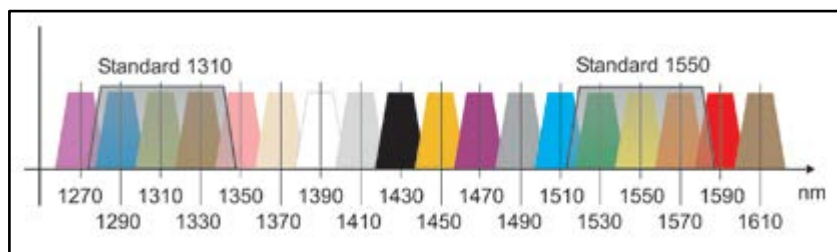


Figura 1.18 Longitudes de onda CWDM [33]

En CWDM, el mayor espaciado entre canales permite utilizar componentes de red más sencillos y baratos, como multiplexores y demultiplexores de menor calidad. Sin embargo, este amplio rango espectral no permite el uso de amplificadores EDFA (que funcionan de forma óptima a 1550 nm) y, por ello, limita

²⁶ Tomada de: <http://www.china-cable-suppliers.com/category/optical-copper-network/wdm-optical-network/cwdm-systems>

el alcance y la capacidad a unos 60 u 80 km a 2,5 Gbps, siendo apta en redes empresariales y metropolitanas para transportar cualquier servicio a corta distancia como: SDH, CATV, ATM, FTTH PON, 10 *Gigabit*, entre otros. En consecuencia, la Figura 1.19 muestra el espaciamiento de frecuencias en DWDM y CWDM [34].

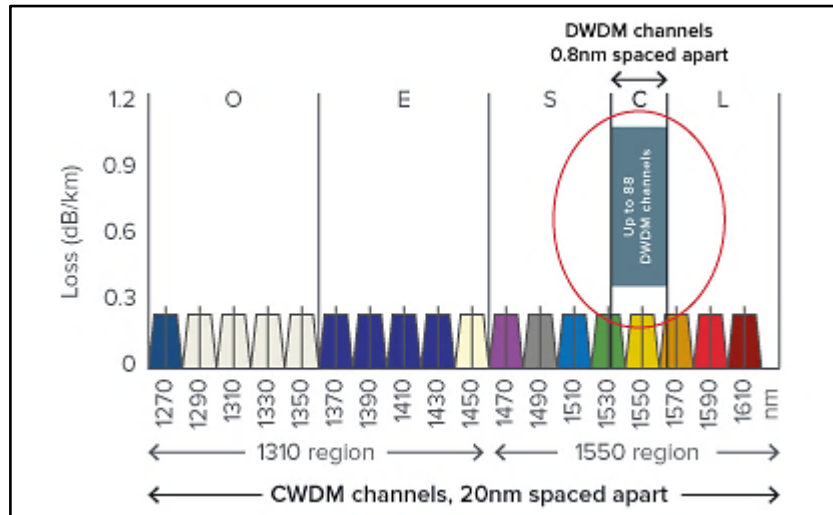


Figura 1.19 Espaciamiento de frecuencias en DWDM y CWDM [34]

1.2.8 APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA

En la actualidad, la fibra óptica por las ventajas que ofrece presenta un sinnúmero de aplicaciones en diversos campos, las mismas que aumentan día tras día. Las aplicaciones pueden darse de acuerdo con el tipo de fibra óptica que se utilice. Por ejemplo, la fibra óptica monomodo es útil en distancias largas y gran ancho de banda, se aplica en cables submarinos, cables interurbanos, etc. En cambio, la fibra óptica multimodo es utilizada para distancias cortas habitualmente en ámbitos locales, como vigilancia o seguridad. Así, entre las aplicaciones más destacables de la fibra óptica se mencionan las siguientes:

- ❖ **Redes:** La fibra óptica se aplica prioritariamente para la transmisión de datos de alta velocidad en redes de área local (*Local Area Network*, LAN) y de área extendida o amplia (*Wide Area Network*, WAN).
 - En LAN permite conectar a una serie de abonados locales con equipos periféricos o centralizados, transfiriendo información de manera rápida y eficiente. Permite un mejor rendimiento de los equipos y la fácil incorporación de nuevos usuarios a la red.

- En WAN permite conectar entre sí dispositivos separados por distancias mayores y situados en distintos lugares sea de un país o de diferentes países. Por ejemplo, las centrales particulares tradicionales PBX (*Private Branch Exchange*).
- ❖ **Internet:** La fibra óptica hace posible navegar por Internet de forma rápida, sin presentar el problema de “caerse la red” continuamente como sucede con los medios convencionales. Además, permite trabajar con una gran capacidad para transmitir información multimedia.
- ❖ **Telefonía:** La telefonía es uno de los campos donde más se está extendiendo la fibra óptica. Se utiliza para enlaces telefónicos desde las centrales hasta los nodos de distribución en los vecindarios y negocios que utilizan múltiples líneas telefónicas o líneas digitales de alta capacidad.
- ❖ **Televisión:** En la actualidad los sistemas de Cable TV (CATV) potencian sus instalaciones introduciendo fibra óptica en sus redes para transportar señales de TV por cable entre los receptores de microondas y las correspondientes facilidades de control (*Head end*)²⁷, aumentando la cantidad de canales y ofreciendo nuevos servicios interactivos.
- ❖ **Otras aplicaciones:** La fibra óptica también es ampliamente utilizada en varios sistemas y ambientes de producción para acceder a una serie de servicios fuera de las comunicaciones. Entre estos sistemas se mencionan: médicos o Electromedicina, iluminación decorativa, automotrices, automatización y control industrial, ingeniería de imágenes, petrolíferos con sensores ópticos (para medición de tensión, presión, ondas acústicas y otros parámetros), etc.

1.3 REDES DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN (NGAN)

1.3.1 ANTECEDENTES

Las Redes de Acceso de Nueva Generación (*Next Generation Access Networks*, NGAN) permiten el despliegue de la fibra óptica hasta los hogares; es decir

²⁷ En un sistema de Cable TV (CATV), las señales de televisión son recibidas o generadas y procesadas en un centro denominado *Head end*, (cabecera) transportadas por una red de distribución de cables, generalmente coaxial hasta los receptores de los suscriptores.

sustituyen el último tramo (el que termina en la casa del cliente o abonado) integrado esencialmente hasta ahora por cobre, por fibra óptica.

En el caso de que se produzca un despliegue de fibra óptica hasta el abonado, no puede pasarse por alto las dificultades técnicas, que pueden presentarse tanto en la instalación de las infraestructuras necesarias en el domicilio del cliente, como en las acometidas de edificios de varias plantas o desde la entrada de una urbanización de casas unifamiliares para llegar a cada vivienda. De hecho, el acceso a los edificios constituye una de las mayores preocupaciones de los proveedores, por sus dificultades operativas y su costo económico [35].

Prácticamente las NGAN, son redes de acceso cableadas que consisten total o parcialmente en elementos ópticos y son capaces de prestar servicios de acceso de banda ancha con características mejoradas en comparación con los servicios prestados a través de las redes de cobre existentes. Reemplazar el cobre por fibra permitirá mejorar las prestaciones de las redes actuales de acceso, que podrán alcanzar velocidades en los hogares de más de 100 Mbps e incrementar el número y la calidad de los servicios que se prestan.

Las NGAN basadas en fibra óptica están revolucionando tecnológicamente la infraestructura de las redes de telecomunicaciones, donde los proveedores de servicios están desplegando dichas redes de acceso para satisfacer los nuevos requisitos de velocidad y cobertura. La rentabilidad económica de las inversiones en este tipo de redes conlleva riesgos considerables, pero puede suponer un motor de impulso para otros negocios.

1.3.2 REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN)

Las Redes de Próxima Generación (*Next Generation Networks*, NGN) son las nuevas redes convergentes basadas en tecnología IP para transportar información y servicios (datos, telefonía, multimedia, etc.) con mayor velocidad y seguridad.

Estas redes de nueva o próxima generación pueden ser desplegadas tanto por los proveedores como por las empresas, con los correspondientes ahorros tanto operativos como de inversión. Igualmente, se caracterizan porque su capacidad es notablemente superior a las de las redes tradicionales.

1.3.2.1 Definición de una NGN

Según la Recomendación UIT-T Y.2001, la red de próxima generación se define como:

“Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios” [36].

1.3.2.2 Características de una NGN

Según los lineamientos y estándares de la UIT, las características principales de la NGN, incluidas en la recomendación Y.2001, son:

- ❖ Transferencia basada en paquetes, siendo capaces de trabajar con servicios integrados y aprovechar en su totalidad el ancho de banda del canal.
- ❖ Soporte para un amplio conjunto de servicios y aplicaciones (tiempo real, tiempo no real y multimedia), garantizando que el usuario acceda a ellos, en forma independiente del proveedor.
- ❖ Separación entre la provisión de los servicios y el transporte, y la provisión de interfaces abiertas.
- ❖ Convergencia entre servicios fijos y móviles.
- ❖ Capacidades de ancho de banda con calidad de servicio (QoS) extremo a extremo.
- ❖ Capacidad de interoperabilidad/interconexión con las redes “tradicionales”.
- ❖ Movilidad generalizada²⁸, que permitirá una prestación coherente de servicios al usuario.
- ❖ Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios.
- ❖ Soporte de múltiples tecnologías de última milla.

²⁸ **Movilidad generalizada:** Se entiende como la capacidad de utilizar diferentes tecnologías de acceso en diferentes lugares, aunque el usuario y/o el equipo terminal puedan estar en movimiento. El acceso a los servicios es independientemente de los cambios de ubicación o del entorno técnico.

Estas características se enfocan en la necesidad de ver al usuario como un cliente potencial, cuya demanda debe ser atendida a través de nuevas herramientas tecnológicas, que le reporten beneficios en términos de costos, calidad de los servicios prestados y diversidad de servicios.

1.3.2.3 Beneficios de una NGN

La NGN proporciona los siguientes beneficios:

- ❖ A los proveedores de servicios, les ofrecen la sencillez de gestión y la posibilidad de desarrollar e implantar nuevos servicios convergentes de una manera más rápida. Estos servicios son los que actualmente demanda cualquier empresa que requiera mejorar su productividad, independientemente de su tamaño y sus recursos.
- ❖ A los clientes finales, sean empresas, organismos o particulares, les abre todo un mundo de nuevos servicios y posibilidades, es decir, posibilitan que desde cualquier sitio se tengan los servicios de nueva generación, accediendo a la información requerida y todo ello en una única plataforma.

1.3.2.4 Arquitectura de una NGN

La Figura 1.20 muestra la arquitectura general de la NGN, el cual está conformada esencialmente por las capas: conectividad, control, servicio y gestión [37].

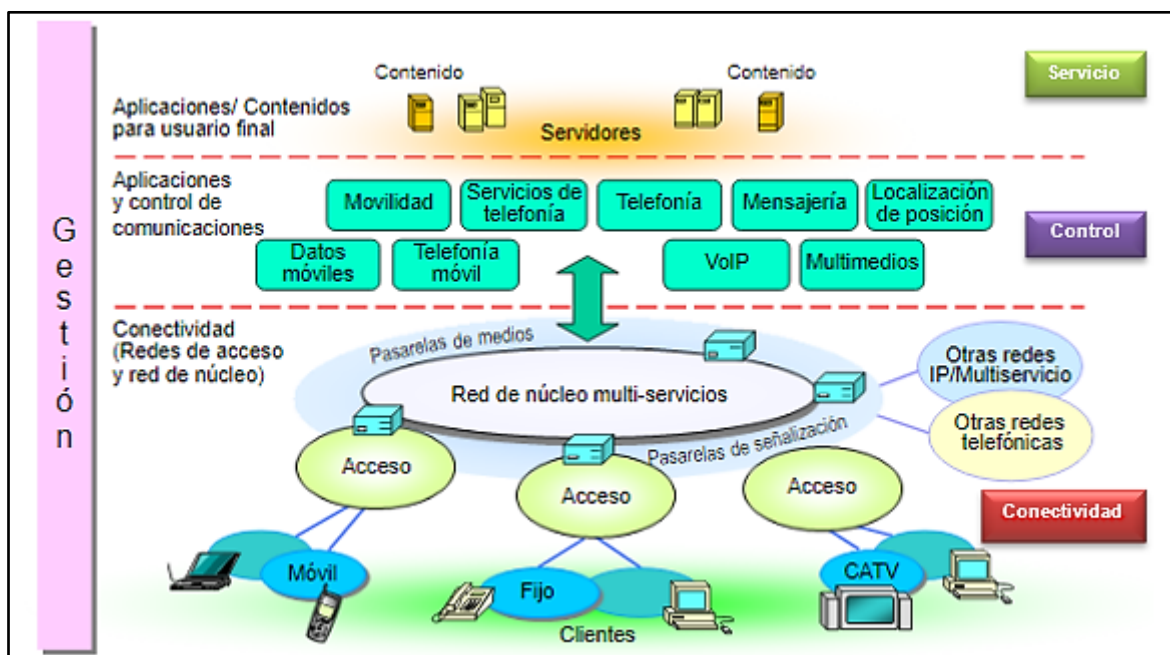


Figura 1.20 Arquitectura de una red de próxima generación (NGN) [37]

1.3.2.4.1 Capa de conectividad

La capa de conectividad contiene las diversas tecnologías de red (PSTN²⁹, ISDN³⁰, GSM/GPRS/UMTS/LTE, HFC, ADSL, etc.) que se encargan de la conmutación, enrutamiento y transmisión de los paquetes IP. Esta capa suele dividirse en dos subniveles: capa de núcleo o tránsito y capa de acceso:

- ❖ La capa de núcleo o tránsito es una red troncal IP que permite el enrutamiento y conmutación de los paquetes extremo a extremo. Asegura la interconexión de todas las redes de acceso con los otros niveles. También permite el transporte de diferentes tipos de tráfico con variados requerimientos de QoS.
- ❖ La capa de acceso comprende la red de banda ancha que da acceso a los clientes a la NGN. Este acceso puede ser fijo o móvil, utilizando múltiples tecnologías (xDSL, 802.11(x), 802.16(x), celular, POTS³¹, etc.) y medios de transmisión (fibra o cobre).

1.3.2.4.2 Capa de control

Es la capa intermedia que controla la gestión de llamadas y permite la comunicación en tiempo real entre las capas de servicio y conectividad. Comprende los equipos que manejan la señalización (*Signaling Gateway*, SG)³² y el procesamiento de llamadas (*Media Gateway Controller*, MGC)³³, responsables del encaminamiento de la señalización entre usuarios y de la invocación de los servicios. El MGC también es llamado *Softswitch*³⁴ que es un dispositivo principal en la NGN.

²⁹ **Public Switched Telephone Network:** La Red Telefónica Pública Conmutada es una red con conmutación de circuitos tradicional optimizada para comunicaciones de voz en tiempo real.

³⁰ **Integrated Services Digital Network:** La Red Digital de Servicios Integrados es un servicio mediante el cual las líneas telefónicas pueden transportar señales digitales en lugar de señales analógicas, aumentando considerablemente la velocidad de transferencia de datos.

³¹ **Plain Old Telephone Service:** El Servicio Telefónico Antiguo u Ordinario se basa de una línea telefónica analógica convencional por medio de la cual se puede transmitir voz, así como datos a través de un módem analógico.

³² **Signaling Gateway:** Puerta de Señalización realiza la conversión de la señalización de control fuera de banda entre las NGN y otras redes (por ejemplo, entre un servidor de llamadas de la NGN y un STP, *Signaling Transfer Point* o un SSP, *Service Switching Point* del SS7).

³³ **Media Gateway Controller:** El Controlador de Puertas Multimedia es el responsable de mediar el control de llamadas (entre la SG y MG) y controlar el acceso del mundo IP hacia y desde la red telefónica, PSTN.

³⁴ **Softswitch:** Es la nueva generación de *switch* para la gestión de comunicaciones multimedia basado en tecnología IP. Dispositivo programable que controla las llamadas de voz sobre IP (VoIP). Encargado de habilitar la correcta integración de los diferentes protocolos en la NGN. Su función más importante es la de crear la interfaz para la PSTN a través de la SG y MG.

1.3.2.4.3 *Capa de servicio*

Esta capa contiene el sistema que proporciona los servicios y aplicaciones disponibles a la red. Los servicios se ofrecerán a toda la red, sin importar la ubicación del usuario. Dichos servicios serán tan independientes como sea posible de la tecnología de acceso que se use. Se prestan servicios mejorados a los usuarios con la ayuda de servidores de aplicaciones. El servidor puede introducir cualquier servicio, en cualquier momento, sin modificar el control, el transporte o el acceso.

1.3.2.4.4 *Capa de gestión*

Esta capa se extiende sobre todas las otras capas, integrando todos los equipos de gestión. Es esencial para minimizar los costos al explotar una NGN. Proporciona las funciones de dirección empresarial, de los servicios y de la red. Permite la provisión, supervisión, recuperación y análisis del desempeño de extremo a extremo necesarios para dirigir la red.

1.3.2.5 **Aplicaciones de una NGN**

Las aplicaciones de una NGN se pueden dividir en diferentes clases de servicios que se describen a continuación:

❖ **Servicios de datos: Acceso a Internet**

Estas aplicaciones tienen que ver con el acceso a Internet, la descarga de archivos, correo, etc. y el uso en línea de aplicaciones o servicios. Incluyen todos los servicios de llamada operados por los Proveedores de Servicio de Internet (*Internet Service Provider, ISP*). Los servicios de datos permiten el establecimiento de conectividad en tiempo real entre terminales, junto con varios atributos de valor agregado (por ejemplo, ancho de banda bajo demanda, gestión de ancho de banda y control de admisión de llamada).

❖ **Servicios de video: Emisión de TV, video y música**

Las aplicaciones de este tipo tratan la necesidad de los usuarios para acceder a los servicios de vídeo, tales como TV, vídeo por suscripción y a los contenidos multimedia, en la mayoría de los casos usando un modo de emisión.

La red de acceso a estos servicios debe cumplir requerimientos en cuanto a ancho de banda suficiente para transportar el tráfico requerido y proporcionar QoS.

❖ **Servicios de conversación: Llamadas de voz/video y conferencias**

Esta clase de aplicaciones se dirige a la necesidad de las personas de comunicarse en tiempo real o casi real con uno o más usuarios, utilizando voz, vídeo o mensajería instantánea. La clave para estas aplicaciones es la capacidad de suministrar alcance continuo sobre una variedad de tecnologías de acceso mientras el usuario se está desplazando. La transferencia rápida de las llamadas de voz, vídeo y conferencias en tiempo real es crucial para asegurar una buena experiencia de usuario.

❖ **Servicios corporativos VPN: acceso a intranet/e-mail**

Este grupo de aplicaciones ofrece a los usuarios de empresas los servicios de conversación y video detallados anteriormente. Usan Redes Privadas Virtuales (*Virtual Private Network*, VPN) de voz y datos, dando lugar a niveles de seguridad, QoS y rendimientos muy exigentes.

1.3.3 REDES PON (*Passive Optical Network*)

Las redes ópticas pasivas son redes punto-multipunto, cuya infraestructura está compuesta en su gran mayoría por elementos ópticos pasivos, necesitando solamente de equipos activos en el proveedor de servicios y en los usuarios finales para generar la señal óptica.

Las redes PON sustituyen los tramos de cable coaxial por fibra óptica y están diseñadas con el objetivo principal de conseguir el aumento del ancho de banda al menor costo posible. La utilización de la fibra óptica permite cambiar la tasa de transmisión sin tocar la infraestructura compartida, lo que conlleva a reducir la inversión y los costos de mantenimiento.

1.3.3.1 Elementos de las redes PON

En la Figura 1.21 se observa el esquema básico de una red PON integrada por sus elementos primordiales como: OLT (*Optical Line Terminal*), divisor óptico pasivo (*splitter*) y ONT (*Optical Network Terminal*) [38].

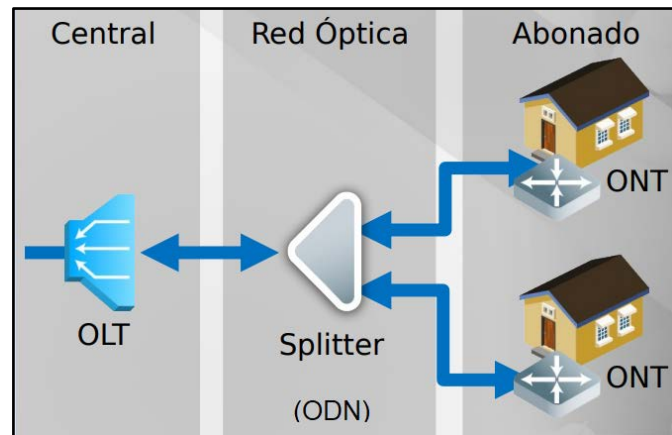


Figura 1.21 Componentes de una red PON [38]

a) OLT (*Optical Line Terminal*)

El Terminal de Línea Óptica es un elemento activo que se localiza en el nodo u oficina central³⁵. Su función principal es proveer enlaces de fibra óptica desde la red del proveedor de servicios, a las conexiones de fibra óptica que se instalan a los usuarios. Cada OLT suele tener la suficiente capacidad para proporcionar un servicio a cientos de usuarios. Entre los objetivos del OLT se tienen:

- ❖ Realizar las funciones de control en la red de distribución: corrección de errores, control de las potencias emitidas y recibidas.
- ❖ Coordinar la multiplexación de los canales de subida y bajada.

La Red de Distribución Óptica (*Optical Distribution Network, ODN*) es la parte que proporciona el medio de transmisión óptica desde el OLT hasta los usuarios y viceversa. Suele estar compuesta principalmente de *splitters*, tramos de fibras y cables ópticos monomodo, conectores ópticos y empalmes. Es muy importante destacar que la ODN está sólo compuesta por elementos pasivos con el consecuente ahorro de mantenimiento que ello conlleva.

b) Divisor óptico (*Splitter*)

Es un elemento pasivo de ramificación óptica que se encarga de dividir la señal proveniente del OLT y direccionar la misma hasta cada uno de los usuarios. Es

³⁵ El nodo u oficina central es el punto en el cual los proveedores de servicios realizan la interconexión con la red de acceso. La red de acceso local se denomina como “la última milla” o “el bucle local”.

decir, permite dividir la señal óptica de entrada en N ramas de salida. La necesidad de distribución de múltiples señales lo hace fundamental en las nuevas redes FTTH PON.

Con la finalidad de utilizar diferentes arquitecturas para compartición de señales ópticas, los *splitters* permiten la configuración de su red de la forma más efectiva posible. Poseen una entrada y 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 salidas a elegir dependiendo de la necesidad.

c) ONT (*Optical Network Terminal*)

El Terminal de Red Óptica es un elemento activo que se instala en la casa del cliente, normalmente junto a la roseta óptica³⁶ correspondiente, donde termina la fibra óptica. La tarea principal de este elemento es transformar la señal óptica en eléctrica y ofrecer las interfaces hacia los dispositivos del usuario para acceder a los diversos servicios; como, por ejemplo:

- ❖ Un *router* o una computadora para acceso a Internet con puertos *Ethernet*.
- ❖ Un *set-top box* (STB)³⁷ con una TV para IPTV con puertos RF análogos.
- ❖ Un teléfono IP para telefonía o VoIP (*Voice over IP*) con puertos E1³⁸ o POTS.

1.3.3.2 Características generales de las redes PON

Entre las principales características de las redes ópticas pasivas se encuentran:

- ❖ Mayores distancias entre la central y el usuario, cuya cobertura de este tipo de redes puede extenderse de 10 a 60 km.
- ❖ Mayor ancho de banda para el usuario gracias a la utilización de fibra óptica como medio de transmisión.

³⁶ **Roseta óptica:** La roseta de abonado para fibra óptica es el punto terminal óptico que permite realizar la terminación y el acondicionamiento del cable óptico de acometida que accede al domicilio del cliente.

³⁷ **Set-top box:** Dispositivo receptor o decodificador que se conecta a un televisor y a alguna señal externa (cable *ethernet* o coaxial, línea telefónica, antena satelital, UHF o VHF, etc.), y que convierte la señal en contenido (video, audio, páginas de internet, juegos interactivos, etc.) que es mostrado en pantalla. Por ejemplo, permite navegar por la *web* utilizando el televisor como monitor.

³⁸ **E1:** Capacidad de transmisión digital que permite manejar hasta 30 canales simultáneos de voz, utilizando la técnica de Multiplexación TDM y Modulación Codificada por Pulsos PCM (*Pulse Coded Modulated*), mediante el envío por un único canal con una tasa de transferencia de 2,048 Mbps.

- ❖ Menor degradación de las señales por presentar inmunidad a ruidos eléctricos o electromagnéticos, mejorando la calidad del servicio y simplificación de la red.
- ❖ Menor despliegue de fibra óptica debido a su topología, facilitando la instalación y mantenimiento.
- ❖ Mayor facilidad de gestión, configuración y mantenimiento remoto.
- ❖ Menor gasto de inversión, consumo eléctrico y operación, al no usar repetidores o elementos activos en la red de distribución.

1.3.3.3 Tecnologías de las redes PON

Todas las variantes de tecnologías PON son utilizadas en redes de banda ancha, teniendo cada una sus particularidades y estándares propios que las definen.

En 1998, FSAN (*Full Service Access Network*)³⁹ desarrolló la tecnología APON o ATM PON, conocida bajo la recomendación UIT-T G.983, y que basa el transporte de los datos en el protocolo ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)⁴⁰ con una velocidad de transmisión simétrica de 155 Mbps. Su principal desventaja fue la incapacidad para transportar video, debido a una velocidad limitada.

Por tanto, en el 2001, FSAN desarrolló las especificaciones de la tecnología BPON (*Broadband PON*), bajo la recomendación UIT-T G.983.1 que surgió como una mejora de la tecnología APON para integrar y obtener acceso a más servicios como *Ethernet*, distribución de video y multiplexación por longitud de onda (WDM), pero con mayor ancho de banda y con una velocidad de transmisión asimétrica de 155 Mbps de subida y 622 Mbps de bajada. Su principal desventaja en cambio fue la insuficiencia que presentó para el transporte del tráfico IP [39].

Por consiguiente, dado que en la actualidad existe un aumento constante de la demanda de ancho de banda que generan las aplicaciones y servicios de consumo, se necesitan nuevas arquitecturas de acceso con mayor capacidad, lo que conlleva

³⁹ **Full Service Access Network:** Organismo conformado por siete grandes operadores y fabricantes, y encargado de elaborar las especificaciones y las normas de interoperabilidad y de funcionamiento para el acceso de banda ancha a través de fibra óptica.

⁴⁰ **Asynchronous Transfer Mode:** Estándar adoptado por la UIT-T en 1995 para soportar la red digital de servicios integrados de banda ancha, permitiendo la integración de los servicios orientados y no orientados a la conexión. Con esta tecnología la información es transmitida en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser enviados individualmente mediante el uso de canales virtuales y trayectos virtuales.

a utilizar tecnologías que respondan de mejor manera a estas necesidades. Entre estas tecnologías se mencionan: EPON (*Ethernet PON*), GEPON (*Gigabit Ethernet PON*), GPON (*Gigabit PON*),¹⁰ GEPON (*10 Gigabit Ethernet PON*).

1.3.3.3.1 EPON (*Ethernet PON*)

La tecnología EPON está especificada por el grupo *Ethernet* en la Primera Milla (*Ethernet in the First Mile*, EFM), y definida en el estándar IEEE 802.3ah, el cual utiliza *Ethernet* como medio de transporte en lugar del transporte por medio de celdas ATM. Sus velocidades de transmisión para subida y bajada son simétricas, del orden de 1,25 Gbps (*upstream/downstream*).

EPON utiliza el protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) para gestionar y administrar la red y, el protocolo MPCP (*Multi Point Control Protocol*) para asignar *time slots*, reporte de ancho de banda requerido y negociación de parámetros ópticos. Además, posee mecanismos de mantenimiento en la red y ofrece QoS en tráfico ascendente y descendente [40].

Aunque se considera una buena tecnología carece de algunas funcionalidades necesarias para garantizar la calidad de servicio, dando lugar a que cada fabricante presente soluciones propias, una cuestión que no es popular entre los proveedores debido a que buscan soluciones de mayor interoperabilidad [39].

1.3.3.3.2 GEPON (*Gigabit Ethernet PON*)

La tecnología GEPON se encuentra definida en el estándar IEEE 802.3ah, basada en el protocolo *Ethernet* para el transporte de datos sobre fibra óptica utilizando divisores ópticos pasivos con la finalidad de desplegar redes de acceso a usuarios residenciales para que puedan acceder a los diferentes servicios ofertados. Provee una velocidad de transmisión simétrica de 1,25 Gbps (subida y bajada) y, normalmente permite alcanzar una distancia máxima de 20 km entre el OLT y ONT.

Esta tecnología facilita en gran medida la llegada con fibra óptica hasta los usuarios ya que los equipos con los que se accede son más económicos al usar interfaces *Ethernet* [41]. GEPON es considerada como una solución ideal para aquellos operadores de servicio de Cable TV (CATV) o de datos, que pretenden emigrar al modelo de *Triple Play*, o Triple Servicio, el cual implica Internet de banda ancha,

Telefonía fija o sobre VoIP y TV, con la posibilidad de transportar TV digital sobre el protocolo IP (IPTV). En la sección 1.5 se estudia con más detalle esta tecnología.

1.3.3.3.3 GPON (*Gigabit PON*)

La tecnología GPON se define en la serie de estándares UIT-T G.984.x (G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4, G.984.5, G.984.6 y G.984.7), donde se exponen las características generales sobre su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de la señal, razón de división óptica, protección, seguridad y otras [42].

GPON soporta una velocidad de transmisión asimétrica de 1,25 Gbps (subida) y 2,5 Gbps (bajada). La distancia máxima alcanzable es de 20 km, aunque puede alcanzar hasta 60 km entre el ONT más lejano desde el OLT utilizando un equipo especial denominado GPON *Extender*.

Esta tecnología posee su propio método de encapsulamiento de la información GEM (GPON *Encapsulation Method*) para una mayor flexibilidad y transmisión de paquetes IP de tamaño variable a lo largo de enlaces TDM. Además, implementa capacidades OAM (*Operation Administration and Maintenance*) para una potente gestión de servicio extremo a extremo y para implementar la detección rápida de fallas en la red [43].

De tal manera, GPON no solamente ofrece mayor ancho de banda que sus tecnologías antecesoras (EPON, GEAPON) sino que también es más eficiente y permite a los proveedores continuar brindando sus servicios sin tener que mudar los equipos instalados en las dependencias de los usuarios, ganando así terreno en el segmento de las redes de acceso por fibra óptica, ya que una de sus ventajas es lograr una mayor eficiencia en los servicios basados en IP.

1.3.3.3.4 10GEAPON (*10Gigabit Ethernet PON*)

La tecnología 10GEAPON se encuentra definida en el estándar IEEE 802.3av, la misma que se desarrolló para aumentar la velocidad de transmisión de GEAPON. Define dos formas de transmisión: simétrica, a una velocidad de 10,31 Gbps y asimétrica, a una velocidad de 1,25 Gbps para el canal ascendente y 10,31 Gbps para el canal descendente [44]. Los datos de *upstream* y *downstream* se transmiten a través de una sola fibra óptica, donde se utiliza multiplexación WDM para separar

los canales de 1 Gbps y 10 Gbps en sentido descendente y una combinación de multiplexación CWDM y TDM para separar los canales en sentido ascendente, además para permitir que GE-PON y 10GE-PON puedan coexistir en la misma infraestructura de red PON.

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

La banda para 1 Gbps se propaga en el intervalo de 1260 – 1360 nm, mientras que la banda para 10 Gbps lo hará entre 1260 – 1280 nm. La banda de 1550 – 1560 nm está reservada para transmisión de video *downstream*, tal como se observa en la Figura 1.22 [41].

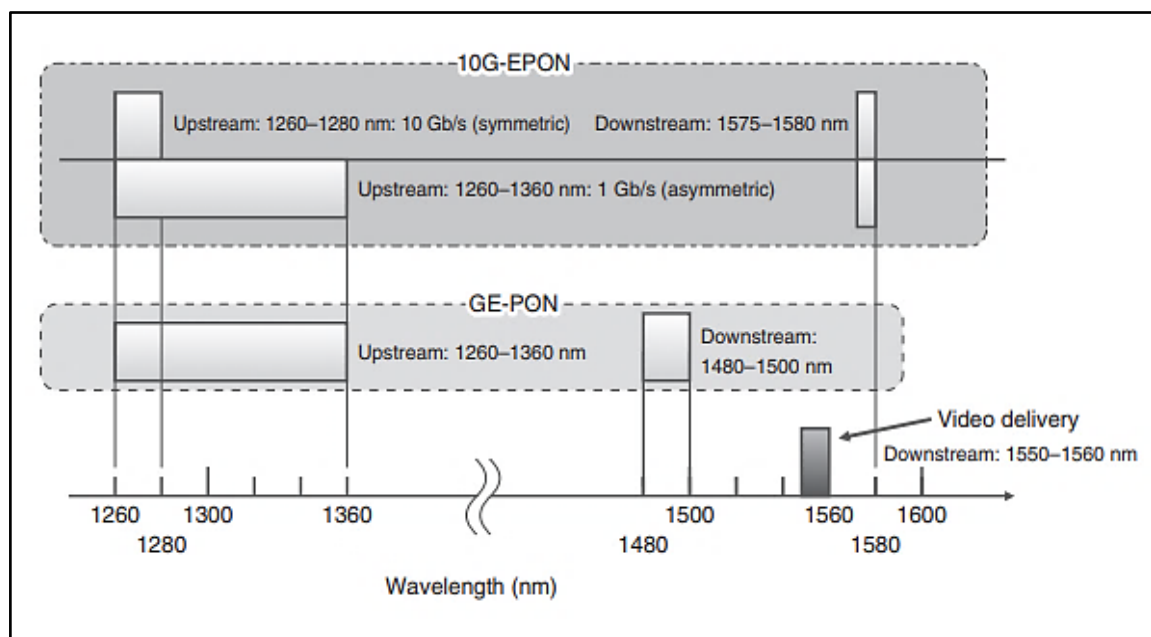


Figura 1.22 Ventanas de trabajo de 10GE-PON [41]

1.3.3.4 Comparación de las redes PON

En la Tabla 1.7 se presenta un resumen de las tecnologías de las redes PON descritas previamente, realizando una comparación de las características más relevantes.

Tabla 1.7 Comparación entre las tecnologías de las redes PON [40] [41] [43]

CARACTERÍSTICAS		EPON	GEPON	GPON	10GEPON
	Organización	IEEE EFM	IEEE EFM	UIT-T FSAN	IEEE EFM
	Estándar	802.3ah	802.3ah	G.984.x	802.3av
	Transmisión	Simétrico	Simétrico	Asimétrico	Asimétrico / Simétrico
	Velocidad de transmisión <i>Up/Down</i> (Gbps)	1,25/1,25	1,25/1,25	1,25 / 2,5	10,31/10,31 1,25/10,31 ⁴¹
	Capacidad de transmisión (Gbps)	1,0	1,0	1,0 2,0	10
	Nivel de división (<i>splitter</i>) min/ máx.	1:16 / 1:32	1:32 / 1:64	1:64 /1:128	1:16 / 1:32 / 1:64
	Alcance máx. tramo de fibra (km)	10 o 20	20	20 o 60	10 o 20
	Protocolo de capa 2 (<i>Payload</i>)	<i>Ethernet</i>	<i>Ethernet</i> , TDM, TDMA	<i>Ethernet</i> , ATM, TDM, TDMA	<i>Ethernet</i> , TDM, CWDM
	Tipo de fibra óptica	monomodo	monomodo	monomodo	monomodo
	Codificación de línea	8B/10B	8B/10B	NRZ ⁴²	<i>Up</i> : 8B/10B <i>Down</i> :64B/66B
	Banda de longitud de onda (λ)	<i>Up</i> : 1300 nm <i>Down</i> : 1490 nm	<i>Up</i> : 1260 -1360 nm <i>Down</i> : 1480-1500 nm	<i>Up</i> : 1260-1360nm <i>Down</i> : 1480-1500nm 1550-1560nm	<i>Up</i> : 1260-1280nm (10 Gbps) <i>Up</i> : 1260-1360nm (1 Gbps) <i>Down</i> : 1575-1580nm (10 Gbps)
	Seguridad <i>Downstream</i>	DES ⁴³	AES	AES	DES
	Corrección de errores	No definido	No definido	FEC ⁴⁴	FEC
	Eficiencia (depende del servicio)	<i>Down</i> 80% <i>Up</i> 60%	No definido	<i>Down</i> 93% <i>Up</i> 94%	No definido
	Aplicación	Redes LAN, PON FTTx	Redes PON FTTx, <i>Triple Play</i>	Redes PON FTTx, <i>Triple Play</i> , televisión y datos	Aplicaciones avanzadas en redes campus y metro de largo alcance

⁴¹ Para las señales de 1 Gbps se usa el código de línea de bloque 8B/10B, resultando una velocidad de transmisión de 1,25 Gbps. Para las señales de 10 Gbps se utiliza el código de línea 64B/66B con una velocidad de transmisión de señal resultante de 10,3125 Gbps.

⁴² **Non Return to Zero:** Código de línea para transmitir señales digitales que utiliza un nivel diferente de tensión para cada uno de los bits. El nivel de tensión diferente de 0 se mantiene constante durante la duración del bit, es decir, no hay transiciones (no hay retorno al nivel cero de tensión) entre bits consecutivos de valor uno.

⁴³ **Data Encryption Standard:** Esquema de encriptación simétrico desarrollado en 1977 por el Departamento de Comercio y la Oficina Nacional de Estándares de EE. UU. en colaboración con la empresa IBM, que se creó con objeto de proporcionar al público en general un algoritmo de cifrado normalizado para redes de computadores.

⁴⁴ **Forward Error Correction:** Tipo de corrección de errores que detecta y corrige los errores de transmisión en la recepción, sin pedir la retransmisión del mensaje enviado. Este tipo de sistema codifica la información agregando redundancia y así conseguir, bajo algún algoritmo, la información original a pesar de que existan pérdidas de determinado número de paquetes.

1.3.4 REDES FTTx (*Fiber To The x*)

Las NGAN se basan en la utilización de fibra óptica en su infraestructura, dando lugar a las redes FTTx. Estas redes de acceso son arquitecturas de alto desempeño basadas en fibra óptica que conectan una gran cantidad de usuarios finales (residenciales, edificios, etc.) a un punto central, conocido como nodo de acceso o punto de presencia (*Point of Presence*, PoP) del proveedor de servicios.

Las redes FTTx surgen con el propósito de llevar la fibra óptica cada vez más cerca del usuario o suscriptor, de tal de forma de aprovechar todas las ventajas que brinda este medio de transmisión. Las limitaciones de última milla de las redes HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*)⁴⁵ y xDSL (*Digital Subscriber Line*)⁴⁶ dan lugar a estas redes, en las que se reemplaza el coaxial (en su mayor parte) por fibra óptica para aumentar la velocidad de transmisión y así ofrecer varios servicios; entre ellos el que actualmente está en auge, el denominado servicio *Triple Play* (Voz, Datos, y Video) como se observa en la Figura 1.23 [45].

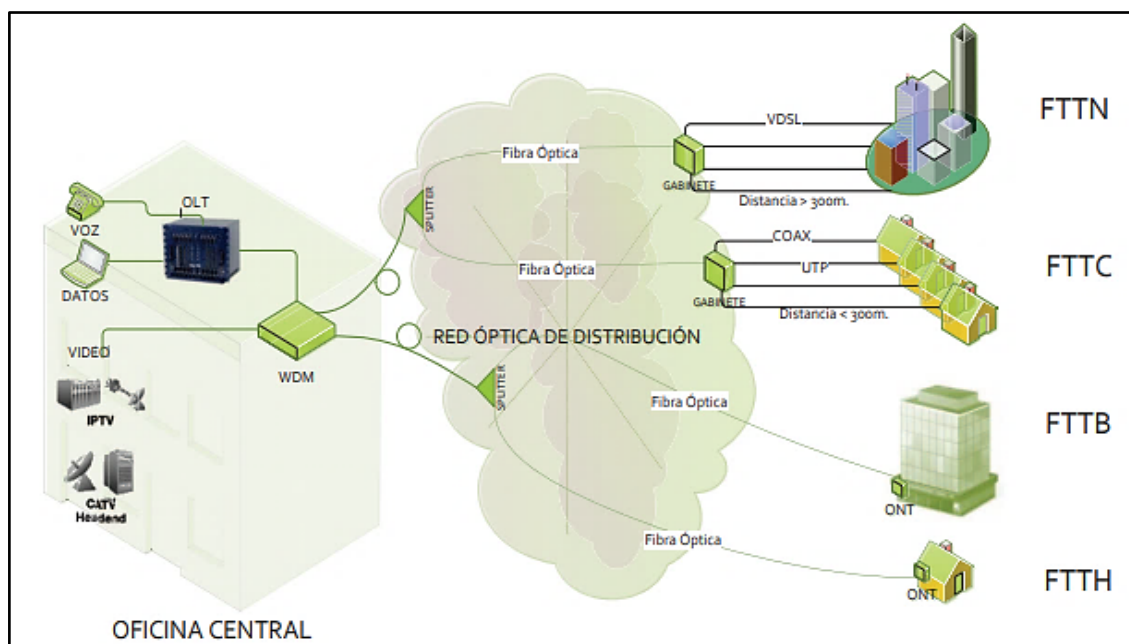


Figura 1.23 Tipos de Redes FTTx [45]

⁴⁵ **Hybrid Fiber Coaxial:** Redes mixtas que incorporan tanto fibra óptica como cable coaxial. Permiten el acceso a Internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes.

⁴⁶ **Digital Subscriber Line:** Nombre genérico para una variedad de tecnologías de DSL (Línea Digital de Suscriptor) que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica local, utilizando el par trenzado de hilos de cobre convencional.

Dependiendo de hasta donde llegue o se instale la fibra óptica (gabinete en la calle, edificio, departamento, casa, oficina) se puede distinguir diferentes tipos de despliegue de redes FTTx, las mismas que varían según el alcance de la fibra y la proximidad al usuario final; éstas se describen a continuación.

1.3.4.1 FTTN (*Fiber To The Node*): Fibra hasta el nodo

FTTN es una red que acerca la fibra óptica hasta el nodo de acceso o hasta el vecindario. Generalmente este nodo está ubicado a cierta distancia, dependiendo del equipamiento a utilizar.

La topología típica utilizada es la de árbol. La fibra óptica llega a un armario o a un punto de la red de distribución y el último tramo (segmento) hasta el usuario es a través de cable coaxial o par trenzado. Habitualmente el área que se cubre es de menos de 1500 m de radio y puede dar servicio a unos cuantos miles de usuarios.

1.3.4.2 FTTC (*Fiber To The Curb*): Fibra hasta la acera

FTTC consiste en situar el cable de fibra que se instala desde el nodo u oficina más cercana hasta el armario, desde el cual se distribuirá mediante un divisor óptico, a las casas o edificaciones más cercanas. La fibra óptica llega hasta una plataforma que sirve para algunos cuantos abonados, cada uno de estos abonados está conectado a la plataforma a través de cable coaxial o par trenzado (UTP, STP).

1.3.4.3 FTTB (*Fiber To The Building*): Fibra hasta el edificio

En FTTB, la red óptica termina en la entrada de un edificio (comercial o residencial); es decir, la fibra proveniente de la oficina central (CO) en donde se encuentra el OLT, llega hasta los *splitters*, y finalmente se dirige hasta la ONT ubicado en el cuarto de telecomunicaciones del edificio, donde se convierte la señal óptica a eléctrica, desde este punto se accede a los abonados finales con cobre o tecnologías inalámbricas, teniendo la opción de reutilizar los recursos disponibles y ahorrar costos.

Esta red proporciona una capacidad entre 50 y 100 Mbps por usuario, y puede servir a 32 hogares por fibra. El acceso interno a los usuarios es normalmente hecho a través de una red metálica de cableado estructurado (cobre).

1.3.4.4 FTTH (Fiber To The Home): Fibra hasta el hogar

La Figura 1.24 muestra un mapa conceptual de todo lo referente a la red FTTH.

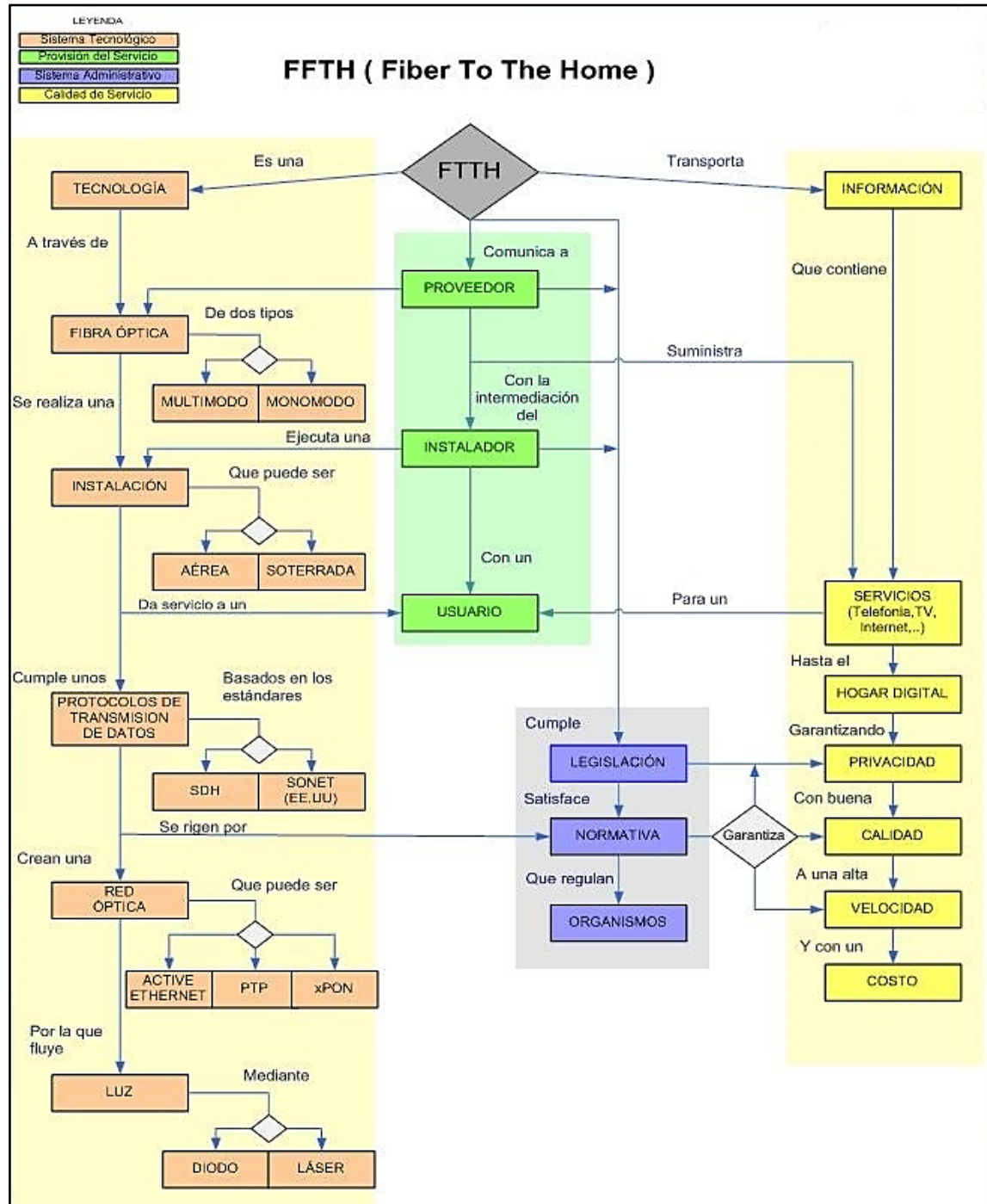


Figura 1.24 Mapa conceptual de una red FTTH [46]

La fibra óptica llega hasta la propia residencia del usuario. Es una de las redes FTTx que más se destaca en telecomunicaciones porque se está implementando para proporcionar servicios avanzados como el conocido *Triple Play* (Internet de banda

ancha, telefonía y televisión) a gran velocidad. La señal óptica llega al interior de la residencia a través de una fibra exclusiva, al conversor óptico (ONT) ubicado cerca a la computadora, teléfono y TV del usuario.

Dentro de los estándares FTTH se encuentran las redes PON, donde se propone la utilización de fibra óptica en el bucle de abonado empleando multiplexación WDM.

1.4 SISTEMAS ÓPTICOS DE COMUNICACIÓN

En un sistema óptico de comunicación existe un equipo activo denominado transmisor que se encarga de transformar la señal eléctrica en señal óptica o luminosa. Al ser transmitida la señal luminosa por la fibra óptica, en el otro extremo se encuentra otro equipo denominado receptor, el cual transforma la señal luminosa en señal eléctrica, similar a la señal original.

Un sistema óptico de comunicación moderno consiste en varios componentes cuya tecnología e implementación varían de acuerdo con las necesidades de cada operador. La Figura 1.25 muestra el diagrama de bloques de un sistema óptico en su forma más básica, el cual está formado por un transmisor, la fibra óptica y un receptor [47]. En este proceso de comunicación, la fibra óptica es el medio de transporte para la señal luminosa.

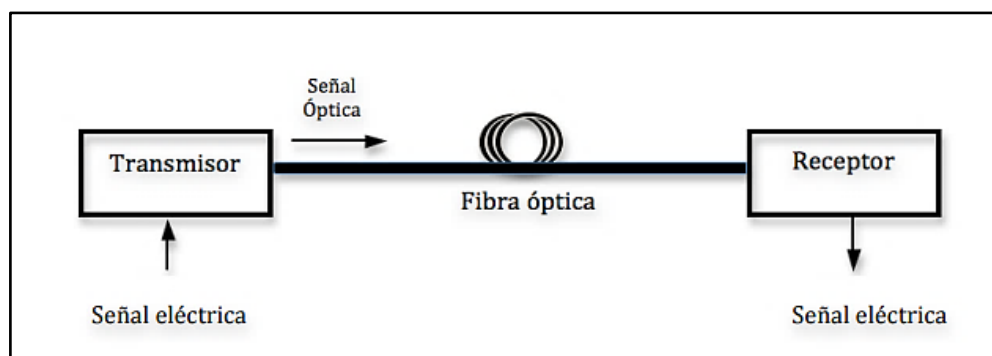


Figura 1.25 Sistema óptico de comunicación por bloques [47]

1.4.1 VENTAJAS DE UN SISTEMA ÓPTICO DE COMUNICACIÓN

Los sistemas ópticos de comunicación además de presentar la ventaja principal de tener una alta capacidad de información también presentan las siguientes ventajas en comparación con sistemas de comunicaciones eléctricos:

- ❖ Bajas pérdidas, hoy en día las fibras ópticas presentan atenuaciones por debajo de los 0,16 dB/km, reduciendo en gran parte el uso de amplificadores.
- ❖ Inmunidad a interferencias, debido a la naturaleza dieléctrica de las fibras.
- ❖ Mayor seguridad, al permanecer el haz de luz confinado en el núcleo, no es posible acceder a los datos transmitidos por métodos no destructivos.
- ❖ Aislamiento eléctrico, no hay riesgo de chispas eléctricas, por lo que es segura su utilización en ambientes peligrosos.
- ❖ Durabilidad, período de vida más largo que el cable de cobre o cable coaxial.
- ❖ Abundancia de la materia prima, la sílice se encuentra abundantemente en la naturaleza y tiene un bajo costo.

1.4.2 TRANSMISORES ÓPTICOS

Como primer elemento del sistema se encuentra el transmisor óptico, el cual tiene la función principal de convertir una señal eléctrica en una señal óptica y después enviarla hacia la fibra, su componente más importante es la fuente de luz.

1.4.2.1 Fuentes de luz

Las fuentes de luz son elementos generadores de señales luminosas que se transmitirán a lo largo de la fibra óptica. La mayoría de las fuentes de luz generan un espectro de diferentes longitudes de onda y la fase no es uniforme (luz incoherente).

Por tanto, las principales fuentes de luz utilizadas en los sistemas ópticos de comunicación están basadas en dispositivos semiconductores:

- Diodo emisor de luz (*Light Emitting Diode*, LED).
- Diodo de inyección láser (*Injection Laser Diode*, ILD).

Estas fuentes son adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica. Se caracterizan por su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario con el cual operan.

1.4.2.1.1 Diodo emisor de luz (*Light Emitting Diode*, LED)

Los sistemas ópticos de comunicación que emplean LEDs como fuentes de luz pueden hacerlo en un esquema de comunicaciones guiadas, a través de la fibra

óptica, o no guiadas, a través del aire. Esencialmente, un LED es un diodo de unión p-n² (semiconductor tipo P y N), lo que significa que emite luz cuando un voltaje en polarización directa⁴⁷ se aplica a él.

En el diodo LED, la emisión en la unión p-n es espontánea. Al ser un fenómeno aleatorio, las ondas de luz no están en fase entre sí. Por tal razón, la potencia de salida de un LED es notablemente menor que la del láser (<100 μ W), así mismo su ancho de banda espectral es mucho más amplio (50 – 60 nm), siendo no factible su utilización para enlaces de larga distancia.

1.4.2.1.2 Diodo de inyección láser (*Injection Laser Diode, ILD*)

Por otro lado, el Láser es un dispositivo más complejo que genera siempre emisión estimulada⁴⁸ y, por tanto, su radiación es coherente, lo que se traduce en potencias de salidas mayores, ocasionando que su ancho espectral sea mucho más angosto.

Un diodo Láser tiene una mayor directividad de la luz, es prácticamente monocromático y más eficiente que un diodo LED, debido a estas características es más utilizado en comunicaciones a altas velocidades y grandes distancias. Además, permite transmitir hasta frecuencias de GHz.

Las longitudes de onda que emite un diodo Láser dependen de la composición de materiales de que están hechas las junturas. Así se tienen Láseres de fosforo de indio (InP) para λ a 1310 y 1550 nm, de arsenofosforo de indio y galio (InGaAsP) para λ de 1100 a 1600 nm, de arseniuro de indio y galio (InGaAs) y de arseniuro de galio (GaAs) para λ de 980 nm [12].

1.4.3 RECEPTORES ÓPTICOS

La idea del receptor es convertir las señales ópticas en señales eléctricas nuevamente y procesarlas de cierta manera (regeneración, amplificación, etc.).

⁴⁷ **Polarización directa:** Polarizar directamente una unión p-n aplicando voltaje positivo a la región P y un voltaje negativo a la región N.

⁴⁸ **Emisión estimulada:** Los diodos láser (LD) empleados como emisores en comunicaciones ópticas se basan en el fenómeno conocido como emisión estimulada, no es otra cosa que al tener un átomo excitado que recibe un estímulo externo emite 2 fotones para volver a un estado de menor excitación, pero estos fotones al reflejarse en el resonador óptico cada uno emite 2 fotones y así sucesivamente.

1.4.3.1 Detectores de luz

Los detectores de luz transforman las señales ópticas que proceden de la fibra en señales eléctricas. Entre los detectores de luz encargados de esta transformación son los fotodiodos o también llamados fotodetectores, los mismos que son:

- Fotodiodos de unión PIN (*Positive Intrinsic Negative*).
- Fotodiodos de avalancha (*Avalanche Photo Diode*, APD).

Por lo general, en los sistemas de comunicaciones por fibra óptica, los fotodiodos están hechos de materiales semiconductores debido a que cumplen muchas de estas características.

1.4.3.1.1 Fotodiodo PIN (*Positive Intrinsic Negative*)

El fotodiodo PIN se compone de una unión semiconductor P-N y, entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco, la cual mejora la eficacia del detector. Su alta velocidad y sensibilidad⁴⁹ lo hacen muy adecuado para los sistemas con fibra, principalmente en sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas. Se caracteriza por su fácil fabricación, su alta fiabilidad, bajo ruido. Su ancho espectral es muy elevado.

1.4.3.1.2 Fotodiodo APD (*Avalanche Photo Diode*)

El fotodiodo APD basa su principio de funcionamiento en la multiplicación avalancha, consiguiendo amplificar la señal durante el proceso de detección. El mecanismo de este detector se basa en el fenómeno de la ionización por impacto, el cual consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la suficiente energía cinética) contra un átomo para que sea capaz de generar otro electrón, dando parte de su energía.

Su fabricación es similar a la de un fotodiodo PIN, pero en este caso la región intrínseca es agrandada y ligeramente p-dopada. y, cuidadosamente diseñada para asegurar un campo eléctrico uniforme a través de ella. A fin de que se produzca el

⁴⁹ **Sensitividad:** La energía óptica mínima que es requerida por un receptor de fibras ópticas para lograr un nivel específico de desempeño.

efecto avalancha, es necesario suministrar al fotodiodo un alto voltaje en polarización inversa, que genera la presencia de un intenso campo eléctrico [12].

1.4.4 AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Los amplificadores ópticos, como su nombre lo indica, son dispositivos que tienen la función de amplificar las señales que viajan por la fibra óptica con el fin de contrarrestar los efectos de atenuación. Básicamente, generan una réplica de la señal óptica de entrada, pero con mayor nivel de potencia o más fuerte, operando completamente en el dominio óptico.

Además, los amplificadores ópticos por ofrecer alta confiabilidad pueden emplearse en otros procesos como la conmutación, demultiplexación, o bien en la conversión de longitud de onda, aprovechando su comportamiento no lineal.

Las ventajas de estos dispositivos son:

- ❖ Mayor simplicidad y por tanto menor probabilidad de fallos y menor coste que los regeneradores.
- ❖ Permiten emplear reflectómetros ópticos para el testeo y supervisión de las líneas de fibra óptica.
- ❖ Funcionamiento independiente del tipo de modulación de la señal.
- ❖ Amplificar un conjunto de longitudes de onda (WDM).

Las desventajas que presentan estos dispositivos son:

- ❖ Introducen un ruido adicional que es amplificado junto con la señal.
- ❖ Al no regenerar la señal se produce un efecto acumulativo de la dispersión.
- ❖ Su ancho de banda es finito por lo que limita el número de canales en los sistemas WDM.
- ❖ Su ganancia no es uniforme en todo el rango de amplificación, por lo que debe ser ecualizada.

Los dos tipos de amplificadores ópticos que son utilizados comúnmente en sistemas WDM son:

- Amplificadores EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*).
- Amplificadores Raman.

1.4.4.1 Amplificador de fibra dopada con Erbio (*Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA*)

El amplificador EDFA se basa en el dopaje con erbio de una fibra óptica. En el EDFA se utiliza una región de fibra dopada con erbio, la cual es bombeada mediante un láser a una longitud de onda de 980 nm o 1480 nm. Este bombeo, actúa como un campo externo que lleva a los electrones libres en el material a un estado de energía más alto. Una vez que los electrones se encuentran excitados gracias al bombeo, la señal óptica a amplificar pasa por esta sección de fibra y se amplifica gracias al proceso conocido como emisión estimulada [47].

La ventaja principal de este tipo de amplificadores radica en su gran ancho de banda de amplificación, el cual se encuentra en la banda C de 1530 – 1565 nm, siendo perfecto para sistemas DWDM.

Es el amplificador de fibra dopada más empleado en la actualidad, ya que es posible amplificar señales en la tercera ventana (1550 nm). En la Figura 1.26 se muestran las configuraciones posibles del EDFA [48].

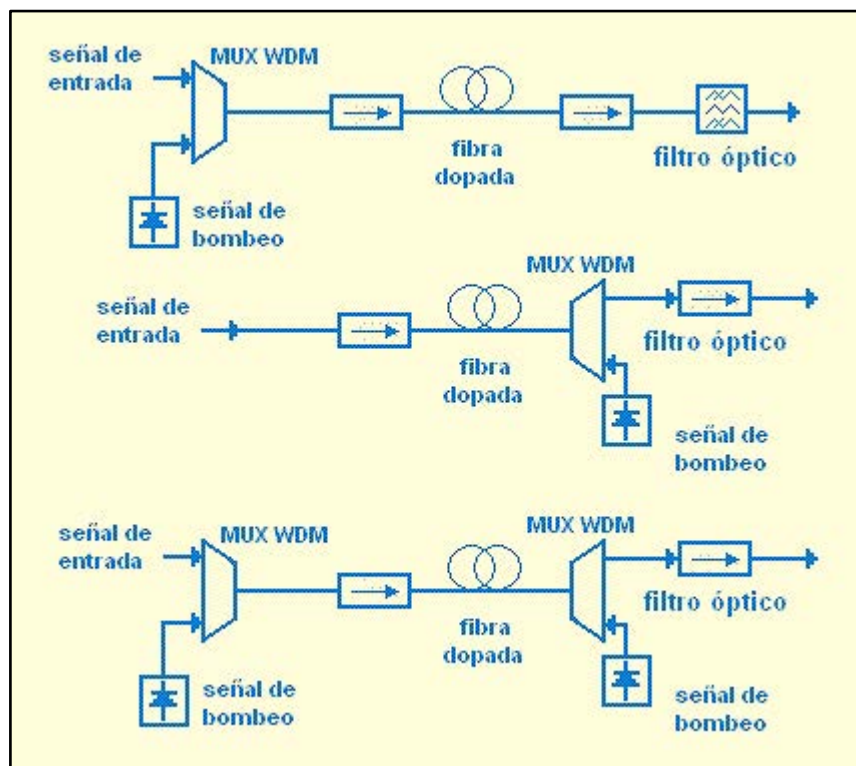


Figura 1.26 Amplificador óptico EDFA [48]

1.4.4.2 Amplificador Raman

Este tipo de amplificador se basa en amplificar la señal óptica mediante el efecto Raman o en el efecto no lineal de Esparcimiento Estimulado de Raman (*Stimulated Raman Scattering, SRS*)⁵⁰. Raman utiliza la propia fibra de transmisión como medio de amplificación. Una o varias señales de bombeo de alta potencia (500 mW) transfieren parte de su energía hacia longitudes de onda más pequeñas, donde se localizan las señales WDM a amplificar [47].

La señal de bombeo se puede acoplar a la fibra tanto en la misma dirección en la que se transmite la señal (bombeo co-direccional) o en el sentido contrario (bombeo contra-direccional). Es más habitual el bombeo contra-direccional para evitar la amplificación de las componentes no lineales. La Figura 1.27 muestra un esquema de un amplificador óptico tipo Raman [49].

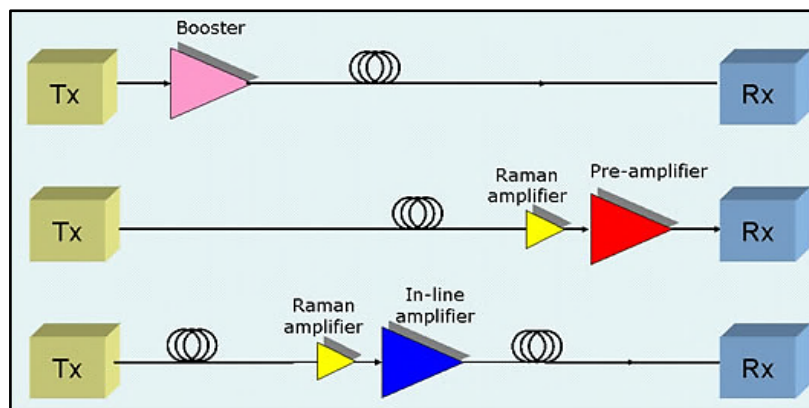


Figura 1.27 Amplificador óptico Raman [49]

A diferencia de un EDFA, la utilización de un amplificador Raman produce una mejor distribución de potencia a lo largo de la fibra óptica, reduciendo así los efectos no lineales. Su principal desventaja radica en la gran cantidad de potencia que requiere para operar, sin embargo, es más flexible ya que presenta un menor ruido (<3 dB) y, por tanto, es usado ampliamente en enlaces de ultra-larga distancia. La máxima ganancia se consigue a 13 THz (unos 100 nm) por debajo de la longitud de onda de bombeo.

⁵⁰ **Stimulated Raman Scattering:** Los fenómenos de *scattering* no lineales se fundamentan en el intercambio de energía entre un fotón del haz de luz incidente y una molécula propia del medio de transmisión, lo que produce esparcimiento o llamado también *scattering*.

1.5 TECNOLOGÍA GEAPON (*GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK*)

1.5.1 ANTECEDENTES

La capacidad requerida para el intercambio de datos, distribución de video de alta definición, y otros servicios que se desarrollan en Internet continúa aumentando cada año; en consecuencia, los servicios de comunicaciones que manejan este tráfico continúan expandiéndose. Por tal razón, los proveedores de servicios están buscando implementar mejores tecnologías de red que permitan ampliaciones en su cobertura, capacidad y servicios de su red.

A partir de esto, el sector de las telecomunicaciones como una solución económica para lograr alta velocidad desarrolla una tecnología estandarizada por IEEE para la transmisión de datos sobre fibra óptica y basada en el protocolo *Ethernet*. Esta tecnología es conocida como GEAPON y es un fácil reemplazo para las tecnologías DSL o cablemódem. De tal modo, esta tecnología permite desplegar nuevas y mejores redes para atender las exigentes necesidades de los usuarios.

1.5.2 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DENTRO DE LAS REDES ÓPTICAS

En base a las tendencias de evolución de las redes ópticas dadas por los protocolos, estándares, topologías, entre otros; el grupo de trabajo EFM (*Ethernet in the First Mile*) constituido por la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) dio origen a una nueva tecnología denominada GEAPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*) con el propósito de transmitir los nuevos servicios sobre fibra óptica, ofrecer mayores funcionalidades estándar de gestión de la calidad de servicio y ofrecer mayores garantías de evolución futura.

La tecnología GEAPON es una evolución de la tecnología EPON, que combina el estándar *Gigabit Ethernet* con las redes PON (*Passive Optical Network*), y es capaz de proveer una capacidad de transmisión de hasta 1 Gbps en ambos sentidos *upstream* y *downstream*, de ahí su nombre. Como se mencionó en la sección [1.3.3.1](#), la red PON consiste en un equipo OLT en la oficina central del proveedor de servicios, divisores ópticos pasivos, y un número determinado de equipos ONTs cerca de los clientes (usuarios).

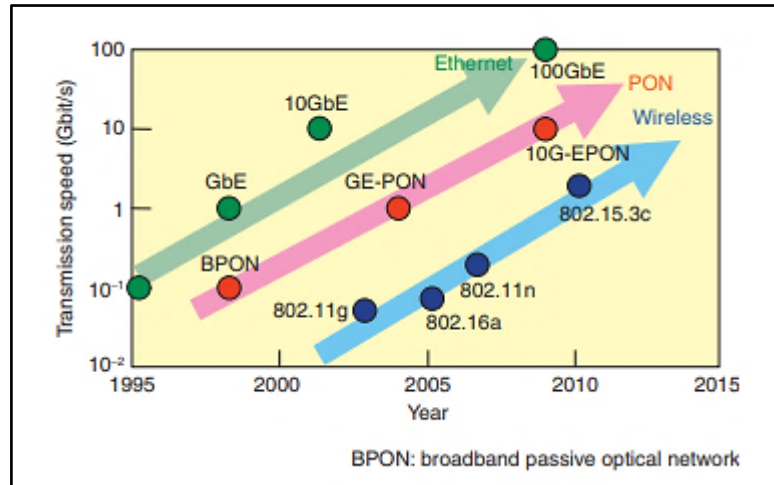


Figura 1.28 Estandarización PON [50]

La Figura 1.28, presenta la evolución de la tecnología GE-PON, donde:

- ❖ En el 2004 GE-PON fue ratificada por el IEEE con el nombre 802.3ah-2004 para enviar paquetes de datos usando *Ethernet*.
- ❖ En el 2010 GE-PON ya era la tecnología más desplegada de fibra óptica hasta el hogar.
- ❖ En el 2011 aproximadamente el 60% de los servicios de internet con fibra óptica a nivel mundial tenían tecnología GE-PON.
- ❖ Actualmente, la evolución de tecnología permite pasar de GE-PON 1G a GE-PON 10G (*Ethernet* PON de 10 Gbps), dando un salto a una capacidad 10 veces superior.

Prácticamente, GE-PON es *Gigabit Ethernet* sobre redes ópticas pasivas, es decir, se trata de una red de telecomunicaciones punto a multipunto que utiliza fibra óptica para llegar hacia los lugares donde los divisores ópticos pasivos son usados para conectar a múltiples usuarios a través de una sola fibra.

En sus comienzos GE-PON fue desarrollada principalmente por proveedores de Internet en Japón y Corea del Sur, desplegándose masivamente y alcanzando un gran éxito. En el Ecuador, esta tecnología se considera como una solución que brinda la mayor perspectiva de una mejor calidad de vida. Bajo esta hipótesis y con el crecimiento de la tecnología, las empresas de telecomunicaciones encontraron en GE-PON la tecnología ideal para proveer servicios de banda ancha y mejorar la calidad de vida de sus clientes.

1.5.3 ESTÁNDARES DE LA TECNOLOGÍA GEPON

La tecnología GEPON, cumple principalmente con los siguientes estándares:

- IEEE802.3: *Ethernet*.
- IEEE802.3ab: *Gigabit Ethernet* sobre cable de cobre trenzado (1000BASE-T).
- IEEE802.3ah: *Ethernet* en la primera milla EFM (*Ethernet First Mile*).
- IEEE802.3u: *Fast Ethernet* (100 Mbps) y auto-negociación.
- IEEE802.3x: *Full Dúplex* (Transmisión y recepción simultáneos).
- IEEE802.3z: *Gigabit Ethernet* (1000 Mbps).
- IEEE802.1p: Priorización de tráfico y filtrado *multicast* dinámico.
- IEEE802.1q: Direccionamiento de VLANs.
- IEEE802.1x: Soporte de control de flujo.
- RFC1112: *IP Multicast Protocol*.
- ITU-G.983: Sistema de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante la asignación de longitudes de onda.
- ITU-G.984.x: Redes ópticas pasivas con capacidad de *Gigabits*.

1.5.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES

La tecnología GEPON presenta las siguientes características más relevantes:

- ❖ Cada trayectoria de fibra óptica puede soportar hasta 64 subscriptores, con lo cual se tiene el ancho de banda garantizado necesario para soportar aplicaciones *Triple Play* (Internet banda ancha, Telefonía y Televisión), además de estar preparado para implementar cualquier servicio futuro.
- ❖ Proporciona una velocidad de transmisión simétrica de 1,25 Gbps.
- ❖ Se logra un alcance de hasta 20 km entre el equipo distribuidor y el punto de terminación (subscriptor).
- ❖ La instalación del equipo ONT no requiere ninguna configuración especializada en el domicilio del subscriptor, al conectarse a la red automáticamente se integra a ésta y, desde una interfaz gráfica de administración centralizada se le asignan los atributos necesarios de forma muy rápida.
- ❖ Permite la combinación con otras tecnologías de *backbone* y acceso de forma simple (*Ethernet*, xDSL, WiFi, WiMax).

1.5.5 ELEMENTOS DE UNA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GEPON

Una red FTTH con tecnología GEPON está estructurada principalmente por los siguientes elementos:

- ❖ **Elementos activos:** Se conectan en los extremos de la red para generar la información a transmitirse a través de ella.
 - OLT (*Optical Line Terminal*)
 - ONT (*Optical Network Terminal*)

- ❖ **Elementos pasivos:** Se conectan entre los elementos activos de la red, siendo capaces de mantener la comunicación con ellos.
 - Divisores ópticos (*Splitters*)

Estos elementos desarrollan un papel muy importante y necesario en lo que respecta a redes FTTx, ya que permiten establecer con mayor facilidad la comunicación entre el operador o proveedor de servicios y los usuarios a través de la fibra óptica.

1.5.5.1 OLT (*Optical Line Terminal*)

El Terminal de Línea Óptica está ubicado en el cuarto de equipos o nodo central del lado del proveedor de servicios. A partir de este equipo parten las fibras ópticas hacia los usuarios. En la Figura 1.29 se observa un ejemplo de un equipo OLT de 8 puertos PON.



Figura 1.29 OLT ISCOM5508 GEPON IEEE 802.3ah⁵¹

❖ Características

- Es un elemento o equipo de red que se energiza o necesita de una fuente de alimentación de energía eléctrica para su funcionamiento.

⁵¹ Tomada de: <http://www.unicorsa.com.ar/blog/?p=1298>

- Dependiendo del modelo, puede ser pequeño o mediano, cómodo, flexible, y fácil de implementar.
- Posee muchas salidas con una potencia óptica alrededor de los 3 dBm y cada salida puede alimentar hasta unos 64 usuarios (ONTs), usando divisores pasivos.
- Cada puerto PON está conectado al divisor óptico por la fibra óptica única.
- La capacidad máxima actual de cada salida de la OLT es de 1,25 Gbps de bajada y 1,25 Gbps de subida.
- La distancia máxima entre la OLT y el usuario (ONT) es de 20 km.
- La capacidad de dar servicio a varios usuarios depende de su modelo.
- Es apropiado para ambientes compactos e instalado a nivel interno (*indoor*).
- Su diseño debe ser de alta fiabilidad para redundancia inmediata y recuperación ante desastres.
- Físicamente, dependiendo del modelo de fábrica es de mayor tamaño o volumen que un ONT.
- Es menos económico, su costo depende del tipo de OLT y según sus características o especificaciones técnicas que presente.

❖ Funciones

- Realizar la conversión de la señal eléctrica a una señal de tipo lumínica utilizada por la red PON.
- Distribuir la señal hasta las ONTs desde la red de acceso.
- Coordinar la multiplexación entre los diferentes ONTs que tiene conectadas.
- Controlar la recepción de información de las ONTs, sincronizándolas en distintos instantes de tiempo utilizando TDMA.
- Dimensionar la distancia entre el OLT y el ONT, el cual permite inyectar la potencia necesaria a cada usuario.
- Proporcionar el enlace ascendente *Ethernet* que está conectado a la red *core* IP.
- Realizar el papel de enrutador, ya que agrega el tráfico de datos proveniente del usuario hacia la red de asignación.

❖ Aplicaciones

- Despliegue de redes FTTx (FTTH, FTTB, FTTC, etc.).

- Servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía y Televisión).
- VPN (*Virtual Private Network*).
- *Enterprise LAN* y TIC.

❖ Parámetros ópticos

- Potencia de trabajo de entrega por el OLT.
- Sensibilidad de potencia percibida por el OLT.

Tabla 1.8 Parámetros ópticos de transmisión y recepción del OLT [51] [52]

	TIPO DE OLT						
	PARÁMETRO ÓPTICO	UNIDAD	CLASE (Láser)				
			A	B	B+	C	C+
TRANSMISIÓN TX	Potencia media Mín.	dBm	-4	+1	+1.5	+5	+3
	Potencia media Máx.	dBm	+1	+6	+5	+9	+7
RECEPCIÓN RX	Sensibilidad Mín.	dBm	-23	-28	- 28	-29	- 32

1.5.5.2 ONT (*Optical Network Terminal*)

El Terminal de Red Óptica está ubicado en la casa del usuario donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces al usuario. En la Figura 1.30 se puede observar un equipo ONT de marca Corecess.



Figura 1.30 ONT Corecess 3800 Series⁵²

❖ Características

- Es un elemento o equipo de red que necesita fuente de alimentación eléctrica para su funcionamiento.
- Al no existir aún interoperabilidad entre elementos, debe ser del mismo fabricante que el OLT.
- La red PON puede estar equipada hasta con 64 ONTs.

⁵² Tomada de: <http://www.corecess.com/CC3800>

- Es instalado en ambientes internos (*indoor*) por el operador o proveedor de servicios en la vivienda del usuario.
- Puede conectarse o ubicarse en conjunto con una roseta óptica de fibra.
- Existen varios modelos de ONTs con:
 - Un puerto *Ethernet* para la conexión del abonado, hasta 24 puertos *Ethernet* en el caso de un edificio departamental.
 - Interfaces *Fast Ethernet* que alcanzan velocidades de hasta 100 Mbps utilizados en usuarios residenciales para conectar directamente servicios de televisión o internet.
 - Interfaces *Gigabit Ethernet* con que pueden alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps utilizados en teléfonos analógicos y ofrecer servicios de voz (Interfaz RJ11).
 - Salidas para conectores RJ45 y RJ11 y algunos modelos poseen con conector F para cable coaxial.
- Es un equipo económico en comparación con el OLT.
- Se presenta en menor tamaño que el OLT.
- Debe ser de alta eficiencia y fabricada con material resistente.

❖ **Funciones**

- Realizar la conversión de la señal óptica en eléctrica.
- Debe trabajar u operar en conjunto con el OLT.
- Filtrar los contenidos y enviar al usuario solo aquella información que va dirigida a él.
- Proporcionar a los usuarios varios tipos de servicios de banda ancha como por una sola fibra como Internet, VoIP, HDTV, etc.

❖ **Aplicaciones**

- Despliegue de redes FTTx (FTTH, FTTB, FTTC, etc.).
- Aplicaciones innovadoras y de gran ancho de banda, como video IP y servicios multimedia (*Triple Play*) para el hogar.

❖ **Parámetros ópticos**

- Potencia de trabajo de entrega por el ONT.
- Sensibilidad de potencia percibida por el ONT.

Tabla 1.9 Parámetros ópticos de transmisión y recepción del ONT [51] [52]

	TIPO DE ONT						
	PARÁMETRO ÓPTICO	UNIDAD	CLASE (Láser)				
			A	B	B+	C	C+
TRANSMISIÓN TX	Potencia media Mín.	dBm	-3	-2	+0.5	+2	+0.5
	Potencia media Máx.	dBm	+2	+3	+5	+7	+5
RECEPCIÓN RX	Sensibilidad Mín.	dBm	-25	-25	-28	-26	-30

1.5.5.3 Divisores ópticos (*Splitters*)

Los divisores ópticos son componentes esenciales utilizados en la arquitectura de redes FTTH PON, en las que una sola entrada óptica se divide en múltiples salidas. Esto permite el despliegue de la topología punto-multipunto (P2MP) con un solo puerto OLT que sirve a múltiples ONTs [53]. Los divisores ópticos son elementos de ramificación óptica bidireccional que están ubicados dentro de la red de distribución óptica (ODN). La Figura 1.31 presenta un ejemplo de un *splitter* 1x8, que dispone una entrada y ocho salidas (9 *patchcord* de FO tipo SC).



Figura 1.31 *Splitter* óptico 1x8 ⁵³

❖ Características

- Pueden ser fabricados en diferentes formas y tamaños en función de la tecnología básica utilizada (FBT, PLC).
- Son elementos de red tipo pasivo, no precisan de una fuente de energía externa para su funcionamiento, salvo el haz de luz incidente.
- No emplean elementos electrónicos para su funcionamiento.

⁵³ Tomada de: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2015/01/17/donde-estan-los-splitter-opticos-en-la-red-ftth-de-movistar/>

- Están constituidos por una fibra de entrada y N fibras de salida, cuyas ramificaciones típicas en el mercado son: 1x2, 1x4, 1x8, 1x16 y 1x32. Aunque están disponibles otras ramificaciones que, por lo general, están personalizadas y son de alta calidad.
- Pueden ser montados en *racks* o cajas *indoor* u *outdoor*.
- Son de banda ancha e introducen pérdidas de potencia óptica sobre las señales de comunicación, principalmente debido al hecho de que dividen la potencia de entrada.
- Pueden desplegarse en una topología de red centralizada o en cascada, según la distribución del cliente.
- Se adaptan fácilmente a las necesidades de las diferentes redes actuales.

❖ Funciones

- Dividir señales que viajan a través de una fibra óptica en determinadas salidas con una mínima pérdida, y distribuir las a otras varias fibras.
- Repartir el ancho de banda del OLT entre múltiples terminales ONT.
- Reducir las líneas de fibra requeridas en la ODN.
- Interconectar los enlaces de la red para transmitir y repartir la información desde el cuarto o nodo central hasta cada uno de los hogares de los abonados.

❖ Aplicaciones

- Redes ópticas FTTx/PON.
- Redes Híbridas Coaxial – Fibra óptica (HFC).
- Redes de televisión por cable (CATV).
- Los *splitters* 1xN suelen implementarse en redes con topología en estrella, mientras que los *splitters* 2xN con topología de anillo proporcionan redundancia en la red física.

Los divisores más comunes desplegados en una red PON son divisores de potencia uniforme con 1xN o 2xN, siendo N el número de puertos de salida. La potencia de entrada óptica se distribuye uniformemente a través de todos los puertos de salida. Se encuentran disponibles divisores cuya distribución de energía no es uniforme, pero tales divisores son generalmente personalizados y de alta calidad [53].

1.5.5.3.1 Tecnologías de los splitters

Los tipos de tecnologías más comunes que existen para la fabricación de los divisores ópticos (*splitters*) son: FBT y PLC [54].

- ❖ **Tecnología FBT (*Fused Biconical Taper*):** Es una tecnología tradicional en la que dos o más fibras ópticas se unen estrechamente mediante la aplicación de calor, es decir, consta de la fusión de dos fibras independientes: los *claddings* de las fibras son fundidos en una pequeña región de forma que se genera una transferencia de energía por acoplamiento. Las fibras de salida se relacionan con las fibras de entrada de acuerdo con el modelo de *splitter* que se requiera.
- ❖ **Tecnología PLC (*Planar Lightwave Circuits*):** Es una tecnología que se basa en guías de ondas ópticas desarrolladas sobre un sustrato de silicio. La división de la onda en varias entradas o salidas depende de los porcentajes de división configurados en el dispositivo, lo que la convierte en la mejor opción, ya que el nivel de pérdida por cada una de las salidas se comporta de manera más lineal que una FBT.


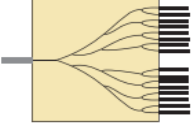
Si bien son similares en tamaño y apariencia externa, ambos tipos de divisores proporcionan acceso a datos y video para clientes comerciales y privados. Sin embargo, internamente las tecnologías detrás de estos tipos varían, dando así a los proveedores de servicios la posibilidad de elegir una solución más apropiada.

El divisor óptico pasivo PLC está compuesto por varias partes en miniatura, entre las cuales se encuentran los tres componentes principales, la matriz de fibra para entrada, la matriz de fibra para salida y el chip. El diseño y el montaje de estos tres componentes es la clave para elaborar un divisor PLC de alta calidad.

Por tanto, tanto los divisores FBT como los PLC se fabrican para su montaje en conjuntos de caja-bandeja y desempeñan un papel cada vez más importante en las redes ópticas de hoy, por lo que han alcanzado su desarrollo con el rápido crecimiento de las redes FTTx

La Tabla 1.10 presenta la comparación de los diversos parámetros característicos entre los divisores ópticos (*splitters*) fabricados bajo las tecnologías FBT y PLC.

Tabla 1.10 Comparación de divisores ópticos FBT y PLC [55] [56]

PARÁMETRO	DIVISOR ÓPTICO (<i>SPLITTER</i>)		OBSERVACIÓN
	FBT	PLC	
			
Tecnología de fabricación	Simple	Compleja	PLC utiliza tecnología similar al de los semiconductores que conlleva que su precio en sí sea mayor
Método de fabricación	Dos fibras fusionadas con una región específica acopladora/divisora	Circuito óptico integrado	
Materiales de fabricación	Acero, fibra óptica, tubo termo-retráctil	Silicio	Los materiales para FBT están más fácilmente disponibles
Rango de longitud de onda	Limitado	Grande	
Número de entradas y salidas	Entradas: 1 o 2 Salidas: 32 máx.	Entradas: 1 o 2 Salidas: 64 máx.	
Relaciones de división	1x2, 2x4 hasta 2x32	1x2, 1x8, 2x4 hasta 2x64	FBT complejo con valores de división pequeños (1x2, 1x4, 2x2, etc.). PLC rentable para valores grandes de división
Tamaño físico	Pequeño	Pequeño y Compacto	PLC más adecuado para aplicaciones de alta densidad, donde se puede acomodar fácilmente en las cajas de distribución o gabinetes, ahorrando espacio
Longitud de onda de trabajo	850, 1310 y 1550 nm	1260 nm – 1650 nm	FBT incapaces de operar en otras longitudes de onda. PLC presenta un rango de operación más amplio
Razón división aceptable	1x8	1x64	La división del FBT puede ser más grande con una tasa de falla más alta
Razón de división máxima	1x32	1x64	PLC proporciona una mayor confiabilidad
Tipo de fibra óptica de trabajo	Monomodo (principalmente) y multimodo	Monomodo (principalmente) y multimodo	FBT y PLC son aplicables con una variedad de tipos de conectores, ampliamente aceptados y utilizados en redes pasivas
División de señal óptica	No uniforme	Uniforme	FBT divide la señal de entrada en porciones desiguales, mientras que PLC por igual, y luego envían dicha señal a usuarios separados.

Rango de temperatura de operación	-5 °C a 75 °C	-40 °C a 85 °C	FBT más sensible a una temperatura elevada, por lo que disminuye su rendimiento PLC por su rango más amplio, permite su despliegue en áreas o entornos de clima extremo, logrando un excelente rendimiento.
Presentación física (Encapsulado)	Tubo metálico cilíndrico, módulo o caja de plástico	Tubo metálico cilíndrico, módulo o caja de plástico	Por lo general, a nivel físico (parte externa) los dos tipos de divisores se encapsulan de igual forma
Aplicación	Redes: HFC, LAN, WAN, PON, FTTx, Televisión por Cable (CATV)	Redes: HFC, LAN, WAN, PON, FTTx, Televisión por Cable (CATV)	FBT aplicable para bajos niveles de división PLC aplicable para elevados niveles de división
Nivel de falla	Alto	Bajo	Los puntos críticos del divisor PLC que pueden fallar son la entrada y la salida, por lo que el riesgo general de falla es bajo
Costo	Bajo	Alto	FBT representa un divisor rentable por los materiales de bajo costo PLC tiene alto costo por su método de fabricación, pero es el más utilizado por los niveles de división que brinda.

1.5.5.3.2 Pérdidas por inserción de los splitters

El divisor óptico o *splitter* es el componente con mayor atenuación en una red PON. Las pérdidas por inserción es la fracción de energía transferida desde el puerto de entrada al puerto de salida. Las pérdidas por inserción desde el divisor deben ser minimizadas con el fin de conservar el balance de potencia en la transmisión de la red PON [53].

En los *splitters* 1xN donde la señal de entrada se distribuye en dos caminos diferentes (1x2), se produce una pérdida por inserción aproximada entre 3,0 – 4,0 dB, siendo un valor típico promedio de 3,5 dB. En un divisor 1x4, se agregan otras dos ramificaciones a cada ruta de la división 1x2 original, añadiendo otros 3,5 dB para una pérdida total de 7,0 dB y así sucesivamente van aumentando las pérdidas según se va aumentando dos ramificaciones más en cada nivel o etapa de división.

La Tabla 1.11 indica los valores de atenuación típicos y de uniformidad introducidos según la relación de división 1x2 de *splitters* más comercialmente disponibles para el despliegue en redes PON.

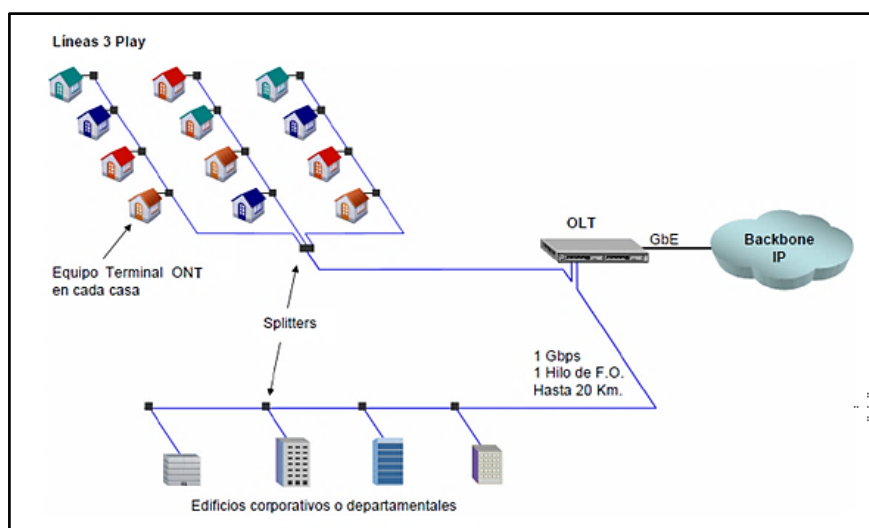
Tabla 1.11 Pérdidas por inserción de los *splitters* 1xN [57]

NÚMERO DE NIVELES O ETAPAS	NÚMERO DE PUERTOS	RELACIÓN DE <i>SPLITTER</i>	PÉRDIDAS POR INSERCIÓN (dB)	UNIFORMIDAD ⁵⁴ (dB)
1	2	1x2	3,5	0,5 – 0,7
2	4	1x4	7,0	0,7 – 0,9
3	8	1x8	10,5	0,8 – 1,2
4	16	1x16	14,0	1,0 – 1,7
5	32	1x32	17,5	1,3 – 2,0
6	64	1x64	21,0	~2,0

1.5.6 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA TECNOLOGÍA GEPON

Una vez vistos cada uno de los componentes principales con los que opera la tecnología GEPON dentro de las redes FTTH, se procede a explicar con más detalle el funcionamiento global de esta tecnología pasiva.

En la central está ubicado el OLT, un equipo electrónico desde donde salen las fibras. Cada fibra se divide en submales de nuevas fibras en los *splitters* ópticos, situados a lo largo del tendido por las calles, creando una estructura en forma de árbol. Típicamente, una fibra que sale del OLT alimenta a 32 o 64 hogares.

**Figura 1.32** Esquema básico de una red GEPON⁵⁵

⁵⁴ **Uniformidad:** Valor máximo de pérdida de inserción entre un puerto de entrada y cualquiera de los dos puertos de salida, o entre dos puertos de entrada y un puerto de salida. Este requisito garantiza que, en una red PON, la potencia de transmisión en cada puerto de salida del divisor sea la misma, simplificando así el diseño de la red.

⁵⁵ Tomada de: Redes GEPON, Cap. I, Gonzales C., Universidad Católica de Cuenca.

Como se observa en la Figura 1.32, el tramo principal de fibra se tiene entre el terminal de línea óptica (OLT) situado en el nodo central (CO) y la red de distribución óptica (ODN), posicionada cerca del grupo de abonados [58]. En este punto se utiliza un *splitter* (divisor óptico) para la conexión de los abonados al núcleo de la fibra. A continuación, cada bucle de abonado se equipa con un terminal de red óptica (ONT) que se conecta con las ramas del divisor.

El OLT se conecta a la red IP principal del operador de servicios; del cual salen trayectorias de solamente un hilo de fibra óptica con capacidad de 1,25 Gbps de información. Esta capacidad se reparte entre las conexiones terminales de la trayectoria, que terminan en el ONT, el cual se ubica en la instalación del abonado. A través de los *splitters* se comparte la fibra. La forma de derivar la fibra puede ser en bus, estrella, o una combinación de ambas. La forma de repartir el ancho de banda entre los abonados que comparten una misma trayectoria es completamente determinista y ajustable.

El OLT asegura la transmisión de voz y datos a una longitud de onda distinta a la del ONT (a 1490 nm OLT y a 1310 nm ONT), con lo cual se consigue realizar la transmisión en ambos sentidos sobre tan solo una fibra sin interferencia entre las señales. Al mismo tiempo, el OLT puede estar conectado a un multiplexor por longitud de onda (WDM) para la difusión conjunta de video, voz y datos sobre una fibra. La emisión de la señal de video se realiza en un solo sentido, normalmente a 1550 nm, tal como se observa en la Figura 1.33 [59].

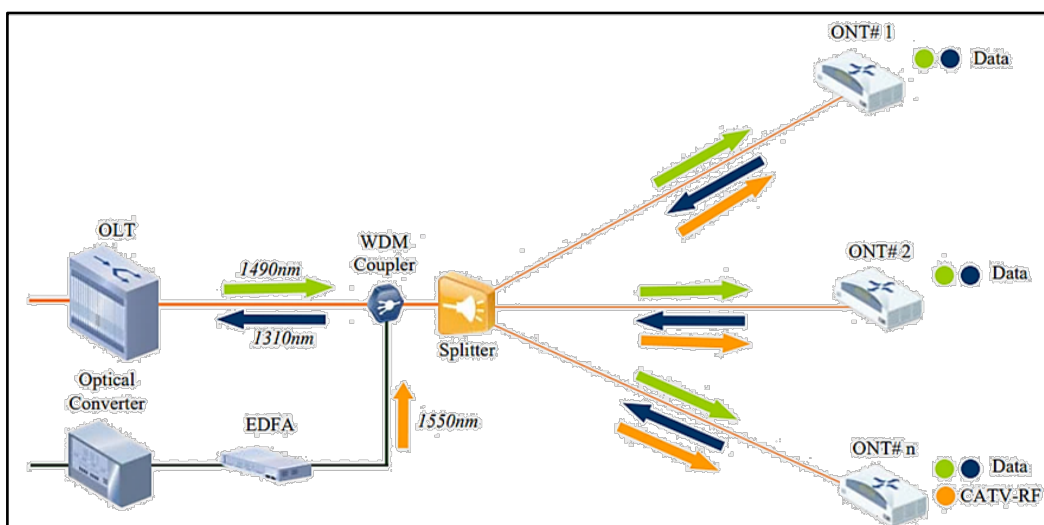


Figura 1.33 Esquema global de una red GEPON [59]

Por tanto, por medio de un esquema de multiplexado por longitud de onda se dividen todas las componentes necesarias para realizar la transmisión en *upstream*, *downstream* y CATV-RF.

Esta solución tiene la facilidad de manejar el tráfico a nivel capa 2 o 3 y, se pueden configurar VLANs para mantener el tráfico totalmente aislado entre abonados distintos, mientras que para abonados que requieran tener una comunicación directa (como puede ser el caso de varias oficinas de una misma empresa) pueden agruparse dentro de una misma VLAN.

Las posibilidades de conexión en el punto terminal de servicio (vivienda, habitación, oficina, etc.), se ilustran en la Figura 1.34 [58].

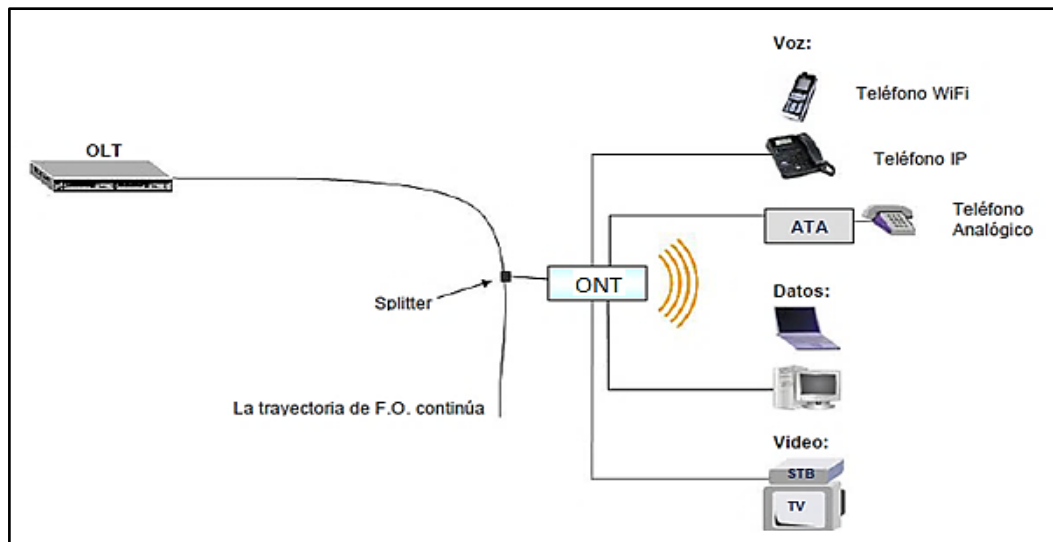


Figura 1.34 Conexión en el punto terminal de servicio [58]

Como se mencionó, la red GEPON según su definición en el estándar IEEE 802.3ah, tiene un alcance máximo de 20 km y un número de usuarios de hasta 64. Sin embargo, la principal limitación en el despliegue de las redes GEPON está en su propia arquitectura de red punto a multipunto. Además, todos los elementos situados entre el OLT y ONT (fibra óptica, *splitters*, repartidores y conectores) son elementos pasivos, esto implica que el OLT necesita un mecanismo que le permita identificar a cada uno de los usuarios que tiene conectados a una misma fibra. Por esta razón, existen tipos de OLTs que usan la dirección MAC (*Media Access Control Address*) del ONT y lo configuran con las características del enlace. El OLT debe tener un registro de las MAC asociadas en su red.

1.5.6.1 Canal descendente (*Downlink*) – TDM

En este punto se va a ver el funcionamiento de la red GEPON en el sentido descendente o *downlink*; es decir, donde el sentido de la información transmitida es hacia el usuario.

En este caso la red se comporta como una red punto-a-multipunto, ya que el OLT se encarga de enviar el tráfico o la información recopilada mediante *broadcast*. El OLT recoge todas las tramas de voz y datos, el cual se usa WDM para juntar dichas tramas con las tramas de vídeo, que tienen una longitud de onda distinta. Para la transmisión de voz y de los datos se utiliza la longitud de onda de 1490 nm, mientras que para el envío de video se usa una longitud de onda de 1550 nm.

Las tramas llevan información con la dirección de destino, para saber a qué usuario van dirigidos. El divisor óptico se encarga de repartir la señal de forma adecuada, enviando cada paquete a su correspondiente destino. La red óptica es totalmente transparente al envío de datos.

A parte de la información transmitida de voz, datos y vídeo, el OLT determina, usando TDM y le notifica a los ONT los *time slots* para el envío de datos en el sentido ascendente. Cada ONT verifica su dirección en el encabezado de las tramas, y debido a que reciben todo el tráfico, es necesario utilizar encriptación. Este funcionamiento se observa en la Figura 1.35 [59].

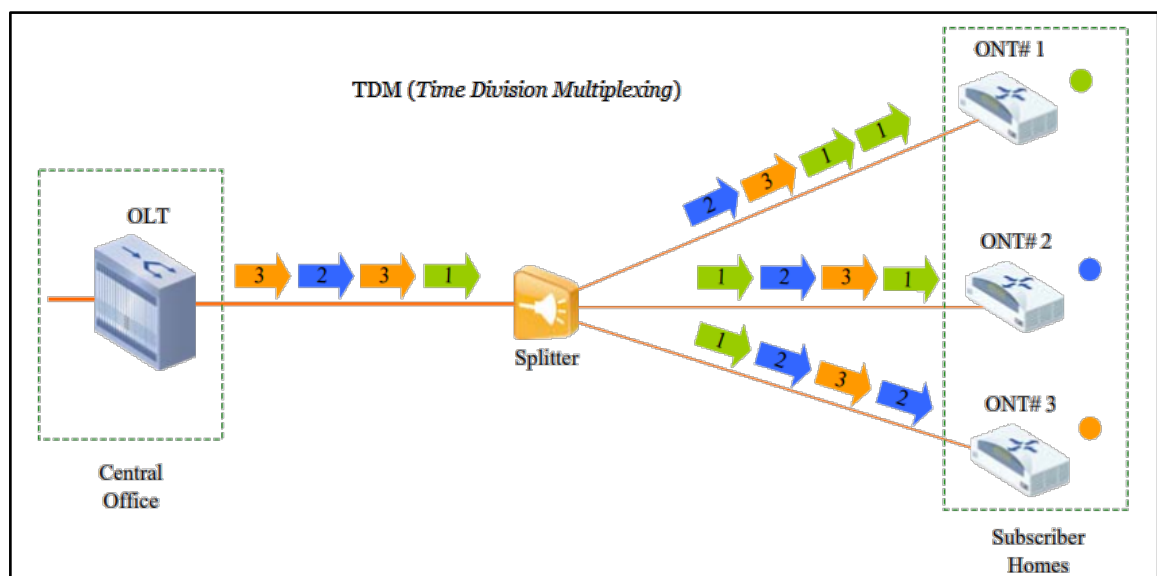


Figura 1.35 Canal descendente (*downlink*) de una red GEPON [59]

1.5.6.2 Canal ascendente (*Uplink*) – TDMA

El canal ascendente o *uplink* es el sentido de información procedente del ONT del usuario final, hasta el OLT del operador de servicios. En este canal, la red GEPON se comporta como una red punto a punto. Cada ONT recoge las tramas de voz y datos agregadas de cada usuario y que se dirigen hacia el OLT. En este punto, el ONT realiza la misma operación que el OLT en el canal descendente, es decir, convierte las tramas en señales inyectables a través de la fibra óptica dedicada al usuario. Es decir, el ONT toma el tráfico del puerto del usuario y lo mapea en tramas PEM (PON *Encapsulation Method*). En la Figura 1.36 se puede apreciar el comportamiento de la red en el sentido descendente [59].

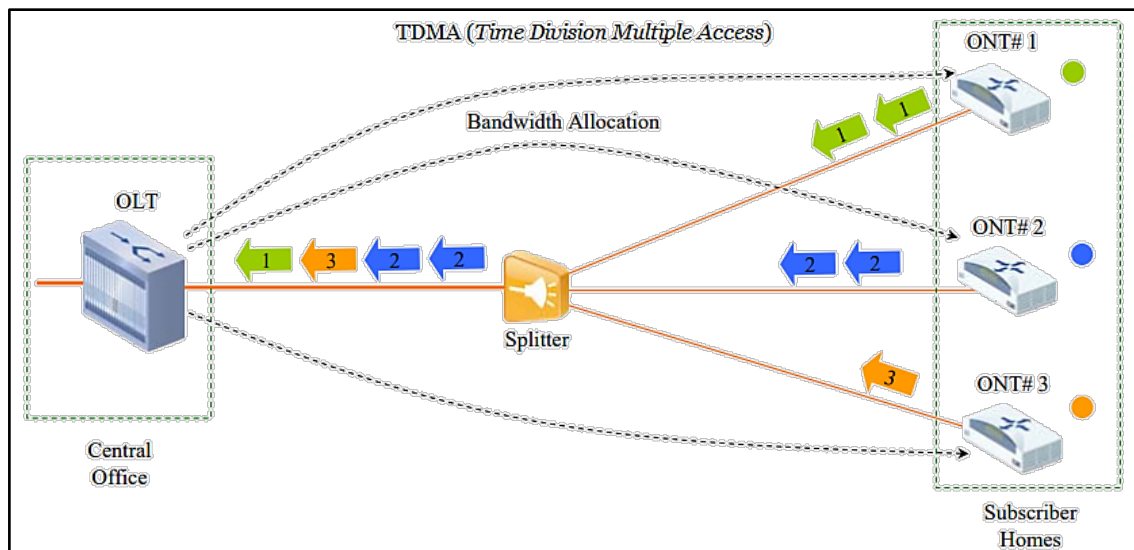


Figura 1.36 Canal ascendente (*uplink*) de una red GEPON [59]

Para poder transmitir la información de los diferentes ONT sobre el mismo canal, es necesario la utilización de TDMA (*Time Division Multiple Access*), de tal forma que cada ONT envía la información en diferentes intervalos de tiempo, controlados por la unidad OLT. Se requiere un estado de sincronismo muy preciso para evitar colisiones.

El divisor óptico junta las tramas recibidas de los usuarios y las envía hacia el OLT y como este envía información sobre la asignación de los *time slots* a cada uno de los ONT. El divisor de cada etapa es el encargado de recoger la información procedente de todos sus ONTs correspondientes y multiplexarla en una única salida de fibra, en dirección al OLT del operador. En cuanto a las longitudes de onda de

trabajo, cabe destacar que la información enviada por el usuario (tanto voz como datos) viaja siempre a una longitud de onda de 1310 nm.

1.5.7 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA GEPON

Las aplicaciones de la tecnología GEPON se centran en los siguientes sectores:

1.5.7.1 Operadores de telecomunicaciones

Permite a los proveedores de servicios de telecomunicaciones, tener una forma económica y eficiente de entregar fibra óptica a sus subscriptores, inclusive residenciales, lo que posibilita ofrecer planes mucho más agresivos, introducir nuevos servicios y realizar alianzas con otros proveedores, además de garantizar que la implementación permanezca rentable por un plazo sumamente largo. La tecnología GEPON es una de las opciones de los grandes operadores a nivel mundial, que permite la administración de servicios *Triple Play*.

1.5.7.1.1 Operadores de servicio de CATV

Una de las aplicaciones de la tecnología GEPON es el servicio de telefonía y transmisión de datos mediante la infraestructura que se encuentra actualmente implementada para las redes de televisión por cable, las cuales están impulsadas por la necesidad de transmitir volúmenes más grandes de información. En la actualidad se ha convertido en la principal prioridad el acceso a Internet a alta velocidad, televisión y telefonía utilizando tecnología GEPON.

1.5.7.1.2 Operadores de servicio de Datos

En la activación/desactivación de los servicios de datos se configura o desconfigura, dependiendo de si es un servicio que se tiene que activar o desactivar, los servicios de valor añadido (SVA) que haya contratado el cliente:

- ❖ **Alta de usuario:** Se realiza el alta del usuario de acceso a Internet en el servidor Radius del operador.
- ❖ **Configuración del acceso Internet:** Se provisiona sobre el equipo, el servicio contratado por el cliente.
- ❖ **IP fija:** Si el cliente ha contratado IP fija, al realizar el alta de usuario se informará que debe tener IP fija.

- ❖ **Cuenta de Correo:** Se activa sobre el servidor de correo las cuentas que haya solicitado el cliente.
- ❖ **Hosting:** Se reserva al cliente un espacio de almacenamiento, para que pueda alojar su espacio *web*.
- ❖ **Dominios:** Se activa al cliente la dirección *web*, con la que quiere que se le conozca en Internet.

1.5.7.2 Ambientes campus

En estos ambientes (universidades, parques industriales, etc.) siempre es deseable contar con el máximo ancho de banda para llevar a cabo sus operaciones de forma rápida y eficiente. Es común ver la implementación de fibra óptica. Sin embargo, esto se realiza solamente en el *backbone* y requiere de equipos activos para redistribuir la señal.

GEPON les brinda la oportunidad de llevar la fibra óptica más allá del *backbone*, selectivamente a aquellos nodos que requieren un mayor ancho de banda, o que por la distancia a la que se encuentran, la única opción para interconectarlos es la fibra óptica. Por supuesto que esto se logra de manera eficiente y con costos bajos.

1.6 SERVICIO TRIPLE PLAY

1.6.1 ANTECEDENTES

Anteriormente, diferentes empresas de telecomunicaciones proporcionaban por separado distintos servicios como el Internet de banda ancha, la telefonía y la televisión. En la actualidad, debido al cambio tecnológico ya se está dando lugar a lo que se conoce como servicio *Triple Play* (servicios ofrecidos por una sola empresa), permitiendo de tal manera la evolución de los mercados.

La demanda de contenidos, mayor velocidad y nuevos protocolos de comunicación está impactando la mayoría de los mercados globales. Servicios tales como, Internet de alta velocidad, telefonía, voz sobre IP (VoIP), TV, HDTV, vídeo en tiempo real, juegos *online*, vídeo bajo demanda (VoD), representan nuevas oportunidades de negocio para los proveedores de servicios de telecomunicación y los proveedores de red. De tal forma, cada vez más proveedores de servicios reconocen en la fibra hasta el hogar FTTH como la solución ideal frente a los retos

de servicios de gran ancho de banda para todos los usuarios, de forma económica y fiable.

Actualmente, el servicio *Triple Play* se ha convertido en un gran negocio para los proveedores de servicios de telecomunicaciones. Su desarrollo se debe gracias al casi ilimitado ancho de banda que presenta la fibra óptica, siendo considerada como una de las mejores alternativas para contratar los servicios con una sola empresa a un mejor precio. Sin embargo, la oferta de proveedores de servicio *Triple Play* es muy reducida, realmente no existen muchas opciones a elegir, pero este servicio prácticamente convive ya en las redes de acceso de las pocas opciones existentes, cuya iniciativa de proveer estos tres servicios empaquetados, brinda mejores beneficios principalmente al usuario final.

El servicio *Triple Play* es considerado como el futuro cercano para el desarrollo integral de comunicación entre hogares. El desarrollo actual de las empresas (de telecomunicaciones, televisión por cable, televisión satelital, eléctricas, etc.) conlleva una solución única para varios servicios: telefonía, televisión interactiva y acceso a Internet, todo en un mismo paquete.

1.6.2 DEFINICIÓN DE *TRIPLE PLAY*

Triple Play, se define como el empaquetamiento o convergencia de servicios y contenidos audiovisuales (televisión, Internet y telefonía) para brindar tres servicios a la vez con comodidad al usuario final. Es decir, es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV o TV por pago). La Figura 1.37 muestra los tres servicios que se empaquetan en un solo servicio *Triple Play* alcanzable hacia los usuarios [60].



Figura 1.37 Servicio *Triple Play* [60]

En esencia *Triple Play* no es un realmente un servicio nuevo, sino un concepto relacionado a una nueva estrategia de negocio dividida en dos planes:

- Paquete comercial, el concepto que se refiere a un paquete de servicios.
- Convergencia tecnológica, el concepto que se refiere a una red IP centralizada, con las facilidades para dar soporte y entregar todos los servicios.

1.6.3 CARACTERÍSTICAS DE *TRIPLE PLAY*

Entre las principales características del servicio *Tripe Play* se mencionan:

- ❖ La diferencia que distingue a este nuevo servicio de tecnología consiste en que todos los servicios se sirven por un único soporte físico, ya sea cable coaxial, fibra óptica, cable de par trenzado, red eléctrica, o bien microondas.
- ❖ Esta red de nueva generación permite a los usuarios acceder a los servicios a través de una amplia variedad de tecnologías, pagando una única factura a un único proveedor.
- ❖ Tiende a posibilitar un servicio más personalizado al usuario debido a que el cliente dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en cualquier momento.
- ❖ Proporciona una mejora en la calidad de los servicios hasta los hogares, brindando nuevas posibilidades en telefonía y un abaratamiento del acceso a Internet.

1.6.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE *TRIPLE PLAY*

1.6.4.1 Ventajas

Entre las ventajas más significativas que presenta el servicio *Triple Play* son:

- ❖ Se aprovecha al máximo la red al transmitir los servicios actualmente más demandados.
- ❖ Aumenta la demanda de ancho de banda residencial (de 1 a 100 Mbps), lo que permitirá nuevos servicios.
- ❖ La reducción de costos del operador se traducirá en mejores tarifas para el usuario final, quien además podrá recibir todo tipo de mensajes (fax, *e-mail*, voz, datos, etc.) en un mismo dispositivo, gracias a la integración de las redes.

- ❖ Al ser una única infraestructura, su implementación es de menor costo en comparación a tres infraestructuras diferentes para cada servicio.
- ❖ Las empresas operadoras al disponer de un tendido de fibra óptica hacia a los hogares, pueden atraer más usuarios con el servicio *Triple Play* y tratar que cada vez más familias con menor poder económico adquisitivo tengan acceso a este servicio a precios accesibles.
- ❖ Los usuarios tendrán trato con un solo proveedor de telecomunicaciones.
- ❖ La convergencia de servicios permite tener una sola factura, pues con esto, los consumidores invierten menos tiempo y dinero al poder pagar todos sus servicios en un solo recibo.

1.6.4.2 Desventajas

En relación con las desventajas del servicio *Triple Play* se mencionan:

- ❖ Los usuarios pueden presentar problemas de caída de todos los tres servicios al estar concentrados en un solo proveedor. Para ello se debe dimensionar adecuadamente la red incluyendo calidad de servicio valiéndose de un enlace de respaldo o *backup* que solucione dichos problemas.
- ❖ La unión de los servicios de comunicación en una sola red (basada en IP) podría causar un daño o una saturación de las comunicaciones (sea por catástrofes naturales, terrorismo, defectos técnicos, etc.), haciéndolas ineficientes.
- ❖ Si el usuario en algún momento no puede pagar su cuenta al proveedor, se quedaría incomunicado sin teléfono, sin Internet y sin televisión por pago.
- ❖ Para hacer que servicios con diferentes necesidades en cuanto a velocidades, retardos, entre otros puedan coexistir dentro de misma infraestructura de red, se requiere priorizar la administración de QoS, lo que implica tener un amplio conocimiento de su manejo e implementación.

1.6.5 FUNCIONAMIENTO DE *TRIPLE PLAY*

La conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios. El servicio telefónico, se basa en la tecnología VoIP. Se transmiten llamadas de voz de manera similar al envío de datos electrónicos (Internet), convirtiendo la voz en paquetes de datos, que viajan a través de redes multiservicio IP de las operadoras.

La Figura 1.38 presenta en bloques la infraestructura de prestación del servicio *Triple Play* [61].

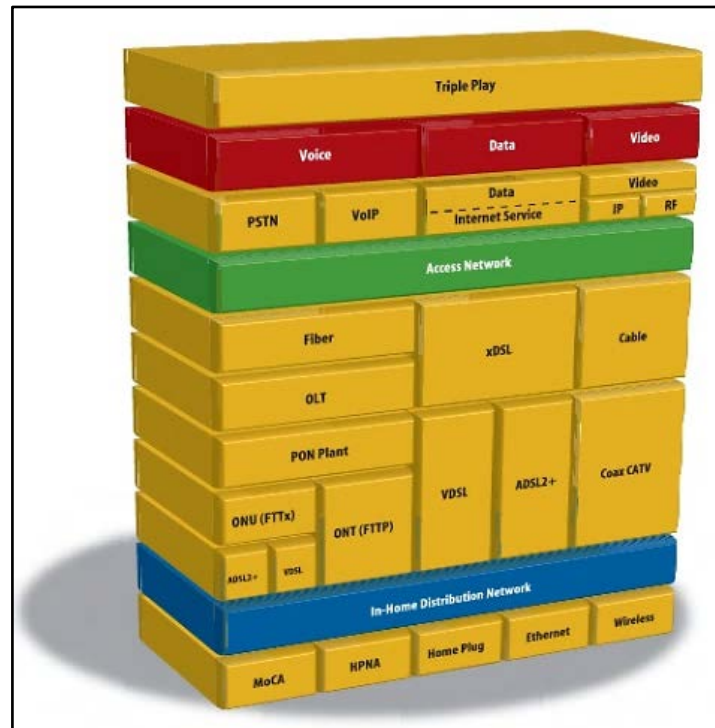


Figura 1.38 Bloques de la infraestructura de prestación del servicio *Triple Play* [61]

1.6.5.1 Internet de banda ancha

La mayoría de los proveedores de Internet ofrecen velocidades de navegación que pueden ir desde los 2 Mbps hasta los 100 Mbps mediante una red de fibra óptica, que pueden ser utilizados para:

- Juegos en línea.
- Descargas de música y videos (entretenimiento digital).
- Compartición de archivos (*peer-to-peer*).
- Acceso a la información de forma más eficiente y rápida.
- Mensajería instantánea y *e-mails* con alto contenido en información.

1.6.5.2 Televisión

La televisión evolucionará en un futuro hacia una televisión por cable con total interactividad con el usuario permitiendo una televisión “a la carta”. Todo esto se orienta en la evolución hacia las redes de próxima generación (NGN).

En general, el servicio de televisión en paquetes *Triple Play* se ofrece con la más amplia inclusión de canales.

1.6.5.2.1 Televisión de alta definición (HDTV)

El FTTH es capaz de entregar un portafolio interactivo de servicios, como multicanales de alta definición de TV (HDTV), ofreciendo un menor costo de operación que el cobre y propiciando un paso adelante en toma de ventaja competitiva para operadores y proveedores de servicios.

GEPON es una tecnología pasiva FTTH punto a multipunto, que permite a los proveedores de servicios y operadores de cable una transición de redes de última milla basados en cobre a infraestructuras basadas en fibra, mientras elimina los activos electrónicos de la planta exterior (OSP, por sus siglas en inglés).

Con un ancho de banda inteligente, los estándares de GEPON, desatan velocidades *Gigabit* a un suscriptor, aunque los típicos desarrollos provean datos simétricos a velocidades de 32 Mbps a muchos suscriptores.

1.6.5.2.2 Televisión digital sobre el protocolo IP (IPTV)

IPTV (*Internet Protocol Television*) se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión y/o vídeo usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP en una red del mismo tipo privada. A menudo se suministra junto con el servicio de conexión a Internet, proporcionado por un operador de banda ancha sobre la misma infraestructura, pero con un ancho de banda reservado. IPTV no es un protocolo en sí mismo.

El IPTV o Televisión sobre el protocolo IP, ha sido desarrollado basándose en el *video-streaming*. Esta tecnología está transformando la televisión actual, aunque para ello requiere de redes mucho más rápidas que las actuales, para poder garantizar la calidad en el servicio.

1.6.5.3 Telefonía

Por lo general, la telefonía fija incluye llamadas locales ilimitadas; en algunos casos los minutos de larga distancia nacional o internacional son mayores con relación a los ofrecidos en paquetes individuales.

El IP *Gateway* es un elemento esencial, para procesar llamadas externas con teléfonos IP no asociados al *Softswitch*. Su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI (*Integrated Services Digital Network*, ISDN)⁵⁶ para llamadas externas.

La Tabla 1.12 indica un resumen de los requerimientos de ancho de banda para cada servicio de *Triple Play* [62].

Tabla 1.12 Requerimientos de ancho de banda del servicio *Triple Play* [62]

SERVICIO	ANCHO DE BANDA (<i>Downstream</i>)	ANCHO DE BANDA (<i>Upstream</i>)	ANCHO DE BANDA TOTAL (<i>Downstream</i>)
1 canal de TV, alta definición (HDTV) - IPTV	7,5 Mbps (WM9) o 10 Mbps (MPEG4)	20 kbps	7,5 o 10 Mbps
3 canales de TV, definición <i>standard</i> – IPTV	1,33 Mbps c/u	50 kbps	4 Mbps
1 canal de juegos	512 kbps	512 kbps	512 kbps
Internet banda ancha	3 Mbps	512 kbps	3 Mbps
2 canales de voz, alta definición + video - IP	256 kbps c/u	256 kbps	512 kbps
TOTAL		1,3 Mbps	15,5 o 18 Mbps

1.6.6 PROBLEMAS COMUNES ASOCIADOS AL *TRIPLE PLAY*

Los principales problemas que se presentan en el servicio *Triple Play* son:

- ❖ **Pérdida de *pixeles*:** La calidad de video es muy sensible a la pérdida de paquetes, así el impacto de un solo paquete puede llevar al famoso efecto de pixelación en varios “*frames*”⁵⁷ o marcos. Idealmente, la pérdida de paquetes no debe exceder de 6 a 10 paquetes por hora.
- ❖ **Repartición de ancho de banda:** El acceso a Internet o servicio de datos no es tan sensible como lo son los servicios de video y voz; sin embargo, puede usar un gran porcentaje de ancho de banda cuando el usuario descarga

⁵⁶ ***Integrated Services Digital Network:*** Red definida por la UIT-T, que facilita conexiones digitales extremo a extremo para proporcionar una amplia gama de servicios (tanto de voz como de otros tipos) y a la que los usuarios acceden a través de un conjunto de interfaces normalizadas.

⁵⁷ Los *frames* (marcos o cuadros) permiten dividir una ventana en varias más pequeñas independientes unas de otras, y con contenidos distintos, aunque puedan estar relacionados.

archivos de gran tamaño, causando así que la señal de voz y video se vean degradados ya que ambos servicios comparten el mismo ancho de banda con el servicio de datos. Por tanto, es necesario asignar un ancho de banda mínimo para video y voz a fin de garantizar niveles aceptables de los servicios en todo momento.

- ❖ **Retardo de Zapping⁵⁸**: Un problema muy común con el servicio de televisión es el retardo existente entre cambiar un canal a otro, situación que muchas veces puede causar un desagrado por parte del cliente con el servicio de TV.
- ❖ **Latencia de voz**: El servicio de voz es muy sensible a la latencia (en milisegundos), un margen de fluctuación o *jitter*⁵⁹ bajo es muy importante para mantener una conversación telefónica interactiva. El servicio de voz debería tener una latencia de extremo a extremo por debajo de los 150 milisegundos.

Actualmente, dentro de las redes PON, se puede utilizar tecnologías que permitan desplegar una red FTTH capaz de brindar servicios *Triple Play* de alta velocidad, donde en la casa del usuario se coloca el ONT, al cual se le conecta la fibra óptica y de ahí se obtienen los servicios de Internet, Telefonía y TV (Ver Figura 1.39).

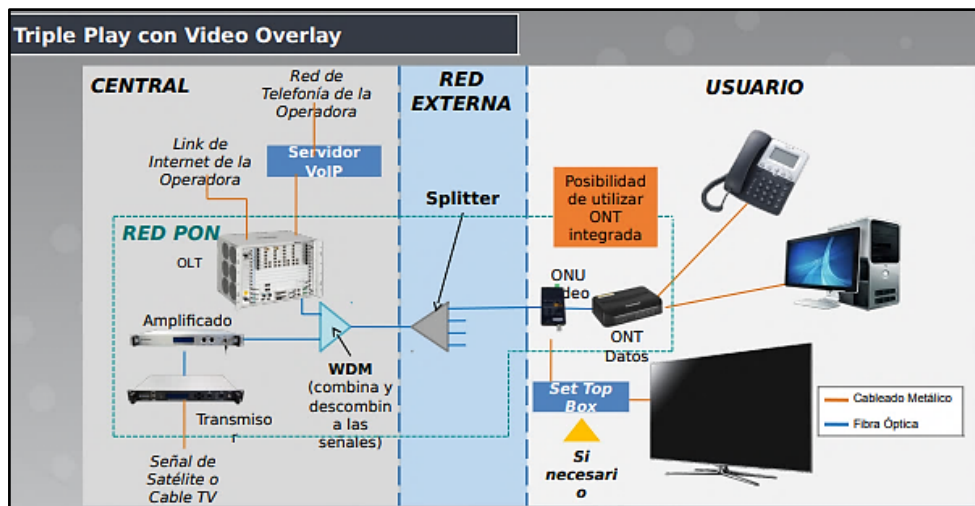


Figura 1.39 Esquema ejemplo de *Triple Play* en una red FTTH [38]

⁵⁸ *Zapping*, acción reiterada del hecho de cambiar canales en la televisión o saltar programas de televisión.

⁵⁹ *Jitter*: Cambio o variación en cuanto a la cantidad de latencia entre paquetes de datos que se reciben. Por ejemplo, ocasiona que los paquetes de voz sean descartados por el receptor cuando éste no recibe los paquetes a tiempo; en la práctica los usuarios perciben este problema como un entrecortado en la voz.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA RED DE ACCESO EN UN SECTOR RESIDENCIAL PARA SERVICIOS *TRIPLE PLAY* CON GEPON

2.1 INTRODUCCIÓN

Tecnológicamente, una red de acceso⁶⁰ con fibra óptica es una de las redes primordiales para abastecer servicios avanzados como Internet de banda ancha, Telefonía IP y Televisión hasta el usuario final; los mismos se integran en uno solo paquete denominado *Triple Play* o *Triple Pack*. La gran capacidad que presenta esta red permitirá una comunicación y entretenimiento más accesible y mejorado especialmente a los usuarios residenciales.

Como se mencionó previamente, GEPON es una tecnología pasiva FTTH con arquitectura punto-multipunto, que permite el acceso al servicio *Triple Play* mediante fibra óptica, con una conectividad de alta velocidad y costos mínimos de instalación. Esta tecnología es la solución ideal para aquellos operadores de redes de telecomunicaciones, que pretenden migrar a un modelo de negocio a partir del empaquetamiento de los tres servicios.

Por tal razón, la empresa Telconet S.A., como una más de sus proyecciones futuras, busca su crecimiento en el mercado con base en el diseño e implementación futura de su red de acceso para proveer el servicio *Triple Play* a sus clientes. El objetivo es ofrecer nuevos servicios con mejor calidad y con planes que se ajusten a las necesidades de cada cliente, de tal forma conservar la fidelidad de sus clientes actuales, así como atraer nuevos clientes. Además, su compromiso será garantizar una mejora continua y satisfacción de sus clientes al brindarles comodidad en sus hogares con los tres servicios centralizados con un solo proveedor, a una inversión reducida en el equipamiento y a un precio razonable.

⁶⁰ **Red de acceso:** Conocida como última milla; es parte de las redes que conecta los usuarios finales a las redes del proveedor de servicios de telecomunicaciones.

2.2 VISIÓN GENERAL SOBRE LA EMPRESA TELCONET S.A.

2.2.1 ANTECEDENTES

En Ecuador, Telconet S.A. es una empresa privada que fue constituida el 24 de agosto de 1995 y se dedica a prestar soluciones de telecomunicaciones como Conectividad, Internet, Centro de Datos y Servicios Gerenciados para los mercados corporativos, residenciales, PYMES y gubernamentales. Así como, hoy en día forma parte de un importante conjunto de empresas Carrier⁶¹, convirtiéndose en una empresa líder en el sector de las telecomunicaciones [63].



Figura 2.1 Empresa de telecomunicaciones Telconet S.A. [63]

A nivel nacional cuenta con muchos puntos de conexión con una amplia cobertura en algunas ciudades de las regiones Costa, Sierra, Oriente, incluidas las Islas Galápagos. La empresa cuenta de una planta matriz⁶² y de catorce sucursales, las mismas que se ubican en algunas ciudades del país como son: dos en Guayaquil, tres en Quito⁶³ (consideradas las sucursales más grandes), una en Cuenca, Loja, Ambato, Ibarra, La Libertad, Machala, Salinas, Quevedo y Santa Cruz [64].

La Red de Próxima Generación (NGN) de Telconet S.A. se enfoca en brindar servicios de acceso con nuevas tecnologías desde 1 Mbps hasta 10 Gbps por medio de una sólida plataforma de infraestructura de fibra óptica; siendo su red la más grande del país [64]. De esta forma, cubre en buena medida las necesidades

⁶¹ **Carrier:** Empresa de telecomunicaciones propietaria de las redes troncales y responsable de la transmisión de los datos a otras empresas proveedoras de servicio.

⁶² Las oficinas de la planta matriz se encuentran ubicadas en la ciudad de Guayaquil, Ciudadela Kennedy Norte, Mz.109 Solar 21.

⁶³ Las oficinas de la sucursal Quito se encuentran tanto en la Av. 12 de Octubre N24-660 y Francisco Salazar, Edificio Concorde, Piso 1 y 2, como en la Av. Mariana de Jesús 1585 entre Jorge Juan y Av. 10 de Agosto.

de sus clientes corporativos, los mismos que en su mayoría son PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas), industrias, organizaciones, centros comerciales y educativos, universidades, comisariatos, entidades bancarias y cooperativas de ahorro y crédito, instituciones gubernamentales y pequeñas empresas proveedoras de servicio de Internet.

En el país, Telconet S.A. tiende a crecer cada vez más en el sector de las telecomunicaciones principalmente por los siguientes aspectos:

- ❖ Ofrece calidad de servicio en cada proceso de solución, desde el contacto inicial con sus clientes hasta los servicios entregados a diario.
- ❖ Pone a disposición de sus clientes el Centro de Operaciones de Red (*Network Operations Center, NOC*)⁶⁴ para brindar soporte técnico 24/7, esto es las 24 horas del día, los 7 días a la semana.
- ❖ Establece un Acuerdo de Nivel de Servicio (*Service Level Agreement, SLA*)⁶⁵ entre la empresa y sus clientes, con el objetivo de estipular tanto las condiciones y parámetros contratados, así como el servicio técnico ofrecido.
- ❖ Comercializa enlaces satelitales, radiales y fibra óptica para la prestación de servicios a sus clientes.

Telconet S.A. no comercializa directamente el servicio de Internet residencial; sin embargo, al iniciar en el año 2010 una alianza estratégica con Ecuanel (Megadatos S.A.) empresa dueña de Netlife, permite brindar dicho servicio por medio de fibra óptica a sus clientes residenciales. Desde el lanzamiento comercial del servicio de FTTH residencial, Telconet S.A. cumplió su meta de viabilizar alta velocidad a hogares sin encargarse de la comercialización, así como ampliar su posición y desarrollo en la provisión de servicios. Netlife básicamente permite la inversión y crecimiento en residenciales-masivos con fibra óptica hacia el hogar.

En el [ANEXO A](#) se describen los valores corporativos de la empresa como la misión, la visión, las políticas de calidad y seguridad, y, también la competitividad [65].

⁶⁴ **Network Operations Center:** Centro de control que contiene visualizaciones de una red en proceso de monitoreo para administrar, gestionar y proveer mantenimiento a escala variable.

⁶⁵ **Service Level Agreement:** Contrato escrito de mutuo acuerdo entre una empresa de servicios y su cliente, donde se fija los compromisos de calidad del servicio.

2.2.2 SOLUCIONES SOBRE NGN DE TELCONET S.A.

La Red de Próxima Generación (NGN) de Telconet S.A. ofrece una amplia gama de soluciones de telecomunicaciones orientadas a cubrir con calidad las necesidades y expectativas actuales y futuras de sus clientes [63] - [66].

2.2.2.1 Internet Dedicado

Este servicio ofrece una conexión permanente a Internet a empresas, el cual puede ser configurado según las necesidades específicas que tenga cada una. Se brinda a través de una de las redes más avanzadas de América Latina. Cuenta con los servicios de un Centro de Operaciones de Red (NOC) y alta velocidad de interconexión con altos estándares internacionales tanto tecnológicos como de servicio al cliente.

2.2.2.2 Tránsito al *Backbone* de Internet

Este servicio ofrece una conexión permanente a Internet a Proveedores de Servicio de Internet (ISP) y puede ser configurado según las necesidades específicas que tenga cada uno. De igual forma se brinda a través de una de las redes más avanzadas de América Latina y cuenta con alta velocidad de interconexión al Punto de Acceso a la Red (*Network Access Point*, NAP)⁶⁶ local en Ecuador y al NAP internacional en Miami. Además, presenta redundancia de plataforma y redundancia de interconexión internacional a los principales proveedores de Internet de Estados Unidos como son: TIWS, *Sprint*, *TeliaSonera*, *Inteliquent* (anteriormente TINET).

2.2.2.3 Internet 2-Redes Avanzadas

La NGN de Telconet S.A. es la única en el país que maneja IPv6 e Internet 2⁶⁷ o redes avanzadas. La Red Académica Avanzada del Ecuador CEDIA⁶⁸ opera sobre esta NGN para la provisión de una red privada de altas prestaciones que permita

⁶⁶ **Network Access Point:** Punto de intercambio de tráfico de Internet entre los diferentes ISP.

⁶⁷ **Internet 2:** Red Avanzada totalmente basada en fibra óptica que permite que la información fluya muy rápidamente en grandes cantidades.

⁶⁸ **Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado:** Promueve el desarrollo científico, tecnológico y educativo de las tecnologías de la información (TI), las redes de telecomunicaciones e informáticas del país.

contribuir al desarrollo de la conectividad de redes avanzadas en el país y alcanzar anchos de banda en el orden de los *Terabits*. Es así como la red CEDIA integra como miembros de su Consorcio a las principales universidades, escuelas politécnicas, organizaciones de investigación, ciencia y tecnología.

2.2.2.4 Transmisión de Datos

Este servicio se ofrece a través de la red de fibra óptica que posee Telconet S.A., compuesta principalmente por fibra monomodo estándar G.652D del tipo *Corning Incorporated*⁶⁹ de la más alta calidad. El extenso tendido que dispone permite interconectar redes de datos geográficamente distantes.

La transmisión de datos se basa en la tecnología MPLS L2/L3 de Cisco tanto para los enlaces urbanos como interurbanos, garantizando calidad de servicio y modernidad a la red. Adicionalmente, ofrece canales de datos sincrónicos *Clear Channel* en formatos SDH⁷⁰ (E1, DS3, STM1, STM16, STM64) y en formatos DWM⁷¹ (1 Gbps, 10 Gbps).

2.2.2.5 BackupNet

Es un servicio de respaldo en la nube conocido comercialmente como *Cloud Backup* realizado vía Internet en servidores y equipos de almacenamientos propiedad de Telconet S.A. Se trata de un servicio completo de respaldo tomando en cuenta los estándares de los distintos programas de respaldo que existen en el mercado y usando espacio dedicado para cada cliente en la nube.

2.2.2.6 Comunicaciones Unificadas

Este servicio gestiona las comunicaciones de voz entre los lugares que estén conectados con sus enlaces de datos a través de su red de fibra óptica. De esta

⁶⁹ *Corning Incorporated* es un fabricante estadounidense de vidrio, cerámica, y materiales relacionados, principalmente para aplicaciones industriales y científicas.

⁷⁰ ***Synchronous Digital Hierarchy***: La Jerarquía Digital Sincrónica es un conjunto jerárquico de estructuras de transporte digital, normalizadas para el transporte o transmisión de datos sincrónicos a través de redes de fibra óptica. Provee simplicidad, economía y flexibilidad a las redes de telecomunicaciones.

⁷¹ ***Division Wavelength Multiplexing***: La Multiplexación por División en Longitud de Onda es una tecnología que como su nombre lo indica permite multiplexar varias longitudes de onda (λ) distintas en la misma fibra óptica.

forma el proveedor de datos es el proveedor del servicio de voz interno del cliente; esta solución está basada en ELASTIX IP PBX⁷², con soporte para una gran cantidad de teléfonos IP de distintas marcas. Las soluciones cubiertas por este servicio son: Telefonía IP, mensajería unificada, soluciones móviles/remotas, video conferencias y video seguridad.

2.2.2.7 Transmisión de Video

Este servicio se entrega por medio de la Red de Próxima Generación (NGN), donde proporciona entradas y salidas de audio y video SDI⁷³, HDI⁷⁴, un ancho de banda de 8 Mbps y servicio disponible bajo la modalidad unidireccional o bidireccional. Los clientes principales que se benefician de este servicio son los canales de televisión abierta, televisión por cable y radiodifusoras.

2.2.2.8 Seguridad Lógica

Este servicio brinda protección avanzada a la información, de manera eficiente, íntegra, confiable y transparente para el usuario ante nuevos ataques informáticos, eventos e incidentes que atenten la seguridad de su información. Se definen básicamente dos tipos de servicios: Seguridad Gestionada y Consultorías de seguridad.

❖ **Seguridad Gestionada:** Permite a las empresas gestionar servicios de Tecnologías de la Información (TI) para reducir costos y aumentar su productividad. Se basa en la protección de correos electrónicos entrantes y salientes para evitar que la dirección IP no ingrese a listas negras por generación de *spam*. Así actúa como *Firewall* (Cortafuegos) y control de navegación para protección de intrusos.

⁷² *Software* de código abierto para el establecimiento de comunicaciones unificadas. Se utiliza para configurar en un ordenador una centralita telefónica y transmitir la voz por medio de Internet. Su objetivo es incorporar en una única solución todos los medios y alternativas de comunicación existentes en el ámbito empresarial utilizando sistemas telefónicos VoIP PBX o IP PBX.

⁷³ **Serial Digital Interface:** Interfaz de vídeo digital personalizado para emitir contenido de vídeo de calidad. Las especificaciones de este formato están en la recomendación ITU-R-BT 656 para la transmisión de señales de vídeo en componentes digitales, con una tasa de transferencia de hasta 270 Mbps.

⁷⁴ **High Definition Interface:** Interfaz de vídeo que cuenta con una alta resolución que permite una mayor definición de los detalles de las imágenes y ser vistas con mejor calidad.

- ❖ **Consultorías de Seguridad:** Son proyectos de diseño, implementación, seguimiento, *Ethical Hacking*, análisis de vulnerabilidades, asesoría para infraestructura de red segura y certificación de seguridad de la información de una empresa, con la metodología PMI⁷⁵ para implementación de proyectos.

2.2.2.9 Cable Submarino

En la actualidad Telconet S.A., cuenta con el funcionamiento del Cable Submarino de Telecomunicaciones PCCS (*Pacific Caribbean Cable System*)⁷⁶ que conecta a Ecuador con Panamá, Colombia, Aruba, Curazao, Las Islas Vírgenes Británicas, Puerto Rico y Estados Unidos. El PCCS es un sistema de cable submarino de última tecnología administrado bajo el sistema 1620LM (*Light Manager*)⁷⁷ de Alcatel-Lucent⁷⁸ y diseñado para operar longitudes de onda de 100 Gbps. Este cable submarino de fibra óptica permite acceder a servicios de Internet y conexiones de alta velocidad, así como masificar el uso de las TICs.

2.2.2.10 Centro de Datos

En Ecuador, Telconet S.A. diseñó e implementó dos modernos Centros de Datos denominados “*Telconet Cloud Center*”, unidos mediante una red de fibra óptica con capacidad 2 Lambdas (20 Gbps). Guayaquil cuenta con el sitio de alojamiento *Cloud Center I* (Categoría TIER IV)⁷⁹ y Quito *Cloud Center II* (Categoría TIER III)⁸⁰; los mismos que permiten entregar un mejor servicio con una alta disponibilidad y

⁷⁵ **Project Management Institute:** Organización internacional sin ánimo de lucro, que se dedica al estudio y promoción de la Gestión de Proyectos a través de estándares y certificaciones reconocidas a nivel mundial.

⁷⁶ **Pacific Caribbean Cable System:** Proyecto que impulsa la banda ancha en Latinoamérica con un sistema de cable submarino de 6.000 km de distancia, instalado en Manta. La red de cable de 100 Gb reforzará los enlaces digitales en la región del Caribe, Centroamérica y Sudamérica para satisfacer la creciente demanda de contenidos *online*. Enlazará Jacksonville en Florida con Manta en Ecuador.

⁷⁷ Es un terminal DWDM para uso en sistemas repetidores de cables submarinos.

⁷⁸ **Alcatel-Lucent:** Fue una empresa multinacional francesa, corporación resultado de la fusión de la francesa Alcatel y la estadounidense Lucent Technologies. Proporciona software, hardware, equipamiento y servicios de telecomunicaciones. La compañía finlandesa de redes de telecomunicación Nokia compró la totalidad de las acciones de su rival francesa Alcatel-Lucent en una operación valorada en 15.600 millones de euros.

⁷⁹ **TIER IV:** Centro de datos Tolerante a fallos. Disponibilidad del 99.995%.

⁸⁰ **TIER III:** Centro de datos Concurrentemente Mantenibles: Disponibilidad del 99.982%. Cuenta con redundancia en sus infraestructuras y con varias fuentes alternativas de electricidad y refrigeración en caso de emergencia.

mejor respuesta ante contingencias. Estos dos centros de datos permiten a los clientes garantizar los servicios de *Hosting*⁸¹, *Housing*⁸² y *Cloud Computing*.

2.2.3 ESTRUCTURA DEL NÚCLEO DE RED (*BACKBONE*)

La estructura del núcleo de red o *backbone* de Telconet S.A. está compuesta totalmente por fibra óptica monomodo y definida principalmente entre las ciudades de Guayaquil (matriz) y Quito (sucursal más grande y robusta), por ser las ciudades más importantes para la implementación de su red a nivel nacional. Por tanto, se estructura en dos partes: *backbone* Interurbano y *backbone* Urbano.

En el *backbone* Interurbano se utiliza tecnologías MPLS, DWDM, ASON⁸³, SDH (MSTP), TDM y en el *backbone* Urbano MPLS, ASON, SDH, TDM. La capacidad de la red *backbone* Interurbano es de 1,6 Tbps; mientras que la capacidad de la red *backbone* Urbano en las principales ciudades del Ecuador es de 10 Gbps MPLS (Guayaquil y Quito) y en el resto de las ciudades es de 1 Gbps MPLS [65].

2.2.3.1 Fibra óptica utilizada por Telconet S.A.

Telconet S.A. principalmente utiliza fibra óptica monomodo de los estándares G.652D de 144 hilos para la red de distribución, G.657A1 de 2 hilos para la red de acceso y ADSS⁸⁴ 6B1.3 de 6 hilos para la red de distribución y acceso; sin embargo, la empresa la utiliza más para la red de acceso.

- ❖ La fibra óptica G.652D opera sobre la segunda (1310 nm) y tercera (1550 nm) ventana de transmisión. La ventaja que brinda es de alcanzar distancias

⁸¹ **Hosting:** Alojamiento a través de servidores virtualizados y servicios en la nube con las más avanzadas tecnologías en materia de seguridad física, vigilancia, protección antiincendios, sistemas de alimentación eléctrica y de climatización para servicios de misión crítica.

⁸² **Housing:** Alojamiento compartido, alquila un espacio determinado en los *racks* de última generación o gabinetes cerrados (*colocation*), *suites* dedicadas (jaulas) para el alojamiento de un servidor propietario de una empresa. Es una opción interesante si una empresa desea ofrecer servicios de Internet o gestionar aplicaciones en servidores de alta disponibilidad.

⁸³ **Automatically Switched Optical Network:** Red Óptica Conmutada Automáticamente. Se trata de una de red óptica de transporte definida en la UIT-T G.8080/Y.1304 (11/2001), que tiene una capacidad de conexión dinámica. Esta funcionalidad se consigue utilizando un plano de control que realiza el enrutamiento, señalización, descubrimiento y establecimiento de recursos.

⁸⁴ **All-Dielectric Self-Supported:** Cable Óptico Auto-Soportado totalmente Dieléctrico de alta capacidad que ofrece gran flexibilidad para ser instalado tanto en conductos subterráneos, como en tendidos aéreos. Es empleado para redes en lugares con altos niveles de interferencia electromagnética. El cable ADSS consiste en una cantidad de tubos de acuerdo con la cantidad especificada de fibras.

superiores sin regeneración, debido a que tiene menor atenuación por modo de polarización $0,20\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$. Además, tiene la capacidad de transmitir en largas distancias, hasta 3000 km a una velocidad de 10 Gbps y hasta 80 km a una velocidad de 40 Gbps. El radio mínimo de curvatura es de 30 mm y es recomendada para todas las aplicaciones, principalmente de planta externa. Se utiliza para aplicaciones de multiplexado CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*).

- ❖ La fibra óptica G.657A1 opera sobre la tercera (1550 nm) y cuarta (1625 nm) ventana de transmisión. Presenta los mismos parámetros de transmisión de la fibra monomodo convencional (G.652D). El radio mínimo de curvatura es de 10 mm y es recomendada para aplicaciones en redes de acceso.

Las características técnicas de las fibras ópticas monomodo G.652D y G.657A1 según la recomendación UIT-T se detallan en el [ANEXO B](#) y del cable de fibra óptica ADSS 6B1 en el [ANEXO C](#) [67] [68] [69].

La fibra óptica monomodo es tendida vía aérea mediante la utilización de los postes del alumbrado público de las principales ciudades del país. En la ciudad de Quito su infraestructura consiste en el arrendamiento de los postes de la Empresa Eléctrica de Quito (EEQ) para su tendido. En sectores que tengan soterramiento de cables, se solicita los permisos respectivos al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

El tipo de tendido de la fibra óptica dependerá mucho del sector en el que se va a ubicar el cable; por tanto, se distribuye en: fibra óptica urbana y fibra óptica interurbana.

- ❖ **Fibra óptica urbana:** Es tendida en el sector urbano de las ciudades a nivel nacional. Se caracteriza por tener en su interior dos cables de acero de 1,5 milímetros de espesor para reforzar su fijación en los postes de energía eléctrica.
- ❖ **Fibra óptica interurbana:** En su interior tiene una guía metálica para brindar mayor rigidez durante el tendido, de tal forma de alcanzar distancias más grandes entre los postes de energía eléctrica.

Actualmente, Telconet S.A. alrededor de toda su infraestructura de red trabaja con las fibras ópticas de 2, 6, 12, 24 y 144 hilos. Las fibras ópticas de 48 y 96 hilos ya no son utilizadas por la empresa, las mismas que eran para ampliación de coberturas. La fibra de 48 hilos era desplazada a ciudades donde el número de clientes era mínimo y la de 96 hilos era usada en los enlaces interurbanos. Estas dos fibras ópticas fueron finalmente reemplazadas por la fibra óptica de 144 hilos. En la Tabla 2.1 se presenta la utilización de acuerdo con el número de hilos y en el ANEXO D el respectivo código de colores [70].

Tabla 2.1 Utilización de la fibra óptica por el número de hilos [70]

HILOS FO	UTILIZACIÓN
2	En la red de acometidas de los clientes o últimas millas. Un hilo sirve para la conexión a la red <i>backbone</i> y el otro para la conexión hacia la red del cliente.
6	En los enlaces de conexión con Telefónica.
12	En proyectos varios para redes metropolitanas.
24	En proyectos y enlaces interurbanos (unión entre ciudades). Se utiliza principalmente como fibra interurbana de varios enlaces, entre ellos: Gosseal – Cayambe Gosseal – Chiriboga Data Center – Tandapi Gosseal – Tabacundo
144	En los enlaces urbanos para ampliación de coberturas y en la construcción de nuevas rutas. El tipo de cable más utilizado es el <i>BLEEDING AERIAL OPTICAL FIBER CABLE (FIBER TYPE: G.652D: FIBER COUNTS: 144)</i> ; el cual consta de 12 tubos y cada tubo con 12 hilos de fibra óptica.

2.2.3.1.1 *Latamfiberhome*

En el cantón Durán de la provincia del Guayas, en el km. 9.5 de la Vía Durán-Tambo, se encuentra la fábrica de cables fibra óptica de Telconet S.A. denominada “*Latamfiberhome*”⁸⁵; siendo la primera del Ecuador y la más grande en Latinoamérica. Su construcción se inició en el 2013 y desde su entrada en funcionamiento la planta se ha encargado de todo el proceso para la elaboración de la fibra, en un proceso igual al que se realiza en la sede principal de la empresa *FiberHome* China. En dicho proceso, el líquido que se utiliza para crear el cable

⁸⁵ “*Latamfiberhome*” se inauguró el martes 16 de Agosto de 2016. El acto inaugural fue precedido por la empresa privada ecuatoriana, Telconet S.A. y su socio estratégico, la empresa gubernamental china, *Fiberhome Technologies*.

tiene mayor pureza que los diamantes. Además, las máquinas que se utilizan tienen una velocidad de 3 km/min para producir la fibra, a través de la cual millones de datos pasarán a la velocidad de la luz [71].

La producción de esta fábrica aportará a la matriz productiva del país, esperando que una vez que se atienda toda la demanda nacional, sea posible exportar fibra óptica a toda Latinoamérica para brindar servicios con la tecnología FTTH a los usuarios que lo soliciten [72].

La Figura 2.2 presenta el tendido de fibra óptica de Telconet S.A. en el Ecuador, el cual consta de más de 37.000 km instalados a Julio de 2017 [65]. Este tendido permite interconectar redes de datos geográficamente distantes y dar garantía de rutas físicas completamente independientes cuando sean requeridos enlaces de *backup* o respaldo.

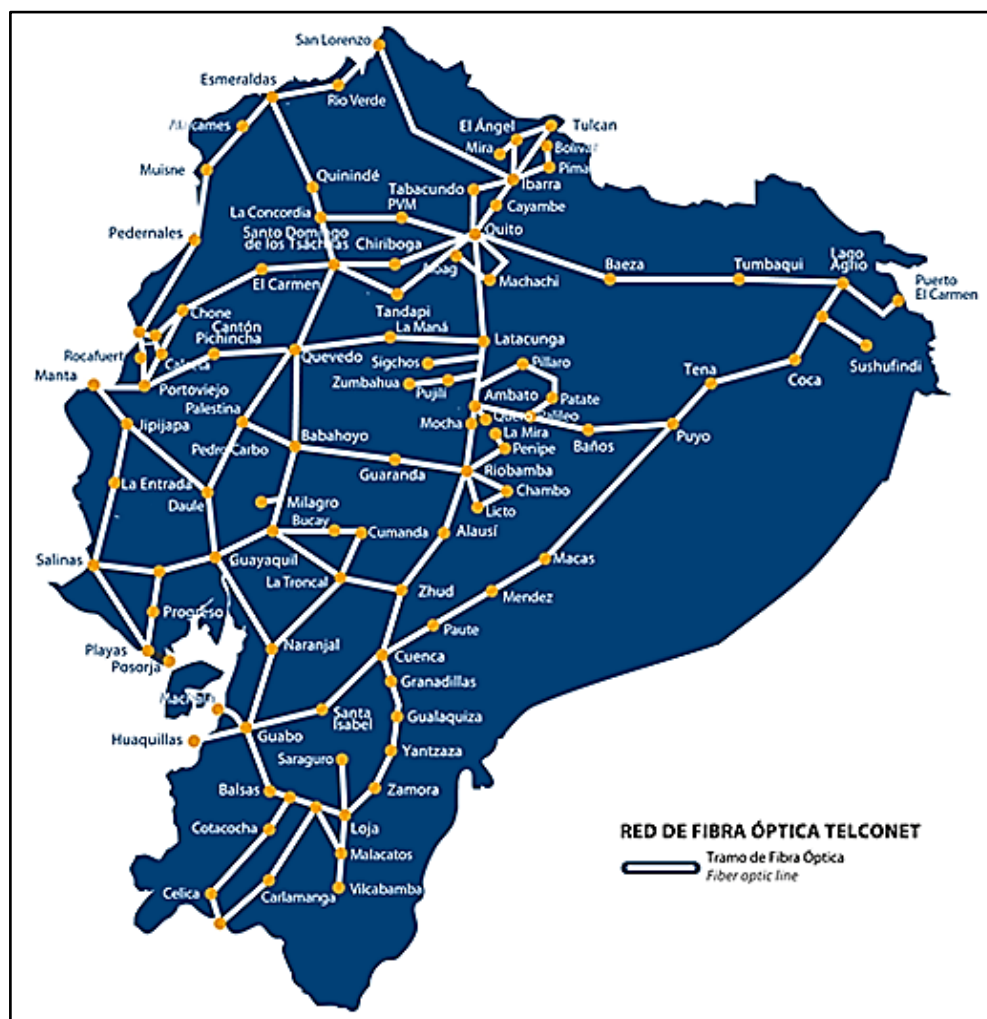


Figura 2.2 Tendido de fibra óptica de Telconet S.A. en el Ecuador a Julio de 2017 [65]

2.2.3.2 Nodos principales

Los nodos MPLS que forman la red *backbone* de Telconet S.A. se encuentran conectados mediante enlaces de fibra óptica. Estos nodos son físicamente instalaciones arrendadas medianas o pequeñas que están estratégicamente distribuidas a nivel nacional. En cada nodo se dispone de equipos o elementos, donde son colocados bajo estándares definidos por la empresa en base a normas permitidas de telecomunicaciones para la instalación y correcto funcionamiento.

Tomando en cuenta que la red de Telconet S.A. es extensa, para este estudio, solo se toma en consideración los nodos ubicados en la sucursal Quito, por ser la sucursal más grande. Por tanto, los nodos principales en esta ciudad son:

- Nodo Gosseal
- Nodo *Data Center*
- Nodo Muros
- Nodo Sur 2
- Nodo Armenia
- Nodo Borromoni

Los nodos Gosseal y *Data Center* se encuentran ubicados en la zona Norte y son considerados como los más importantes y los más grandes de la red, porque permiten la administración del resto de nodos. El nodo Muros concentra los enlaces de clientes de la zona Central de Quito. El nodo Sur 2 está ubicado en la zona Sur y los nodos Armenia y Borromoni ubicados en la zona de los Valles [73].

2.2.3.2.1 Elementos de los nodos

Los nodos están constituidos especialmente de elementos más representativos como: *Racks*, Aires Acondicionados, Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS), Bancos de baterías, *Switches* o *Routers* y *Transceivers* [74].

- ❖ **Racks:** Son estructuras metálicas que permiten sostener o albergar dispositivos de red y equipos electrónicos. Las medidas para su ancho están normalizadas en 19 pulgadas, como se observa en la Figura 2.3. El correcto armado de sus estructuras es esencial para el funcionamiento de los equipos, ya que los cables deben organizarse de manera adecuada para lograr las conexiones.



Figura 2.3 Estructura de *racks* [74]

- ❖ **Aires acondicionados:** Son sistemas de acondicionamiento de la temperatura y humedad de un espacio físico cerrado. Se utilizan para evitar el excesivo calentamiento de los dispositivos de red y para que se mantengan a una temperatura adecuada. En la Figura 2.4 se muestran los aires acondicionados instalados en un nodo de la empresa.



Figura 2.4 Aires acondicionados instalados en un nodo [74]

- ❖ **Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS):** Es un equipo de seguridad que suministra energía eléctrica ininterrumpida a los dispositivos de red evitando que se apaguen cuando existe una emergencia eléctrica. Además, protege ante variaciones de tensión o perturbaciones. En los nodos se instalan 2 UPS *online* APC. En la Figura 2.5 se presenta un ejemplo de un UPS marca APC *Back* con una capacidad de salida de 1400VA / 700Watts.



Figura 2.5 APC Back UPS⁸⁶

- ❖ **Bancos de baterías:** Son un conjunto de baterías en serie con la finalidad de proporcionar al nodo energía eléctrica por un tiempo determinado al existir interrupciones en el suministro eléctrico, evitando que los equipos se apaguen. Los nodos cuentan con un banco de baterías externo de 48VDC/120 amperios hora para cada UPS, como se indica en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Banco de baterías en serie [74]

- ❖ **Switches o Routers:** Son equipos marca Cisco que se utilizan para la conexión entre nodos y para la conexión de clientes a la red. La mayoría de los nodos del *backbone* están constituidos por *switches* Cisco Catalyst 3550 o 2950, los mismos que pueden ser administrados remotamente por el NOC al acceder de forma remota. La Figura 2.7 se observa un ejemplo de un *switch* colocado en una unidad de *rack* 19”.

⁸⁶ Tomada de: http://www.apc.com/salestools/CLII-9QBR3K/CLII-9QBR3K_R0_EN.pdf



Figura 2.7 Switch en una unidad de *rack* [74]

- ❖ **Transceivers:** Son dispositivos también conocidos como convertidores o conversores para fibra óptica, el cual sirven para acoplar la fibra óptica con el cable UTP, y así se asigne un puerto para cada cliente. Los *transceivers* utilizados son los de marca TP-Link para 100 Mbps (MC100CM) que permiten convertir fibra 100Base-FX a cable 100Base-TX o viceversa. En la Figura 2.8 se observa una bandeja de un *rack* con algunos *transceivers*.



Figura 2.8 Bandeja de *rack* con *Transceivers* TP-Link [74]

2.2.3.3 Funcionamiento del *backbone*

El *backbone* de Telconet S.A. es una red MPLS/IPv4⁸⁷ implementada bajo el modelo jerárquico de tres capas de Cisco: *core*, distribución y acceso, con el propósito de garantizar la escalabilidad y confiabilidad de la red y facilitar la administración de sus componentes según sus funciones específicas.

⁸⁷ **Multi-Protocol Label Switching / Internet Protocol Version 4:** Encapsulamiento (o túnel) entre extremos de la red. Es una arquitectura que provee una eficiente designación, enrutamiento, envío y conmutación de flujos de tráfico a través de la red, cuyo manejo de la información está basado en etiquetas.

La topología física es de red mixta tipo anillo-estrella, donde la capa *core* tiene forma de estrella con velocidades que van de 1 a 10 Gbps, mientras que la capa de distribución y acceso tienen la forma de un anillo con velocidades de 1 Gbps. Además, está constituida por un conjunto de equipos de conmutación y enrutamiento marca Cisco System que cumplen diferentes funciones dependiendo de la capa en la que se encuentren. Las tecnologías que la empresa posee operan sobre el *backbone* de fibra óptica.

2.2.3.3.1 Descripción de la capa core

La capa *core* es la más importante de la red y está formada por los equipos más robustos que presentan alta velocidad y gran rendimiento para soportar el tráfico proveniente de las dos capas restantes del modelo: distribución y acceso. Entre las principales funciones que presenta esta capa es ofrecer alta confiabilidad, baja latencia, así como proveer redundancia y tolerancia a fallas.

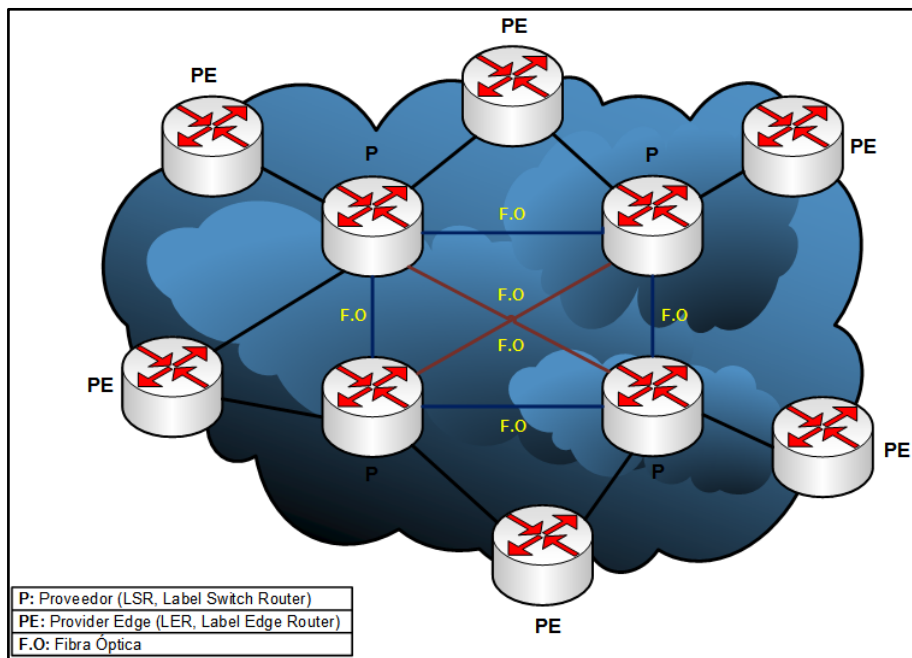


Figura 2.9 Topología de distribución MPLS con los equipos P y PE

A nivel MPLS, la sucursal de Quito de Telconet S.A. concentra dos equipos redundantes que trabajan como LSR (*Label Switching Router*)⁸⁸ identificados como

⁸⁸ **Label Switching Router:** Router de alta velocidad que trabaja en el núcleo de la red MPLS para encaminar paquetes en función del valor de la etiqueta.

P (*Provider*) y seis equipos que trabajan como LER (*Label Edge Router*)⁸⁹ identificados como PE (*Provider Edge*). La conexión entre todos estos equipos es por medio de fibra óptica donde concentran y distribuyen grandes cantidades de tráfico. La Figura 2.9 presenta un ejemplo de la topología de distribución con los equipos P y PE.

❖ Equipos LSR (P)

Los LSR denominados: P_GOSSEAL y P_DATACENTER son los equipos centrales de conmutación habilitados para MPLS. Son de marca Cisco que encaminan los paquetes utilizando un protocolo de distribución de etiquetas. Se interconectan entre sí por medio de un enlace de 10 Gbps para garantizar redundancia en esta parte de la red. La Figura 2.10 presenta estos dos tipos de equipos LSR [75].

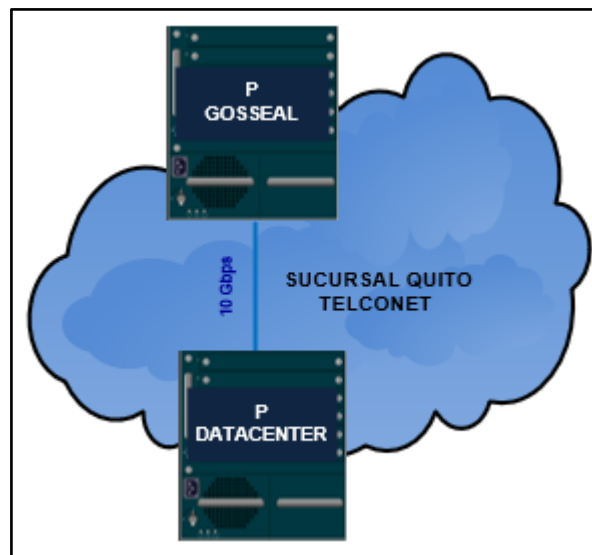


Figura 2.10 Equipos P de la capa core [75]

❖ Equipos LER (PE)

Los LER denominados: PE_GOSSEAL, PE_DATACENTER, PE_SUR2, PE_ARMENIA, PE_BORROMONI y PE_MUROS son los equipos frontera entre los equipos P y los equipos de los clientes. Son de marca Cisco que envían el tráfico entrante a la red MPLS utilizando un protocolo de señalización de etiquetas y hacen

⁸⁹ **Label Edge Router:** Router situado en el borde o frontera de la red MPLS para añadir y retirar etiquetas a la entrada o salida de la red.

la distribución de tráfico saliente. Además, presentan redundancia de enlaces hacia los LSR, en caso de que uno de los dos LSR falle, donde los LER tendrán una ruta alternativa para comunicarse con otro punto de la red. La Figura 2.11 presenta los equipos LER de la red *backbone* a nivel de la sucursal Quito [75].

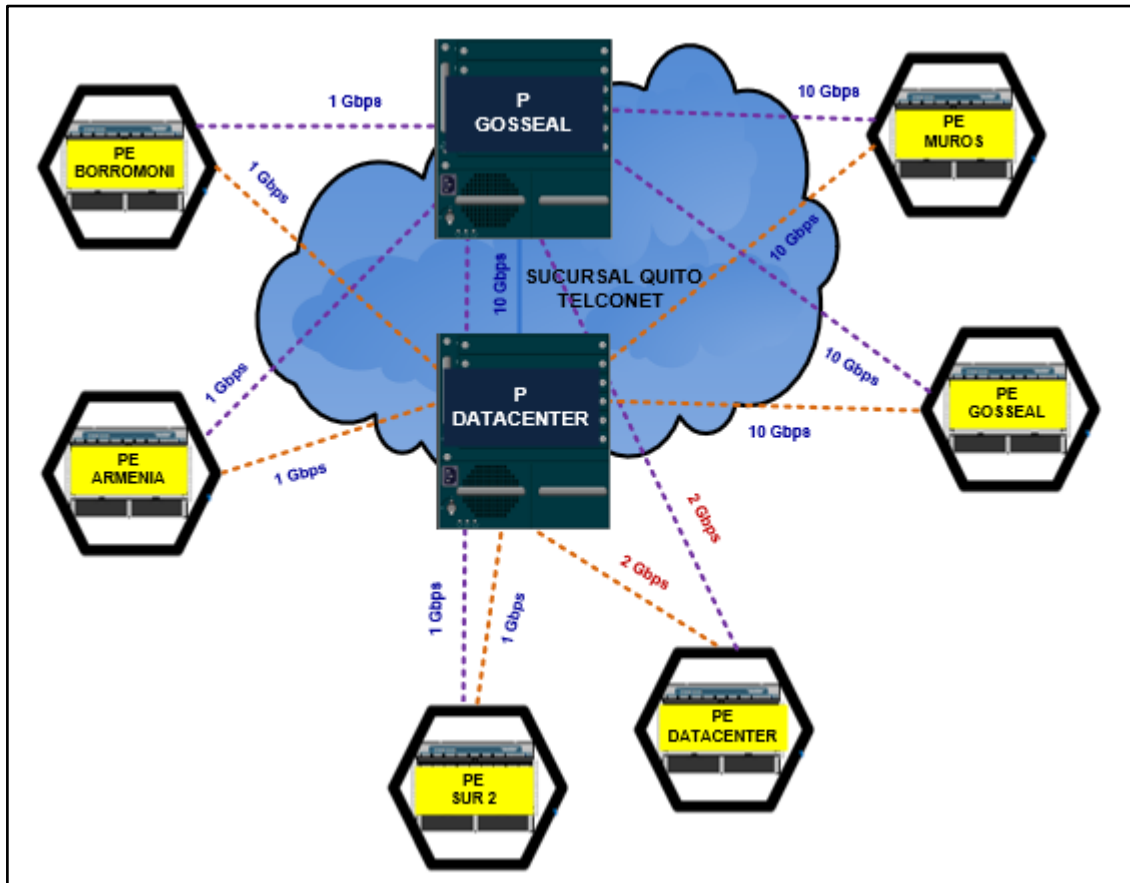


Figura 2.11 Equipos PE de la capa *core* [75]

2.2.3.3.2 Descripción de la capa distribución

La capa distribución es la parte intermedia de la red. Esta capa es el medio de comunicación entre las capas *core* y acceso, ya que reenvía todo el tráfico proveniente de la capa de acceso hacia la capa *core*, y viceversa. Básicamente, se encarga de segmentar la red en múltiples dominios de difusión, permite implementar políticas de ruteo y red, enrutamiento de tráfico y entre VLANs.

Esta capa está compuesta por equipos *switches* Cisco denominados Agregadores (AG), los cuales forman una topología anillo. Estos equipos permiten a su vez la interconexión de los *switches* de todos los nodos secundarios que se ubican en las diferentes ciudades donde cubre Telconet S.A.

La Tabla 2.2 muestra los 12 *switches* agregadores ubicados en cada uno de los 6 nodos principales de la sucursal de Quito [75].

Tabla 2.2 *Switches* agregadores de la capa distribución [75]

ROUTER PE	SWITCH AGREGADOR
PE_GOSSEAL	sw1aggosseal sw2aggosseal
PE_DATACENTER	sw1agdatacenter sw2agdatacenter
PE_SUR2	sw1agsur2 sw2agsur2
PE_ARMENIA	sw1agarmenia sw2agarmenia
PE_BORROMONI	sw1agborromoni sw2agborromoni
PE_MUROS	sw1agmuros sw2agmuros

La Figura 2.12 muestra la conexión de los equipos agregadores con los equipos PE y P por medio de fibra óptica y las capacidades que manejan en la red [75].

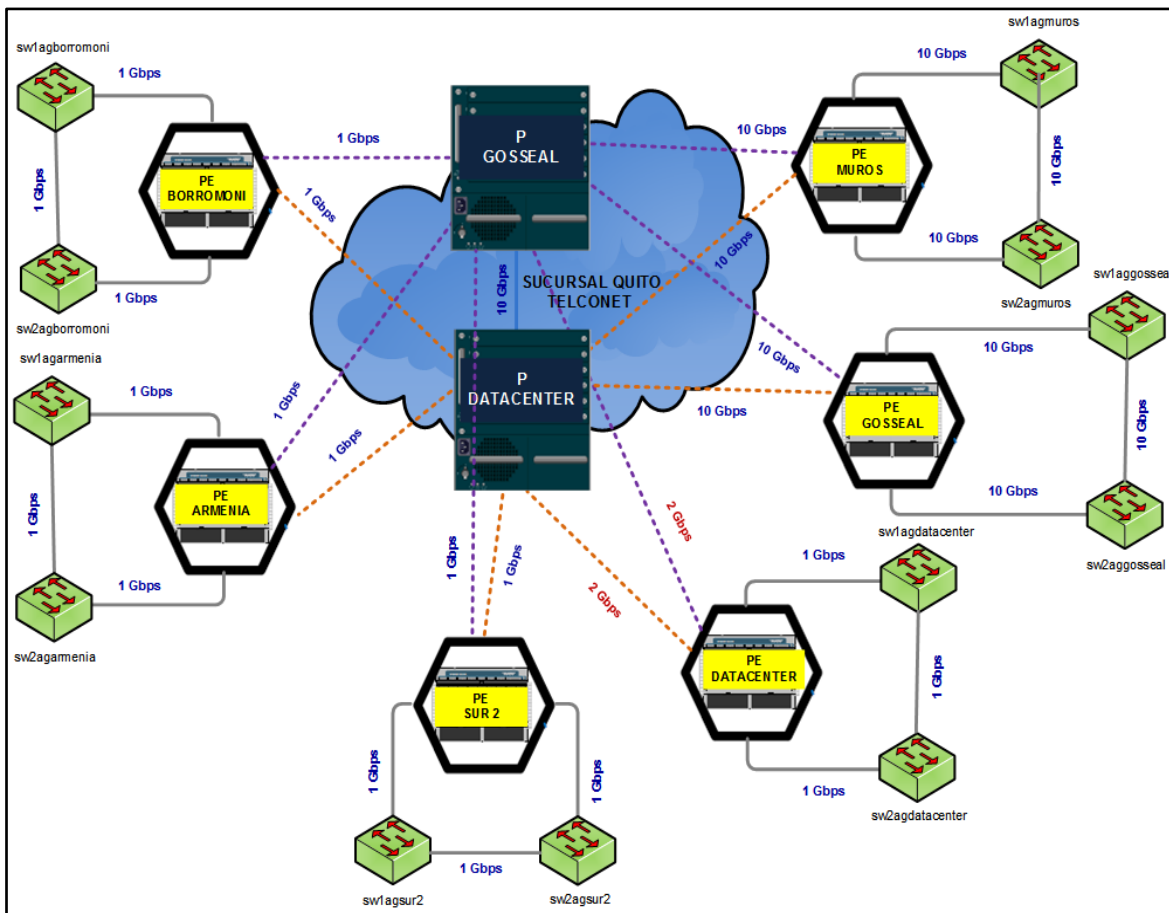


Figura 2.12 Conexión de los equipos de las capas core y distribución [75]

Los agregadores se conectan a cada PE para conmutar el tráfico proveniente de la capa de acceso. Se conectan dos agregadores por cada PE con enlaces redundantes para casos de fallas. Según la capacidad del LER al que se conectan, estos dispositivos pueden tener interfaces de 1 o 10 Gbps hacia el PE y su agregador de respaldo. Además, tienen enlaces de 1 Gbps con los equipos de la capa de acceso.

2.2.3.3.3 Descripción de la capa acceso

La capa acceso es la parte que interconecta la red del cliente final con la red de Telconet S.A. La topología física de esta capa es anillo, donde cada anillo se interpreta como un pétalo, el cual se conecta hacia un equipo LER (*Router PE*) mediante dos *switches* agregadores redundantes con velocidades en sus enlaces de hasta 1 Gbps. En esta capa, cada anillo incluye un máximo de diez nodos⁹⁰; los mismos que están estratégicamente distribuidos dentro de la ciudad de Quito. Además, se tienen *switches* marca Cisco 3560 de capa 2 y se configura el protocolo MSTP⁹¹ con el fin de aumentar la disponibilidad de la red y evitar la producción de lazos entre nodos.

La capa de acceso implementa un equipo terminal en el cliente, denominado CPE (*Customer Premises Equipment*) para permitir el acceso hacia la red de Telconet S.A. El CPE es entregado por la empresa; el mismo no necesita soportar MPLS y permite manejar los protocolos de capa enlace y capa red para realizar las VPNs. Además, hace interfaz con dispositivos finales como las computadoras, impresoras y teléfonos IP, para proveer acceso al resto de la red. Los CPEs son interconectados a los nodos dependientes por medio de una última milla de fibra óptica y, en sectores en donde no se puede realizar un tendido directo de fibra óptica utiliza radio enlaces en base a microondas o antenas. En la Figura 2.13 se muestra un ejemplo de la forma de interconexión de los nodos de acceso en la sucursal Quito con la red del cliente final.

⁹⁰ Número máximo de nodos acorde a recomendación técnica de parte de Cisco por el tiempo de convergencia del protocolo *Spanning Tree*.

⁹¹ **Multi-Spanning Tree:** Estándar definido en el IEEE 802.1s, el cual permite asignar VLANs múltiples a la misma instancia de *Spanning Tree*. Proporciona varias rutas de envío para el tráfico de datos y permite el balanceo de carga.

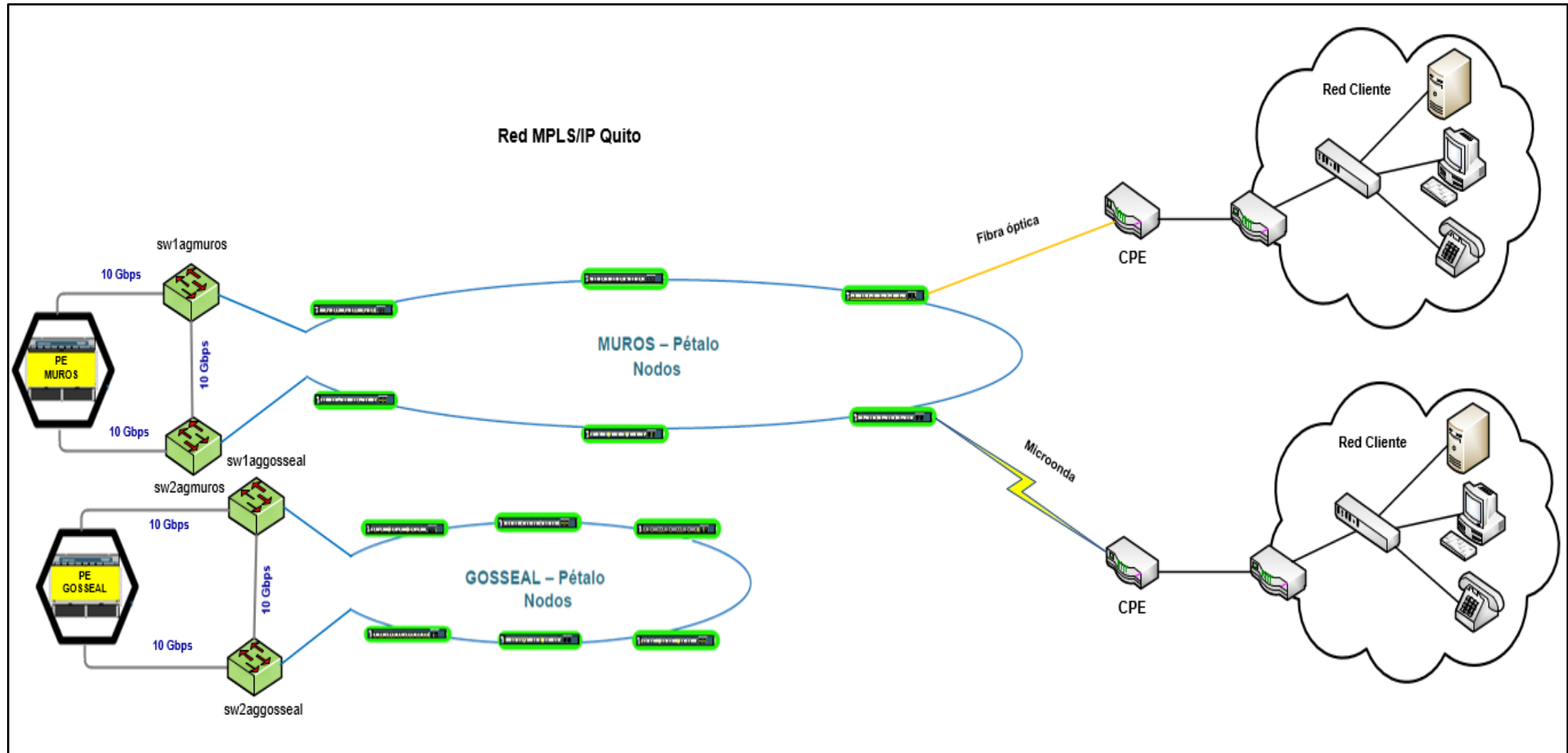


Figura 2.13 Ejemplo de interconexión de los nodos de acceso con la red cliente [76]

En general, Telconet S.A. para los nodos estándar utiliza *switches* Cisco Catalyst 3560 y en los nodos agregadores Cisco Catalyst 4900. Además, personal técnico de *Networking* está cambiando en los nodos agregadores por *switch* hp 5500 porque son más económicos y tienen mayor capacidad.

En resumen, la infraestructura instalada en Telconet S.A. es la siguiente [65]:

- Anillos de Fibra óptica instalada G.652D / +37.000 km a Julio de 2017.
- Puntos de presencia (PDP) / +3.000.
- Tecnologías aplicadas en el *Backbone* Interurbano / DWDM, SDH (MSTP), ASON, TDM, GBit MPLS.
- Tecnologías aplicadas en el *Backbone* Urbano / SDH, ASON, TDM, GBit MPLS.
- Capacidad de Red de *Backbone* Interurbano / 160 Lambdas (1.6 Tbps).
- Capacidad de Red en las principales ciudades / 10 Gbps MPLS.
- Capacidad de Red en el resto de las ciudades / 1 Gbps MPLS.
- Red NGN (Red de Próxima Generación) / MPLS L2/L3.
- *Hardware* en el *core* / Cisco.
- Últimas millas / Fibra óptica.

2.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE ACCESO DE TELCONET S.A.

2.3.1 ANTECEDENTES

El desarrollo de las tecnologías de acceso debe facilitar el despliegue de nuevas redes y servicios. Los usuarios demandan tecnologías de acceso de banda ancha que les permitan acceder a un conjunto de nuevos servicios y prestaciones que les ofrecen las redes de comunicación.

La red de acceso es un tramo de la red de telecomunicaciones más importante, que conecta a los usuarios de Internet con un proveedor de servicios. El último tramo de conexión que llega hasta los hogares es lo que se conoce como bucle de abonado o última milla. La infraestructura de última milla tiene el costo más alto de todos los elementos de una red. Los costos iniciales son altos, especialmente si se hace necesaria ductería. Por tanto, se ofrecen altos precios a los clientes.

Hoy en día, el despliegue de las redes de acceso de nueva generación (NGA) mediante fibra óptica (FTTx) ha ido en aumento, predominando de tal forma a las redes de acceso en base al par de cobre (xDSL). Por ello, las empresas de telecomunicaciones están optando actualizar sus redes de acceso como un medio para aumentar su competitividad y proporcionar servicios diferenciados con respecto a sus competencias.

A continuación, se determina el estado actual de la red de acceso de la empresa proveedora de servicios Telconet S.A. en la ciudad de Quito. Se realiza un breve análisis de la infraestructura de la red en consideración de los servicios que brinda a nivel corporativo como son el Internet de banda ancha y la transmisión de datos.

2.3.2 INFRAESTRUCTURA ACTUAL

La red de acceso de Telconet S.A. es la más cercana a los clientes y se encarga de transportar el tráfico proveniente de ellos hacia su red troncal. La última milla entregada a los clientes finales puede ser alámbrica o inalámbrica, dependiendo de las necesidades de cada cliente, así como de la factibilidad de instalación de los enlaces, y del costo de acuerdo con lo acordado entre Telconet S.A. y el cliente.

En esta parte de la red es importante brindar redundancia de enlaces de tal manera que los *switches* dispongan de una ruta alterna para redireccionar el tráfico hacia los equipos LER correspondientes. Por esta razón, se mantendrá la topología física de anillo entre los diversos *switches* de acceso.

Las características de los *switches* de la red de acceso son [77]:

- Dispositivos de capa 2, marca Cisco 3560 de 48 puertos.
- Interfaces a 100 Mbps y 1 Gbps.
- Manejo de VLANs.
- Soporte de IPv4.
- Soporte de la tecnología *Ethernet*.
- Soporte de calidad de servicio (QoS) con MPLS.
- Soporte para el protocolo *Spanning-Tree*.
- Soporte de la encapsulación *trunk dot1q* (IEEE 802.1q).
- Soporte para VLAN *Trunking Protocol* (VTP).

A cada uno de estos *switches* se conectan los clientes por medio de enlaces punto a punto y multipunto.

2.3.2.1 Red de Datos

La red de datos está estructurada para manejar grandes velocidades de conmutación y está constituida por [78] [79]:

❖ Equipos RO⁹² *Reflector*

Son *routers* Cisco 7200 que envían actualizaciones a todos los *routers* conectados a él mediante el protocolo BGP (*Border Gateway Protocol*). A nivel de redundancia existen dos RO *Reflector* en la ciudad de Quito, cuya función principal es evitar que los demás *routers* (equipos PE y RO) necesiten tener una conexión completa de vecindad, ya que existe un intercambio de rutas mediante el RO *Reflector*. Cuando un *router* conectado al RO *reflector* le envía información de algún cambio existente en la red, el RO *Reflector* envía estas actualizaciones hacia los demás *routers*.

❖ Equipos P (*Provider*)

Son *switches* Cisco Catalyst 6500 de capa 2 y 3 que realizan la función de un LSR. En la ciudad de Quito, dos equipos P se encuentran ubicados en dos nodos principales, donde se concentra todo el tráfico de la red estableciendo el mejor camino y realizando una rápida conmutación de paquetes. El P es un equipo intermedio que se conecta a los RO *Reflector* y hacia los PE, con el objetivo de propagar todas las redes que aprende mediante sesiones OSPF (*Open Shortest Path First*) hacia todos estos equipos que se encuentran interconectados a él.

❖ Equipos PE (*Provider Edge*)

Son *routers* de borde Cisco 7600 bajo la infraestructura MPLS/IP, que realizan la función de un LER. Son responsables de enviar el tráfico entrante en la red con la utilización de protocolos de señalización de etiquetas y distribución de tráfico saliente. Existen tres equipos PE ubicados en dos nodos principales de la ciudad de Quito, los cuales forman enlaces redundantes en forma de malla hacia los P, y

⁹² Para efectos explicativos los *routers* locales referentes a los de cada ciudad se denotan como RO.

a la vez se interconectan con los *switches* de la capa de acceso. Los PE se comunican con los *routers* CE (*Customer Edge*) o CPE para recibir su información y ubicarla en una única VRF (*Virtual Routing and Forwarding*)⁹³. Esta información a su vez es enviada a los RO *Reflector* mediante el protocolo BGP para que sea anunciada a toda la red en caso de alguna actualización.

La utilización de las VRFs permite a la empresa virtualizar sus *routers* internos (PE) para utilizar el mismo dispositivo físico y asignar múltiples clientes, cada uno usando sus propios métodos de enrutamiento independientes ofreciendo flexibilidad y ahorro de costos de implementación.

2.3.2.2 Red de Internet

La red de Internet de Telconet S.A. principalmente cuenta con cuatro proveedores internacionales que son:

- TIWS
- *Sprint*
- *TeliaSonera*
- *Inteliquent*

La conexión a estos proveedores es a través de los cables submarinos de fibra óptica SAM-1 (Sur América-1) y PANAM (Panamericano) para las respectivas salidas internacionales. Las salidas internacionales de la empresa se ubican en el nodo Telepuerto de la ciudad de Salinas. La ciudad de Quito tiene una conexión adicional por medio del proveedor de Transnexa S.A. con una capacidad de 40 Mbps como una salida internacional redundante para garantizar la disponibilidad de la red de Internet.

La capacidad total de la salida internacional es de 11,859 Gbps, que resulta considerando las capacidades contratadas a cada proveedor internacional, el cual son acorde a la designación UIT-T para velocidades de transmisión en redes SDH como: STM-1 (155,52 Mbps), STM-4 (622,08 Mbps) y STM-16 (2488,32 Mbps). La Tabla 2.3 detalla estas capacidades, donde se distribuyen de la siguiente manera:

⁹³ **Virtual Routing and Forwarding:** Forma de virtualizar la tabla de enrutamiento de un *router* de red IP (*Internet Protocol*) para separar a los clientes y poder asignar una única instancia a cada uno de ellos.

Tabla 2.3 Capacidades con los proveedores internacionales de Telconet S.A. [79]

PROVEEDOR IP	CABLE SUBMARINO	CAPACIDAD
TIWS	SAM-1	1STM-16
	SAM-1	3STM-1
	PANAM	7STM-1
	PANAM	7STM-1
	PANAM	7STM-1
<i>Sprint</i>	PANAM	1STM-16
<i>TeliaSonera</i>	PANAM	1STM-16
<i>Inteliquent</i>	SAM-1	1STM-4
Transneta	ARCOS-1	40 Mbps
	TOTAL	11,859 Gbps

2.3.3 DIRECCIONAMIENTO Y ENRUTAMIENTO IP

2.3.3.1 Direccionamiento IP

En la red MPLS/IP de Telconet S.A., los *routers*, los agregadores, los *switches* de acceso y los *routers* de los clientes finales, manejan direccionamiento IPv4.

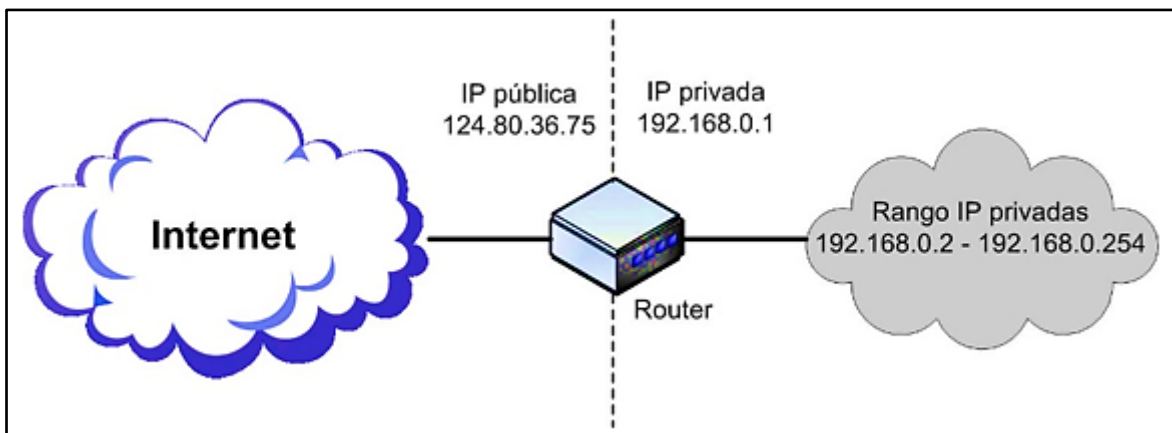


Figura 2.14 Direccionamiento IPv4⁹⁴

- ❖ Los *routers* de la red MPLS/IP se configuran con direcciones que pertenezcan a subredes de máscara /30 como 192.168.1.1 ya que son enlaces punto a punto.
- ❖ Los agregadores y los *switches* de acceso se configuran en IPv4, pudiendo tener o no soporte para IPv6. La red que utiliza es privada de Clase A como 10.0.0.0/8, donde cada pétalo tendrá una subred de máscara /24.

⁹⁴ Tomada de: <http://redestelematicas.com/direccionamiento-ipv4/>

La asignación de direccionamiento IPv4 para los clientes finales es:

- ❖ A nivel WAN, los clientes tienen asignado direcciones públicas, las mismas que son únicas para cada cliente.
- ❖ A nivel LAN, los *routers* de los clientes para acceso residencial a Internet comúnmente están *configurados* con direcciones privadas de clase C que pertenezcan a subredes de máscara /24, como 192.168.0.1.

En cuanto a su alcance, la red de acceso utiliza direccionamiento IPv4 privado o reservado para la transmisión de datos y público para el acceso a Internet.

2.3.3.2 Enrutamiento IP

Los protocolos de enrutamiento son utilizados por los *routers* para compartir información de enrutamiento con otros *routers* y conocer sobre cambios en la topología de la red. Para esto, Telconet S.A. utiliza en las configuraciones de sus equipos tanto el enrutamiento IP dinámico como el estático.

2.3.3.2.1 Enrutamiento dinámico

Los protocolos de enrutamiento dinámico que soporta son:

- OSPF (*Open Shortest Path First*)
- BGP (*Border Gateway Protocol*)
- EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*)

❖ **OSPF (*Open Shortest Path First*)**

OSPF es un protocolo de enrutamiento IGP (*Internal Gateway Protocol*) de estado de enlace dentro de un sistema autónomo (*Autonomous System, AS*). Es desarrollado para las redes IP y basado en el algoritmo de primera vía más corta (*Shortest Path First, SPF*). Es utilizado para responder rápidamente las actualizaciones o cambios que se producen en la topología de la red, recalculando las rutas en muy poco tiempo.

❖ **BGP (*Border Gateway Protocol*)**

BGP es un protocolo de enrutamiento EGP (*Exterior Gateway Protocol*) por vector distancia que enruta información entre sistemas autónomos (AS) basándose en

políticas de red. Es principalmente utilizado para intercambiar información de enrutamiento entre las diferentes redes que abarca la red MPLS/IP. Su funcionamiento sobre TCP permite conseguir una entrega fiable de la información utilizando la sesión de comunicación por el puerto 179 y permite el encaminamiento de los paquetes IP que se intercambian entre los distintos AS.

❖ **EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*)**

EIGRP es un protocolo de enrutamiento IGP (*Internal Gateway Protocol*) de vector distancia, pero con características de estado de enlace. Es una versión mejorada de IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*), cuyo objetivo es brindar una respuesta rápida a los cambios en la topología de la red, para el cual utiliza principalmente tres tablas que le proporcionan un correcto funcionamiento [80]:

- Tabla de vecinos (*routers* adyacentes).
- Tabla de topología (rutas informadas por los vecinos y sus métricas).
- Tabla de encaminamiento (ruta con menor métrica para cada destino).

Por consiguiente, con la utilización de estos protocolos de enrutamiento dinámico la información entre el cliente y Telconet S.A. es dinámica, donde además las VLANs son independientes para cada abonado, así como las VRFs; dando lugar a que no exista posibilidad de cruce de información entre dominios de enrutamiento independientes [81].

2.3.3.2.2 *Enrutamiento estático*

Con respecto al enrutamiento estático, éste es creado manualmente a diferencia de los protocolos dinámicos, que se intercambian las tablas de enrutamiento mediante actualizaciones periódicas. La configuración de las rutas estáticas exige la intervención del administrador cada vez que se producen cambios en la red MPLS/IP.

En definitiva, la red de acceso de Telconet S.A. se encuentra estructurada por anillos definidos como pétalos, donde cada pétalo está conformado por un conjunto de *switches* Capa 2 que se conectan a los clientes. La Figura 2.15 presenta un diagrama con un ejemplo de cómo se encuentra la conexión de los pétalos correspondientes a la ciudad de Quito [76].

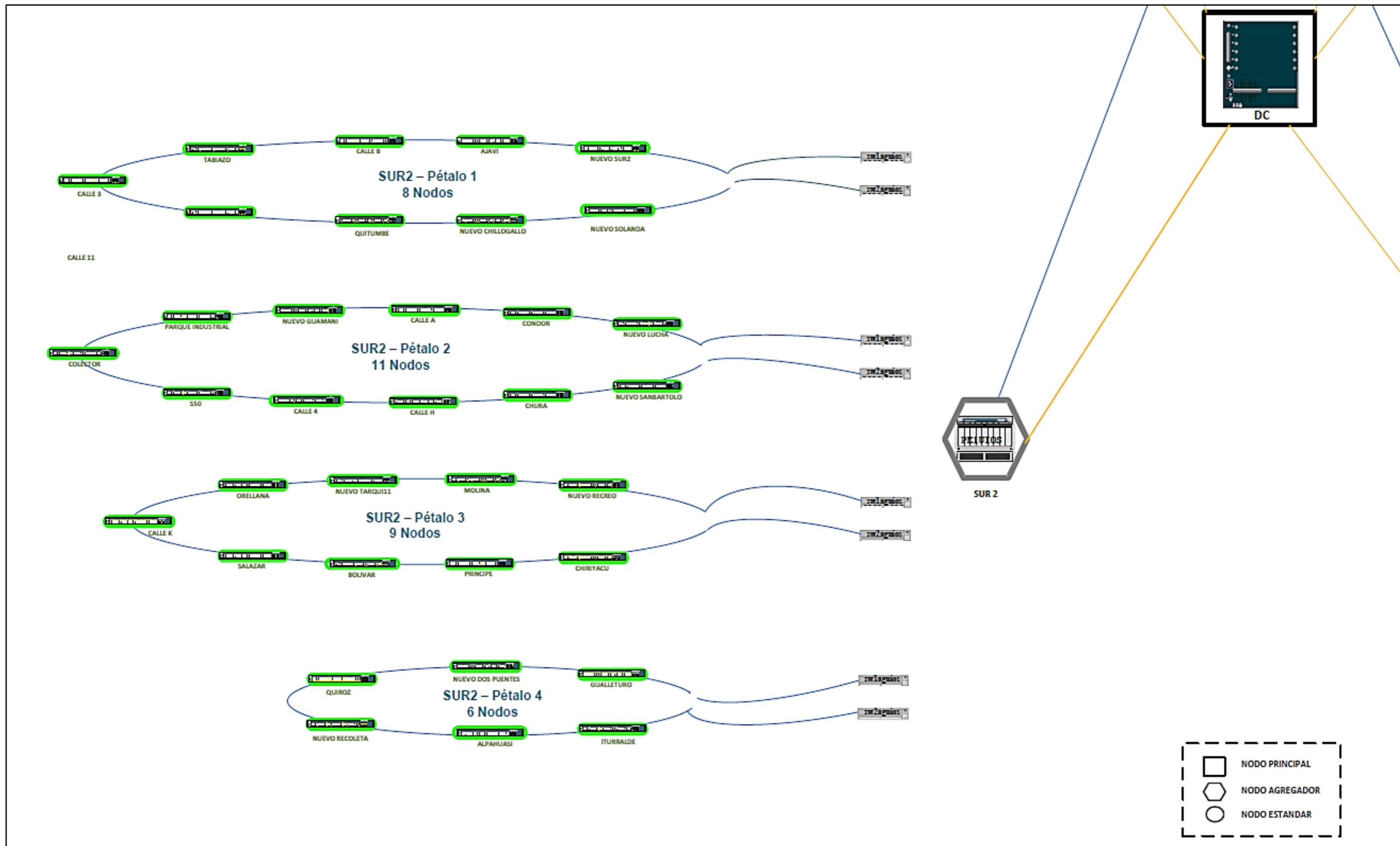


Figura 2.15 Diagrama de conexión de los pétalos de Telconet SA Quito [76]

2.4 PLANIFICACIÓN DE LA RED DE ACCESO GEPON

2.4.1 ANTECEDENTES

La planificación de la red es un proceso metódico importante en función directa del tipo de área de estudio y de los requerimientos técnicos para realizar un diseño adecuado y conllevar a una posible implementación. Al diseñar una red de comunicaciones se trata de garantizar calidad tanto en su funcionamiento como en la provisión de servicios por el cual ha sido diseñada, así como un bajo costo de implementación y mantenimiento.

Como fase previa al diseño de la red GEPON, se analiza el dimensionamiento de la red en base a los datos proporcionados por la empresa Telconet S.A. y del estudio de la demanda del servicio *Triple Play* a ofrecer a los clientes residenciales del Balcón del Norte. El estudio de la demanda se realiza en base a encuestas, una vez determinado el tamaño de la muestra de los posibles clientes.

2.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

El sector residencial Balcón del Norte fue seleccionado por presentar alta concentración de clientes residenciales en comparación con otros sectores del norte de la ciudad de Quito y, además porque otros proveedores no cubren totalmente la demanda del servicio *Triple Play* en ese sector. La mayoría de estos clientes tienen la necesidad de acceder a nuevos servicios de telecomunicaciones a altas velocidades y con costos accesibles para el abonado, para de tal forma aprovechar al máximo las nuevas tecnologías que sobresalen hoy en día.

Por consiguiente, en esta sección se determina matemáticamente el tamaño de la muestra de los posibles clientes que deben ser encuestados y con los resultados obtenidos se analiza la demanda insatisfecha de clientes que estarán dispuestos a cambiar de proveedor y contratar el servicio *Triple Play* con Telconet S.A.

2.4.2.1 Estudio de la demanda

El estudio de la demanda permite tener un estimado de los requerimientos de la red de acceso a una proyección futura. Al considerar que la empresa Telconet S.A. solo brinda los servicios de Internet dedicado y transmisión de datos a nivel corporativo,

no se dispone de datos históricos a nivel residencial que permitan realizar el estudio de la demanda para el paquete *Triple Play*.

Por tanto, para iniciar el estudio de la demanda se toma en consideración un aspecto importante como es el crecimiento a futuro de la red, es así como se analizará un crecimiento anual aproximado de clientes que contraten el servicio *Triple Play* durante los 5 años siguientes. Este período de tiempo se considera como un tiempo adecuado donde la demanda actual cambiará proporcionalmente con la introducción de nuevas tecnologías.

2.4.2.1.1 *Tamaño de la muestra de posibles clientes*

El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos a concretar en las fases previas de un estudio o investigación y determina el grado de credibilidad de los resultados obtenidos. Por ello, una fórmula estadística muy frecuente que se utiliza para determinar una muestra representativa con seguridad y precisión cuando el tamaño de la población de estudio es finita o conocida es la que se indica en la Ecuación 2.1 [82] [83].

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Ecuación 2.1 Fórmula para calcular el tamaño de una muestra de población finita

Donde,

n : Es el tamaño o número de elementos de la muestra representativa que se desea obtener (número de encuestas que se va a realizar).

N : Es el tamaño o número de elementos de la población o universo (número total de posibles encuestados).

Según la información otorgada por el Departamento de Operaciones Urbanas de la Región 2 de Telconet S.A., el número de clientes actuales activos u operativos que cuenta el sector Residencial Balcón del Norte al año 2017 es de 112.

Z_{α} : Es el valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido (α), el cual indica la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad.

Los valores de $Z\alpha$ más utilizados según el valor de α se muestran en la Tabla 2.4. Aunque habitualmente los valores escogidos son $Z\alpha = 1,96$ para $\alpha = 0,05$ y $Z\alpha = 2,58$ para $\alpha = 0,01$.

Tabla 2.4 Valores $Z\alpha$ más utilizados y sus niveles de confianza [83]

% Confianza	90%	95%	99%	99,9%
α	0,10	0,05	0,01	0,001
$Z\alpha$	1,65	1,96	2,58	3,29

p : Es la probabilidad de éxito.

q : Es la probabilidad de fracaso $1 - p$.

p y q se refieren a la probabilidad (o porcentaje) con la que se presentan los individuos en el fenómeno para el estudio. Estas probabilidades son complementarias, es decir, que su suma es igual a la unidad ($p + q = 1$) y, cuando sus valores son desconocidos, se suele asumir el caso más adecuado en el que $p = q = 0,5$ (50%).

e : Es el margen de error o precisión muestral deseado (error máximo admisible en términos de proporción determinado por el responsable del estudio).

En este caso se considera un valor de error máximo del 10%.

Por tanto, reemplazando los valores respectivos: $N = 112$, $Z\alpha = 1,96$, $p = q = 0,5$, $e = 0,1$ en la fórmula definida en la Ecuación 2.1, se procede a calcular el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{112 \times 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}{0,1^2 (112 - 1) + 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$$n = \frac{107,5648}{2,0704} = 51,954$$

$$n \cong 52$$

Ecuación 2.2 Cálculo del tamaño de la muestra

Finalmente, el tamaño de la muestra a ser estudiada es de 52 clientes residenciales; los cuales van a ser evaluados mediante encuestas para poder analizar la adquisición futura del servicio *Triple Play*.

2.4.2.1.2 Encuestas de adquisición futura de los servicios

Una vez obtenido el tamaño de la muestra, se elabora un modelo de encuesta que contiene 7 preguntas, el mismo que está enfocado en la adquisición futura de los servicios que se empaquetan en uno solo como es el *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión), bajo una infraestructura de acceso de fibra óptica. El respectivo modelo se describe en el [ANEXO E](#).

2.4.2.1.3 Análisis de los resultados obtenidos

A continuación, se detalla el análisis de los resultados obtenidos de la encuesta realizada a los 52 clientes seleccionados del sector residencial Balcón del Norte. Este análisis permite conocer la penetración y aceptación del empaquetamiento de servicios en los hogares de los clientes. Además, permite determinar los requerimientos técnicos necesarios para el diseño de la red GEPON en base al número aproximado de clientes que contratarían el servicio *Triple Play*. En consecuencia, con los datos recolectados de las respectivas encuestas, se procede a la tabulación de cada pregunta y se representa el resultado con un gráfico de tipo anillo 3D.

❖ Pregunta 1

Según el cuadro adjunto, indique ¿qué servicios de *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión) tiene en su hogar con el mismo proveedor?

Tabla 2.5 Resultados de la pregunta 1

RESULTADO	PORCENTAJE %	SERVICIOS CON EL MISMO PROVEEDOR
21	40	Internet
8	15	Internet + Televisión
0	0	Internet + Telefonía fija + Televisión
5	10	Televisión
2	4	Telefonía fija + Televisión
9	17	Telefonía fija
7	14	Internet + Telefonía fija
0	0	No cuento con ningún servicio en casa
52	100	Total

El 40% de los clientes del sector residencial tienen en su hogar contratado solo el servicio de Internet con el mismo proveedor, seguido del 17% de la telefonía fija, el

cual indica que estos son los dos servicios que más se encuentran instalados para cubrir la demanda de los clientes. Además, ningún cliente dispone el servicio *Triple Play*; es decir los tres servicios en su hogar, lo que conlleva a difundir el mercado de este servicio en dicho sector.

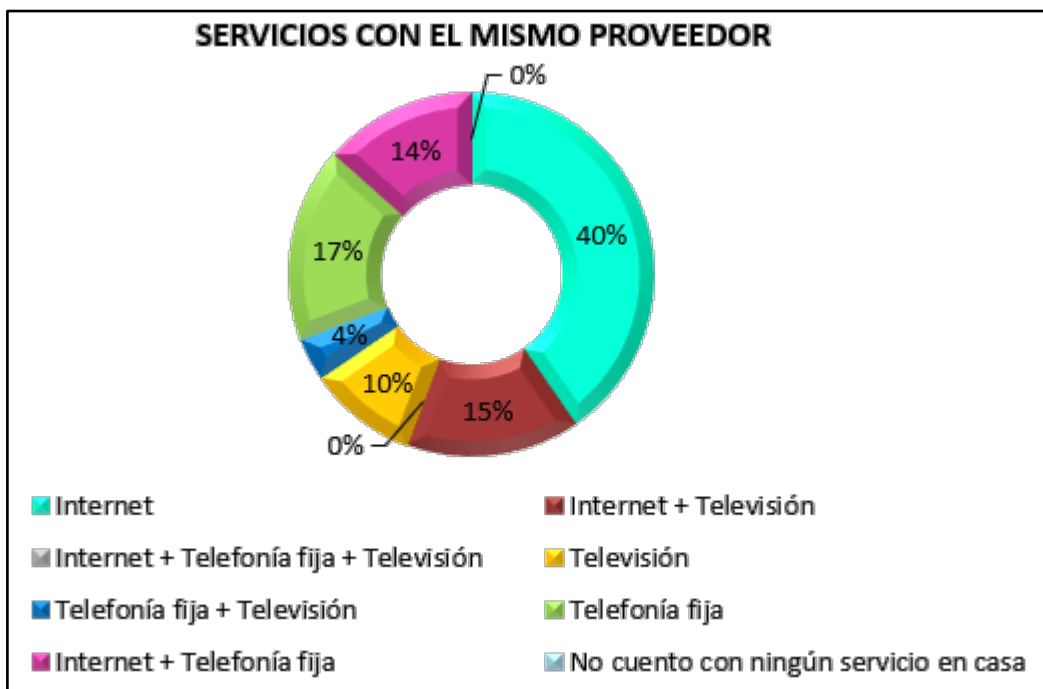


Figura 2.16 Porcentaje de hogares que tienen servicios con el mismo proveedor

❖ Pregunta 2

De acuerdo con la respuesta anterior, ¿con qué frecuencia utiliza dichos servicios?

Tabla 2.6 Resultados de la pregunta 2

RESULTADO	PORCENTAJE %	FRECUENCIA DE USO DE LOS SERVICIOS
38	73	Una o más veces a la semana
11	21	Dos o tres veces al mes
3	6	Una vez al mes
0	0	Menos de una vez al mes
0	0	Nunca lo he utilizado
52	100	Total

La frecuencia de uso de los servicios por parte de los clientes es de una a más veces a la semana; representando el 73%. Al corroborando con los resultados de la pregunta 1, el servicio más usado es el Internet, seguido de la Telefonía fija y finalmente la Televisión por cable. Por otro lado, existe un 21% de clientes que

indican usar los servicios dos o tres veces al mes, el cual puede ser por diversas situaciones como el no permanecer frecuentemente en sus hogares, o simplemente por disponer un servicio de poco uso.



Figura 2.17 Porcentaje de la frecuencia de uso de los servicios

❖ Pregunta 3

En general, ¿qué grado de satisfacción tiene hacia dichos servicios?

Tabla 2.7 Resultados de la pregunta 3

RESULTADO	PORCENTAJE %	NIVEL DE SATISFACCIÓN DE LOS SERVICIOS
2	4	Muy insatisfecho
7	13	Insatisfecho
4	8	Indiferente
30	58	Satisfecho
9	17	Muy satisfecho
52	100	Total

Un aspecto importante por considerar para la estimación de la demanda es el nivel de satisfacción de los clientes con su actual proveedor de servicios. Por tanto, en la Figura 2.18 se observa que la mayoría de los clientes del sector residencial con el 58% están satisfechos con los servicios que usan. Por otro lado, el porcentaje de clientes insatisfechos también serán incluidos como parte de los clientes potenciales del proyecto.

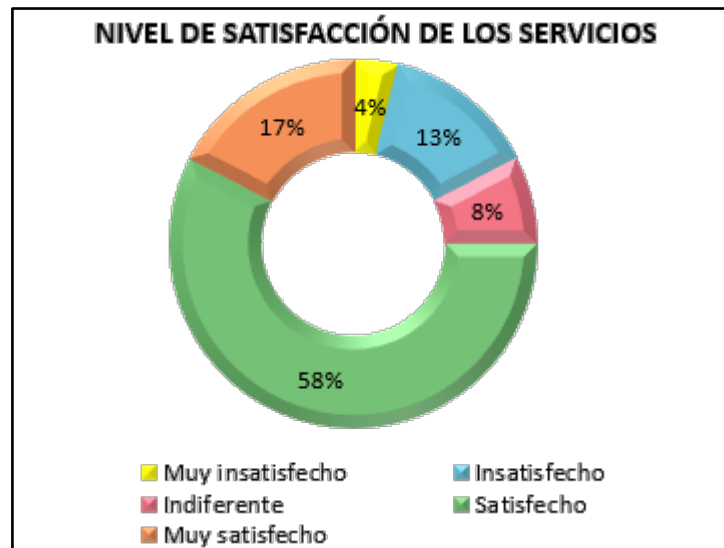


Figura 2.18 Porcentaje del nivel de satisfacción de los servicios

❖ **Pregunta 4**

¿Cree que paga mucho por el valor de los servicios contratados?

Tabla 2.8 Resultados de la pregunta 4

RESULTADO	PORCENTAJE %	PAGO POR LOS SERVICIOS
32	62	Sí
20	38	No
52	100	Total

El 62% de los clientes indican que pagan un valor alto por los servicios que contratan. Sin embargo, esta calificación cualitativa del costo mensual es acorde a la calidad de servicio que adquieren, lo que determina que la contratación del servicio *Triple Play* no sea un inconveniente.



Figura 2.19 Porcentaje de pago por los servicios

❖ Pregunta 5

¿Cuál de los siguientes aspectos de los servicios considera los más importantes?

Tabla 2.9 Resultados de la pregunta 5

RESULTADO	PORCENTAJE %	ASPECTOS DE LOS SERVICIOS
12	23	Velocidad
15	29	Calidad
6	11	Disponibilidad
3	6	Movilidad
5	10	Seguridad
10	19	Precio
1	2	Otro (Soporte Técnico)
52	100	Total

La calidad con el 29%, la velocidad con el 23% y el precio con el 19% son los aspectos considerados más importantes por parte de los clientes al momento de contratar los servicios con el proveedor. Tomando en cuenta este resultado, se oferta un paquete de servicios eficiente que cumpla dichos aspectos y conlleven a un buen nivel de satisfacción.

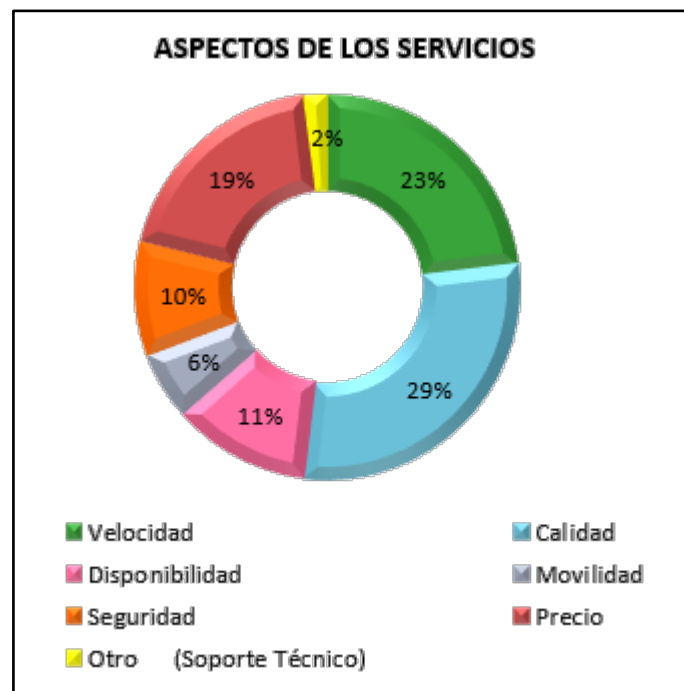


Figura 2.20 Porcentaje de los aspectos más importantes de los servicios

❖ Pregunta 6

¿Le interesaría utilizar una tecnología de última milla con fibra óptica para tener el servicio *Triple Play* en su hogar? (Se refiere a un servicio proporcionado mediante fibra óptica, que permita satisfacer sus necesidades con mejor calidad).

Tabla 2.10 Resultados de la pregunta 6.

RESULTADO	PORCENTAJE %	TECNOLOGÍA UTILIZADA PARA LOS SERVICIOS
34	65	Sí
18	35	No
0	0	Ya tiene <i>Triple Play</i>
52	100	Total

De acuerdo con la Figura 2.21, los clientes del sector residencial con un porcentaje del 65% están interesados en utilizar una tecnología de última milla con fibra óptica para disponer de un servicio que satisfaga sus necesidades con calidad. Es un porcentaje elevado que permite proyectar un diseño de red de acceso GEPON para cubrir esta demanda.

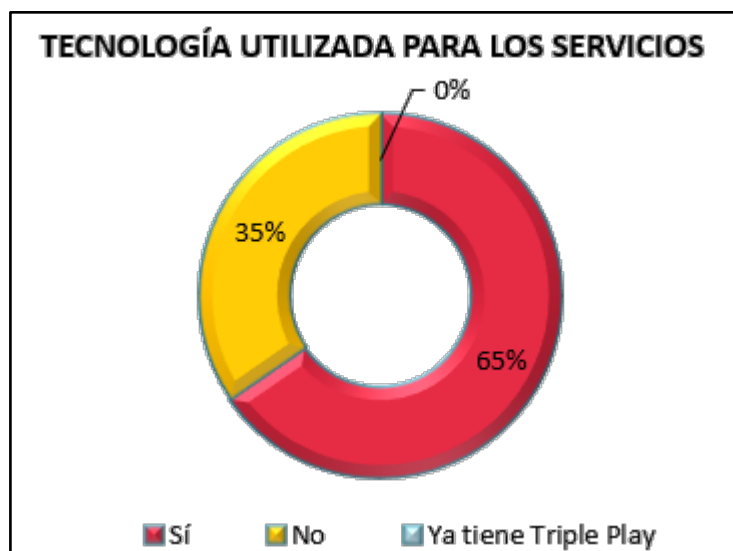


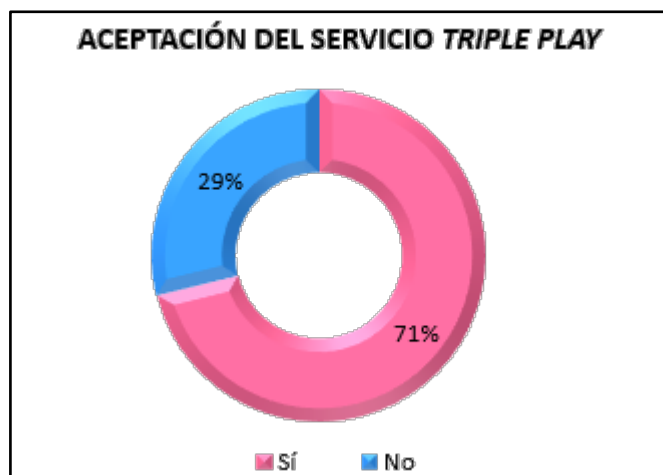
Figura 2.21 Porcentaje de la tecnología utilizada para los servicios

❖ Pregunta 7

¿Le gustaría contratar con Telconet S.A. el servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión) para su hogar y pagar su valor en una sola factura? Si su respuesta es positiva, por favor indique cuáles servicios del cuadro adjunto:

Tabla 2.11 Resultados de la pregunta 7

RESULTADO	PORCENTAJE %	ACEPTACIÓN DEL SERVICIO <i>TRIPLE PLAY</i>
37	71	Sí
15	29	No
52	100	Total

**Figura 2.22** Porcentaje de aceptación del servicio *Triple Play*

En la Figura 2.22 se aprecia que el 71% de clientes están dispuestos a contratar el servicio *Triple Play* con Telconet S.A., bajo una tecnología que brinde varios servicios por un mismo medio de comunicación eficiente como es la fibra óptica, y de tal forma poder contar con mayor velocidad y mejor calidad de servicio.

Tabla 2.12 Resultados con respuesta afirmativa de la pregunta 7

RESULTADO	PORCENTAJE %	CONTRATACIÓN DEL SERVICIO <i>TRIPLE PLAY</i>
5	14	Internet
3	8	Internet + Televisión
22	59	Internet + Telefonía fija + Televisión
0	0	Televisión
2	5	Telefonía fija + Televisión
1	3	Telefonía fija
4	11	Internet + Telefonía fija
37	100	Total

Finalmente, en la Figura 2.23 se corrobora que el 59% de los clientes interesados se acogen más a contratar el paquete con los tres servicios (Internet, Telefonía fija y Televisión) para su hogar. En consecuencia, se constata una predisposición a favor de *Triple Play* por parte de los clientes, quienes prefieren la integración de

servicios con un modelo de suscripción que les permita contar con mejores precios, una sola factura y entenderse con un solo proveedor.

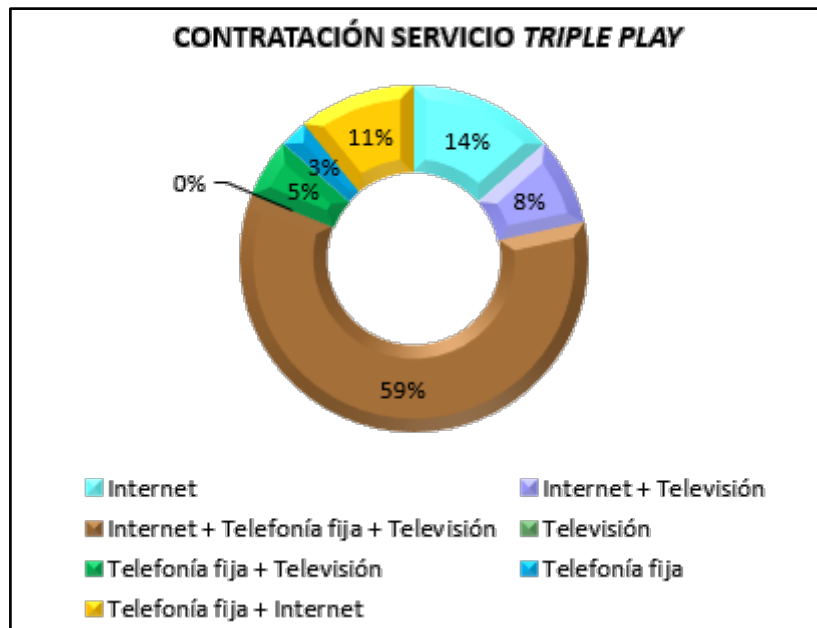


Figura 2.23 Porcentaje de contratación del servicio *Triple Play*

De tal manera, un aspecto importante a considerar para el diseño de la red es que se tenga un porcentaje elevado de aceptación del servicio *Triple Play*, debido a que esto significa que un gran número de los clientes del sector residencial están dispuestos a cambiar a sus proveedores actuales por otro que ofrezca este paquete convergente, como es la empresa Telconet S.A.

2.4.2.1.4 Análisis de la demanda insatisfecha

Al finalizar la tabulación de los resultados de las encuestas, se recopilieron datos sobre la penetración y satisfacción de los clientes con relación a los tres servicios que conforman el servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión). Por consiguiente, según el resultado obtenido en la pregunta 7, el 71% representa la demanda insatisfecha a cubrir.

Demanda Insatisfecha = 71%

Esta demanda insatisfecha significa que el 71% de la población total estudiada (112 clientes) equivalente a un aproximado de 80 clientes (71% de 112), se encuentran insatisfechos con los servicios que tienen contratado con el proveedor para ser

utilizados en su hogar. A su vez, este porcentaje del 71% representa el número de clientes a tomar en cuenta para iniciar el diseño de la red propuesta, y también con los que se espera contar una vez operativa la red de acceso.

Las circunstancias de insatisfacción pueden darse principalmente por la falta calidad de servicio, baja velocidad de transmisión, altos costos; o incluso no necesariamente puede ser por un servicio ineficiente brindado, sino únicamente por disponer comodidad en su hogar al tener al alcance los tres servicios con un mismo proveedor. Todo esto les conlleva a aceptar la existencia del servicio *Triple Play* en el sector residencial en donde viven.

2.4.2.1.5 Cálculo de la demanda del servicio Triple Play

La demanda proyectada del servicio *Triple Play* se determina primero calculando los datos estimados de la población en el sector residencial Balcón del Norte en los próximos 5 años. Este cálculo se realiza partiendo de una demanda efectiva actual de 112 clientes al 2017 y considerando la tasa de crecimiento (tc) poblacional en el área urbana del Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q) desde el 2017 hasta el 2022, debido a que el sector residencial se encuentra ubicado dentro de esta área.

Por tanto, según los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la tasa de crecimiento poblacional en el D.M.Q por cada período de 5 años es no lineal, siendo así de 1,8% entre el 2015 - 2020 y 1,7% entre el 2020 - 2025, tal como se observa en la Figura 2.24 [84].

PROYECCION DE LA POBLACION DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO POR QUINQUEÑOS SEGUN AREAS														
AREA	Poblacion Censo		Tasa de crecimiento demografico%	Incremento%	Proyeccion año y Tasa de Crecimiento(tc)									
	1990	2001			2005	tc	2010	tc	2015	tc	2020	tc	2025	tc
TOTAL DISTRITO	1,388,500	1,842,201	2.6	33	2,007,767	2.2	2,215,820	2.0	2,424,527	1.8	2,633,748	1.7	2,843,418	1.5
QUITO URBANO	1,105,528	1,397,698	2.2	26	1,504,991	1.9	1,640,478	1.7	1,777,978	1.6	1,917,995	1.5	2,060,904	1.4
DISPERSO URBANO	24,536	13,897	-5.0	-43	10,612	-6.5	7,803	-6.5	5,248	-7.2	3,404	-8.3	2,011	-10.0
SUBURBANO	258,436	430,606	4.8	67	492,163	3.4	567,740	2.9	641,305	2.5	712,349	2.1	780,504	1.8

Figura 2.24 Proyección de la población del Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q) [84]

Por siguiente, según el intervalo de años quinquenios, se considera que la población crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada periodo de tiempo. Entonces, para calcular la población estimada a 5 años, se utiliza la fórmula del Método Matemático de Crecimiento Geométrico representada por la Ecuación 2.3 [85] [86].

$$Df = Di (1 + tc)^n$$

Ecuación 2.3 Fórmula para calcular la proyección estimada de una población

Donde,

Df: Demanda final (por determinar).

Di: Demanda inicial (112 clientes).

tc: Tasa de crecimiento (1,8 % y 1,7%).

n: Intervalo de tiempo en años (5).

Reemplazando los respectivos datos en la Ecuación 2.3 se tiene:

▪ **Año 0:** 2017

$$Df = 112 (1 + 0,018)^0$$

$$Df = 112(1,0)$$

$$Df = 112$$

▪ **Año 1:** 2017 - 2018

$$Df = 112 (1 + 0,018)^1$$

$$Df = 112(1,018)$$

$$Df = 114,016 \cong 114$$

▪ **Año 2:** 2017 - 2019

$$Df = 112 (1 + 0,018)^2$$

$$Df = 112(1,036)$$

$$Df = 116,068 \cong 116$$

▪ **Año 3:** 2017 - 2020

$$Df = 112 (1 + 0,018)^3$$

$$Df = 112(1,055)$$

$$Df = 118,158 \cong 118$$

▪ **Año 4: 2017 - 2021**

$$Df = 112 (1 + 0,017)^4$$

$$Df = 112(1,069)$$

$$Df = 119,812 \cong 120$$

▪ **Año 5: 2017 - 2022**

$$Df = 112 (1 + 0,017)^5$$

$$Df = 112(1,088)$$

$$Df = 121,849 \cong 122$$

La Tabla 2.13 presenta el resultado de los valores obtenidos:

Tabla 2.13 Población estimada del sector a partir del año 2017

AÑO		TASA DE CRECIMIENTO (%)	POBLACIÓN ESTIMADA DEL SECTOR RESIDENCIAL
0	2017	1,8	112
1	2018	1,8	114
2	2019	1,8	116
3	2020	1,8	118
4	2021	1,7	120
5	2022	1,7	122

Finalmente, la demanda proyectada se determina obteniendo el 71% (demanda insatisfecha) del crecimiento de la población en el sector residencial, cuyos valores se presentan en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Demanda Proyectada del servicio *Triple Play*

AÑO		POBLACIÓN ESTIMADA DEL SECTOR RESIDENCIAL	% DEMANDA INSATISFECHA	DEMANDA PROYECTADA
0	2017	112	71	80
1	2018	114	71	81
2	2019	116	71	82
3	2020	118	71	84
4	2021	120	71	85
5	2022	122	71	87

Por tanto, la red de acceso GEPON debe tener la capacidad de cubrir la demanda del servicio *Triple Play* a 87 clientes existentes a los próximos 5 años; es decir al 2022. La Figura 2.25 representa el crecimiento de la demanda proyectada del servicio *Triple Play* en el sector residencial Balcón del Norte.



Figura 2.25 Crecimiento de la demanda proyectada del servicio *Triple Play*

2.4.2.2 Requerimiento de ancho de banda

Las redes GEAPON son redes multiservicios orientadas a implementar el servicio *Triple Play*, por lo que es importante establecer y asegurar anchos de banda para evitar el sobredimensionamiento de la red de acceso. Para esto, se determina el ancho de banda necesario que un cliente residencial podría solicitar para acceder al servicio *Triple Play*. Es así, que en la Tabla 2.15 se muestran los valores de ancho de banda tanto de subida como de bajada que requieren los tres servicios (Internet, Telefonía fija y Televisión) y de tal forma obtener el ancho de banda por cliente.

Tabla 2.15 Ancho de banda necesario por cliente para el servicio *Triple Play* [87] [88]

SERVICIO TRIPLE PLAY		ANCHO DE BANDA (Mbps)	
		SUBIDA	BAJADA
Internet	Acceso y Navegación	0,128 – 0,64	0,4 – 2,0
	Videoconferencia	0,384 – 1,5	0,384 – 1,5
	Juegos en línea	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
	Transferencia de archivos	0,128 – 0,512	1,0
Telefonía fija ⁹⁵	Digital (canales de voz digitalizada)	0,064 – 0,256	0,064 – 0,256
Televisión ⁹⁶	Canales SDTV	0,064 – 0,64	1,0 – 2,0
	Canales HDTV	0,64	7,0 – 8,0
TOTAL		3,408 – 7,188	11,848 – 17,768

⁹⁵ Si se usa el códec básico G.711, la tasa de bits será de 64 kbps, pero si se usan códecs más avanzados, esta tasa se puede reducir hasta los 4 kbps.

⁹⁶ Valores por cada canal de televisión utilizando el formato MPEG-4 (una mejora del MPEG-2) para la codificación/compresión de la señal del video.

El ancho de banda de subida es menor que el ancho de banda de bajada, ya que la mayoría de las actividades realizadas por los clientes requieren la descarga de datos de Internet.

Ahora bien, con respecto al estándar IEEE 802.3ah, un punto fundamental es la cantidad máxima de clientes por acceso GEPON, donde para este caso se tienen 64 clientes por cada puerto GEPON. Cada puerto tiene un *throughput*⁹⁷ de 1,25 Gbps (neto) que se comparte entre todos los clientes conectados a ese puerto. Por tanto, el ancho de banda (AB) por cliente tanto para subida (*upstream*) como para bajada (*downstream*) se calcula mediante la Ecuación 2.4.

$$AB = \frac{1,25 \text{ Gbps}}{64 \text{ clientes}} = 0,01953 \text{ Gbps/cliente} = 19,53 \text{ Mbps/cliente}$$

Ecuación 2.4 Cálculo del ancho de banda por cliente GEPON

Por consiguiente, en base a lo expuesto en la Tabla 2.15, los servicios de Internet, Telefonía fija y Televisión determinan un ancho de banda aproximado para cada uno de los clientes de 4,0 a 7,0 Mbps en subida y 12,0 a 18,0 Mbps de bajada, valores se encuentran por debajo del ancho de banda por cliente GEPON calculado anteriormente. Los respectivos valores se resumen en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Ancho de banda de subida y bajada por cliente GEPON

ANCHO DE BANDA GEPON (Gbps)		ANCHO DE BANDA POR CLIENTE (Mbps)
		1:64
<i>Upstream</i>	1,25	19,53
<i>Downstream</i>	1,25	19,53

En conclusión, se verifica que la demanda del ancho de banda requerido por los clientes es menor a la capacidad de la tecnología GEPON (19,53 Mbps), el cual garantiza que la red estará trabajando a un rendimiento óptimo para cada uno de los clientes.

⁹⁷ **Throughput:** Capacidad efectiva de transmisión de datos sobre un enlace (cantidad máxima de información permitida). Es un parámetro particular de calidad de servicio y que se utiliza para caracterizar la velocidad con que el usuario recibe o envía datos desde y hacia la red. Se expresa en bits por segundo (bps).

2.4.2.3 Capacidad necesaria de transporte

Para poder dimensionar el ancho de banda promedio que debería soportar la red de acceso para la transmisión del servicio *Triple Play* se debe tomar en cuenta el número de clientes y el ancho de banda requerido por cada uno. Por tanto, según el estudio de la proyección de la demanda se considera un total de 87 clientes, donde cada uno de ellos requiere un mínimo de 4,0 Mbps en subida y 12,0 Mbps en bajada al acceder a los servicios simultáneamente; con esta información la capacidad mínima de la red se determina mediante la Ecuación 2.5.

$$\text{Capacidad total}_{min} = 87 \times 4,0 \text{ Mbps} = \mathbf{348 \text{ Mbps}} \rightarrow \mathbf{Subida}$$

$$\text{Capacidad total}_{min} = 87 \times 12,0 \text{ Mbps} = \mathbf{1044 \text{ Mbps}} \rightarrow \mathbf{Bajada}$$

Ecuación 2.5 Cálculo de la capacidad mínima necesaria para la red GEPON

Estos valores corresponden a la capacidad de la red con un 100% de ocupación simultáneo, pero en la práctica estos valores se reducen aproximadamente a un máximo de 70%, debido a que no todos los clientes residenciales acceden simultáneamente y, sobre todo porque no usan todos los servicios en una misma proporción [89]. La respectiva justificación de este porcentaje se basa en el siguiente análisis con respecto al uso de los tres servicios (Internet, Telefonía fija y Televisión) en los hogares, donde todas las relaciones de proporcionalidad que se establecen son directas.

2.4.2.3.1 Servicio de Internet

 						
INDICADORES DE ACCESO Y USO TIC						
Indicadores que evalúan el acceso y uso, de los hogares y personas, a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)						
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) / Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo ENEMDU						
Periodo: 2009 - 2017						
INDICADOR	TIPO	ACCESO	GRUPO DE DESAGREGACIÓN	NIVEL	AÑO	ESTIMADOR
% personas que usan el Internet con mayor frecuencia en hogares	Uso	Personas	Geográfico	Nacional	2017	57,19%

Figura 2.26 Uso del Internet en hogares del Ecuador [90]

Al considerar que de los tres servicios se usa solo el Internet. Según los datos del INEC del 2009 al 2017, a nivel nacional el 57,19% de las personas usan el Internet con mayor frecuencia en los hogares, como se observa en la Figura 2.26 [90].

De tal forma, la capacidad mínima requerida para el uso del servicio de Internet se calcula por medio de la Ecuación 2.6.

$$Capacidad_{min} = \frac{1 \text{ servicio} \times 57,19\%}{3 \text{ servicios} \times 100\%} \times 348 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 0,1906 \times 348 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 66,328 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida}$$

$$Capacidad_{min} = \frac{1 \text{ servicio} \times 57,19\%}{3 \text{ servicios} \times 100\%} \times 1.044 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 0,1906 \times 1.044 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 198,986 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Bajada}$$

Ecuación 2.6 Cálculo de la capacidad mínima para el uso de Internet

2.4.2.3.2 Servicio de Telefonía fija

Al considerar que de los tres servicios se usa solo la Telefonía fija o convencional. Según la ARCOTEL del 2006 a octubre del 2017, la densidad nacional de líneas telefónicas fijas es de 14,49%, lo que se deduce que este servicio ya no se usa con mayor frecuencia en los hogares [91].

MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN		INDICADORES DE ACCESO Y USO TIC			TIC Observatorio	
Indicadores que evalúan el acceso y uso, de los hogares y personas, a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)						
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) / Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo ENEMDU						
Periodo: 2009 - 2017						
INDICADOR	TIPO	ACCESO	GRUPO DE DESAGREGACIÓN	NIVEL	AÑO	ESTIMACIÓN
% hogares con línea telefónica	Acceso	Hogares	Geográfico	Nacional	2017	36,95%
% hogares con telefonía celular	Acceso	Hogares	Geográfico	Nacional	2017	90,66%

Figura 2.27 Usuarios con línea telefónica en hogares del Ecuador [90]

Además, con los datos obtenidos del INEC al parecer los hogares han sustituido la telefonía fija (36,95%) por la telefonía celular (90,66%), debido a las facilidades que presenta este servicio, como se indica en la Figura 2.27 [90]. De acuerdo con esto, al no disponer de datos exactos del uso de la telefonía fija en los hogares, en el peor de los casos se estima que solo una cuarta parte de 36,95% (9,24%) acceden o usan este servicio, entonces la capacidad de este servicio se calcula con la Ecuación 2.7.

$$Capacidad_{min} = \frac{1 \text{ servicio} \times 9,24\%}{3 \text{ servicios} \times 100\%} \times 348 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 0,0308 \times 348 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 10,718 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida}$$

$$Capacidad_{min} = \frac{1 \text{ servicio} \times 9,24\%}{3 \text{ servicios} \times 100\%} \times 1.044 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 0,0308 \times 1.044 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 32,155 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Bajada}$$

Ecuación 2.7 Cálculo de la capacidad mínima para el uso de la Telefonía fija

2.4.2.3.3 Servicio de Televisión

Al considerar que de los tres servicios se usa solo la Televisión. Según la CORDICOM⁹⁸ en una investigación en el 2015, a nivel nacional el 25% de los jóvenes son los que ven más de 2 horas al día la televisión en los hogares, como se muestra en la Figura 2.28 [92].

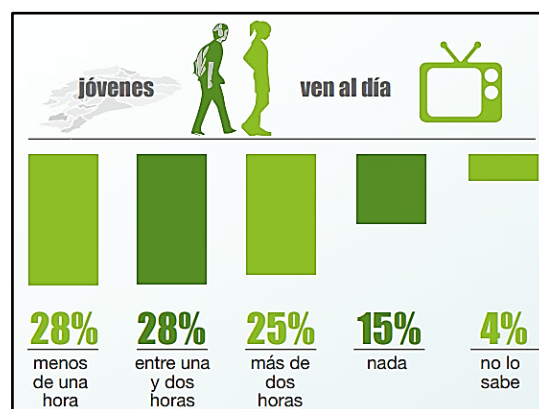


Figura 2.28 Uso de la televisión en hogares del Ecuador [92]

⁹⁸ CORDICOM: Consejo de Regulación y Desarrollo de la Información y Comunicación del Ecuador.

Entonces, la capacidad mínima requerida para el uso del servicio de la Televisión se calcula por medio de la Ecuación 2.8.

$$Capacidad_{min} = \frac{1 \text{ servicio} \times 25\%}{3 \text{ servicios} \times 100\%} \times 348 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 0,083 \times 348 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 28,884 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida}$$

$$Capacidad_{min} = \frac{1 \text{ servicio} \times 25\%}{3 \text{ servicios} \times 100\%} \times 1.044 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 0,083 \times 1.044 \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 86,652 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Bajada}$$

Ecuación 2.8 Cálculo de la capacidad mínima para el uso de la Televisión

Por tanto, la capacidad mínima de la red al usar simultáneamente los tres servicios viene dada por la Ecuación 2.9.

$$Capacidad_{min} = (66,328 + 10,718 + 28,884) \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 105,930 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida}$$

$$Capacidad_{min} = (198,986 + 32,155 + 86,652) \text{ Mbps}$$

$$Capacidad_{min} = 317,793 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida}$$

Ecuación 2.9 Cálculo de la capacidad mínima con uso simultáneo de *Triple Play*

Finalmente, con la Ecuación 2.10 se determina el porcentaje al que se reduce la capacidad total mínima de la red con el 100% de ocupación simultánea de los tres servicios.

Así pues, queda demostrado que en la práctica la capacidad de la red con un 100% de ocupación simultánea se reduce aproximadamente a un máximo de **70%**, por las razones previamente mencionadas.

$$Capacidad_{min}(\%) = \left(100 - \frac{105,930 \text{ Mbps}}{348 \text{ Mbps}} \times 100\right) \%$$

$$Capacidad_{min}(\%) = 69,561 \% \cong 70\% \rightarrow \textit{Subida}$$

$$Capacidad_{min}(\%) = \left(100 - \frac{317,793 \text{ Mbps}}{1.044 \text{ Mbps}} \times 100\right) \%$$

$$Capacidad_{total_{min}}(\%) = 69,561\% \cong 70\% \rightarrow \textit{Bajada}$$

Ecuación 2.10 Cálculo del porcentaje de reducción de la capacidad de la red

2.4.2.3.4 *Compartición del canal*

En el caso de que Telconet S.A. desee sacar el mejor provecho a las inversiones que realiza con el servicio de Internet para el mercado Residencial, podría aplicar el reuso, el mismo que se refiere a la capacidad de compartir el canal contratado con otros clientes sin sacrificar de manera fuerte la calidad de servicio. Esta alternativa del reuso puede ser aplicable al asumir que no todos los clientes requieren la máxima velocidad y cantidad de datos simultáneamente. Aun cuando todos puedan estar conectados de manera indefinida y simultánea.

Por tanto, tomando en cuenta el servicio *Triple Play*, solo el Internet es el que podría compartir el canal de transmisión. Entonces, con el propósito de hacer uso simultáneo de este canal, algunos proveedores de Internet comercializan el servicio con compartición 8 a 1 (8:1) generalmente para planes residenciales. Esto quiere decir que el ancho de banda puede ser compartido con hasta ocho clientes que se encuentren en el mismo lugar o sector a la vez [93].

$$Capacidad_{Internet_{min}}(8:1) = \frac{87 \text{ clientes} \times 2,64 \text{ Mbps}}{8 \text{ clientes}}$$

$$Capacidad_{Internet_{min}}(8:1) = 28,710 \text{ Mbps} \rightarrow \textit{Subida}$$

$$Capacidad_{Internet_{min}}(8:1) = \frac{87 \text{ clientes} \times 3,784 \text{ Mbps}}{8 \text{ clientes}}$$

$$Capacidad_{Internet_{min}}(8:1) = 41,151 \text{ Mbps} \rightarrow \textit{Bajada}$$

Ecuación 2.11 Cálculo de la compartición 8:1 del canal de Internet

El cálculo de la capacidad mínima para la relación de compartición 8:1 del canal de Internet se realiza mediante la Ecuación 2.11. De esta manera, para conocer el ancho de banda requerido para el acceso a internet se considera el número total de usuarios para el cual se dividirá el canal. Para esto, se toma como base la Tabla 2.15, donde solo para el servicio de Internet el ancho de banda mínimo requerido es de 2,64 Mbps de subida y 3,784 Mbps de bajada.

Sin embargo, en el caso de que se requiera garantizar un acceso eficiente a Internet, es importante considerar una compartición de 2:1, ya que mientras menos clientes existan usando el mismo ancho de banda, la velocidad de la conexión no decrecerá cada vez más. No obstante, en cuanto al costo de contratación comercial de este servicio sería mayor [93]. La capacidad mínima bajo esta compartición se calcula con la Ecuación 2.12.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad Internet}_{min}(2:1) &= \frac{87 \text{ clientes} \times 2,64 \text{ Mbps}}{2 \text{ clientes}} \\ \text{Capacidad Internet}_{min}(2:1) &= 114,84 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida} \\ \\ \text{Capacidad Internet}_{min}(2:1) &= \frac{87 \text{ clientes} \times 3,784 \text{ Mbps}}{2 \text{ clientes}} \\ \text{Capacidad Internet}_{min}(2:1) &= 164,604 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Bajada} \end{aligned}$$

Ecuación 2.12 Cálculo de la compartición 2:1 del canal de Internet

Cabe indicar que Telconet S.A. provee la relación de compartición 1:1 solo con el servicio de Internet dedicado de fibra óptica para el mercado corporativo, brindando el mismo ancho de banda tanto de subida como de bajada para todos los clientes que se encuentren conectados. En cambio, con respecto a la compartición 2:1 por lo general ofrece con el servicio de Internet para el mercado residencial en cada uno de sus planes por medio de la empresa aliada Netlife.

Por consiguiente, de acuerdo con el estándar IEEE 802.3ah la capacidad permitida por cada puerto GEPON (19,53 Mbps), cubrirá la demanda del servicio *Triple Play* en el sector residencial Balcón del Norte, pero considerando también la arquitectura de red seleccionada.

2.4.3 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Para realizar el diseño, se debe cumplir con una serie de requisitos fundamentales para el funcionamiento de la red de acceso en la empresa Telconet S.A., los mismos que se describen a continuación:

- ❖ Acatar las normativas y recomendaciones sobre el modelo de despliegue de redes FTTH/xPON que permitan cumplir los requerimientos exigidos por la empresa para su viabilidad a la hora de una futura implementación.
- ❖ El ancho de banda máximo del enlace disponible para un usuario FTTH estará acorde al estándar IEEE 802.3ah GEPON; el cual señala un ancho de banda de 1,25 Gbps dividido por el *splitter* (máximo 1:64).
- ❖ La red de acceso deberá estar preparada para soportar al menos dos etapas de división (*splitter*), pero lo suficientemente bien distribuida como para no sobrepasar el nivel de pérdida de potencia de la señal óptica.
- ❖ El índice de penetración de usuarios a la red de acceso con el servicio *Triple Play*, dependerá del estudio de la demanda realizado y de la capacidad de transporte para el servicio.
- ❖ Telconet S.A. se encargará de facilitar sus recursos en la central principal, debido a que el diseño se realizará desde el OLT hasta el cliente final, el cual debe soportar todos los servicios que prestará (*Triple Play*).
- ❖ La red de acceso final deberá cubrir el porcentaje de viviendas que Telconet S.A. defina, independientemente de si optan o no por los servicios prestados por la empresa.
- ❖ En la medida de lo posible, se aprovechará la infraestructura existente (postación, canalizaciones, etc.), minimizando el impacto que supone la realización de obras civiles a nivel de costos.

2.4.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE DISEÑO

Los siguientes requerimientos técnicos por considerar se basan tanto de las recomendaciones propias del estándar GEPON como de los que impone la empresa para el diseño de la red:

- ❖ Estudio de la demanda.
- ❖ Localización del área geográfica.

- ❖ Determinación de la topología de la red.
- ❖ Selección de la ruta.
- ❖ Descripción de los nodos.
- ❖ Selección y tendido de la fibra óptica.
- ❖ Análisis de tráfico.
- ❖ Cálculos de parámetros del enlace óptico.
- ❖ Selección y ubicación de los equipos.

2.4.5 CRITERIOS DE DISEÑO

La red de acceso con tecnología GEPON debe cumplir con ciertos criterios de diseño con el propósito de ampliar la red de fibra óptica de Telconet S.A, los cuales se detallan a continuación:

- ❖ La red debe ser capaz de integrarse a la red MPLS que actualmente conforma el *backbone* de Telconet S.A. y de soportar servicios como: *Ethernet, Gigabit Ethernet, TDM*.
- ❖ El nuevo modelo de red debe ser escalable y flexible; es decir que debe adaptarse al tipo de servicio al cual es diseñado, además que pueda ir incrementando su capacidad de red sin necesidad de realizar cambios exigentes en la misma.
- ❖ La red debe ser manejable, contar con equipos de gestión y monitoreo constante para asegurar la estabilidad de la red.
- ❖ La selección de equipos y su ubicación debe basarse en un estudio del área a cubrir y la demanda de ésta.
- ❖ La capacidad de la red debe adaptarse a las necesidades actuales y futuras de tráfico, que garantice calidad de servicio a los clientes optimizando costos y recursos de inversión.

2.5 DISEÑO DE LA RED DE ACCESO GEPON

2.5.1 ANTECEDENTES

Actualmente, en el sector residencial Balcón del Norte la red de acceso con tecnología GEPON no existe, por lo que no todos los clientes o usuarios conocen las ventajas de disponer servicios con un medio de transmisión tan eficiente como es la fibra óptica hasta sus hogares.

Por esta razón, en este apartado se desarrolla el diseño de la red de acceso de alto desempeño para brindar el servicio *Triple Play*, bajo una solución de nueva generación como es la familia FTTx (*Fiber To The x*) que fue mencionada en el Capítulo 1.

El diseño obedece al estándar IEEE 802.3ah, donde se describe las características necesarias de la fibra óptica y de los equipos conexos que forman parte de la red GEPON y, además, se especifica la forma de conexión de la red de acceso al *backbone* de Telconet S.A. en base al tendido y distribución de los componentes ópticos. El *software* utilizado para el desarrollo del diseño es el AutoCAD, donde se realizan los planos correspondientes; el cual, para empezar, se debe poseer una fuente de información confiable y verdadera acerca de datos geo-referenciados, planimetría, planos de lotizaciones y vías.

2.5.2 TRAZADO DE LA TOPOLOGÍA DE RED A DISEÑAR

La Figura 2.29 despliega el trazado general de la red de acceso con los diferentes componentes que se utilizará en el diseño, enfocándose en el sector residencial Balcón del Norte para cubrir la demanda de sus clientes residenciales que requieran el servicio *Triple Play* a un gran ancho de banda. Como se puede observar se utilizarán equipos activos como el OLT (*Optical Line Terminal*) ubicado en el nodo u oficina central de equipos, y el ONT (*Optical Network Terminal*) situado en la casa de los clientes y es el que presentará las interfaces de conexión hacia los dispositivos con los cuales se usarán los servicios de Internet, Telefonía fija y Televisión.

Por otro lado, se tiene la ODN (*Optical Distribution Network*), la misma que corresponde a la parte pasiva de la red, donde se utilizará elementos pasivos de ramificación óptica, como son los divisores ópticos o *splitters*, de los cuales saldrán los hilos de fibra óptica hacia cada cliente final. La señal óptica prácticamente será transmitida desde el OLT, luego dividida al pasar por los *splitters* y finalmente será transmitida a los ONTs; el trayecto de conexión será por medio de fibra óptica. La distancia máxima alcanzable entre el OLT y el ONT será de 20 km, debido a que el alcance de la señal óptica estará restringido por las características de potencia de los equipos terminales.

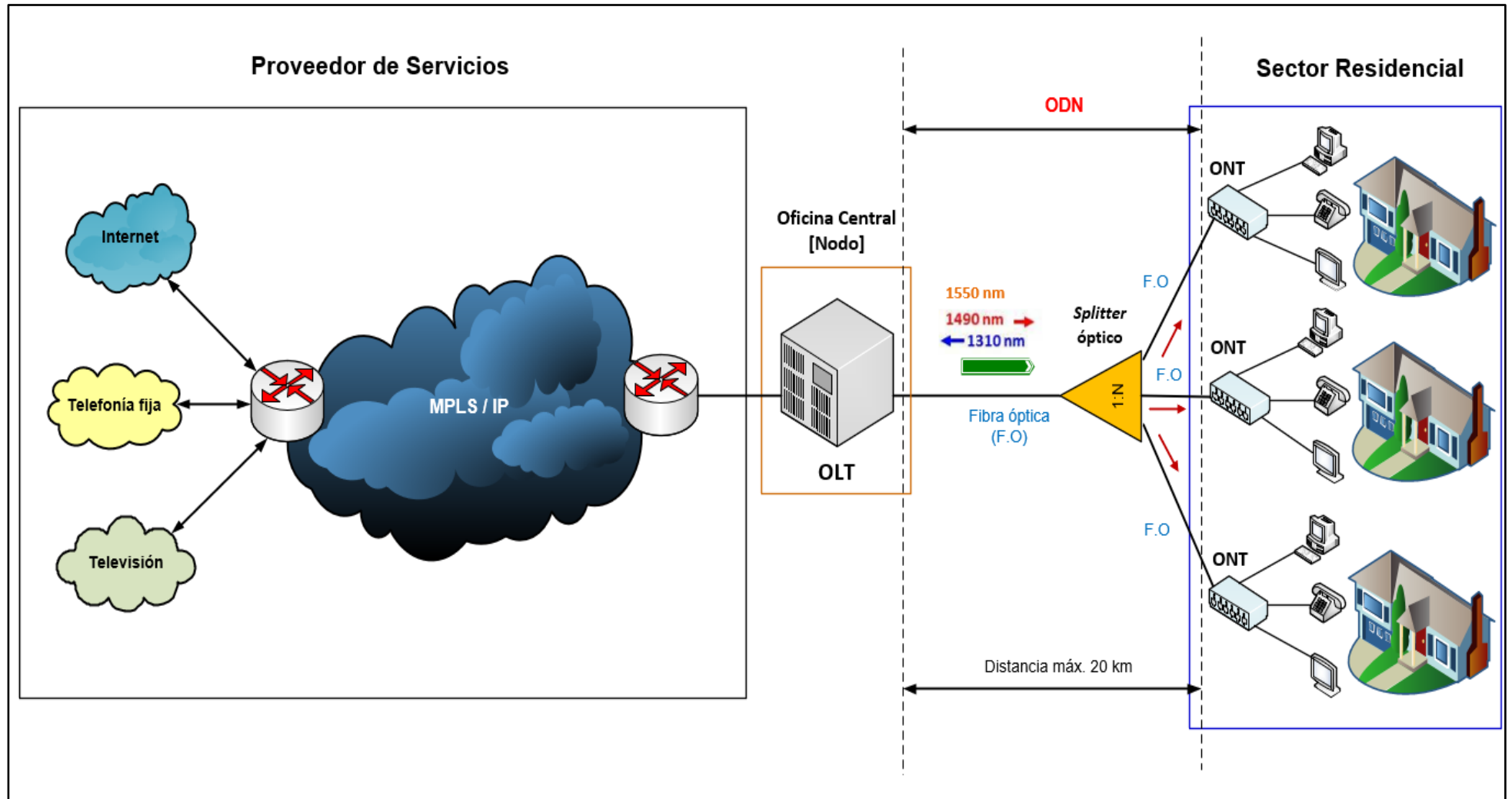


Figura 2.29 Trazado lógico de la red de acceso a diseñarse para proveer el servicio *Triple Play*

Principalmente, será un diseño de topología tipo árbol de arquitectura FTTH GEPON, cuyas recomendaciones para este tipo de arquitectura se tomará del estándar IEEE 802.3ah. La UIT dentro de sus publicaciones presenta un resumen de dicho estándar, el mismo que se presenta en el [ANEXO F](#) [94].

2.5.2.1 Topología de red

La topología de red fundamentalmente es la forma en que los dispositivos de *hardware* y todos los enlaces están conectados; es decir se refiere a la forma en que está diseñada la red. Por tal motivo, las redes PON permiten implementar varios tipos de topologías de conexión punto-multipunto (P2MP) adecuadas para una red de acceso, las mismas que dependen y se usan de acuerdo con la situación del sector, pudiendo ser éstas del tipo: árbol, anillo o bus.

Sin embargo, para el diseño de la red se decide utilizar la topología tipo árbol porque es considerada a nivel estructural como la mejor entre las redes ramificadas, ya que permite crear una estructura casi ilimitada facilitando el crecimiento de la red. Por tal razón, esta topología es la más utilizada y recomendada para desplegar redes de forma más sencilla y flexible. Así que con la utilización de esta topología se pretende abarcar los 87 clientes obtenidos en la proyección de la demanda para los próximos 5 años.

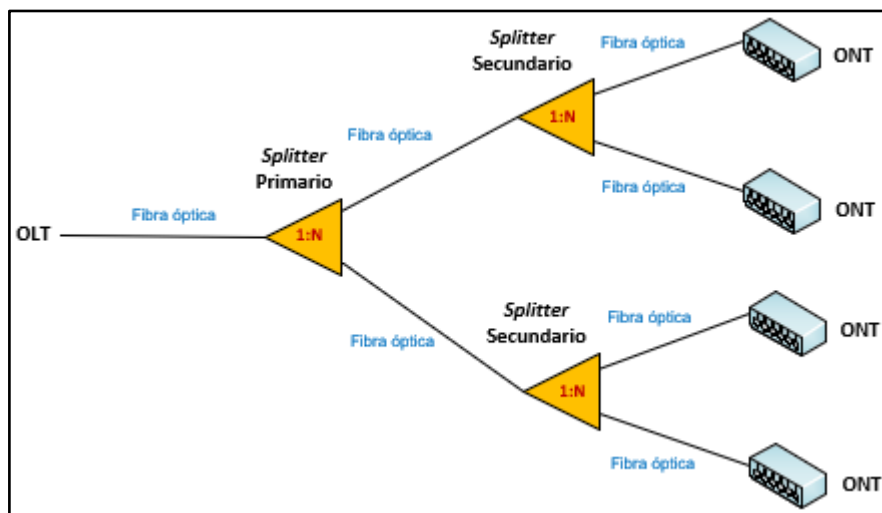


Figura 2.30 Topología de red tipo árbol

Como se observa en la Figura 2.30 la topología tipo árbol puede ser instalada sin inconvenientes usando divisores ópticos 1:N para conectar el OLT con los ONTs.

En esta disposición los *splitters* secundarios de menor jerarquía o de segundo nivel de división van conectados a los *splitters* primarios mediante fibra óptica; los mismos que también deben ser dimensionados dependiendo de la necesidad de expansión de cobertura.

2.5.2.2 Tecnología de red

Tabla 2.17 Características de la tecnología GEPON [95] [96]

CARACTERÍSTICAS	GEPON
Estándar	IEEE 802.3ah
Protocolo nivel 2	<i>Ethernet</i> y TDM
Velocidad de línea	1,25 ⁹⁹ Gbps – <i>Downstream</i> 1,25 Gbps – <i>Upstream</i>
Longitud de onda	1490 nm - <i>Downstream</i> (voz y datos IP) 1550 nm (video RF ¹⁰⁰) 1310 nm – <i>Upstream</i>
Alcance máximo de fibra	20 km
Razón de división máxima	1:32; 1:64
Tamaño de paquetes de datos	1.518 bytes
Codificación de línea	8B/10B ¹⁰¹
Estándares ópticos físicos	1000BASE-PX10 / 1000BASE-PX20 ¹⁰²
Tipo de fibra	Monomodo Estándar UIT G.652
Tipo de láser	Clase B o C
Eficiencia	98,92% - <i>Downstream</i> 97,13% - <i>Upstream</i>
Capacidad ascendente para tráfico IP	< 900 Mbps
Gestión y mantenimiento del enlace	<i>Ethernet</i> OAM (Operación, Administración y Mantenimiento); SNMP ¹⁰³
Seguridad en descendente	DES ¹⁰⁴
Compatibilidad con fabricantes	Permite

⁹⁹ GEPON ofrece un ancho de banda simétrico nominal de 1 Gbps y 250 Mbps para la codificación 8B/10B completando así la velocidad de línea de 1,25 Gbps.

¹⁰⁰ **Video RF:** Señal en la que tanto las señales de video y audio son transmitidas por un único canal, adicionalmente son moduladas en radiofrecuencia.

¹⁰¹ **8B/10B:** Consiste en sustituir cada octeto (8 bits) por un código de 10 bits mediante un algoritmo especial basado en tablas de conversión, diseñadas de forma que cada palabra contenga aproximadamente la misma cantidad de ceros y unos.

¹⁰² **1000BASE-PX10/1000BASE-PX20:** Especificaciones de IEEE 802.3 de la capa física para un enlace punto a multipunto de 1000 Mbps a través de una fibra óptica monomodo con un alcance de hasta 10 km y 20 km respectivamente.

¹⁰³ **Simple Network Management Protocol:** Es un protocolo simple de gestión que opera en la capa de aplicación para facilitar el intercambio de información de administración entre los dispositivos de una red. La gestión se realiza a nivel de IP, por lo que se pueden controlar dispositivos que estén conectados en cualquier red accesible desde Internet, y no únicamente aquellos localizados en la propia red local. De tal forma, permite a los administradores supervisar el funcionamiento de la red, diagnosticar y resolver problemas.

¹⁰⁴ **Data Encryption Standard:** Algoritmo de Encriptación Estándar es un algoritmo de cifrado que utiliza bloques de datos de 64 bits y clave de 56 bits. No es suficientemente seguro, pues es vulnerable al ataque por fuerza bruta, lográndose, por ejemplo, romper su seguridad en 24 horas. DES está siendo remplazado por el AES.

Para el despliegue del diseño se plantea el uso de la tecnología GEPON por ser eficiente, rentable e ideal para ofrecer el servicio *Triple Play*. En la Tabla 2.17 se muestran las principales características de esta tecnología.

2.5.2.3 Arquitectura de red

De las arquitecturas de redes de acceso sobre fibra óptica FTTx, para el diseño se opta por la arquitectura FTTH (*Fiber To The Home*) porque utiliza en toda la trayectoria fibra óptica hasta la casa del cliente residencial y por presentar las siguientes características [97] [98]:

- Alta velocidad de transmisión (> 1,0 Gbps).
- Transmisión bidireccional.
- Tasa de datos simétrica.
- Acceso con una sola fibra.
- Mayor cobertura de usuarios por fibra (> 64).
- Mayor alcance de usuarios en kilómetros (20 km).
- Alta capacidad de actualización.
- Manejo del sistema centralizado.
- Asignación dinámica de recursos.
- Distribución de servicios avanzados (*Triple Play*).

La Figura 2.31 muestra en forma general la arquitectura de red FTTH con un equipo central o nodo para la distribución de los servicios a un determinado número de usuarios residenciales [99].

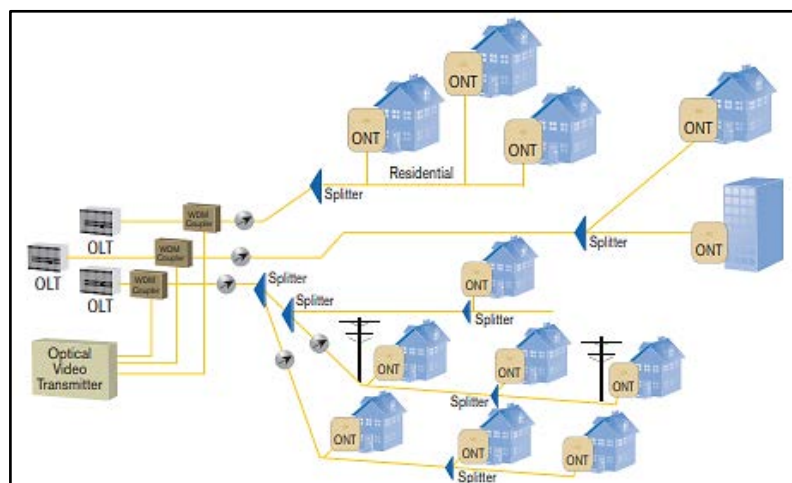


Figura 2.31 Esquema general de la arquitectura de red FTTH [99]

2.5.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SECTOR RESIDENCIAL

El sector residencial Balcón del Norte es un conjunto cerrado que geográficamente se encuentra ubicado en la zona norte del Distrito Metropolitano de Quito con coordenadas de Latitud $0^{\circ}05'43.27''\text{S}$ y Longitud $78^{\circ}29'08.15''\text{O}$, limitado al Noreste por la Av. Mariscal Sucre (Av. Occidental) y al Suroeste por la Av. Manuel Córdova Galarza. Referencialmente está situado cerca del Centro Comercial El Condado *Shopping* y, en dirección hacia la Parroquia urbana de Carcelén entre la intersección de la Av. Mariscal Sucre y la Av. Diego Vásquez de Cepeda se encuentra su entrada de acceso principal, tal como se observa en la Figura 2.32 y Figura 2.33.



Figura 2.32 Entrada principal al sector residencial Balcón del Norte

2.5.4 DIVISIÓN DEL SECTOR RESIDENCIAL

De acuerdo con la proyección de demanda, donde se determinó un total de 87 clientes posibles o potenciales, se decidió dividir al sector residencial únicamente en dos áreas con el propósito de poder realizar una buena distribución de los elementos de red en el diseño, a fin de brindar altas velocidades de transmisión y calidad de servicio *Triple Play* a los clientes.



Figura 2.33 Ubicación geográfica del sector residencial Balcón del Norte [100]

Por consiguiente, como una red de acceso GEPON permite tener en su arquitectura grupos de usuarios finales de 32 o 64 dentro de sus equipos activos en cada uno de sus segmentos a una distancia máxima de 20 km; entonces en cada área se podrá agrupar de forma equitativa un máximo de 64 clientes finales (64 ONTs) por segmento de red GEPON (OLT) para facilidad de diseño y administración de la red, debido a que se considera que en cada área existirá diferente nivel de demanda de servicios. La Tabla 2.18 indica la respectiva distribución de los clientes, del cual se partirá el diseño de la red de acceso GEPON.

Tabla 2.18 División del sector residencial Balcón del Norte

SECTOR RESIDENCIAL BALCÓN DEL NORTE	
DISTRIBUCIÓN	N.º CLIENTES
Área 1	46
Área 2	41
Total	87

La Figura 2.34 presenta en AutoCAD el sector residencial Balcón del Norte con cada una de sus dos respectivas áreas.

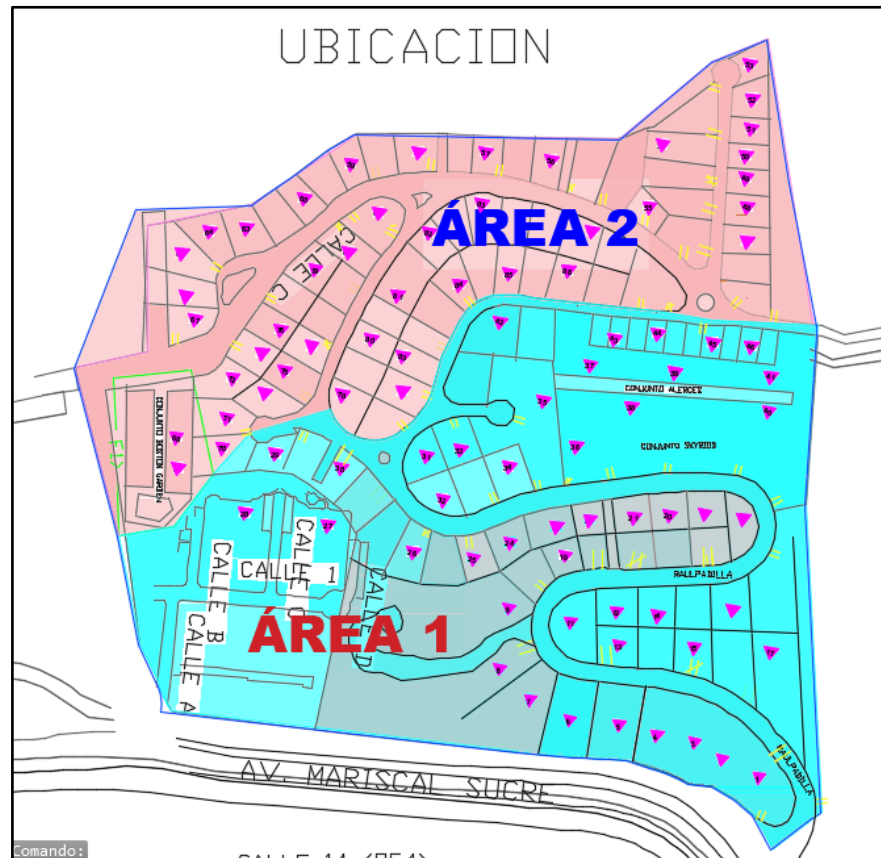


Figura 2.34 Áreas del sector residencial Balcón de Norte [101]

En el **ANEXO G** se presenta el plano del sector residencial Balcón del Norte dividido en las dos áreas respectivas con el número de clientes que abarca cada una.

2.5.5 DETERMINACIÓN DE LOS NODOS

Los nodos son determinados según las cercanías del sector del cual se proyecta el diseño y deben ser aquellos que permitan desplegar de la mejor forma el tendido de la red de acceso.

Para determinar la mejor opción del nodo para el diseño propuesto, se analiza el alcance de dos ramales hacia el sector residencial, donde el primer ramal parte del nodo Ponce ubicado en el sector de Ponciano y se extiende por la Av. Diego Vásquez de Cepeda hasta llegar a la caja de distribución UIO-Bodega 1-Ruiz 1/Ponce 1 (la caja se direcciona hacia el nodo Ruiz), y su distancia es de 1,29 km.

Con respecto al segundo ramal parte del nodo Ruiz ubicado en el sector de Carcelén y se extiende por las calles Francisco Del Campo, Alberto Einstein y Juan Ramón Jiménez hasta tomar nuevamente la Av. Diego Vásquez de Cepeda y después llegar a la misma caja de distribución con una distancia de 2,65 km (Ver Figura 2.35).

De acuerdo con las distancias de los nodos, para el diseño se considera como mejor opción el nodo estándar Ponce porque es uno de los nodos que forma parte del anillo (pétalo) más próximo al sector residencial, presentando de este modo un mejor radio de cobertura al mismo y finalmente por contar con el espacio suficiente para la instalación de nuevos equipos. Es así como, a partir de este nodo se desplegará el tendido de la red de acceso por medio de otra caja de distribución CONJ.BALCON DEL NORTE-CB4 que alimenta al interior del sector residencial.

La Tabla 2.19 presenta las coordenadas de los dos nodos Ponce y Ruiz con sus respectivas distancias.

Tabla 2.19 Coordenadas de los nodos Ponce y Ruiz [100]



NODO		DISTANCIA (km)	UBICACIÓN	COORDENADAS	
				LATITUD	LONGITUD
	PONCE	1,29	Cotocollao	0° 6'17.55"S	78°29'2.05"O
	RUIZ	2,65	Carcelén	0° 5'20.35"S	78°28'32.06"O



Figura 2.35 Conexión entre nodos Ponce y Ruiz [100]

Los nodos estándar están ya ubicados estratégicamente en cada sector, donde se llegan con un enlace principal y un enlace de respaldo o *backup* de fibra óptica punto-punto (P2P) con capacidad suficiente para cubrir el tráfico circundante actual en dichos sectores. La ubicación de los nodos se realiza de manera que el tendido de fibra óptica no sobrepase de 4 km a 5 km entre nodos estándar, esto con la finalidad que se realice la mejor cobertura cuando se trabaja en la construcción de la red de *backbone* Urbano con sus cajas de distribución. Por tal razón, la distancia entre los dos nodos es de 3,94 km.

Cabe mencionar, que entre los dos nodos estándar Ponce y Ruiz se presentan conexiones redundantes. La redundancia¹⁰⁵ entre estos dos nodos es un factor muy importante porque en caso de falla de unos de los dos nodos, inmediatamente el otro tendría que ocupar su lugar y realizar sus funciones, siendo capaz de recuperarse del problema de forma eficiente, afectando lo menos posible al servicio.

En cada nodo estándar se tiene:

- *Rack* de 48 Unidades de *Rack* (*Rack Unit*, RU).
- ODF para ruta de *backbone* Urbano.
- ODF para *splitter* de primer nivel.
- Equipos OLTs.
- Alimentación eléctrica.
- Respaldo eléctrico.
- *Switch* Cisco Catalyst 3560.

Principalmente, son nodos de la capa de acceso que forman parte del pétalo Bodega UIO, el mismo que depende del nodo principal *Data Center* de la capa de distribución. Los equipos instalados deben tener la capacidad de administración y monitoreo remoto, así también la capacidad de integrarse a la red MPLS/IP que actualmente conforma el *backbone* de Telconet S.A. La Figura 2.36 presenta dichos nodos a nivel de capa 2.

¹⁰⁵ La redundancia, está ligada a la alta disponibilidad, donde hace referencia a nodos completos que están replicados o componentes de éstos, así como caminos u otros elementos de la red que están repetidos y que una de sus funciones principales es ser utilizados en caso de que haya una caída del sistema o fallo en la red.

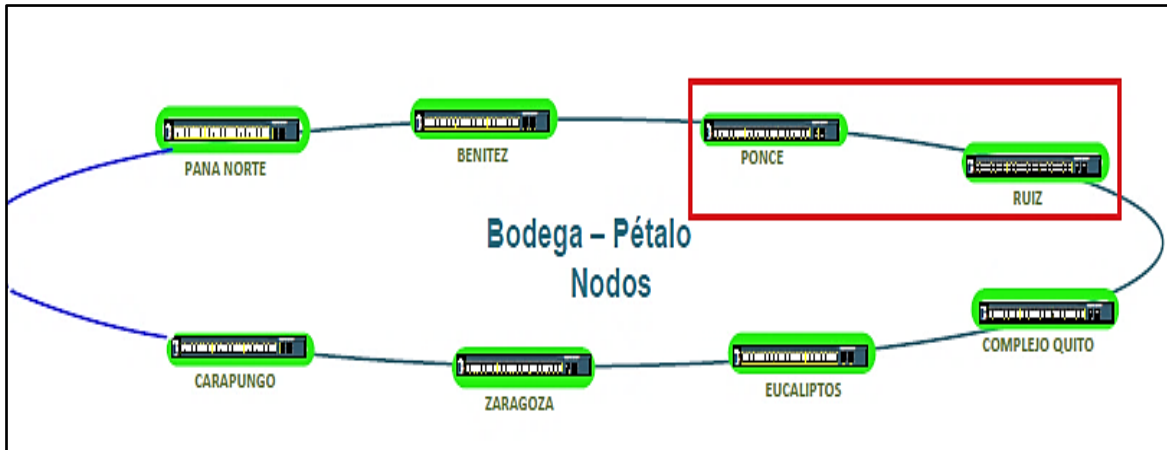


Figura 2.36 Pétalo Bodega UIO con los Nodos Ponce y Ruiz [76]

2.5.6 SELECCIÓN DE LA RUTA

2.5.6.1 Aspectos por considerar

Al momento de realizar la selección de la ruta de cables de fibra óptica se debe considerar algunos aspectos que se citan a continuación:

- ❖ Escoger una ruta cercana a los sitios que se va a dar servicio, que permita optimizar recursos, ya sea en el tendido de fibra óptica, materiales, equipos, etc.
- ❖ Evitar separaciones muy extensas entre los terminales, ya que al producirse implica la colocación de equipos intermedios en la ruta a seguir.
- ❖ Tomar en cuenta los factores ambientales en el camino de la ruta, ya que para realizar trabajos con fibra óptica se necesita un buen ambiente ya sea libre de polvo, agua, entre otros factores externos.
- ❖ Evitar trayectos peligrosos considerando las no linealidades de las calles, avenidas y hasta ciertos obstáculos que se presenten, evitando así accidentes del personal de instalación y también para realizar mantenimiento de esta.

2.5.6.2 Análisis de la ruta

A nivel de planta externa, la selección de la ruta por donde se realizará el tendido de cables de fibra óptica es un parámetro muy importante para tener un buen diseño de la red GEPON, ya que bajo este escenario la ruta debe converger con la localización de los clientes que posee la empresa, y además a futuro permitir expandir la red de forma ordenada sin tener problemas de estructuramiento y evitando realizar un nuevo tendido de cables de fibra óptica por el mismo lugar.



Figura 2.37 Ruta FO del nodo Ponce hasta entrada sector residencial [100]

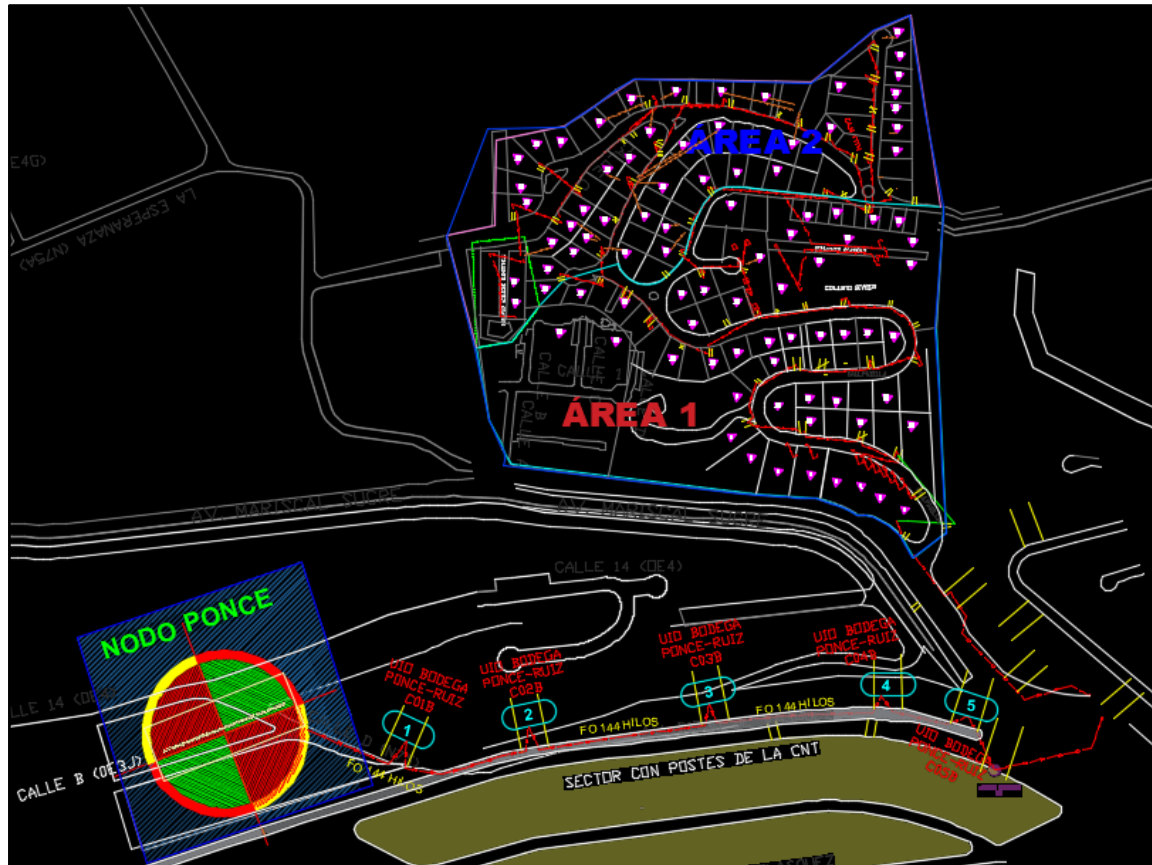


Figura 2.38 Ruta FO hacia el interior del sector residencial [101]

El tendido de red será de tipo aéreo, donde la disponibilidad de postes y la geografía en el sector, conlleva a verificar cuál es la ruta más idónea y la localización más favorable para el tendido de cables de fibra óptica. De tal manera, la ruta seleccionada necesariamente tendrá que utilizar la postería de propiedad de la Empresa Eléctrica Quito S.A (EEQ), siendo una de las ventajas de trabajar en la ciudad de Quito donde la mayoría de las zonas urbanas constan de postería. Por aquello, Telconet S.A. ya mantiene un contrato por uso de este tipo de infraestructura, y si se decide implementar este proyecto se deberá modificar el contrato vigente por la utilización de una mayor cantidad de postería.

De acuerdo a lo indicado, la ruta para el tendido de cables de fibra óptica a seguir prácticamente estará comprendida desde el nodo Ponce hacia el interior del sector residencial abarcando cada una de las dos áreas para la conexión a los respectivos clientes finales, como se observa en la Figura 2.37 y Figura 2.38.

En el [ANEXO H](#) se presenta el plano de la ruta a seguir la fibra óptica desde el nodo Ponce donde se ubica el OLT hasta la distribución interna en el sector residencial.

2.5.7 DIMENSIONAMIENTO DE ENLACES Y EQUIPOS GEPON

Para realizar un correcto dimensionamiento de los enlaces y equipos a ser utilizados en el primer año de operación de la red, se parte del estudio de demanda previamente realizado, donde se dimensionará para cubrir un total de 87 clientes potenciales.

2.5.7.1 OLT (*Optical Line Terminal*)

El OLT es el equipo más importante dentro de la red GEPON por lo que deberá cumplir con todos los requerimientos especificados por Telconet S.A. y servir como interfaz entre la red *backbone* y la red de acceso. En la Figura 2.39 se representa el respectivo símbolo del OLT diseñado en el AutoCAD.

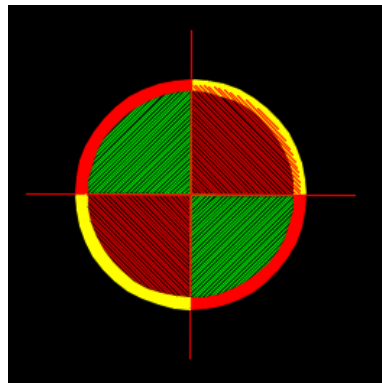


Figura 2.39 Representación del equipo OLT

Al ser la cabecera de la red, estará ubicado físicamente en el *rack* del nodo Ponce, donde soportará 64 clientes por puerto GEPON, y al considerar que cada tarjeta cuenta con 8 puertos GEPON se tendrá 512 clientes por tarjeta; es decir, soportará hasta 512 conexiones. Sin embargo, para el presente caso y por optimizar recursos físicos, el número de puertos GEPON que realmente se utilizará con relación a los clientes finales proyectados viene dado por la Ecuación 2.13.

$$\text{Número Puertos GEPON} = \frac{87 \text{ clientes}}{64 \text{ clientes/puerto}} = 1,36 \rightarrow 2 \text{ puertos}$$

Ecuación 2.13 Cálculo del número de puertos GEPON

Por tanto, se tienen 128 conexiones (64 clientes x 2 puertos), de las cuales actualmente se van a utilizar solo 87 conexiones.

Además, cada tarjeta del OLT cuenta con 4 interfaces de 1 GE (*Gigabit Ethernet*) en su *uplink* hacia el *core* de la red, el cual podrá soportar un tráfico de pico promedio por cliente (simultáneo) como se calcula en la Ecuación 2.14 [102].

$$1 \text{ GE} = 1.000 \text{ Mbps}$$

$$\text{Tráfico pico promedio} = \frac{4 \times 1000 \text{ Mbps}}{87 \text{ clientes}}$$

$$\text{Tráfico pico promedio} = 45,98 \text{ Mbps} \rightarrow 46,00 \text{ Mbps/cliente}$$

Ecuación 2.14 Cálculo del tráfico pico promedio por cliente GEPON

2.5.7.2 ONT (*Optical Network Terminal*)

El ONT como equipo terminal de acceso del cliente será el responsable de la conversión de la señal óptica proveniente de la red PON (estándar IEEE 802.3ah) en señal eléctrica (estándar *Ethernet* 100BaseTX o 1000BaseT) y viceversa.

Este equipo estará instalado en cada hogar de los 87 clientes junto a una roseta óptica. En la Figura 2.40 se puede observar el símbolo del ONT diseñado en el AutoCAD, el mismo que se representa como un cliente GEPON.

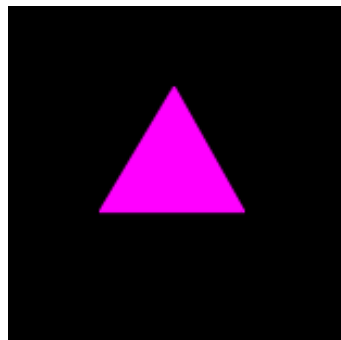


Figura 2.40 Representación del equipo ONT

El número de ONTs será:

$$\text{Número ONTs} \cong 87 \text{ clientes} \cong 87$$

Ecuación 2.15 Determinación del número de ONTs

es decir, un ONT por cliente GEPON (Ver Ecuación 2.15).

2.5.7.3 ODN (*Optical Distribution Network*)

Como se mencionó, en la red de distribución óptica se encuentran todos los elementos que permitirán la interconexión del OLT con los ONTs o los clientes, entonces en el diseño a más de los *splitters* se utilizarán también otros elementos pasivos como el ODF, cables de fibra óptica, mangas de empalme, cajas de distribución y rosetas ópticas.

2.5.7.3.1 ODF (*Optical Distribution Fiber*)

El organizador de fibra óptica ya está ubicado en el *rack* normalizado de 19" del nodo Ponce; el mismo que facilita la centralización, interconexión y derivaciones de los cables de fibra óptica. Principalmente, organiza las fibras ópticas para interconectar de mejor manera el OLT y los *splitters* de primer nivel.

La Figura 2.41 presenta un ODF de *splitters* donde se ordenan los hilos del *splitter* de arriba hacia abajo y en la parte central del ODF se organiza los hilos principales de los *splitters* para luego ser conectados en los puertos PON del OLT.



Figura 2.41 ODF de *splitters* de primer nivel [57]

De igual forma, el ODF MPLS o para ruta *backbone* Urbano será armado e instalado por la propia empresa siguiendo los procedimientos internos para los trabajos dentro de los nodos, los mismos que se toman en cuenta al momento de instalar equipos GEAPON, como por ejemplo la posición del ODF, los *splitters* y el OLT en el *rack* respectivo.

Como se observa en la Figura 2.42 el armado del ODF será de acuerdo con la distribución del número de fibras ópticas necesarias para desplegar la red. Los hilos serán colocados en los acopladores *dúplex*, ordenados e identificados según su respectivo código de colores, tal como se representa en la Figura 2.42 un ODF acorde a la ubicación de los tubos o *buffers* de una fibra de 144 hilos.

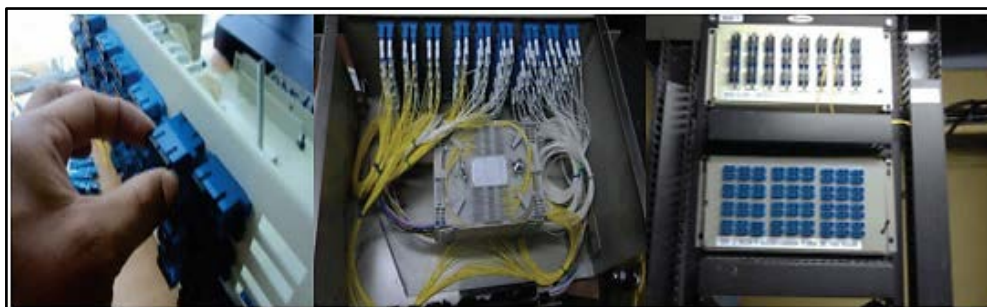


Figura 2.42 Armado de ODF MPLS [103]

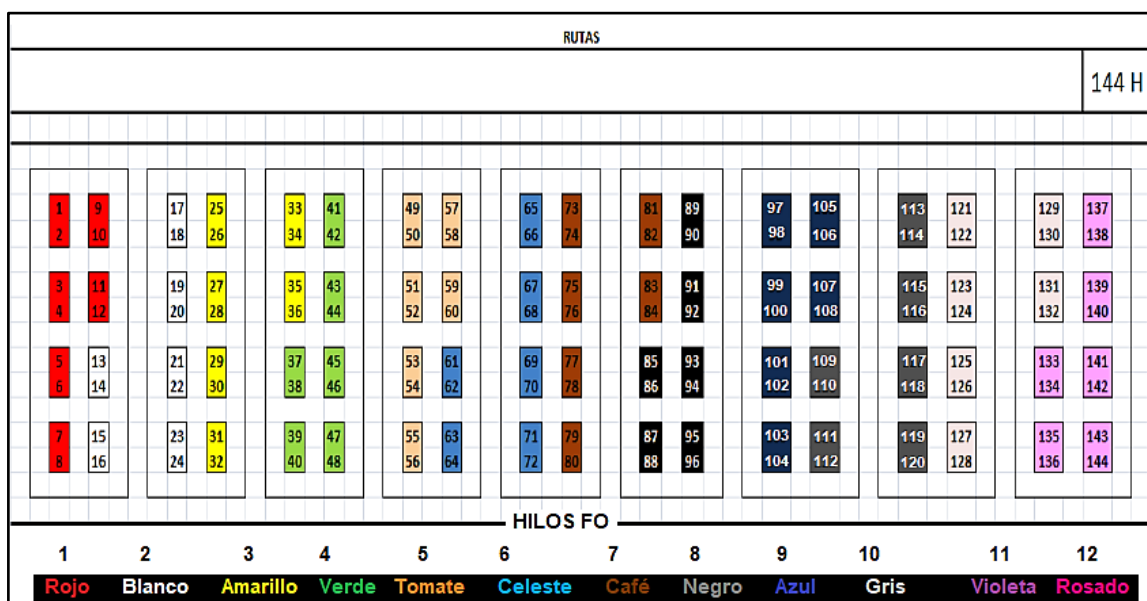


Figura 2.43 ODF con ubicación de tubos de 144 hilos [74]

El símbolo diseñado para representar el ODF, es tal como se muestra en la Figura 2.44.

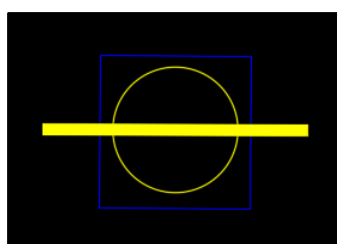


Figura 2.44 Representación del ODF

2.5.7.3.2 Fibra óptica

La fibra óptica es un elemento óptico fundamental en el diseño de la red, por tal razón su correcta elección deberá basarse de acuerdo con las recomendaciones de la UIT-T.

a) Tipo de fibra óptica

El tipo de fibra a emplearse deberá estar bajo normas técnicas reguladas por la UIT-T y obedecer, en gran medida, al tipo de distribución utilizada, ya que, ésta influye en los sitios de la red donde se separa la fibra. La elección se realiza entre una amplia variedad de tipos de cables, según el lugar y la forma en la que se va a realizar la instalación.

La UIT-T define las especificaciones técnicas de determinados tipos de fibra óptica de la serie G.65x desde la recomendación UIT-T G.651.1 hasta la G.657. Estos diferentes tipos de fibra, obtenidos al variar determinadas características, permiten optimizar la utilización de los cables ópticos, tanto en el aspecto económico como en el de su utilización [104] [105]

- ❖ **Rec. G.651.1.** Características de los cables de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm para la red de acceso óptico. Se trata de la fibra multimodo de índice gradual tipo OM2 con bajas pérdidas por curvado. Tiene un recubrimiento de acrilato de doble capa que proporciona protección contra el agua, la temperatura y humedad extrema, y permite un fácil pelado de la fibra. Es diseñada para uso en comunicaciones a 850 nm y 1300 nm.
- ❖ **Rec. G.652.** Características de las fibras y cables ópticos monomodo. Conocida como fibra monomodo estándar, siendo ahora una de las más populares fibras ópticas en el mercado. La ITU-T la clasifica en 4 subcategorías: A, B, C y D.
 - **G.652A:** Contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar sistemas con tasa máxima de STM-16 o de 10 Gbps a una distancia de redes de transmisión de hasta 40 km (*Ethernet*) y STM-256 utilizados en aplicaciones de G.693.
 - **G.652B:** Fibra óptica monomodo de salto de índice. Es optimizada para su uso en la longitud de onda de 1310 nm y 1550 nm. Contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria de hasta STM-64 y STM-256 o de 10 Gbps hasta 3000 km, 40 Gbps hasta 80 kilómetros (*Ethernet*) en redes metropolitanas, de acceso, cableados estructurados y CATV.

- **G.652C:** Semejante a G.652A, pero utilizada como fibra estándar para transmisión *Ethernet a Gigabit* y *10 Gigabit*. Permite transmisiones de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm (fibras de bajo pico de agua, válidas para CWDM). Es ideal para aplicaciones de larga distancia.
- **G.652D:** Semejante a G.652B. Es una fibra de espectro completo diseñada para los sistemas de transmisión óptica que operan en todo el rango de longitud de onda de 1260 nm a 1625 nm. Fibra con un bajo pico de agua (LWP), que proporciona un rendimiento óptimo en las dos ventanas: 1310 nm (2ª ventana) y 1550 nm (3ª ventana). Baja dispersión en 2ª ventana. Puede ser igualmente utilizada en aplicaciones CWDM a larga distancia. gracias a su baja atenuación en la región del pico de agua (1383 nm).

A continuación, en la Tabla 2.20 se realiza una comparación de las subcategorías de la fibra UIT-T G.652, para elegir de entre éstas la recomendación que más se ajuste a la necesidad del diseño propuesto.

Tabla 2.20 Comparación de las subcategorías de fibra óptica UIT-T G.652 [104]

	G.652A	G.652B	G.652C	G.652D
Bandas espectrales de operación	O, C	O, C, L	O, C, E, S	O, C, E, S, L
Longitud de onda de transmisión (nm)	1310, 1550	1310, 1550, 1625	1310, 1360, 1550, 1625	1310, 1360, 1550, 1625
Atenuación a 1383 nm por OH ⁻	Si	Si	No, fibra ZWP (<i>Zero Water Peak</i>)	No, fibra ZWP (<i>Zero Water Peak</i>)
Coefficiente de atenuación (dB/km)	1310 nm: 0,40 1383 nm: 1,0 1550 nm: 0,23	1310 nm: 0,40 1383 nm: 1,0 1550 nm: 0,23 1625 nm: 0,24	1310 nm: 0,40 1383 nm: 0,35 1550 nm: 0,21 1625 nm: 0,23	1310 nm: 0,40 1383 nm: 0,34 1550 nm: 0,20 1625 nm: 0,23

- ❖ **Rec. G.653.** Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada. Esta fibra comparada con la fibra G.652, tienen un tamaño de núcleo reducido, el cual se optimiza para sistemas de transmisión de largo alcance, usando amplificadores EDFA, y la longitud de onda de dispersión cromática cero se desplaza hasta unos 1550 nm.

- ❖ **Rec. G.654.** Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado. Este tipo de fibra puede manejar niveles de potencia superiores entre 1500 nm y 1600 nm. Está diseñada principalmente para aplicaciones submarinas de larga distancia. Presenta un tamaño de núcleo más grande hecho de sílice (SiO_2) pura para lograr el mismo rendimiento de larga distancia con mínima atenuación en la banda de 1550 nm, de aproximadamente 0,185 dB/km, la dispersión es relativamente alta, pero la dispersión es cero.
- ❖ **Rec. G.655.** Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula. Contiene las fibras 655 A, B y C. La principal característica es que la dispersión de 1550 nm está cerca de cero, pero no es exactamente cero. Es una fibra desplazada de dispersión mejorada para poder suprimir la mezcla de cuatro ondas. Tiene una cantidad reducida y controlada de dispersión cromática en la banda espectral C (1530 - 1560 nm), donde los amplificadores trabajan mejor, y tiene un área de núcleo más larga que una fibra G.652. Optimizada para aplicaciones de larga distancia a 1550 nm.
- ❖ **Rec. G.656.** Características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha. Ofrece un muy buen desempeño a λ 1460 nm y 1625 nm. Este tipo de fibra fue desarrollado para soportar sistemas de largo alcance que utilizan transmisiones CWDM y DWDM sobre el rango de longitud de onda especificado y que, al mismo tiempo, permite una utilización más sencilla de CWDM en las áreas metropolitanas y locales e incrementa la capacidad de fibra en los sistemas DWDM.
- ❖ **Rec. G.657.** Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso. Este tipo de fibra óptica está disponible en las bandas espectrales E, S, C y L. Puede trabajar en todo el rango de λ de 1260 nm a 1625 nm. Permite la transmisión a 1310, 1490 y 1550 nm. Se ha diseñado para ser doblado sin que afecte su desempeño. Al ser insensible a las curvaturas, proporciona una gran resistencia a las pérdidas adicionales debidas a las macrocurvaturas. Se utiliza para aplicaciones en redes de acceso FTTH y, es compatible con las fibras ópticas G.652, siendo así típicamente la más utilizada en las redes de fibra de última milla.

- **G.657A1:** Bajo radio de curvatura (10 – 15 mm) y pico de agua, compatible con la fibra G.652.
- **G.657A2:** Bajo radio de curvatura (7,5 mm) y pico de agua, compatible con la fibra G.652.

Al considerar que la fibra óptica multimodo se usa generalmente para alcanzar distancias cortas que no sobrepasen los 2 km y, como la red GEAPON pretende alcanzar una distancia máxima de 20 km, será necesario el uso de la fibra óptica monomodo para el presente diseño, cuyo tendido será aéreo. Por esta razón, se debe tener en cuenta que las recomendaciones que cumplen con los requisitos necesarios para esta clase de enlaces ópticos de alta capacidad son la UIT-T G.652 y G.655. La Tabla 2.21 detalla una comparación de estas dos fibras.

Tabla 2.21 Comparación entre la fibra óptica UIT-T G.652 y G.655 [104]

TIPO DE FIBRA UIT-T	ATENUACIÓN (dB/km) 1550 nm	DISPERSIÓN (ps/nm.km) 1550 nm	VENTANA DE TRABAJO (nm)	PMD 1550 nm
G.652	0,17 – 0,25	17 – 20	1310 – 1550	<0,2
G.655	0,19 – 0,25	1 – 6	1550	<0,2

Por consiguiente, al revisar las diferentes subcategorías de la G.652, la fibra óptica que se va a utilizar para el diseño propuesto es la G.652D, debido a que es una fibra del tipo ZWP (*Zero Water Peak*), el cual evita la atenuación de dispersión causada por iones hidroxilo (OH^-), por lo que puede trabajar en un rango amplio de longitud de onda, aumentando de esta manera las velocidades de transmisión. Además, porque es más barata que la fibra G.655 y por ser adecuada para un sistema DWDM.

Por otro lado, la fibra óptica G.655 no puede ser usada para un láser de 1310 nm, así que se utiliza mejor en aquellos sistemas que estén diseñados para trabajar con distancias muy largas y a tasas de transmisión altas (más de 10 Gbps), sin que sea tan importante la compatibilidad con la fibra instalada.

Finalmente, por la amplitud de rango de trabajo de la fibra G.652D, permite trabajar con facilidad con la red GEAPON para datos y voz: 1310 nm para *upstream*, 1490 nm para *downstream* y para video 1550 nm.

b) Tipo de cable para tendido

Existen básicamente tres tipos de cables de fibra óptica aptos para el tendido aéreo:

- ❖ **Cable ADSS (*All-Dielectric Self-Supported*):** El Cable Auto Soportado Completamente Dieléctrico para instalaciones FTTH aéreas tiene un alto número de fibras y puede reducir el costo de la última milla de los despliegues de fibra hasta el hogar utilizando cable aéreo. Se caracteriza por no tener ni una sola parte metálica, de allí su nombre. Puede ser tipo *central loose tube* o *loose tube*. En la Figura 2.45 se puede observar los tipos de cable ADSS [105].

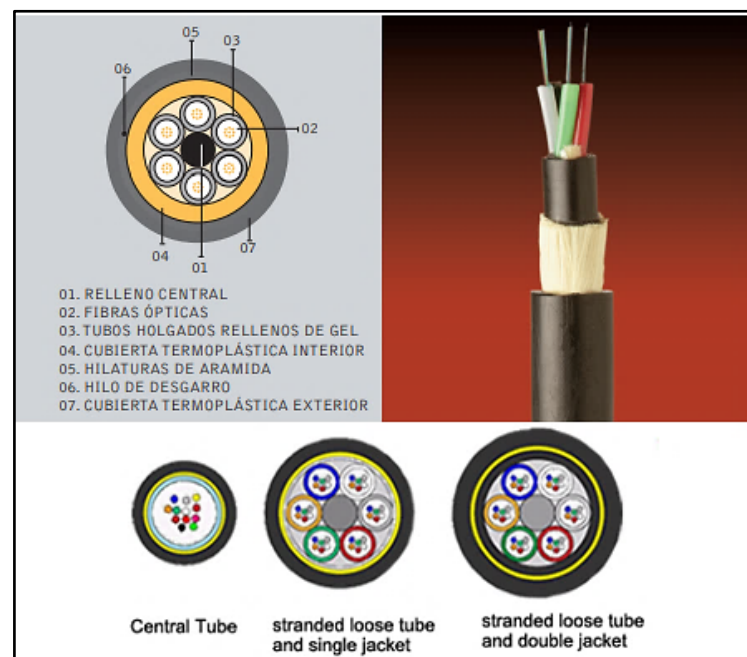


Figura 2.45 Cable aéreo ADSS [105]

- ❖ **Cable Figura 8:** Es un cable compuesto por hilos de fibra óptica envueltos por dieléctrico PVC (*Permanent Virtual Connection*), el cual está sujeto a un mensajero de acero reforzado. A pesar de ser más pesado que el cable ADSS su instalación es mucho más barata dado que el peso y la manipulación de su dirección se efectúan en su mensajero, y los dispositivos de enganche para los postes son económicos con respecto a los ADSS. En el medio se usan de 48, 96 y 144 hilos, aunque se pueden fabricar hasta de 288 hilos. Se denomina de figura en 8, pues su sección transversal se asemeja a un 8. Es recomendable para transmitir señales luminosas de alta calidad con una baja atenuación para los enlaces ópticos en el exterior [105].

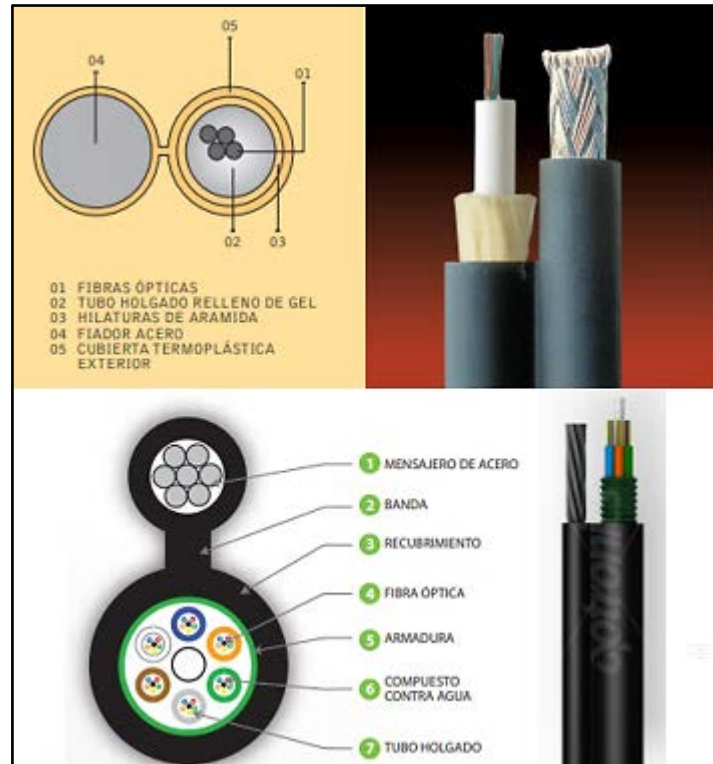


Figura 2.46 Cable aéreo Figura 8 [105]

- ❖ **Cable OPGW (Optical Power Ground Wire):** El Cable de Guardia con Fibra Óptica es un tipo de cable que se utiliza en la construcción de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Prácticamente, se utiliza como un cable a tierra y como enlace de telecomunicaciones al mismo tiempo. Un cable OPGW contiene una estructura tubular con una o más fibras ópticas en el mismo, rodeadas por capas de hilos aluminio y acero. Típicamente este cable contiene fibras ópticas monomodo con baja pérdida de transmisión, lo que permite la transmisión a larga distancia y alta velocidad.

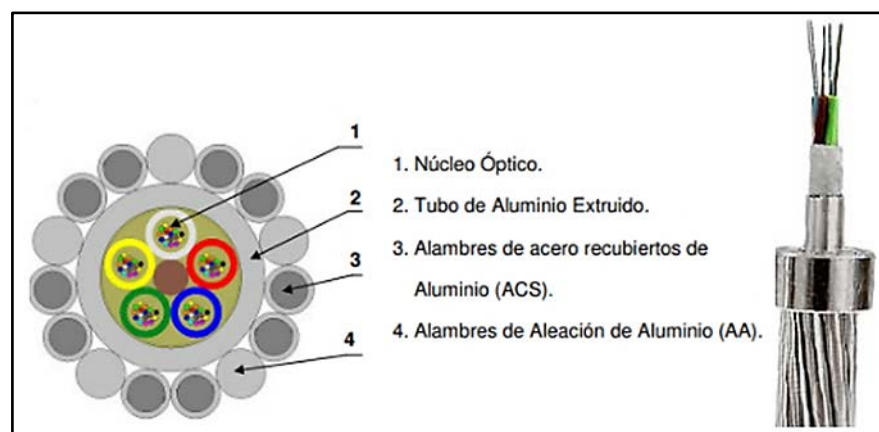


Figura 2.47 Cable aéreo OPGW

La Tabla 2.22 muestra una comparación entre las características de los tres cables ópticos para la selección del tipo de cable aéreo óptimo.

Tabla 2.22 Comparación entre cables ópticos para tendido aéreo [106]

CARACTERÍSTICAS	ADSS	FIGURA 8	OPGW
Confiabilidad	Alta	Alta	Alta
Instalación en sistema nuevo	Simple	Simple	Simple
Instalación sobre sistema existente	Simple	Simple	Complejo
Mantenimiento	Fácil	Fácil	Difícil
Costo del cable	Bajo	Medio	Alto
Costo de instalación	Bajo	Bajo	Alto
Costo total del sistema	Bajo	Medio	Alto
Acceso a fibras ópticas	Fácil	Fácil	Difícil

Las fibras ópticas dentro del cable se utilizan para la transmisión de datos a alta velocidad, ya sea para uso propio del sistema eléctrico de protección y control de la línea de transmisión, para la comunicación de voz y datos, o pueden ser alquilados o vendidos a terceros para servir como una interconexión de fibra de alta velocidad entre diferentes ciudades.

Por tratarse de un tipo de tendido aéreo, se selecciona un cable del tipo ADSS con característica *loose tube*, en donde la fibra óptica se encuentra dentro de un recubrimiento secundario exterior que por lo general es de plástico. Este tipo de cables son ideales para el tendido aéreo por postes debido a su característica de inmunidad a interferencias eléctricas.

En general, se procede a realizar el tendido de la fibra óptica con su correcto etiquetado, la fusión de las mangas de empalme, la preparación de la fibra de 144 hilos para la ruta urbana y el ODF para los *splitters* de primer nivel. La red de distribución es la red donde se conecta las últimas millas de los usuarios; la fibra óptica *outdoor* será adecuada para este tendido aéreo.

La fibra óptica que se ocupa es una de 144 hilos UIT-T G.652D, la misma que consta de 12 *buffers* o tubos y, en cada *buffer* 12 hilos con lo que se tiene un total de 144 hilos. Esta fibra llega a cada una de las cajas de distribución y, de aquí hacia los clientes se realiza con fibra de 2 hilos G.657A1. Los cables de fibra óptica por lo general se entregan en carretes, los mismos que deben cargarse y descargarse usando una grúa o un elevador especial.

En el esquema del diseño de la red GEPON que se presenta en el [ANEXO I](#), las fibras ópticas de 2 y 144 hilos están representadas por la Figura 2.48.

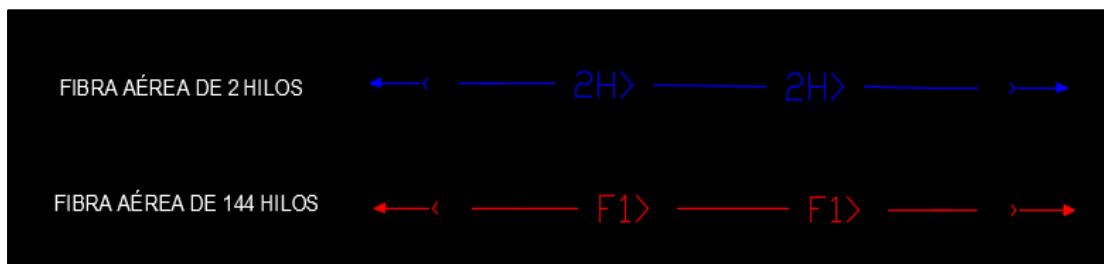


Figura 2.48 Representación de las fibras ópticas de 2 hilos y 144 hilos

2.5.7.3.3 *Splitters*

En una red FTTH, en función de la topología puede haber un *splitter* o varios *splitters* en cascada, dependiendo de la cantidad de clientes y la distancia a la que se encuentren. Independientemente de la topología, el *splitter* debe satisfacer el presupuesto de pérdida óptica previsto.

a) Número y tipo de *splitters*

Como se mencionó anteriormente, los puertos del OLT GEPON tienen una capacidad máxima de 64 clientes. Por tanto, para poder cubrir este número de clientes se propone las relaciones posibles de distribución de los *splitters* que se presenta en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23 Relación de *splitters*

PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL
1 x 2	1 x 32
1 x 4	1 x 16
1 x 8	1 x 8

Se considera que mientras menos niveles de división se tengan en la red, existe mayor facilidad de mantenimiento y operación del medio de transmisión, pero a la vez también existen desventajas como el incremento en el nivel las pérdidas por inserción ya que incrementa el número de clientes en un mismo *splitter*.

Por tanto, para el diseño, se considera hasta dos niveles jerárquicos de división (*two - level splitting*) distribuidos de forma punto-multipunto o en cascada, porque de esta manera se consigue mejores resultados en relación con las pérdidas por

inserción y sobre todo se obtiene un espacio aceptable, sin sobredimensionar la red. Y, en cada nivel de división se utilizará *splitters* 1x8 en lugar de los *splitter* 1x64 por las siguientes razones:

- ❖ Permitirán seguir expandiendo la red para cubrir a futuro la demanda de clientes en el sector residencial.
- ❖ Al estar ubicados en solo dos niveles de división las pérdidas por inserción son mínimas con respecto a un solo nivel de división con *splitter* 1x64 que solo cubriría 64 de los 87 clientes, para lo cual sería necesario colocar un segundo nivel de spliteo, causando más pérdidas por inserción en comparación al *splitter* 1x8.

De acuerdo con esto, el proceso para determinar el número total de *splitters* 1x8 a utilizar para el diseño es el siguiente:

- 1) Primero se determina el número de hilos de fibra óptica que se conectarán al OLT, donde a la vez este valor representa el número de *splitters* de primer nivel como se observa en la Ecuación 2.16.

$$\text{Número hilos FO (GEPON)} = \frac{87 \text{ clientes}}{64 \text{ clientes/hilo}} = 1,359 \rightarrow 2 \text{ hilos}$$

2 hilos FO ≈ 2 Splitters de primer nivel

Ecuación 2.16 Determinación del número de hilos fibra óptica

- 2) Luego, según las razones ya indicadas se subdivide hasta dos niveles, considerando la relación de *splitters* de la Tabla 2.23. Como en el primer nivel se tiene 2 *splitters* 1x8, entonces el número de *splitters* 1x8 para el segundo nivel es de 16. Siendo así, el número total de *splitters* 1x8 de 18, el mismo que se muestra en la Ecuación 2.17.

Primer nivel : 2 Splitters 1x8
Segundo nivel : 16 Splitters 1x8
→ Número total Splitters 1x8 = 18

Ecuación 2.17 Determinación del número total de *splitters*

La Figura 2.49 representa el símbolo del *splitter* 1x8 diseñado en AutoCAD para el primer y segundo nivel de división.



Figura 2.49 Representación del *splitter* 1x8

De acuerdo con la Figura 2.50, del conjunto de los 12 tubos que conforman la fibra óptica de 144 hilos G.652D, se utiliza solo 2 tubos (amarillo y verde) para la respectiva distribución de los *splitters* primarios y secundarios en cada área del sector residencial. Cada uno de estos tubos contienen 12 hilos, el cual según el código de colores que se plasma en el [ANEXO D](#), solo se utilizan 9 hilos (rojo, blanco, amarillo, verde, naranja, celeste, café, negro, azul) para conectar a cada una de las entradas de los 18 *splitters*



Figura 2.50 *Buffers* o tubos de fibra óptica de 144 hilos

b) Ubicación e instalación de *splitters*

Los *splitters* o divisores ópticos estarán ubicados en puntos estratégicos dentro del sector residencial y serán instalados en postes, protegidos con cajas o pequeños armarios de distribución aéreos a nivel externo. Además, cabe mencionar, que se utilizará la técnica de *splitters* en cascada, porque presenta menores costos de despliegue por cliente y es ideal para zonas con alta penetración de mercado.

- ❖ **Splitters de primer nivel 1x8:** Los *splitters* primarios serán instalados uno por cada puerto GEPON y estarán ubicados en puntos estratégicos de cada una de las dos áreas, del cual cada área se subdividirá en 8 sitios más pequeños, resultando un total de 16 sitios estratégicos. La Figura 2.51 representa el símbolo de un *splitter* de primer nivel ubicado dentro de la caja de distribución GEPON.

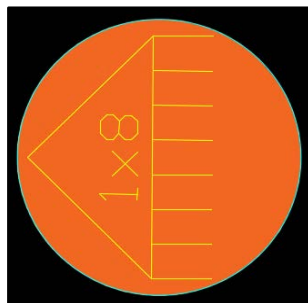


Figura 2.51 Representación del *splitter* primario en la caja de distribución GEPON

En la Tabla 2.24 se encuentra la respectiva distribución de los *splitters* primarios que se utilizará en este diseño.

Tabla 2.24 Distribución de los *splitters* primarios

PUNTO ESTRATÉGICO	PUERTO GEPON OLT	PUERTO ODF	ÁREA	BUFFER O TUBO	HILO FO	SPLITTER
1	G0/1	FO1	1	Amarillo	Rojo	1x8
2	G0/2	FO2	2	Verde	Rojo	1x8

En la Tabla 2.25 se presenta las distancias respectivas desde el OLT ubicado en el nodo Ponce hasta cada uno de los tres *splitters* de primer nivel ubicados en cada área del sector residencial.

Tabla 2.25 Distancias del OLT a *splitters* primarios

ÁREA	SPLITTER PRIMARIO	DISTANCIA DEL OLT A SPLITTER PRIMARIO (m)
1	1x8	1448,15
2	1x8	1521,96
TOTAL		2970,11

- ❖ **Splitters de segundo nivel 1x8:** Los *splitters* secundarios estarán ubicados en cada uno de los 16 sitios estratégicos finales; de esta forma se cubrirán 64 clientes por área, permitiendo llegar hasta 128 clientes, de los cuales solo se proyecta cubrir 87 clientes.

La Figura 2.52 representa el símbolo de un *splitter* de segundo nivel ubicado en la caja de distribución GEPON.

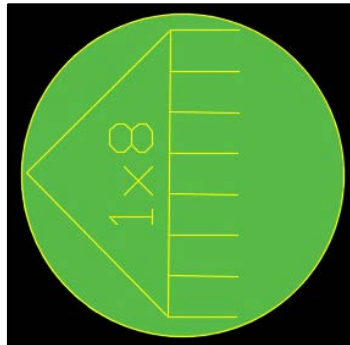


Figura 2.52 Representación del *splitter* secundario en la caja de distribución GEPON

En la Tabla 2.26 se encuentra la distribución para la instalación de los 16 *splitters* secundarios con su respectiva asignación de los hilos de fibra en relación con los *buffers* o tubos de fibra óptica de 144 hilos y, además el número de ONTs que abarca cada *splitter*.

En la Tabla 2.26 se presenta las distancias respectivas desde el *splitter* primario hasta cada uno de los 16 *splitters* secundarios ubicados en cada área del sector residencial.

Tabla 2.26 Distribución de los *splitters* secundarios

SITIO ESTRATÉGICO	BUFFER O TUBO	HILO FO	SPLITTER SECUNDARIO	NÚMERO DE ONTs
1	Amarillo	Blanco	1 x 8	8
2	Amarillo	Amarillo	1 x 8	5
3	Amarillo	Verde	1 x 8	5
4	Amarillo	Naranja	1 x 8	6
5	Amarillo	Celeste	1 x 8	5
6	Amarillo	Café	1 x 8	5
7	Amarillo	Negro	1 x 8	5
8	Amarillo	Azul	1 x 8	5
9	Verde	Blanco	1 x 8	7
10	Verde	Amarillo	1 x 8	5
11	Verde	Verde	1 x 8	5
12	Verde	Naranja	1 x 8	5
13	Verde	Celeste	1 x 8	5
14	Verde	Café	1 x 8	6
15	Verde	Negro	1 x 8	5
16	Verde	Azul	1 x 8	5
TOTAL				87

Tabla 2.27 Distancias de *splitters* primarios a *splitters* secundarios

ÁREA	SPLITTER PRIMARIO	SPLITTER SECUNDARIO	DISTANCIA DE SPLITTER PRIMARIO A SPLITTER SECUNDARIO (m)
1	1X8	1 x 8	75,21
		1 x 8	124,25
		1 x 8	192,45
		1 x 8	210,94
		1 x 8	87,82
		1 x 8	139,79
		1 x 8	152,24
		1 x 8	201,40
2	1X8	1 x 8	39,50
		1 x 8	160,36
		1 x 8	213,63
		1 x 8	274,32
		1 x 8	92,70
		1 x 8	135,29
		1 x 8	161,20
		1 x 8	205,41
TOTAL			2466,51

2.5.7.3.4 *Mangas de empalme*

Son elementos pasivos de red resistentes a golpes, que alojarán y protegerán las fusiones de fibra óptica contra condiciones ambientales (clima y agentes externos) encerrándolas herméticamente. Por lo general existen mangas de dos tipos: domo y lineal con capacidad para albergar de 12 hasta 144 fibras. La Figura 2.53 presenta un ejemplo de una manga de empalme tipo lineal para una instalación aérea.

**Figura 2.53** Manga de empalme tipo lineal para fibra óptica [103]

En el diseño se utilizarán 2 mangas de empalme para el tendido y sangrado de la fibra óptica para la ruta troncal y serán instaladas en los postes respectivos hasta llegar a las cajas de distribución en el sector residencial. Estas mangas se nombran como UIO BODEGA PONCE-RUIZ C01B y UIO BODEGA PONCE-RUIZ C02B.

Dentro de las mangas de empalme se ordenan las fibras en casetes de acuerdo con su código de colores. La representación simbólica de estas dos mangas de empalme es la que se observa en la Figura 2.54.

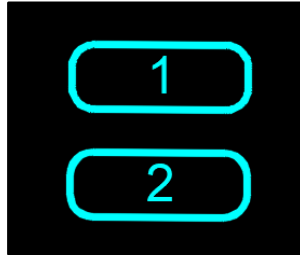


Figura 2.54 Representación de las mangas de empalme

2.5.7.3.5 *Cajas de distribución*

Las cajas de distribución son los puntos de la red que permiten la interconexión entre la red *backbone* y la última milla hacia los clientes. Están diseñadas para permitir el direccionamiento de los hilos de fibra óptica en el tendido de la red de acceso y, también para alojar los *splitters* de primer y segundo nivel, protegiéndolos de los agentes externos. Generalmente se instalan en los postes y en ciertos casos en la parte externa u *outdoor* de los edificios. La Figura 2.55 muestra un ejemplo de una caja de distribución de 24 hilos de fibra óptica.

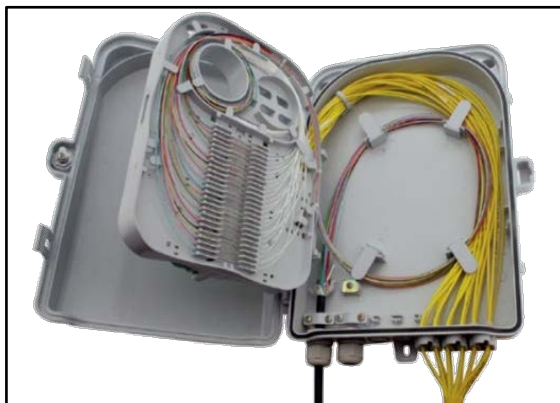


Figura 2.55 Caja de distribución para 24 hilos de fibra óptica¹⁰⁶

Las cajas de distribución, también llamadas de derivación o cajas BMX deberán estar colocada en un lugar donde se encuentren posibles clientes. Por tanto, para el respectivo tendido de fibra óptica dentro del sector residencial, se necesitarán 18

¹⁰⁶ Tomada de: <http://www.fibraopticahoy.com/caja-de-distribucion-para-24-fibras/>

cajas de distribución, las mismas que serán ubicadas estratégicamente en los postes cercanos a la ruta de distribución hacia la red de acceso. La simbología diseñada para representar las respectivas cajas de distribución GEPON tanto para el primer como segundo nivel de división o splitteo es tal como se muestra en la Figura 2.56.

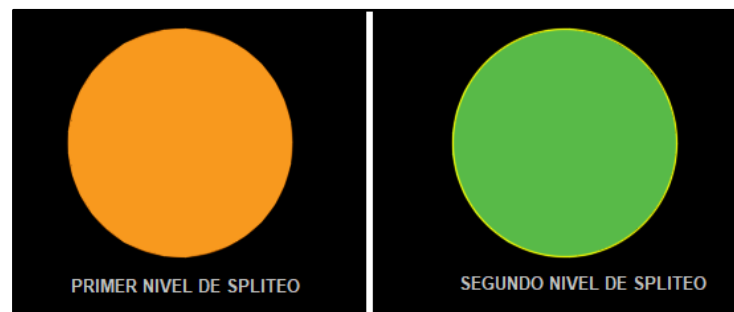


Figura 2.56 Representación de las cajas de distribución GEPON para splitteo

2.5.7.3.6 Roseta óptica

La roseta óptica permite colocar la fusión de la fibra de acceso o cable de acometida con el *patchcord* de fibra que se conecta en el ONT. Comúnmente está diseñada para montaje en pared en el interior o *indoor* de la casa del cliente. Un ejemplo de una roseta óptica para redes FTTH se observa en la Figura 2.57.

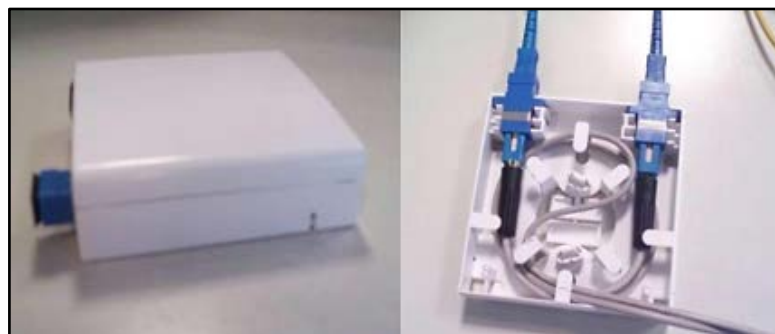


Figura 2.57 Roseta óptica para FTTH de 2 puertos¹⁰⁷

De acuerdo con esto, siendo 87 clientes por cubrir se requiere un total de 87 rosetas ópticas, las mismas que serán instaladas en el interior de las residencias con conexión a cada uno de los respectivos ONTs, integrándose perfectamente en el despliegue completo de red FTTH.

¹⁰⁷ Tomada de: <http://www.fibromarket.com/tienda/catalogo/ftth/roseta-para-ftth-de-2-puertos>

$$\text{Número rosetas ópticas} \cong 87 \text{ clientes} \cong 87 \text{ ONTs} \cong 87$$

Ecuación 2.18 Determinación del número de rosetas ópticas

La representación simbólica de la roseta óptica diseñada para la red de acceso se muestra en la Figura 2.58.

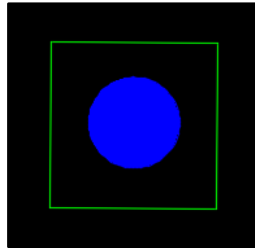


Figura 2.58 Representación de la roseta óptica

Finalmente, en la Tabla 2.28 se resume el dimensionamiento de los equipos y elementos de la respectiva red de acceso GEPON.

Tabla 2.28 Dimensionamiento de los equipos y elementos de la red GEPON

COMPONENTE	CANTIDAD	UBICACIÓN
OLT con 2 puertos GEPON	1	Nodo Ponce
ONT de tipo <i>Indoor</i>	87	Residencia cliente
<i>Splitters</i> primarios 1 x 8	2	Puntos estratégicos de las 2 áreas
<i>Splitters</i> secundarios 1 x 8	16	Sitios estratégicos de las 2 áreas
Distribuidor óptico ODF	1	Nodo Ponce
Cable fibra óptica monomodo ADSS G.652D 144 hilos	N/D*	Red de Distribución
Cable fibra óptica monomodo DROP G.652.D 2 hilos	N/D*	Red de Acceso
Mangas de empalme	2	Postes de la ruta troncal (<i>Outdoor</i>)
Cajas de distribución	18	Postes de la ruta distribución
Rosetas ópticas	87	Residencia cliente

* N/D: No Definido

Cabe resaltar que aparte de estos elementos dimensionados, también se cuenta con otros elementos pasivos de infraestructura para la operación de la red GEPON como: herrajes tipo A o B, *patchcords* de fibra, *pigtails* con pulido APC o PC, adaptadores tipo *dúplex*, cinta etiquetadora, entre otros. Estos elementos son considerados a nivel de costos en la sección 3.4.1 para el respectivo presupuesto referencial del proyecto.

2.5.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LA RED GEAPON

En la Tabla 2.29 y Tabla 2.30 se consolidan las características necesarias que deben cumplir cada uno de los componentes utilizados en la red de acceso GEAPON para su correcto desempeño.

Tabla 2.29 Características necesarias de los elementos activos de la red GEAPON

CARACTERÍSTICAS	
ELEMENTOS ACTIVOS	OLT <ul style="list-style-type: none"> ▪ Marca del mismo fabricante del equipo OLT. ▪ Modelo del mismo fabricante del equipo OLT. ▪ Operar bajo el cumplimiento del estándar IEEE 802.3ah. ▪ Mínimo 2 puertos PON con una tasa máxima de spliteo 1:64 clientes. ▪ Mínimo 2 puertos <i>uplink</i> 1GE (<i>Gigabit Ethernet</i>) para que se conecten mediante módulos SFP a un nodo de acceso de la red MPLS/IP de Telconet S.A., ya que actualmente es la red más utilizada a nivel WAN. ▪ Tasa de transmisión de 1,25 Gbps para subida (<i>upstream</i>) y bajada (<i>downstream</i>). ▪ Trabajar con WDM para operar en las longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm que permitan ofrecer el servicio <i>Triple Play</i>. ▪ Detector óptico de transmisión: IDL (<i>Injection Laser Diode</i>). ▪ Sensibilidad de recepción según la Clase B+: - 28dBm. ▪ Potencia de transmisión según la Clase B+: +5 dBm. ▪ Tarjeta de administración remota bajo la utilización de protocolos como SNMP, Telnet, SSH, CLI¹⁰⁸ que permitan configurar a los clientes de cada puerto PON, dependiendo de los servicios que contraten y, además monitorear el tráfico respectivo para la detección de fallas en la red y determinar el consumo de cada cliente para la posterior facturación. ▪ Tarjeta de alimentación eléctrica a 110 – 220V AC, 47 – 63 Hz.
	ONT <ul style="list-style-type: none"> ▪ Marca del mismo fabricante del equipo OLT. ▪ Modelo del mismo fabricante del equipo OLT. ▪ Operar bajo el cumplimiento del estándar IEEE 802.3ah. ▪ 1 puerto PON para conectar la fibra óptica proveniente de la red de distribución que parte del OLT. ▪ 1 puerto LAN o <i>Fast Ethernet</i> para acceder al Internet, conectando una(s) PC(s) con un cable UTP con conector RJ-45. ▪ 1 puerto POTS para acceder a la telefonía fija utilizando un cable telefónico con conector RJ-11, el cual permite interconectar redes telefónicas convencionales. ▪ 1 puerto o salida RF para acceder a la televisión con conector coaxial tipo F o en su defecto con conectores RFA. ▪ Operar en las longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm que permitan ofrecer el servicio <i>Triple Play</i>. ▪ Tasa de transmisión de 1,25 Gbps para subida (<i>upstream</i>) y bajada (<i>downstream</i>). ▪ Distancia aprox. 100 m para transmisión por puerto <i>Ethernet</i>. ▪ Detector óptico de recepción: APD (<i>Avalanche Photo Diode</i>). ▪ Sensibilidad de recepción según la Clase B+: - 28dBm. ▪ Potencia de transmisión según la Clase B+: +5dBm. ▪ Tarjeta de alimentación eléctrica a 12V 0,5A AC/DC, 50 – 60 Hz.

¹⁰⁸ **Command Line Interface:** Interfaz para manipular remotamente un programa, equipo o sistema operativo por medio de instrucciones escritas (líneas de texto simple) o con archivos scripts para la ejecución automática de varias líneas de comandos que cumplen alguna función.

Tabla 2.30 Características necesarias de los elementos pasivos de la red GEAPON

CARACTERÍSTICAS			
ELEMENTOS PASIVOS	ODF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fibra óptica de trabajo monomodo (Rec. UIT-T G.652D). ▪ Tipo <i>patchcord</i> de conexión SC-SC. ▪ Capacidad de conexión 12, 24, 144 hilos. ▪ Ambiente de instalación interno. ▪ Ubicación de instalación <i>rack</i> estándar 19" 	
	Fibra óptica	Hilo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El tipo de fibra debe ser monomodo, ya que son optimizadas especialmente para la transmisión en el rango de longitud de onda de 1310 nm a 1550nm. ▪ Operar bajo el cumplimiento de la recomendación UIT-T G.652, de acuerdo con la subcategoría G.652D. ▪ Diámetro del núcleo 8,6 μm – 9,2 μm. ▪ Diámetro del <i>cladding</i> 125 μm. ▪ Coeficiente de dispersión cromática 0,092 ps/nm²x km. ▪ Pérdida máxima por macrocurvatura de 0,1 dB a 1625 nm.
		Cable	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de hilos por cable para cada red utilizada: 6 para troncal (<i>feeder</i>), 144 para distribución, 2 para acometida (<i>drop</i>) ▪ Operar bajo el cumplimiento de las recomendaciones UIT-T G.652D (troncal y distribución) y, UIT-T G.652A1 (acometida). ▪ Rango de longitud de onda de trabajo 1310 nm a 1625 nm. ▪ Atenuación 1310 nm \leq 0,40 dB/km y 1550 nm \leq 0,30 dB/km. ▪ Temperatura de operación -20 a +65°C. ▪ Tendido aéreo.
	Splitter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiplicar o dividir un hilo GEAPON en 64 clientes o usuarios; es decir compartir el mismo hilo de fibra óptica. ▪ Permitir una relación de división 1x8 para cada nivel de spliteo asignado. ▪ Conectorización mediante SC <i>simplex</i>. ▪ Operar en las longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm. ▪ Pérdidas de inserción de aproximadamente 10,5 dB al operar como 1x8. ▪ Presentar fácil instalación y mantenimiento. ▪ Ambiente de instalación externo en cajas de dispersión o distribución. 	
	Mangas de empalme	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de manga domo para tendido de la fibra óptica. ▪ Mínimo 2 puertos oval (ingreso cables fibra óptica troncales). ▪ Sangrado de la fibra óptica con capacidad de empalme de 144 hilos. ▪ Ambiente de instalación externo (postes). ▪ Tipo de instalación aérea. 	
	Cajas de distribución	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de fibra óptica monomodo G.652D. ▪ Capacidad 12, 24 o 144 hilos. ▪ Ambiente de instalación externo. ▪ Número de bandejas (<i>cassettes</i>) mínimo 2 para <i>splitters</i> 1x8. ▪ Conectorización con SC <i>simplex</i>. 	
	Roseta óptica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricada con material de plástico ABS¹⁰⁹ con tapa desmontable. ▪ Ambiente de instalación interno. ▪ Tipo de conector SC <i>simplex</i>. ▪ Máximo 2 puertos, 1 para conexión con el ONT y otro para adaptador óptico tipo SC o LC. ▪ Accesorios incluidos como un <i>pigtail</i> (tramo pequeño de fibra pre-conectorizado), tubillo para empalme y adaptador. 	

¹⁰⁹ El ABS (Acrlonitrilo Butadieno Estireno) es el nombre dado a una familia de termoplásticos. Es un material muy resistente al impacto (golpes), a la abrasión y a los elementos químicos, siendo así muy utilizado comúnmente en aplicaciones industriales (automotrices, electrónicas) y domésticas.

2.5.9 CONEXIÓN DE LA RED DE ACCESO GEPON A LA RED *BACKBONE* DE TELCONET S.A.

2.5.9.1 Topología de la red de acceso GEPON

A continuación, se analiza de manera general la topología tipo árbol de la red de acceso GEPON diseñada, la misma que se seguirá a nivel de planta externa y para la ubicación tentativa de cada uno de los equipos principales. Esta topología dividida en dos áreas con la respectiva distribución de los *splitters* 1x8 de primer y segundo nivel, se observa en la Figura 2.59.

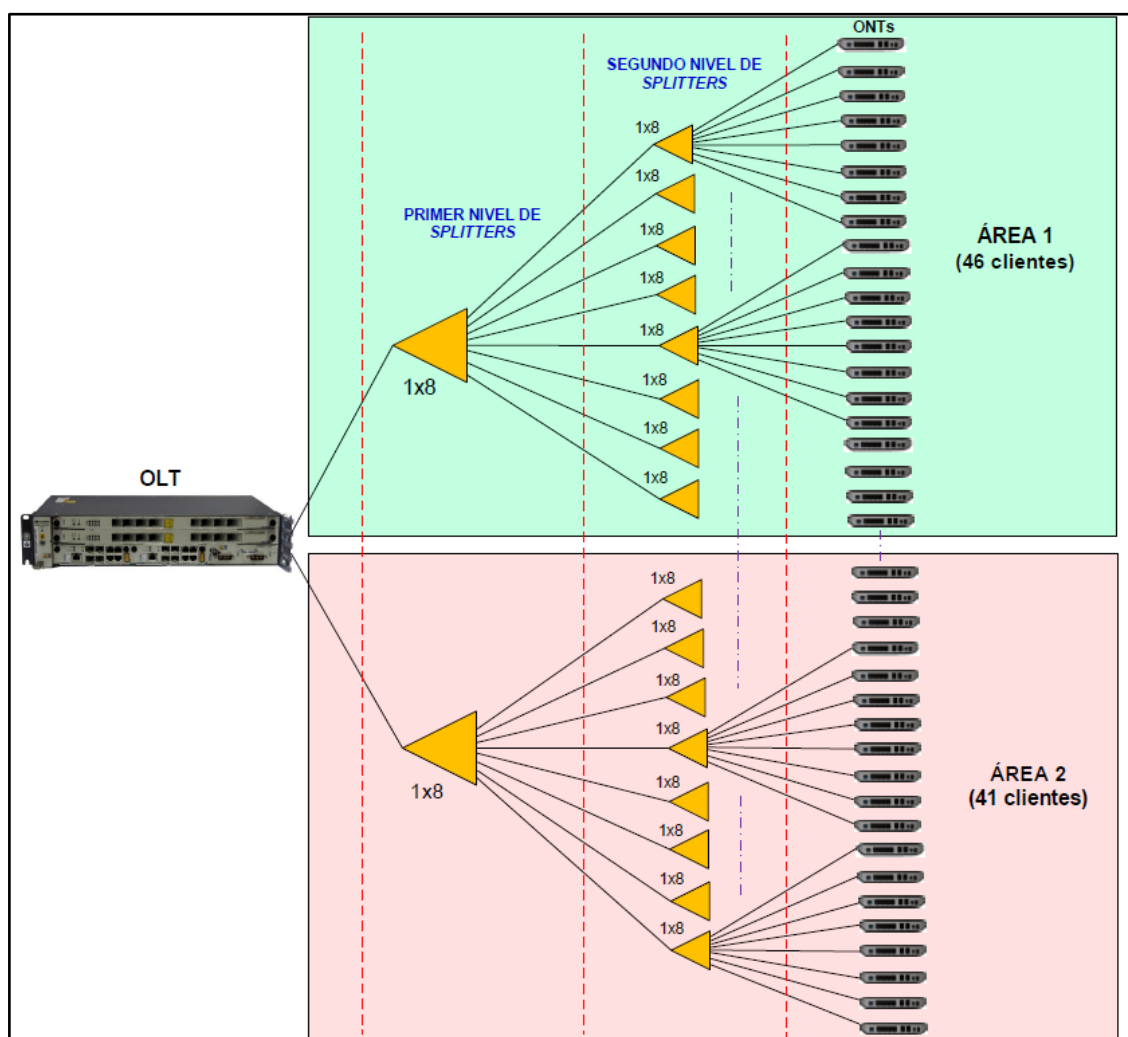


Figura 2.59 Diagrama topológico de la red de acceso GEPON

También en la Figura 2.60 se representa en AutoCAD la forma de distribución de los *splitters* 1x8 primarios y secundarios, y estos como se conectan con cada uno de los clientes finales.

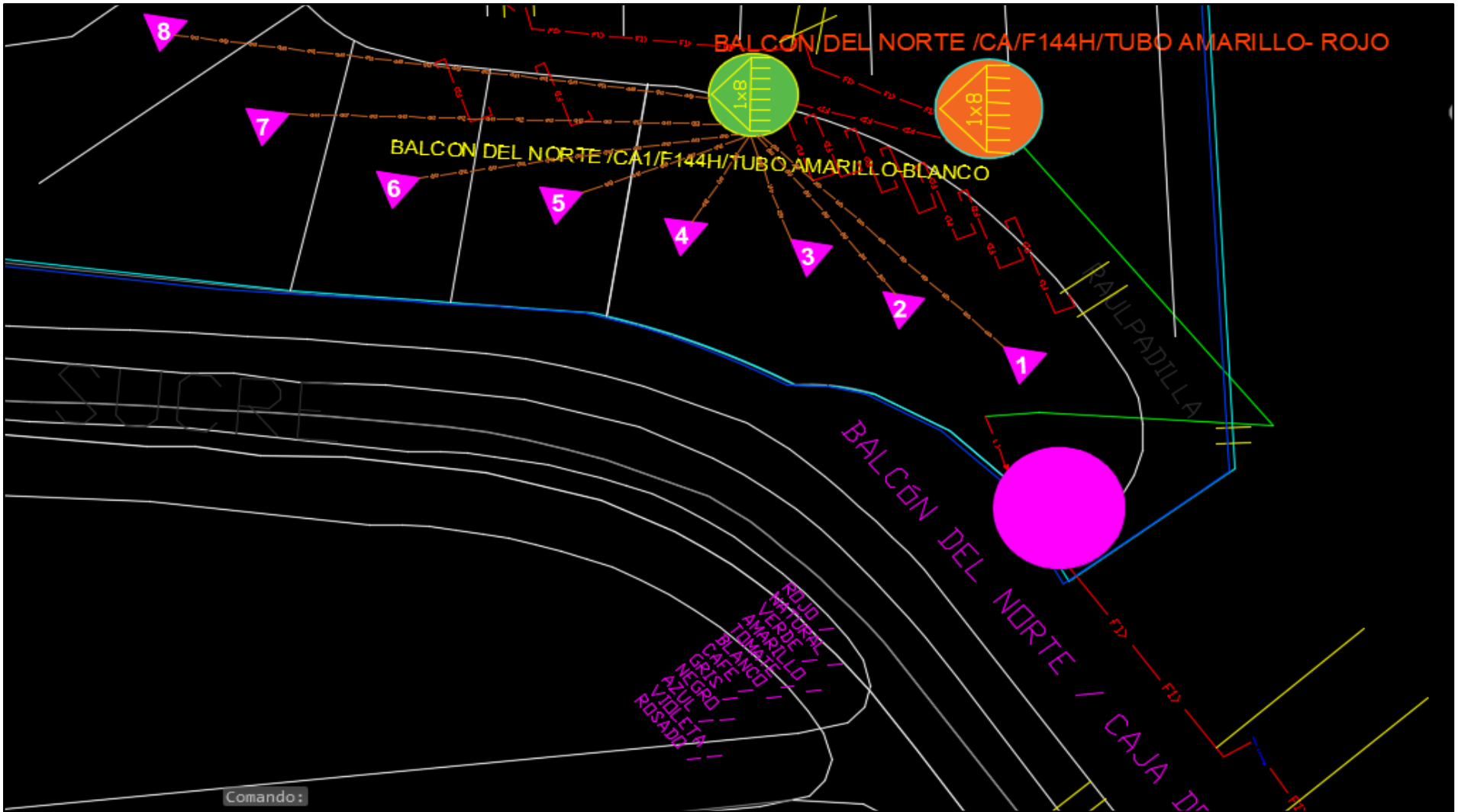


Figura 2.60 Conexión de los *splitters* 1x8 con los clientes finales

- ❖ El punto central de interconexión será el OLT.
- ❖ Cada una de las dos áreas serán abastecidas por *splitters*, los mismos que se ubicarán en sitios estratégicos de dichas áreas, posiblemente donde se concentre la mayor cantidad de clientes.
- ❖ El OLT alimentará a cada *splitter* primario de las áreas. Entregará sus hilos a un único *backbone* de fibra que recorrerá todo el sector del diseño. De dicho *backbone* se realizará la distribución para los *splitters* primarios por medio de mangas de empalme o cajas de distribución instaladas en las diferentes áreas.
- ❖ Cada *splitter* primario, a su vez, entregará sus hilos a distintos *splitters* secundarios y, a partir de cada *splitter* secundario se establecerán los enlaces con los respectivos ONTs.

2.5.9.2 Servicio *Triple Play*

El servicio *Triple Play* se proporciona por medio de una conexión de ancho de banda de 1,25 Gbps /1,25 Gbps. Para ello, se utiliza los recursos de la red para brindar los tres servicios al mismo tiempo bajo un equipo terminal único. Por tanto, en la red GEPON se utiliza tres longitudes de onda (λ), para separar los tipos de señales acorde a cada servicio que se empaqueta.

❖ Internet y Telefonía

- 1310 nm para las señales de datos y voz, en conexión *upstream* desde el ONT al OLT (del cliente final al nodo).
- 1490 nm para las señales de datos y voz, en conexión *downstream* desde el OLT al ONT (del nodo al cliente final).

❖ Televisión

- 1550 nm para la señal de video, en conexión *downstream* desde la oficina central al ONT.

En consecuencia, para el diseño de la red de acceso se utiliza quipos que permiten generar las señales de datos, voz y video, conllevando a satisfacer la demanda del servicio *Triple Play*.

- ❖ Un transmisor óptico que se encontrará en la cabecera de la red CATV en un punto de distribución u oficina central *Head End*, el cual permitirá entregar la señal de video al cliente final. Para esto, realizará una conversión electro-óptica de la señal eléctrica de RF (transmitida en un rango de frecuencia entre 45 - 870 MHz, con un nivel de entrada RF entre 20 - 30 dBmV y potencia de salida entre 4 – 20 mW) y garantizará que esta señal de salida alcance niveles ópticos funcionales en la ventana de 1550 nm, y pueda así enviarse por la fibra óptica.
- ❖ Un amplificador EDFA que permita amplificar la señal de video RF. Para este proceso, recibirá la respectiva señal óptica de video RF y le amplificará a niveles de potencia adecuados para la transmisión óptica.
- ❖ Un *softswitch* para poder brindar el servicio de telefonía. Este equipo se encargará de provisionar los números y gestionar las llamadas, permitiendo así establecer las llamadas que un cliente desearía realizar. El cliente podría realizar una llamada a otro cliente de la misma red (cliente Telconet S.A.) o a otro cliente que se encuentre fuera de la red de la empresa, pero dentro del país, por lo que el *softswitch* enviará el tráfico de la PSTN (*Public Switched Telephone Network*) a la red MPLS/IP bajo la conversión de IP a TDM que usa la telefonía tradicional.
- ❖ Un *router core* para ofrecer el servicio de Internet de banda ancha, este equipo será el encargado de enrutar el tráfico a través de la red MPLS/IP para que exista salida a Internet.
- ❖ Un multiplexor WDM para combinar las tres longitudes de onda. Este equipo evitará que se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente, además permitirá distribuir una sola señal a nivel de acceso para entrega al cliente final.

La red de acceso GEAPON con los servicios que provee (Internet, Telefonía fija y Televisión) debe tener la capacidad suficiente para conectarse a la red MPLS/IP que actualmente conforma la red *backbone* de Telconet S.A. Es decir, lo que se deberá realizar es la conexión del OLT con la red MPLS/IP, ya que este equipo es considerado como el corazón de la red GEAPON.

Así pues, considerando que los nodos de Telconet S.A. se encuentran conectados por medio de enlaces de fibra óptica, es necesario que el equipo OLT instalado en el nodo Ponce disponga de puertos (interfaces) con capacidad *Gigabit Ethernet* de 1 GE o 10 GE que permitan la integración con redes tipo MPLS/IP. Estos puertos se usarán para enlaces *uplink* a la red *backbone*, conectados por medio de módulos SFP (*Small Form-Factor Pluggable*)¹¹⁰ para las interfaces ópticas con capacidad de 10 Gbps utilizando cable de fibra óptica monomodo G.652D de 6 hilos. De esta manera, el equipo OLT podrá conectarse mediante un enlace Giga a la red MPLS/IP, el cual ingresará el tráfico a esta red y será llevado hacia el *Head End* para el tratamiento respectivo dependiendo del tipo de tráfico.

Por consiguiente, a partir del OLT, para que la red de acceso GEPON se conecte con la red MPLS/IP o forme parte de ella, primero se conectará con el *switch* de acceso Capa 2 correspondiente al nodo estándar Ponce para segmentar y manejar el tráfico de la red mediante VLANs. Luego, este equipo se conectará al *switch* agregador, donde se realizará el enrutamiento IP entre VLANs para transferir todos los paquetes a este *switch*. Y, finalmente este equipo se conectará a un *router* de borde (*Edge Router*) Capa 3, el mismo que forma parte de la red *backbone* para así conectarse con la red de servicios o portadora. Los módulos SFP también serán conectados en los puertos *Gigabit Ethernet* de cada *switch*.

Una vez conectada la red de acceso a la red *backbone* de Telconet S.A. se deberá realizar la respectiva configuración del OLT GEPON para que también soporte el servicio *Triple Play* dentro de los servicios que la empresa ofrece.

La respectiva conexión de la red de acceso GEPON con la red *backbone* de Telconet S.A. se presenta en la Figura 2.61. Esta arquitectura física de red está diseñada para proveer el servicio *Triple Play* a los 87 posibles clientes en el sector residencial Balcón del Norte. Adicional, en el [ANEXO I](#) se encuentra el plano de la red de acceso GEPON diseñada en AutoCAD, donde se representa la distribución de los equipos y elementos utilizados.

¹¹⁰ Los módulos SFP permiten la interconexión de los enlaces de fibra óptica monomodo punto-punto con longitud de onda de 1550 nm, ya que poseen un conector dual LC/PC para alcanzar capacidades *Gigabit* y distancias superiores a los 70 km en redes LAN y WAN.

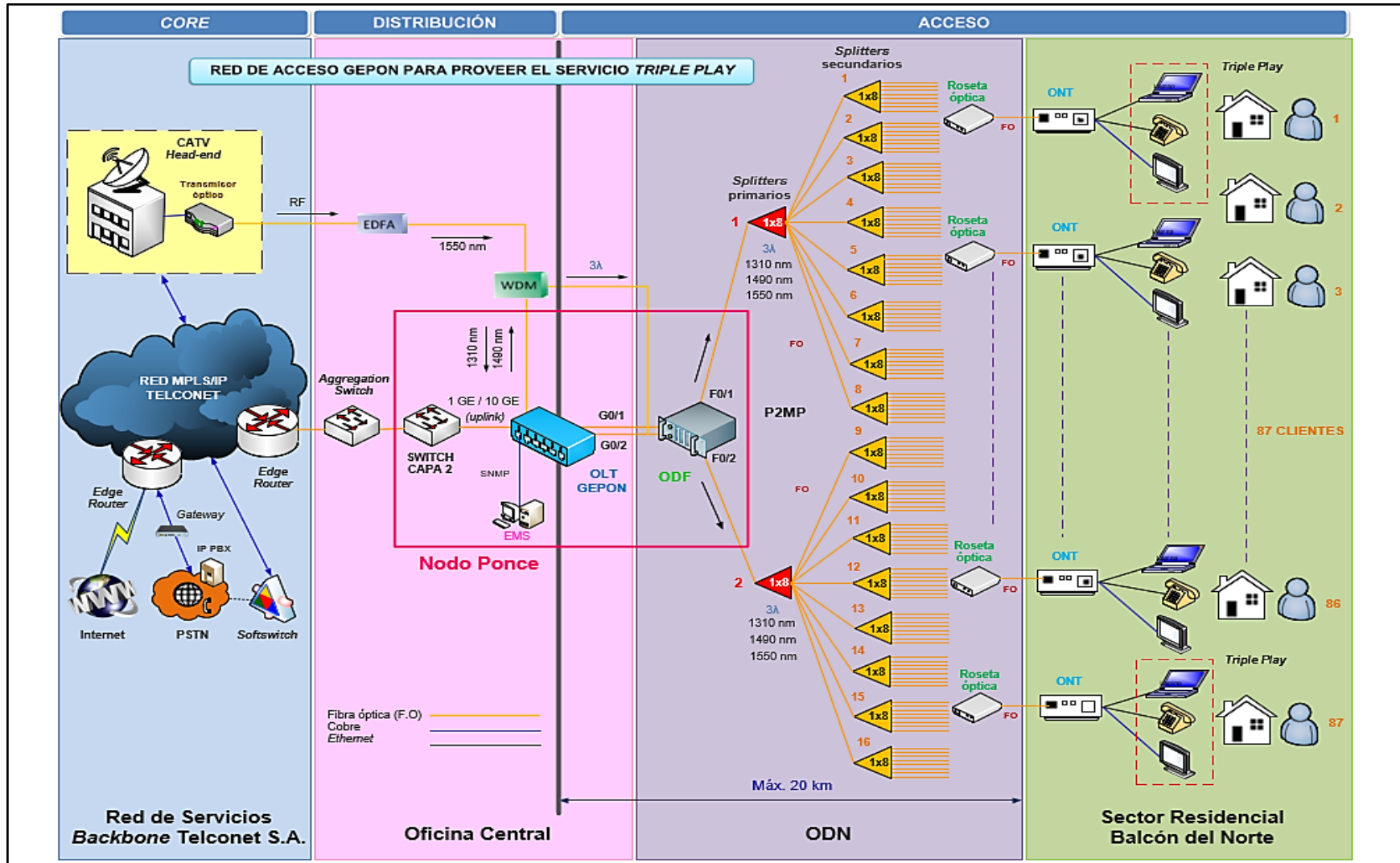


Figura 2.61 Arquitectura general de la red de acceso GEPON para Telconet S.A.

2.5.10 PRESUPUESTO ÓPTICO DE POTENCIA

De acuerdo con el diseño de la red de acceso GEPON, es primordial realizar los cálculos de las posibles pérdidas de potencia generadas en la red de transmisión, por lo que se evalúa el presupuesto óptico aceptable con los valores de atenuación de los elementos que componen la red. Para caracterizar correctamente el presupuesto óptico se considera principalmente los siguientes parámetros [107]:

- **Transmisor:** OLT, potencia de lanzamiento.
- **Conexiones de fibra:** divisores ópticos (*splitters*), conectores y empalmes de fusión.
- **Cable:** pérdidas de la fibra óptica.
- **Receptor:** ONT, sensibilidad del detector.
- **Otros:** margen de seguridad.

Cuando una de estas variantes no cumple las especificaciones, el rendimiento de la red puede verse enormemente afectado o, lo que es peor la degradación puede conducir a fallas en la red. La parte de la red más susceptible a fallas es la ODN, por estar conformada por varios elementos pasivos que contribuyen más pérdidas durante su trayecto (Ver Figura 2.62).

El diseño tiene que garantizar que el sistema opere a una velocidad que satisfaga el ancho de banda disponible tanto para un sistema analógico como para uno digital. Además, la señal que llega al receptor debe tener el nivel mínimo adecuado como para asegurar que la señal recuperada sea exactamente la misma que la emitida en el transmisor.

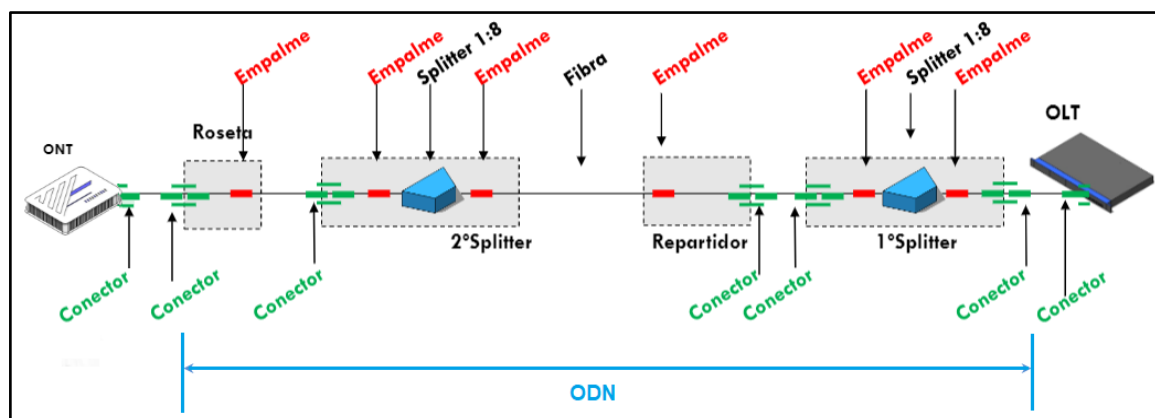


Figura 2.62 Escenario de posibles pérdidas en la red GEPON [108]

En el diseño se debe tomar en cuenta las pérdidas que son introducidas por todos los elementos de la red, adicionalmente, se debe considerar un margen de seguridad¹¹¹ que abarca pérdidas que pueden presentarse por diversas causas y que no son predecibles. La Tabla 2.31 resume los datos de pérdidas y distancias a considerar en los cálculos para el presupuesto óptico de la red.

Tabla 2.31 Parámetros para el presupuesto óptico de la red GEAPON [108]

PARÁMETRO	VALOR
Coefficiente de atenuación fibra monomodo G.652D	1310 nm a 1625 nm \leq 0,4 dB/km 1530 nm a 1565 nm \leq 0,3 dB/km
Pérdida por conector óptico	0,5 dB
Pérdida <i>splitter</i> 1x8	10,5 dB
Pérdida por <i>patchcord</i>	0,3 dB
Pérdida por empalme de fusión	0,1dB
Margen de seguridad	3,0 dB
Distancia usuario más lejano	2,6 km
Distancia usuario más cercano	1,4 km

2.5.10.1 Análisis de pérdida de potencia

El análisis de pérdidas de potencia es indispensable para determinar la calidad de la señal de la red que se registra en la transmisión de datos desde el nodo Ponce (OLT) hacia los abonados de la red (ONT) mediante la fibra óptica. Las pérdidas de potencia se calculan con respecto a los valores de atenuación de los elementos según el fabricante del equipo y de las distancias del tendido de cable de fibra óptica de la red de distribución (ODN).

Para el cálculo de las pérdidas de potencia se propone dos escenarios distintos, los mismos que consisten en medir las variables sobre el cliente que se encuentra más lejos desde la ubicación del OLT y, sobre el cliente que se encuentra más cerca con respecto al OLT. De esta forma se puede realizar una comparación de resultados entre ambos abonados, considerando el peor y mejor escenario en cuanto a las distancias utilizadas por el cable de fibra óptica, según la Figura 2.63.

¹¹¹ **Margen de seguridad:** El margen de un sistema es un factor de seguridad que se debe dejar en un diseño, contemplando en él eventos de degradación de los componentes del sistema, inexactitudes en el cálculo de pérdidas, reparaciones menores del sistema, nuevos registros del sistema, etc. Dependiendo de la aplicación, de los requerimientos de desempeño y el costo, este margen de pérdidas debe estar entre 3 y 10 dB.

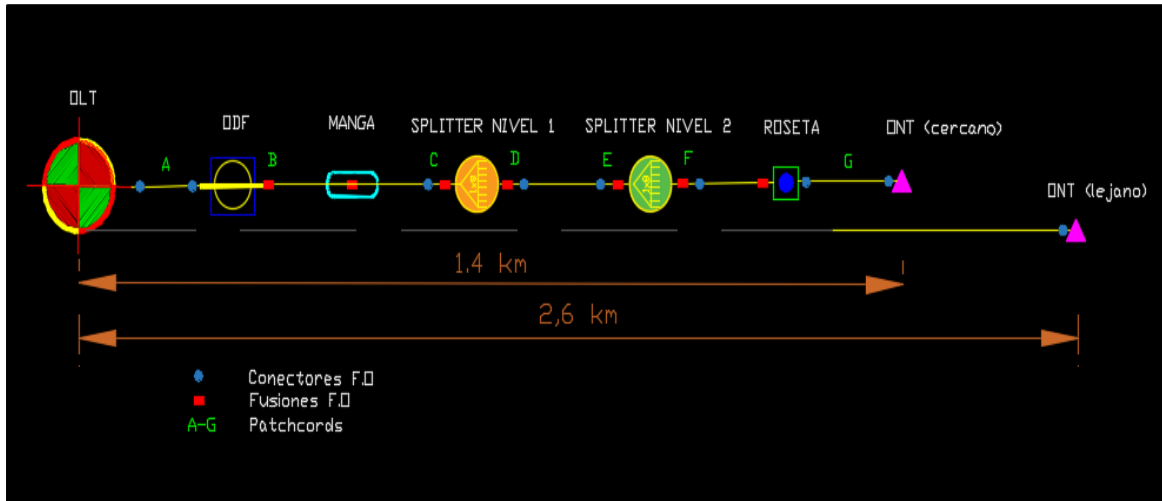


Figura 2.63 Cliente más lejano y cercano respecto al OLT

2.5.10.1.1 Escenario 1: Cliente más lejano

El primer escenario consiste en calcular los valores de atenuación sobre el cliente más lejano de la red GEOPON. La distancia del tendido de fibra óptica desde el OLT hasta el cliente es de 2,6 km, cuyo presupuesto óptico es el que se detalla en la Tabla 2.32.

Tabla 2.32 Presupuesto óptico del cliente más lejano

PRESUPUESTO ÓPTICO				
ELEMENTOS DE LA RED GEOPON		CANTIDAD	PÉRDIDA TÍPICA DEL ELEMENTO	PÉRDIDA TOTAL (dB)
Conectores ópticos		8	0,50 dB	4,0
Empalmes de fusión		7	0,10 dB	0,70
Splitter 1x8		2	10,5dB	21
Patchcord		7	0,30 dB	2,1
Longitud de FO	1310 nm	2,6 km	0,40 dB/km	1,04
	1550 nm	2,6 km	0,30 dB/km	0,78
Subtotal (dB)				29,62
Margen de seguridad (dB)				3,0
TOTAL (dB)				32,62

2.5.10.1.2 Escenario 2: Cliente más cercano

En este escenario consiste en medir la pérdida de potencia sobre el cliente más cercano hacia el OLT de la red GEOPON, es así como la distancia de tendido de la fibra óptica en la red ODN es de 1,4 km. El respectivo presupuesto óptico se muestra en la Tabla 2.33.

Tabla 2.33 Presupuesto óptico del cliente más cercano

PRESUPUESTO ÓPTICO				
ELEMENTOS DE LA RED GEPON		CANTIDAD	PÉRDIDA TÍPICA DEL ELEMENTO	PÉRDIDA TOTAL (dB)
Conectores ópticos		8	0,50 dB	4,0
Empalmes de fusión		7	0,10 dB	0,70
<i>Splitter</i> 1x8		2	10,5 dB	21
<i>Patchcord</i>		7	0,30 dB	2,1
Longitud de FO	1310 nm	1,4 km	0,40 dB/km	0,56
	1550 nm	1,4 km	0,30 dB/km	0,42
Subtotal (dB)				28,78
Margen de seguridad (dB)				3,0
TOTAL (dB)				31,78

2.5.10.2 Balance óptico de potencia de recepción

El balance de potencias permite conocer si los equipos van a soportar la señal que se transmite en el sistema, evitando daños en los mismos o sobrecarga de la potencia.

Para el diseño propuesto de la red de fibra óptica GEPON, es indispensable conocer la potencia de recepción de los equipos, este parámetro depende de la potencia de transmisión de los equipos y de las pérdidas generadas en la red de acceso FTTH.

Por tanto, para el cálculo del balance óptico se tendrá que cumplir con la relación que se presenta en la Ecuación 2.19.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

Ecuación 2.19 Relación para calcular el balance óptico de potencia de Rx

Donde,

P_{Rx} : Potencia de sensibilidad mínima de recepción del equipo (dBm).

P_{Tx} : Potencia del transmisor óptico (dBm).

α_{TOTAL} : Valor total de pérdidas (dB).

Por otro lado, la norma UIT-T G.984.2 Clase B+ especifica el valor de sensibilidad de recepción para este tipo de equipos, como se indica en la Tabla 2.34.

Tabla 2.34 Parámetros ópticos según recomendación UIT-T G.984.2 Clase B+ [45]

UIT-T G.984.2 Class B+		
PÁRAMETROS	Downstream	Upstream
Ventana de transmisión	1480 – 1550 nm	1260 – 1360 nm
Longitud de onda central	Tx: 1490 nm	Rx:1310 nm
Velocidad de transmisión	1,25 Gbps	1,25 Gbps
Potencia de transmisión	+0,5 dBm a +5 dBm	
Sensibilidad mínima de recepción	-28 dBm	
Sobrecarga mínima	-8 dBm	
Distancia máxima de transmisión	20 km	
Margen de seguridad	3,0 dB	

Los cálculos se realizan de igual forma considerando los escenarios ya mencionados, es decir, tanto para el cliente más lejano como para el más cercano con respecto al equipo OLT.

2.5.10.2.1 Escenario 1: Cliente más lejano

Para calcular la potencia de recepción en el equipo ONT del cliente más lejano con respecto al OLT, se debe considerar la pérdida de potencia total que se registra en la transmisión de datos hasta llegar al equipo de recepción, el cual es de 32,62 dB, teniendo en cuenta este valor se calcula la potencia de recepción mediante la Ecuación 2.20.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 32,62 \text{ dB}$$

$$\mathbf{-28 \text{ dBm} \leq -27,62 \text{ dBm}}$$

Ecuación 2.20 Potencia de recepción en el equipo del cliente más lejano

Una vez realizado el cálculo, se puede evidenciar que la potencia de recepción que se registra sobre el abonado más lejano al OLT es de -27,62 dBm, el cual este valor demuestra que la potencia recibida en el ONT aún se encuentra dentro del margen de la sensibilidad de recepción del equipo receptor, es decir por encima de -28 dBm.

Así se puede mencionar que el ONT del cliente en el sector residencial Balcón del Norte consigue procesar los bits enviados desde la OLT a través de la red óptica sin mayores pérdidas de datos.

2.5.10.2.2 Escenario 2: Cliente más cercano

En este escenario, para el cálculo de la potencia de recepción se toma en cuenta la pérdida de potencia total registrada para este cliente, la misma que según la Tabla 2.33 es de 31,78 dB, donde se calcula con la Ecuación 2.21.

$$\begin{aligned}
 P_{Rx} &\leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL} \\
 -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 31,78 \text{ dB} \\
 \mathbf{-28 \text{ dBm}} &\leq \mathbf{-26,72 \text{ dBm}}
 \end{aligned}$$

Ecuación 2.21 Potencia de recepción en el equipo del cliente más cercano

Este valor de -26,72 dBm indica que la potencia de recepción se encuentra por encima de la sensibilidad del equipo receptor del cliente

Por consiguiente, los valores obtenidos de pérdida total permiten de forma orientativa conocer el balance de potencias del sistema del presente diseño y comprobar que los equipos seleccionados sean los óptimos para realizar el enlace óptico. Estos equipos deberán presentar una sensibilidad que se ajuste al margen permitido por este análisis de pérdidas, de tal manera que permanezca un nivel aceptable de diferencia entre los que soportan dichos equipos.

Como se puede observar, en ninguno de los casos contemplados para la red del presente diseño se sobrepasa los valores que establece la inecuación, ni los valores del rango de sensibilidad dados por el fabricante del equipo, que a su vez están acorde con la recomendación UIT-T G.984.2 clase B+; es decir de -28 dBm.

2.5.10.3 Capacidad de transmisión para el enlace de fibra óptica

La capacidad de transmisión de un sistema de fibra óptica es su ancho de banda (sistema analógico) o su velocidad de transmisión máxima (sistema digital).

Por tal razón, para garantizar que un enlace de fibra óptica se encuentre correctamente dimensionado se debe cumplir la relación de la Ecuación 2.22, donde se considera todos los parámetros que influyen en la atenuación total del enlace [12] [109].

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - (\alpha_C \times n_C + \alpha_e \times n_e + \alpha_p \times n_p + \alpha_s \times n_s + \alpha \times D + M_s)$$

Ecuación 2.22 Relación para calcular la capacidad de un enlace de fibra óptica

Donde,

P_{Rx} : Potencia de sensibilidad mínima de recepción (dB).

P_{Tx} : Potencia de transmisión (dBm).

α_C : Atenuación para un conector óptico (dB).

n_C : Número de conectores de extremo a extremo del enlace.

α_e : Atenuación para un empalme de fusión (dB).

n_e : Número de empalmes.

α_p : Atenuación de un *patchcord* (dB).

n_p : Número de *patchcords*.

α_s : Atenuación de un *splitter* (dB).

n_s : Número de *splitters*.

α : Atenuación para el cable óptico (dB/km).

D : Distancia total efectiva del cable óptico (km).

M_s : Margen de seguridad del sistema (dB).

2.5.10.3.1 Cálculo de la distancia máxima del enlace óptico con GEPON

Considerando que en la tecnología GEPON la distancia máxima de transmisión entre el OLT y ONT es de 20 km, en esta sección se procede a calcular la distancia máxima que puede alcanzar el enlace óptico en el diseño. Para esto, se despeja la distancia total efectiva del cable óptico (D) de la Ecuación 2.22, y se considera los parámetros detallados en la Tabla 2.31.

- ❖ Para los extremos del enlace se usarán conectores ópticos tipo SC, que son los empleados generalmente para la transmisión de datos, los cuales nominalmente introducen pérdidas de 0,5 dB cada uno. Cabe señalar que para cada extremo del enlace se encuentra con un *patchcord* a la salida del ODF con 0,3 dB, el cual servirá para la conexión con los equipos activos del sistema.

- ❖ Los cables de interconexión, curvatura del cable, los eventos de atenuación óptica impredecibles, y así sucesivamente, se deben considerar un margen de seguridad alrededor de 3,0 dB.
- ❖ Cuando se requiere la inclusión de empalmes a lo largo del trayecto de la fibra se utiliza la técnica de fusión, la cual incluye pérdidas que se encuentran en el rango de 0,1 a 0,2 dB.
- ❖ La fibra óptica monomodo G.652D, puede operar satisfactoriamente sobre la segunda (1310 nm) y tercera (1550 nm) ventana de transmisión, cuyos valores del coeficiente de atenuación son de 0,4 y 0,3 dB/km respectivamente. La longitud de onda de trabajo tiene que ver directamente con la atenuación que se presentará en la transmisión, y por ende en la distancia máxima para el enlace.

Por consiguiente, en la Ecuación 2.23 y Ecuación 2.24 se calculan la distancia máxima que puede tener el enlace óptico para 1310 nm y 1550 nm:

❖ **Para la longitud de onda 1310 nm**

$$D_{\text{máx}} \leq \frac{P_{Tx} - P_{Rx} - (\alpha_c \times n_c + \alpha_e \times n_e + \alpha_p \times n_p + \alpha_s \times n_s + M_s)}{\alpha}$$

$$D_{\text{máx}} \leq \frac{5 \text{ dBm} - (-28 \text{ dBm}) - (0,5 \times 8 + 0,1 \times 7 + 0,3 \times 7 + 10,5 \times 2 + 3) \text{ dB}}{0,3 \text{ dB/km}}$$

$$D_{\text{máx}} \leq \frac{2,2 \text{ dBm}}{0,4 \text{ dB/km}}$$

$$D_{\text{máx}} \leq 5,5 \text{ km}$$

Ecuación 2.23 Cálculo de la distancia máxima para el enlace óptico a 1310 nm

$D_{\text{máx}} (\text{Red GEPON diseñada}) \leq D_{\text{máx}} (\text{Red GEPON estandarizada})$

$5,5 \text{ km} \leq 20 \text{ km}$

La distancia del enlace óptico de la red de acceso GEPON en los 1310 nm es de 5,5 km, la misma que es menor a los 20 km según el estándar IEEE 802.3ah. Esto indica que la distancia del diseño está dentro del máximo alcance de operación.

❖ Para la longitud de onda 1550 nm

$$D_{\text{máx}} \leq \frac{P_{Tx} - P_{Rx} - (\alpha_c \times n_c + \alpha_e \times n_e + \alpha_p \times n_p + \alpha_s \times n_s + M_s)}{\alpha}$$

$$D_{\text{máx}} \leq \frac{5 \text{ dBm} - (-28 \text{ dBm}) - (0,5 \times 8 + 0,1 \times 7 + 0,3 \times 7 + 10,5 \times 2 + 3) \text{ dB}}{0,4 \text{ dB/km}}$$

$$D_{\text{máx}} \leq \frac{2,2 \text{ dBm}}{0,3 \text{ dB/km}}$$

$$D_{\text{máx}} \leq 7,3 \text{ km}$$

Ecuación 2.24 Cálculo de la distancia máxima para el enlace óptico a 1550 nm

$$D_{\text{máx}} (\text{Red GEPON diseñada}) \leq D_{\text{máx}} (\text{Red GEPON estandarizada})$$

$$7,3 \text{ km} \leq 20 \text{ km}$$

De igual forma, a una longitud de onda de 1550 nm se obtiene una distancia del enlace óptico de 7,7 km, siendo menor a los 20 km máximos establecidos bajo el estándar IEEE 802.3ah para la tecnología GEPON.

Además, ninguno de los enlaces de fibra requeridos en el diseño, superan el valor de estas distancias, validando así los parámetros establecidos. Es decir, la distancia máxima de la fibra óptica entre los equipos OLT y ONT, es de 5,5 km para 1310 nm y 7,3 km para 1550 nm.

En consecuencia, el balance óptico considera la distancia total del tramo entre el OLT y ONT. Esta distancia influye linealmente en la atenuación (denominada atenuación espectral) introducida por el cable de fibra óptica (típicamente se considera 0,4 dB/km en 1310 nm, que es la longitud de onda más restrictiva a la hora de diseñar). Por lo general, los valores de distancia a la que están los usuarios en una red FTTH suelen estar entre 5 y 20 km.

2.5.10.3.2 Cálculo del ancho de banda mínimo del enlace óptico con GEPON

Una vez calculadas las respectivas distancias del enlace óptico, se calcula el ancho de banda (AB) mínimo de la fibra óptica que se obtendría a dichas distancias efectivas. Este cálculo se realiza mediante la fórmula de la Ecuación 2.25 [12].

$$AB = \frac{0,5}{\tau} = \frac{0,5}{D \times \tau_c \times \Delta\lambda} \quad [GHz]$$

Ecuación 2.25 Fórmula para calcular el ancho de banda total de la fibra óptica

Donde,

τ : Dispersión total (ns).

D : Distancia máxima permitida para un enlace óptico (km).

τ_c : Coeficiente de dispersión cromática de la fibra óptica (ps/nm.km).

$\Delta\lambda$: Ancho espectral de la fuente de luz láser (nm).

Según la recomendación UIT-T G.652D, el valor del coeficiente de dispersión cromática para las fibras ópticas que operan en 1310 nm está entre 4,0 – 5,0 ps/nm.km, pero se considera el valor típico de 3,5 ps/nm.km. Mientras que para las fibras que operan en 1550 nm es de alrededor de 18 – 22 ps/nm.km con un valor típico de 20 ps/nm.km. Y, los láseres simples tienen un ancho espectral entre un 1 nm y 5 nm [12].

Así pues, en la Ecuación 2.26 y Ecuación 2.27 se calcula el ancho de banda mínimo asociado en la fibra óptica, tanto para la λ de 1310 como de 1550 nm.

❖ **Para la longitud de onda 1310 nm**

$$AB_{min FO} = \frac{0,5}{5,5 \text{ km} \times 3,5 \frac{ps}{nm \times km} \times 5 \text{ nm}}$$

$$AB_{min FO} = \frac{0,5}{96,25 \text{ ps}}$$

$$AB_{min FO} = 5,195 \times 10^{-3} \frac{1}{ps}$$

siendo $1/ps = 1 \times 10^6 \text{ MHz}$

$$AB_{min FO} = 5,195 \times 10^{-3} \times 10^6 \text{ MHz}$$

$$\mathbf{AB_{min FO} = 5,195 \text{ GHz}}$$

Ecuación 2.26 Cálculo del ancho de banda mínimo de la fibra óptica a 1310 nm

❖ Para la longitud de onda 1550 nm

$$AB_{min FO} = \frac{0,5}{7,33 \text{ km} \times 20 \frac{ps}{nm \times km} \times 5 \text{ nm}}$$

$$AB_{min FO} = \frac{0,5}{733 \text{ ps}}$$

$$AB_{min FO} = 6,821 \times 10^{-4} \frac{1}{ps}$$

siendo $1/ps = 1 \times 10^6 \text{ MHz}$,

$$AB_{min FO} = 6,821 \times 10^{-4} \times 10^6 \text{ MHz}$$

$$\mathbf{AB_{min FO} = 682,12 \text{ MHz}}$$

Ecuación 2.27 Cálculo del ancho de banda mínimo de la fibra óptica a 1550 nm

Dentro de las comunicaciones ópticas, se debe considerar que el ancho de banda en la práctica se expresa como el producto del ancho de banda por unidad de longitud (GHz.km). Entonces, los cables de fibra óptica vienen caracterizados por el producto ancho de banda por kilómetro. Las fibras ópticas presentan anchos de banda desde 10 MHz.km hasta 1500 GHz.km [12]. Por consiguiente, según los cálculos realizados, los anchos de banda asociados a la fibra óptica monomodo son de 5,195 GHz.km y 682,12 MHz.km a los 1310 nm y 1550 nm respectivamente, cuyos valores se encuentran dentro del rango de operación indicado.

Por tanto, el ancho de banda se basa en la relación potencia-distancia, pues el desempeño del sistema no solo depende de la dispersión sino también de cuánta potencia llega al receptor. Esto significa que, para cada uno de los enlaces de fibra óptica requeridos, el ancho de banda que se dispondrá variará en función de la distancia que presenten. De tal manera, a menor distancia (menor alcance) del enlace de fibra óptica, mayor será el ancho de banda que se dispondrá para la transmisión de la información. Mientras que, para el caso contrario, a una mayor distancia radica un menor ancho de banda. Es decir, si se toma la mitad de la distancia se duplica la frecuencia, y viceversa.

CAPÍTULO 3

ESTIMACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE LOS EQUIPOS PARA EL DESARROLLO DE LA RED

3.1 INTRODUCCIÓN

Las empresas de telecomunicaciones con el propósito de enfrentarse a un gran número de competidores lanzan al mercado novedosos productos y servicios. Para ello, necesitan determinar cuánto les costará fabricar estos productos o generar nuevos y mejores servicios para ganar una participación de mercado. Además, requieren realizar proyecciones a futuro para ver de qué forma, las decisiones que se tomen hoy, afectarán los resultados que se obtendrán en el mañana.

Conforme a esto, la empresa Telconet S.A. pretende seguir creciendo y alcanzando un alto nivel competitivo en el mercado con el ofrecimiento de nuevos servicios, como el servicio *Triple Play*. Por tal razón, la empresa necesitará principalmente conocer el presupuesto referencial de la red de acceso GEPON, para disponer de una base estimada de inversión y poder tomar decisiones al momento de una posible implementación de esta nueva red en el sector residencial Balcón del Norte.

Es así como, en este capítulo se analizarán las especificaciones técnicas de los diferentes componentes que conforman la red de acceso, luego se describirán sus costos estimados y, se realizará el presupuesto referencial. La estimación de los costos constituye uno de los aspectos centrales a considerar, tanto por la importancia de ellos en la determinación de la rentabilidad del proyecto, como por la variedad de elementos sujetos a valorización como desembolsos del proyecto.

Por tanto, este análisis permitirá seleccionar la mejor opción de estos componentes, comparando las características técnicas de al menos dos marcas de productos en el mercado, los mismos que deberán ser capaces de manejar y ofrecer el servicio *Triple Play* a los clientes. Asimismo, el análisis de los costos no solo ayudará a determinar el costo de la red y su mantenimiento, sino que también servirá para determinar si es viable, y conlleve a obtener beneficios en términos de productividad y calidad de servicio.

3.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED GEAPON PARA UNA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN


En la actualidad, existen algunas empresas fabricantes y proveedoras de una gama de productos para soluciones FTTH de marcas reconocidas como: Cisco, TELNET-Redes Inteligentes, Corecess, Huawei, Tellion, Furukawa, 3M Telecomunicaciones (3M™), entre otras. Sin embargo, para una posible implementación de la red GEAPON, se ha considerado necesario comparar las especificaciones técnicas y costos referenciales de al menos dos marcas de productos para la selección de la mejor alternativa de los componentes de la red.

3.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS

3.2.1.1 OLT

Los equipos OLT que se sugiere utilizar son de la marca Tellion y Huawei *Technologies*, cuyas especificaciones técnicas respectivas entre los modelos EP-3116 y SmartAX MA5608T se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas de los equipos OLT [110] [111]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPO OLT		
	TELLION EP-3116	HUAWEI SmartAX MA5608T
		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Estándar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEEE 802.3ah EFM ▪ IEEE 802.1d STP ▪ IEEE 802.1p <i>Traffic priority</i> ▪ IEEE 802.1q VLAN ▪ IEEE 802.1w RSTP, MSTP ▪ IEEE 802.3x <i>Flow control</i> ▪ IEEE 802.3ad <i>Trunking</i> ▪ QoS (<i>Quality of Service</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEEE 802.3ah EFM ▪ IEEE 802.1p <i>Traffic priority</i> ▪ IEEE 802.1q VLAN ▪ IEEE 802.1w RSTP, MSTP ▪ QoS (<i>Quality of Service</i>) ▪ H-QoS (<i>Hierarchical-Quality of Service</i>)
Relación de spliteo	1:32 (1:64 opcional)	1:64

Distancia de transmisión	Máx. 20 km	Máx. 20 km
Ranuras o <i>Slots</i>	6: 1 FAN, 2 PDU, 1 SCM, 2 LIM	5: 1 FAN, 1 PDU, 2 SCM, 2 LIM
Puertos PON	8	8
Usuarios por tarjeta LIM (<i>Line Interface Module</i>)	256 (1:32), 512 (1:64)	512
Capacidad de usuarios	512, 1024	1024
Puertos <i>uplink</i>	4 GE (<i>Gigabit Ethernet</i>) para uso con módulos SFP	4 GE (<i>Gigabit Ethernet</i>) para uso con módulos SFP
Modo de operación	Dual IPv4/IPv6 (soporta <i>switch</i> capa 3)	Dual IPv4/IPv6
Dimensiones x RU (<i>Rack Unit</i>)	483mm (W) x 255mm (D) x 2RU (H)	442mm (W) x 233,5mm (D) x 88mm x 1RU (H)
CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES		
Longitud de onda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1310 nm <i>Up</i> (voz y datos) ▪ 1490 nm <i>Down</i> (voz y datos) ▪ 1550 nm (video) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1310 nm <i>Up</i> (voz y datos) ▪ 1490 nm <i>Down</i> (voz y datos) ▪ 1550 nm (video)
Tasa de transmisión	Simétrica: 1,25 Gbps (<i>up/down</i>)	Simétrica: 1,25 Gbps (<i>up/down</i>)
Capacidad de conmutación (<i>Backplane</i>)	3,2 Tbps	720 Gbps
CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS		
Transmisión	Láser clase B+ Nivel de potencia de salida: +5 dBm	Láser clase B+ Nivel de potencia de salida: +1,5 a +5 dBm
Recepción	Sensibilidad Clase B+: -13 a -28 dBm	Sensibilidad Clase B+: -13 a -28 dBm
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y DE TEMPERATURA		
Rango de voltaje	90 – 250 VAC, 50 – 60 Hz, -48+/-10% VDC	100 – 240 VAC, 50 – 60 Hz, -48 o -60 VDC
Temperatura ambiente	0°C ~ +50°C	-40°C ~ +65°C
PROTOCOLOS Y APLICACIONES		
Administración local y remota	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SNMPv3 ▪ IGMPv1/v2/v3 ▪ Telnet ▪ SSH ▪ Cisco-like CLI ▪ GUI ▪ EMS <i>management/console</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SNMPv1/v2/v3 ▪ IGMPv2/v3 ▪ Telnet ▪ SSH ▪ CLI ▪ <i>iManager</i> U2000 (Sistema de Gestión unificada)
Enrutamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estático ▪ Dinámico: RIP, OSPFv2, BGP4 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estático ▪ Dinámico: RIP, OSPF, MPLS
Seguridad	Encriptación: 128 AES	No definido
Aplicación	Redes FTTN, FTTB, FTTH	Redes FTTN, FTTB, FTTH, FTTC

En el [ANEXO J](#), se muestran las hojas técnicas de los equipos OLT para más información en relación a las especificaciones técnicas [110] [111].

3.2.1.2 ONT

El equipo ONT debe ser del mismo fabricante que el equipo OLT, debido a que no existe interoperabilidad¹¹² entre elementos. Por tanto, en la Tabla 3.2 se muestra en resumen las características técnicas del ONT Tellion EP-3204N y ONT Huawei EP-3204N que ofrecen una solución GEPON.

Tabla 3.2 Especificaciones técnicas de los equipos ONT [112] [113]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPO ONT		
	TELLION EP-3204N	HUAWEI HG8240
		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Estándar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEEE 802.3ah MPCP ▪ IEEE 802.3p <i>Traffic priority</i> ▪ IEEE 802.3q VLAN ▪ IEEE 802.3x <i>Flow control</i> ▪ QoS (<i>Quality of Service</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEEE 802.1p <i>Traffic priority</i> ▪ IEEE 802.3q VLAN ▪ QoS (<i>Quality of Service</i>) ▪ IPToS (<i>IP Type of Service</i>)
Relación de spliteo	1:32	1:32, 1:64
Distancia de transmisión	10 km, 20 km	20 km
Dimensiones	179 mm (W) x 134 (D) mm x 40 mm (H)	176 mm (W) x 138,5 mm (D) x 28 mm (H)
Puertos de servicio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 puertos LAN 10/100 Base-Tx <i>Ethernet</i> (RJ-45) ▪ 1 puerto WAN GE (<i>Gigabit Ethernet</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 puertos LAN 10/100/1000M Base-T <i>Ethernet</i> (RJ-45): PC, STB (<i>set-top box</i>) ▪ 1 puerto RF: TV ▪ 1 puerto óptico: FO ▪ 2 puertos POTS: Telf. ▪ 4 puertos WAN GE (<i>Gigabit Ethernet</i>)
CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES		
Longitud de onda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1310 nm <i>Up</i> (voz y datos) ▪ 1490 nm <i>Down</i> (voz y datos) ▪ 1550 nm (video) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1310 nm <i>Up</i> (voz y datos) ▪ 1490 nm <i>Down</i> (voz y datos) ▪ 1550 nm (video)
Tasa de transmisión	Simétrica: 1,25 Gbps (<i>up/down</i>)	Simétrica: 1,25 Gbps (<i>up/down</i>)
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y DE TEMPERATURA		
Temperatura ambiente	0°C ~ +50°C	0°C ~ + 40°C

¹¹² **Interoperabilidad:** Dentro de las TIC se entiende como aquella capacidad que tienen diferentes sistemas heterogéneos de compartir datos o intercambiar información entre ellos. Es decir, permite la interconexión y funcionamiento conjunto de manera compatible.

Rango de voltaje	100 – 240 VAC, 50~60Hz 12V DC, 2ª	100 – 240 VAC, 50~60Hz 11 – 20V DC, 1ª
PROTOCOLOS Y APLICACIONES		
Administración local y remota	Telnet, HTTP, TFTP, SNMP, IGMPv2	SIP, H.248, IGMPv2v3, Códec G.711A/μ, G.729A/B, y G.722 Local: Interfaz Web Remota: OMCI (<i>Optical Network Termination Management and Control Interface</i>)
Seguridad	Encriptación: 128 AES	No definido
Aplicación	Redes FTTH, FTTB Servicios <i>Triple Play</i> (datos, IPTV, VoIP)	Redes FTTH, FTTB Servicios <i>Plug and play</i> (PnP) incluidos datos, voz, video

En el [ANEXO K](#), se encuentran las especificaciones técnicas de los equipos ONT para más información [112] [113].

3.2.1.3 ODF

En la Tabla 3.3 se detallan las especificaciones técnicas del ODF que se instalará en el nodo Ponce.

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas del ODF [103]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ODF TELCONET S.A.	
Fibra óptica de trabajo	Monomodo (UIT-T G.652D)
Tipo de conector y adaptador	<i>Patchcords</i> SC-SC, SC-LC, <i>pigtails</i> SC/APC (pulido APC)
Tipo de acoplador	Dúplex
Capacidad de conexiones	12, 24, 48 ,144 hilos
Número de <i>cassettes</i>	6 (donde se organizará los hilos que llegan de la red principal)
Ambiente de instalación	Interna (<i>Indoor</i>) en <i>Rack</i> 19" 2RU
Estructura	Chasis metálico
Dimensiones	436mm [D] x 437mm [W] x 89,5mm [H]
Aplicación	Diseñados para ser utilizados en oficinas centrales, remotas y en locales de redes LAN que usan instalaciones de fibra óptica

Como se mencionó previamente, la misma empresa Telconet S.A. realiza el armado y ubicación de los respectivos distribuidores de fibra óptica (ODF) en los nodos estándar. Por tanto, la adquisición de este elemento es bajo esta circunstancia, por lo que se descarta la comparación con proveedores de productos de fibra óptica.

3.2.1.4 Fibra óptica

Con respecto a los cables de fibra óptica que se utilizarán para el respectivo tendido, de igual forma la misma empresa Telconet S.A. será la responsable de proveer el respectivo material; el cual su adquisición será por medio de su propia fábrica *Latamfiberhome*. El tendido será en todo el recorrido o ruta de la red, ya sea en la parte troncal (*feeder*) y distribución, así como en la acometida (*drop*).

La instalación de la fibra óptica incluida manguera y sujeción a postes será realizada por la empresa desde el nodo Ponce hasta el sector residencial Balcón del Norte. La Tabla 3.4 muestra las especificaciones técnicas del cable de fibra.



Tabla 3.4 Especificaciones técnicas del cable fibra óptica

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CABLE DE FIBRA ÓPTICA TELCONET S.A.	
	
Tipo de cable	ADSS
Tipo de fibra óptica	Monomodo
Normas aplicables	Recomendación UIT-T G.652D y G.657A1
Número de hilos de fibra óptica	6, 2, 24, 144 hilos en codificación de colores
Coeficiente de atenuación óptica	1310 nm – 1625 nm \leq 0,40 dB/km 1530 nm – 1565 nm \leq 0,30 dB/km
Coeficiente de dispersión cromática	0,092 ps/(nm ² x km)
Coeficiente PMD _Q	\leq 0,20 ps/ \sqrt{km}
Temperatura de operación	-20 a + 65°C
Tipo de instalación	Exterior (<i>Outdoor</i>) para tendido aéreo
Aplicación	Conexiones domésticas, redes de acceso FTTH, cableados internos FTTx

3.2.1.5 Splitters

En la Tabla 3.5 se presenta la comparación de las especificaciones técnicas de los *splitters* que proporcionan dos proveedores de productos, Telnet y Furukawa.



Tabla 3.5 Especificaciones técnicas de los *splitters*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SPLITTERS		
	TELNET-RI	FURUKAWA
		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Tecnología de fabricación	PLC, FBT	PLC, FBT
Relación de división	1x2,1x4,1x8,1x16,1x32,1x64	1x2,1x4,1x8,1x16,1x32
Tipo de conector	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Con pulidos APC: FC/APC, SC/APC ▪ Con pulidos PC: FC/PC, SC/PC, ST/PC 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Con pulidos APC y PC: SC/APC, SC/PC
Dimensiones de la estructura (cuerpo)	7mm x 4mm x 46,9mm	6,4mm x 8,0mm x 116mm
CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES		
Longitud de onda	1310 nm, 1490 nm, 1550 nm	1310 nm, 1490 nm, 1550 nm
CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS		
Pérdidas por inserción (dB)	$\leq 3.5, \leq 7.5, \leq 10.3, \leq 13.5, \leq 16.7, \leq 20.4$	$\leq 3.5, \leq 7.5, \leq 12.3, \leq 13.5, \leq 16.7$
Pérdidas de retorno (dB)	$> 50, \geq 55$	≥ 50
Directividad (dB)	> 50	≥ 60
CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA		
Temperatura de funcionamiento	-20 / 70°C, - 40 / +85°C	-40 a +75°C
APLICACIONES		
Escenarios de despliegue	Redes FTTN, FTTB, FTTH	Redes FTTN, FTTB, FTTH, FTTC

3.2.1.6 Mangas de empalme

En la Tabla 3.6 se presenta la comparación de las especificaciones técnicas en relación con las mangas de empalme de dos modelos de productos de la marca 3M™ y Tyco Electronics (TE).



Tabla 3.6 Especificaciones técnicas de las mangas de empalme [114]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MANGAS DE EMPALME		
	3M™	TYCO
		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Tipo de manga	Domo, Lineal	Domo, Lineal
Capacidad de empalme	24, 48, 96 hilos	12, 24, 48, 96, 144 hilos
Cantidad de puertos de cable	1 puerto oval 4 puertos redondos	4 puertos redondos 1 multipuerto pasacables
Número de bandejas (cassettes de empalme)	4 para 24 conexiones en la bandeja	6 para 24 conexiones en la bandeja
Dimensiones	280mm (L) x 180mm (W) x 122 mm (H)	369mm (L) x 182mm (W) x 106mm (H)
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Material de sellado ▪ Válvula de presurización metálica anticorrosiva ▪ Bandejas para colocar un mínimo de 12 fusiones ▪ Kit de herramientas especializado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Válvula de presurización metálica anticorrosiva ▪ Cordón de sellado reutilizable ▪ Bandejas para colocar un mínimo de 12 fusiones ▪ Base y cubierta de material polimérico o de polipropileno resistente a hongos, tracción y elongación ▪ Kit de accesorios de sujeción de manga
Construcción	Material polipropileno, hermética, resistente a hongos y a los rayos UV	Hermética, acero inoxidable con elevada resistencia a factores del medio ambiente (corrosión)
Temperatura de soporte	-35° + 58°C	40° + 60°C
Tipo de instalación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aéreas (postes) ▪ Subterráneos (ductos) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aéreas (postes) ▪ Subterráneos (ductos)
Aplicación	Redes FTTx / PON	Redes FTTx / PON, HFC, CATV

3.2.1.7 Cajas de distribución

La Tabla 3.7 muestra de igual forma la comparación de las especificaciones técnicas de las cajas de distribución entre las marcas de productos 3M™ y Tyco Electronics (TE).

Tabla 3.7 Especificaciones técnicas de las cajas de distribución [117]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN		
	3M™	TYCO
		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Tipo de fibra	Monomodo y Multimodo	Monomodo y Multimodo
Capacidad	48 hasta 144 hilos	12 hasta 144 hilos
Número de puertos de entrada de cable	2 puertos: Cada puerto para 1 cable con un máximo de 12 mm 16 puertos: Cada puerto para 1 cable con un máximo de 4 mm	2 puertos: Cada puerto para 1 cable con un máximo de 12 mm 16 puertos: Cada puerto para 1 cable con un máximo de 4 mm
Bandejas de empalme	1 bandeja (cada bandeja de 16 empalmes)	1 bandeja (cada bandeja de 16 empalmes)
PLC <i>Splitter</i>	1x8, 1x16	1x4, 1x8, 1x16
Número de adaptadores de fibra	16	16
Tipo de conectorización	SC/APC simples, dual	SC/APC simples, dual
Equipamiento	<i>Kit</i> incluido <i>cassette</i> y accesorios. Sistema de retención y sujeción de refuerzo central incluidos	<i>Kit</i> incluye todas las partes y accesorios necesarios para la instalación completa de la caja Sistema de retención y sujeción de refuerzo central incluidos
Dimensiones	315 mm(L) x 236mm(W) x 100mm(H)	268 mm(L) x 320 mm(W) x 90 mm(H)
Ambiente de instalación	Externo para pared o montaje en poste	Externo para pared o montaje en poste
Aplicación	Redes de acceso FTTH, CATV, LAN	Redes de acceso FTTH, CATV, comunicación de datos

3.2.1.8 Roseta óptica

La Tabla 3.8 presenta la comparación de las características entre dos marcas de productos 3M™ y Furukawa en relación con la roseta óptica.

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de la roseta óptica [115] [116]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ROSETA ÓPTICA		
	3M™	FURUKAWA
		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Tipo de fibra óptica	Fibra estándar UIT.G.652D con radios de curvatura de hasta 30mm y G.657.A1	Fibra estándar UIT.G.652D y G.657.A1
Tipo del conector	SC <i>simplex</i> , LC <i>dúplex</i>	SC <i>simplex</i> , LC <i>dúplex</i>
Tipo de pulido	PC, APC	PC (SPC/UPC), APC
Cantidad de posiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 para fusiones ópticas ▪ 1 para adaptador óptico SC <i>simplex</i> o LC <i>dúplex</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 para empalmes ópticos por fusión o mecánicas ▪ 2 para adaptador óptico SC <i>simplex</i> o LC <i>dúplex</i>
Material de construcción	Plástico ABS con tapa superior desmontable	Plástico ABS con tapa superior desmontable
Accesorios	<i>Pigtail</i> , adaptador y tubillo para protección	4 abrazaderas plásticas y 2 tornillos de fijación
Dimensiones	106mm (L) x 83mm (A) x 24mm (P)	114,9mm (L) x 79,8mm (A) x 22,5mm (P)
Ambiente de instalación	<i>Indoor</i>	<i>Indoor</i>
Aplicación	Redes FTTH, FTTC	Redes FTTx

En el [ANEXO L](#) se adjunta más información de las especificaciones técnicas de los elementos pasivos [117] [118] [119].

3.2.2 DESCRIPCIÓN DE COSTOS DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS

Una vez realizada la respectiva comparación de las especificaciones técnicas de los elementos activos y pasivos entre las diferentes marcas de fabricantes, también se procede con la descripción y comparación de los costos referenciales de cada uno de ellos, y así proceder con la respectiva selección de los elementos, de acuerdo con la mejor alternativa para una posible implementación de la red de acceso GEPON.

La estimación de los costos se realiza considerando una aproximación en el mercado nacional, es así como para este caso se toma como referencia los costos obtenidos de la propia empresa y, también gracias a dos proveedores que ponen a disposición distintos equipos e insumos de diferentes marcas para soluciones de redes con fibra óptica o FTTx. En el [ANEXO M](#) se adjuntan la proforma y lista de precios solicitados a estos dos proveedores.

Cabe señalar que los costos referenciales que se presentan a continuación son por unidad de producto sin impuesto de valor agregado (IVA%) y, corresponden a valores entre el año 2016 y 2017.

3.2.2.1 Costos de elementos activos

En la Tabla 3.9 se presenta la comparación de los costos referenciales de los equipos activos OLT y ONT.

Tabla 3.9 Costos referenciales de los elementos activos [57] [120]

ELEMENTO ACTIVO	MARCA DEL PRODUCTO			
	TELLION		HUAWEI	
OLT	EP-3116	\$4.000,00	SmartAX MA5608T	\$4.155,00
ONT	EP-3204N	\$40,00	HG8240	\$49,92

3.2.2.2 Costos de elementos pasivos

Tabla 3.10 Costos referenciales de los elementos pasivos [57] [121] [120]

ELEMENTO PASIVO		MARCA DEL PRODUCTO	
		TELCONET S.A.	
ODF	Abatible 144 puertos SC/PC, SM <i>pigtail</i> 2m 3.00mm (144 hilos)	\$120,00	
Fibra óptica	Cable G.652D <i>Feeder</i> 6 hilos	\$1,10	
	Cable G.652D 144 hilos	\$2,50	
	Cable G.657A1 <i>Drop</i> 2 hilos	\$0,20	
<i>Splitters</i>	PLC <i>Splitter</i> 1x8 <i>Steel Tube</i> , Conector SC/PC, 1.5M, SM	TELNET	FURUKAWA
		\$20,00	\$27,70
Mangas de empalme	Manga vertical para 144 hilos	3M™	TYCO
		\$150,00	\$155,00
Cajas de distribución	F.O 144 hilos-2 PLC <i>Splitter</i> 1x8 SC/PC	\$53,50	\$68,00
Roseta óptica	Caja terminal 2 puertos FTTH	3M™	FURUKAWA
		\$11,95	\$18,00

En la Tabla 3.10 se presentan los costos referenciales de cada uno de los elementos pasivos de acuerdo con la comparación técnica previamente realizada entre los dos fabricantes.

3.2.3 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS

Una vez realizada la comparación tanto de las especificaciones técnicas, así como de los costos referenciales entre dos marcas del mercado, a continuación, se procede a realizar un análisis de dichas comparaciones para así seleccionar las mejores alternativas de los elementos activos y pasivos para el diseño de la red de acceso GEPON y en el caso de una posible implementación.

- ❖ De acuerdo con la Tabla 3.1 comparativa, los dos equipos OLT cumplen con las expectativas que se requiere alcanzar en el diseño. Sin embargo, se selecciona simplemente el OLT Tellion EP-3116 porque este equipo bastaría para cubrir los 87 clientes obtenidos en la proyección de demanda durante el período 2017-2022 sin sobredimensionar la red y, sobre todo a un menor costo. Además, porque también permite expandir la red sin problema según las necesidades de la demanda de clientes existentes en el sector, utilizando los siguientes 8 puertos GEPON de la otra tarjeta LIM (cada puerto 1:64 clientes) sin necesidad de realizar inversiones adicionales, donde se llegaría tranquilamente a cubrir 512 clientes más.
- ❖ En cuanto al ONT, como se observa en la Tabla 3.2 las dos marcas de equipos cumplen con las características mínimas requeridas para el diseño, pero se selecciona el equipo ONT Tellion EP-3204N de la misma marca que el OLT porque debe existir interoperabilidad (compatibilidad) entre los dos equipos activos para su “entendimiento” de operación y puedan trabajar adecuadamente sin proporcionar fallas en la red.

Además, cabe señalar, que el ONT Tellion EP-3204N aún no se considera como un equipo obsoleto para trabajar con aplicaciones avanzadas como el *Triple Play*; su tecnología soporta enlaces con capacidad de hasta 1 Gbps entregados en los puertos LAN del ONT; el cual actualmente en el mercado del país es lo que más existe en la oferta de planes de Internet.

- ❖ En relación a las marcas de *splitters* expuestos en la Tabla 3.5 se puede verificar que ambas cumplen con los parámetros técnicos acorde a las características necesarias de la sección 2.5.8, pero para el presente diseño se escoge a TELNET, el cual provee *splitters* tipo externo con tecnología PLC para montaje aéreo y disposición en cabina o gabinete para protección de agentes externos como lluvia, polvo y humedad, entre otros. En cuanto, a la relación de división ofrece mejores prestaciones respecto a pérdidas de inserción y retorno en comparación al fabricante Furukawa. Además, porque a más de presentar mejores características técnicas, su costo es menor acorde a la Tabla 3.10.
- ❖ Con respecto a las características de las mangas de empalme que se detallan en las Tabla 3.6, se opta por usar la de marca Tyco *Electronics* porque es hermética y ofrece gran capacidad de administración de tubos holgados y empalmes de fibra óptica (puede albergar 96 y 144 empalmes). Es ideal para reentrada y sangría a nivel planta externa (subterránea o aérea). Además, es compatible con la mayoría de los tipos de cable existentes, el cual proporcionará facilidad al momento de instalar, y no requiere de ninguna herramienta especial o de algún procedimiento complicado. Ofrece un multipuerto pasacables que permite la adición sencilla de cables de derivación o bajada de menor tamaño, flexibles y preparados para el futuro.
- ❖ Entre las cajas de distribución que se presentan en la Tabla 3.7, se selecciona las de marca Tyco *Electronics* por el tipo de fibra óptica de 144 hilos a utilizar en la red de distribución. Aunque su costo es mayor, pero permite albergar *splitters* PLC de 1×4, 1×8 y 1×16, dando alternativas de crecimiento de la red, brindando fiabilidad a largo plazo. Con su kit completo facilitará la conexión de los cables de distribución vertical (cables con máx. diámetro 12 mm) que llegan a los postes con los cables de acometida que acceden a las viviendas de los clientes. Por tanto, su diseño permite una fácil instalación del cableado, así como su reapertura para mantenimientos.
- ❖ La Tabla 3.8 detalla las especificaciones técnicas de la roseta óptica, donde Furukawa presenta las mejores características de esta caja terminal, pero para las requeridas en el diseño como se menciona en la sección 2.5.8, el fabricante

3M™ se ajusta a las necesidades en cuanto al tipo de conector y a la cantidad de posiciones, por lo que se considera suficiente la utilización de este elemento para la conexión a su respectivo ONT en las instalaciones internas de cada hogar del cliente y, además, porque representa un bajo costo en relación a su contraparte Furukawa.

3.3 CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

La empresa Telconet S.A. presenta una estricta política de seguridad y privacidad con relación a la configuración de sus equipos de red. Por esta razón, en este apartado solo se presenta una guía ejemplo de configuración del OLT y ONT usando comandos básicos. Para esto se utiliza los equipos de las series S5 (OLT) y S3 (ONT) del fabricante Corecess, el cual también son utilizados en redes GEPON para proveer el servicio *Triple Play* como se observa en la Figura 3.1.

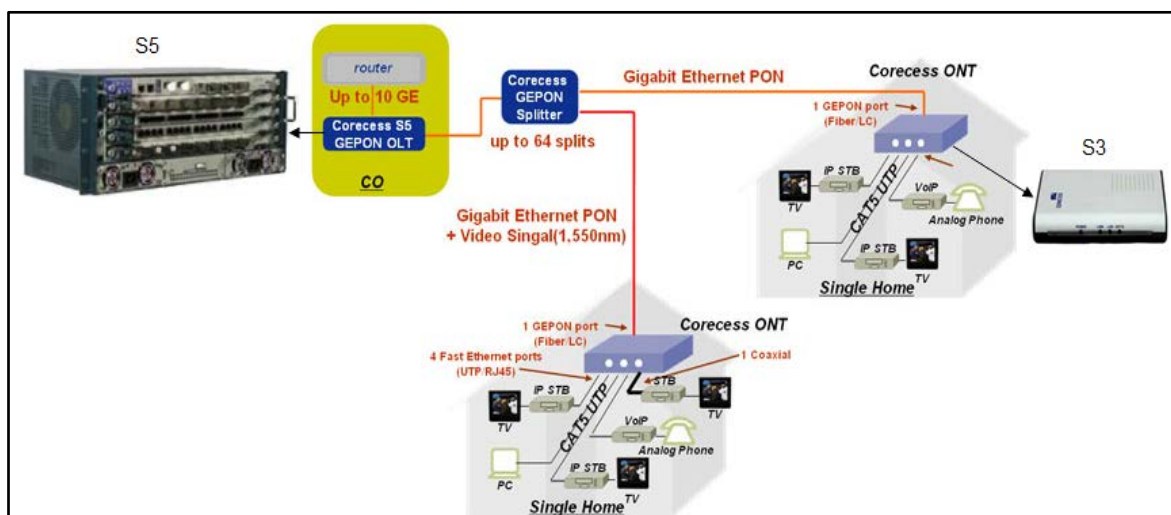


Figura 3.1 Solución FTTH GEPON con equipos Corecess¹¹³

El OLT Corecess S5 cuenta con 8 tarjetas LIM (*Line Interface Module*), cada una compuesta de 8 puertos GEPON y cada puerto puede alimentar hasta 64 ONTs, presentando así una capacidad de soporte de hasta 4096 clientes. Este equipo por un lado se conecta a un router de la red *backbone* y, por el otro lado sigue su trayecto hasta el ONT Corecess S3 colocado en las instalaciones del cliente para brindar el servicio requerido.

¹¹³ <https://emag.ru/corecess/s5.htm#vozm>

Por consiguiente, a continuación, se presenta la configuración básica de estos equipos activos.

3.3.1 CONFIGURACIÓN DEL OLT Y ONT

Cuando el OLT Corecess S5 inicia por primera vez, el único acceso a la CLI es a través del puerto de consola. Por tanto, para acceder a esta interfaz se debe asegurar el correcto inicio de sesión del *software* de emulación, como por ejemplo el *HyperTerminal* a partir del terminal de consola (Ver Figura 3.2) [122] [123].

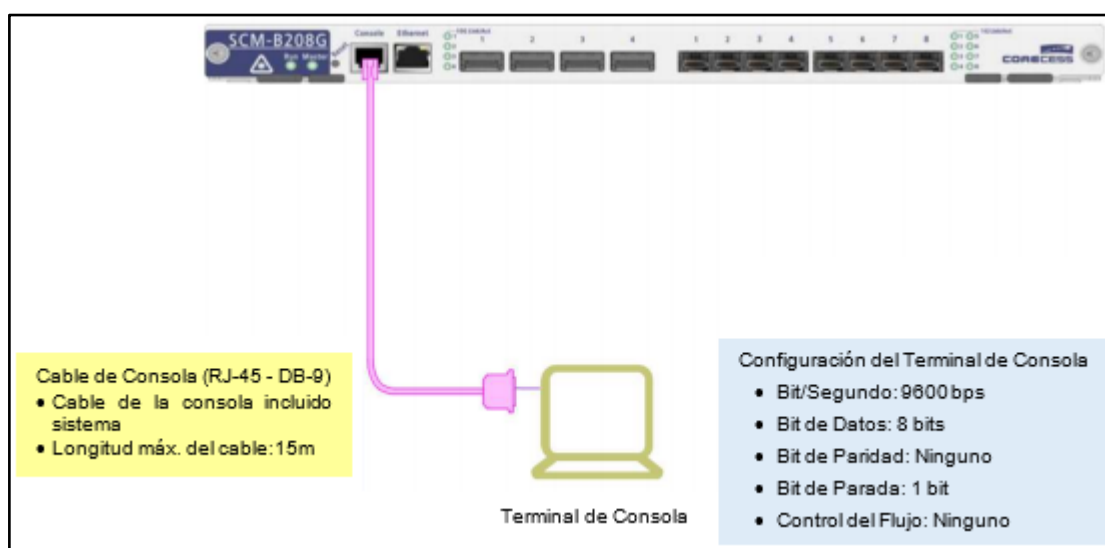


Figura 3.2 Conexión para acceder al CLI [122]

❖ Acceso al equipo

Una vez iniciado sesión, para acceder al equipo OLT y al modo privilegiado, se realiza:

```
login: corecess
Password:
localhost>
localhost> enable
localhost#
```

En el ejemplo siguiente se muestra cómo cambiar el nombre del OLT:

```
localhost> enable
localhost# configure terminal
localhost(config)# hostname dsl-gepon
dsl-gepon(config)# end
dsl-gepon# write memory
Building Configuration...
[OK]
dsl-gepon#
```


Antes de acceder a la CLI a través del puerto de administración (sesión de *Telnet*), se debe aplicar la configuración de red adecuada (a través del puerto de consola) aplicando los comandos que se presenta en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Comandos para el puerto de administración [123]

COMANDO	DESCRIPCIÓN
<i>conf t</i>	Ingresar al modo de configuración global
<i>interface management</i>	Ingresar a la configuración de la interfaz de administración
<i>ip address x.x.x.x/s</i>	Asignar una dirección IP y subred
<i>Exit</i>	Salir de la interfaz del modo de configuración
<i>ip route default x.x.x.x</i>	Establecer la ruta predeterminada para el tráfico IP
<i>End</i>	Salir del modo de configuración
<i>sh int management</i>	Mostrar la interfaz de administración para confirmar la configuración
<i>ping x.x.x.x</i>	Hacer ping a una dirección IP externa para confirmar conectividad
<i>wr mem</i>	Guardar cualquier configuración no guardada en la flash (memoria persistente)

❖ Sintaxis del comando

Si no se está seguro de qué parámetros están disponibles para el comando que se está utilizando, hay una ayuda disponible para seleccionar la sintaxis correcta de la siguiente manera:

```
dsl-gepon(config)# port ?
fastethernet      FastEthernet port type
gigabitethernet  GigabitEthernet port type
adsl              ADSL port type
vdsl              VDSL port type
shdsl             SHDSL port type
control-plane     control-plane cpu port
epon              EPON port type
dsl-gepon(config)# port
```

Para la configuración del ONT es necesario que se registre en el OLT mediante su dirección MAC (*Media Access Control*), para esto debe ser conectado al hilo de fibra óptica mediante la fusión al *splitter* respectivo colocado en la caja de distribución. La configuración se realiza en *bridge mode* porque no se configura nada de direccionamiento IP. Entonces, para confirmar que el ONT del cliente se encuentre registrado o enganchado se utiliza el comando:

```
show port epon 1/1 registered-link
```

```

ds1-gepon# show port epon 1/1 registered-link
port 1/1
llid(num) : LLID number(onu index number)
llid      mac address      block profile
-----
3c03( 2) 00:90:a3:53:82:c8 No   N/D      ,N/D
3c17( 2) 00:90:a3:53:82:c9 No   N/D      ,N/D
3c01( 3) 00:90:a3:c5:36:08 No   N/D      ,N/D
3c04( 4) 00:90:a3:54:be:1c No   N/D      ,N/D

```

O más específicamente, en el caso de que se conozca la dirección MAC, se incluye los últimos cuatro dígitos hexadecimales:

```
#show port epon 1/1 registered-link | include be:1c
```

```

ds1-gepon# show port epon 1/1 registered-link | include be.1c
3c04( 4) 00:90:a3:54:be:1c No   N/D      ,N/D
ds1-gepon#

```

Este comando también permite verificar la serie del equipo ONT. Pero si al ejecutar el comando específico no se muestra nada en pantalla significa que el ONT no está enganchado, el cual puede ser por varias razones como, por ejemplo: el ONT no esté encendido, el *patchcord* de fibra que conecta el ONT al cableado de fibra óptica esté desconectado, flojo o muy doblado, alguna atenuación de fibra óptica en la última milla cause desconexión del ONT, entre otras.

```
show port epon 1/1 registered-link | include cf:8a
```

```

ds1-gepon#
ds1-gepon# sh port epon 1/2 registered-link | include cf:8a
ds1-gepon#
ds1-gepon#

```

Cuando se ha verificado que el ONT se encuentra registrado se procede a configurar en modo *bridge* (modo en el que está configurado el ONT, puede ser *single* o *share*) el ancho de banda que se requiere para dicho cliente. Para esto se debe pasar en el OLT las siguientes líneas de configuración:

```

ds1-gepon(config)# port epon 1/1 link-mac mac-add bridge-mode single 64
ds1-gepon(config)# port epon 1/1 link-mac mac-add tag-map single vlan-id 0
ds1-gepon(config)# port epon 1/1 link-mac mac-add up-bw x y 3 delay tolerant
ds1-gepon(config)# port epon 1/1 link-mac mac-add down-bw x y 3 delay tolerant

```

Los recuadros marcados de color rojo son valores que variarán según la dirección MAC correspondiente al ONT, así como también la VLAN asignada al cliente y el ancho de banda tanto de subida y bajada. Así pues, para verificar como está configurado el ONT se debe utilizar la siguiente línea de comandos:

```
# show startup-config | include d260
```

```
ds1-gepon# show startup-config | include d260
port epon 1/1 link-mac 0090a3c3d260 bridge-mode share 3
port epon 1/1 link-mac 0090a3c3d260 tag-map share 3841
port epon 1/1 link-mac 0090a3c3d260 up-bw 1024 1024 3 delay tolerant
port epon 1/1 link-mac 0090a3c3d260 down-bw 1024 1024 3 delay tolerant
ds1-gepon#
```

Por otro lado, para verificar que cada puerto GEPON puede albergar hasta 64 ONTs se utiliza en siguiente comando:

```
#show port epon 1/1 name
```

```
ds1-gepon# show port epon 1/1 name
index      mac address      description
-----
1          00:90:a3:27:3d:8d
2          00:90:a3:53:82:c8
3          00:90:a3:c5:36:08
4          00:90:a3:54:be:1c
5          00:90:a3:c3:d2:60
6
7
8
9
10
11
12
13
14

63
64
ds1-gepon# _
```

3.3.1.1 Configuración de VLANs

El ONT debe tener una VLAN asignada o estar en modo troncalizada para transportar varias VLANs. Es necesario que esta VLAN esté creada y sea permitida en el puerto óptico (PON al que está enganchado el ONT) y el puerto de *uplink* (puerto que se comunica al equipo de capa 3 de la red MPLS). En consecuencia, para configurar las VLANs se usa el comando [122]:

```
vlan id <vlan-id> name <vlan-name>
```

En el siguiente ejemplo, se crea una VLAN cuyo id es 2 y el nombre es 'test'.

```
dsl-gepon# configure terminal
dsl-gepon(config)# vlan id 2 name test
dsl-gepon(config)# end
```

Dentro del OLT para verificar que la VLAN este permitida en el puerto PON y *uplink* se puede ejecutar el comando:

```
# show vlan
```

```
dsl-gepon# show vlan
```

```
VLAN Name Status Slot/Ports
-----
1  DEFAULT  active  1/1-4
                2/1-4
                3/1-4
                4/1-4
                17/1-4
2  test  active

VLAN  Interface  IGMPs  STP  Private  Promisc  Port(s)
-----
1  disable  disable  enable  Disable  None
2  disable  disable  enable  Disable  None

dsl-gepon#
```

En el caso que se requiera conocer la información de una VLAN específica, se utiliza el siguiente comando:

```
dsl-gepon# show vlan id 100

VLAN Name      Status      Slot/Port(s)
-----
1  DEFAULT      active      6/1-8
                17/1-2,17/4
                18/1-4
                19/1-5,19/7,19/8-13,19/15,19/16-21,19/23,
                19/24-29,19/31,19/32-37,19/39,19/40-45,19/47,
                19/48-53,19/55,19/56-61,19/63,19/64
100 DATA      active
200 IPTV      active
300 VOIP      active      17/3
```

Y, para excluir una VLAN, se usa el comando en modo de configuración global.

```
dsl-gepon(config)# no vlan id 2
dsl-gepon(config)#
```

Por defecto, todos los 4 puertos están conectados en VLAN 1 (LAN VLAN), y VLAN 2 está destagueada (*untagged*) en puerto 5 (VLAN 2 es por defecto WAN VLAN).

En el ejemplo anterior, los puertos 1, 2 y 3 son utilizados para acceso a Internet en VLAN 1 (VLAN NAT / DHCP), y puerto 4 es usado para conectar la telefonía VoIP.

```
dsl-gepon# show vlan

vlan      untagged      tagged
-----
 1        1 2 3
 2                5
 4                4
                5
```

Se taguea las VLAN 2,3 y 4 en los 8 puertos GEPON de la ranura LIM 1 (tarjeta) y en el puerto uplink, cuya forma de comprobar es aplicando el comando:

```
#show dot1q port

# configure terminal
dsl-gepon(config)# vlan id 1-4
dsl-gepon(config)# dot1q port gepon 1/1-8 tag 2-4
dsl-gepon(config)# dot1q port gigabitethernet 18/1 tag 2-4
dsl-gepon(config)# end

#show dot1q port
vlan id 1-4,100
dot1q port gepon 1/1 tag 2-4
dot1q port gepon 1/2 tag 2-4
dot1q port gepon 1/3 tag 2-4
dot1q port gepon 1/4 tag 2-4
dot1q port gepon 1/5 tag 2-4
dot1q port gepon 1/6 tag 2-4
dot1q port gepon 1/7 tag 2-4
dot1q port gepon 1/8 tag 2-4
dot1q port gigabitethernet 18/1 tag 2-4
```

3.3.1.2 Configuración de puertos *uplinks*

En el OLT para establecer el nombre del puerto *uplink Gigabit Ethernet*, se utiliza el siguiente comando [122]:

```
port gigabitethernet <slot>/<port> name <portname>
```

Por ejemplo, la siguiente línea de configuración muestra cómo establecer el nombre del puerto *Gigabit Ethernet 17/1*.

```
dsl-gepon(config)# port gigabitethernet 17/1 name uplink-port
dsl-gepon(config)#
```

Todos los puertos del sistema Corecess S5 están habilitados de forma predeterminada. Para cambiar el estado (deshabilitar o volver a habilitar un puerto), se puede utilizar el siguiente comando en el modo configuración global:

```
port gigabitethernet <slot>/<port> admin {enable | disable}
```

Por ejemplo, para el caso de habilitar/deshabilitar un puerto *uplink* es de la forma:

- Habilitar a porta *Gigabit Ethernet 17/1*.

```
dsl-gepon(config)# port gigabitethernet 17/1 admin enable
dsl-gepon(config)#
```

- Deshabilitar a puerto *Gigabit Ethernet 17/1*.

```
dsl-gepon(config)# port gigabitethernet 17/1 admin disable
dsl-gepon(config)#
```

Para ver la configuración del puerto, el estado del puerto y las estadísticas de los paquetes recibidos se puede visualizar mediante el comando *show port* en modo privilegiado.

```
dsl-gepon# show port
Port Name Status Vlan FlwCtl Duplex Speed Type
-----
1/1 DEFAULT connected 1 off full 1000 1000BaseT
1/2 DEFAULT connected 1 off full 1000 1000BaseT
1/3 DEFAULT connected 1 off full 1000 1000BaseT
1/4 DEFAULT connected 1 off full 1000 1000BaseT
.
.
17/1 DEFAULT connected 1 a-on a-full a-1000 1000BaseT
17/2 DEFAULT connected 1 a-on a-full a-1000 1000BaseT
17/3 DEFAULT connected 1 a-on a-full a-1000 1000BaseT
17/4 DEFAULT connected 1 a-on a-full a-1000 1000BaseT
dsl-gepon#
```

Como se observa, al ejecutar el comando en el OLT se despliegan los 4 primeros puertos PON de la tarjeta LIM (módulo) 1 y 4 puertos *uplink*. Pero, en el caso de querer mostrar solo la información de un puerto *Gigabit Ethernet* específico, como por ejemplo para el 17/1, se puede realizar mediante el comando *show port*.

```
dsl-gepon# show port gigabitethernet 17/1
Port Name Status Vlan FlwCtl Duplex Speed Type
-----
1/1 DEFAULT connected 1 a-on a-full a-1000 1000BaseT
AdminStatus Media-type STP RSTP Edge Trap LinkAgg
enable none disable disable disable off

Port Admin Speed Limited Speed Active Speed
-----
17/1 Desired None 1000

If Index Logical ID
-----
4 257
access-type : transparent
```

3.3.2 CONFIGURACIÓN DE UN CLIENTE

La configuración de un cliente se realiza mediante la utilización de una VLAN que es creada en el *switch* de clientes y esta a su vez publica en los demás *switches* principales mediante un servidor VTP (*VLAN Trunking Protocol*)¹¹⁴. De tal forma, dentro del modo de configuración global se configura de la siguiente manera:

```
switch>enable
switch#Conf t
switch(config)# Vlan 10
switch(config-vlan) name VLAN CLIENTE GEPON
switch(config-vlan)exit
switch(config)# int vlan 10
switch(config-if)#ip add 192.168.101.10 255.255.254.0
switch(config-if)#exit
```

En el ejemplo se configura una VLAN 10 con una dirección IP privada 192.168.101.10 para dicho cliente. El comando *show run interface vlan 10* permitirá ver si la *vlan 10* está creada.

Para que las VLANs se publiquen en el OLT deben estar publicadas tanto en el puerto *uplink* que está conectado al *core* como también al puerto PON. Para que la *vlan 10* se publique en el OLT debe estar publicada tanto en el puerto que está conectado al *core* como también al puerto PON. Por tanto, dentro de la configuración global del *switch* se realiza:

```
switch#show running-config
vlan id 10
dot1q port gigabit 1/1 tag 10
dot1q port gigabit 1/2 tag 10
```

3.4 PRESUPUESTO REFERENCIAL

El presupuesto es de vital importancia para el correcto funcionamiento y eficacia de cualquier empresa. Por tal motivo, en este apartado se describirá de manera general el presupuesto referencial del presente proyecto para determinar la factibilidad económica de la empresa Telconet S.A. en el caso de una posible

¹¹⁴ **VLAN Trunking Protocol:** Desde él se pueden crear, eliminar o modificar VLANs. Su función es anunciar su configuración al resto de *switches* del mismo dominio VTP y sincronizar dicha configuración con la de otros servidores, basándose en los mensajes VTP recibidos a través de sus enlaces *trunk*. Se recomienda autenticación MD5. VTP es un protocolo de propiedad de Cisco que está disponible en la mayoría de los productos de la serie Cisco Catalyst.

implementación. De esta forma, se podrá realizar una valoración de los costos de inversiones, una predicción de los gastos y una asignación de los recursos necesarios. Además, este presupuesto no solo implicará el valor económico, sino también el beneficio que representará para la empresa, tomando en cuenta que es aquella que brinda servicios a la ciudadanía.

Cabe resaltar nuevamente que los valores unitarios de cada uno de los elementos que se detallan a continuación son estimados o referenciales sin impuestos acorde al aparatado 3.2.2; los mismos que pueden variar de acuerdo con la influencia de la oferta y demanda en el mercado. Sin embargo, el Impuesto Valor Agregado (I.V.A) del 12% se considera para determinar el valor total de inversión del equipamiento activo, pasivo e infraestructura.

Por otro lado, los fabricantes o proveedores de los equipos para una red de fibra óptica cubren una garantía exclusivamente por defectos de fábrica y no incluyen daños ocasionados por terceros o mala manipulación. De tal forma, la mayoría de los fabricantes cubren una garantía a corto o mediano plazo (tres o cinco años), siendo de tres años para los elementos o equipamiento activo y de cinco años para los elementos pasivos y otros materiales.

3.4.1 INVERSIONES FIJAS

3.4.1.1 Inversión equipamiento activo

Esta sección consta de los equipos necesarios para la implementación de la red de acceso GEPON, los mismos que permiten que la comunicación sea posible. Aquí se detalla el valor referencial del OLT ubicado en el nodo Ponce y de los ONTs ubicados en los clientes finales. La Tabla 3.12 refleja el costo total de la inversión en equipos activos que se utilizan para garantizar la operación del proyecto.

Tabla 3.12 Inversión equipamiento activo

EQUIPAMIENTO ACTIVO	CANTIDAD	COSTO	
		UNITARIO	TOTAL
OLT Tellion EP-3116	1	\$4.000,00	\$4.000,00
ONT Tellion EP-3204N	87	\$40,00	\$3.480,00
		Subtotal	\$7.480,00
		I.V.A 12%	\$897,60
		TOTAL	\$8.377,60

3.4.1.2 Inversión equipamiento pasivo

En la Tabla 3.13 se presenta el costo del equipamiento pasivo, el mismo que compone la ODN, donde se incluyen ODF, cables de fibra óptica, *splitters*, mangas de empalme, cajas de distribución, rosetas ópticas.

Tabla 3.13 Inversión equipamiento pasivo

EQUIPAMIENTO PASIVO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
			UNITARIO	TOTAL
ODF para 144 hilos	1	c/u	\$120,00	\$120,00
Cable G.652D <i>Feeder</i> 6 hilos	5531	m	\$1,10	\$6.084,10
Cable G.652D 144 hilos	2137	m	\$2,50	\$5.342,50
Cable G.657A1 <i>Drop</i> 2 hilos	10725	m	\$0,20	\$2.145,00
<i>Splitter</i> 1x8	18	c/u	\$20,00	\$360,00
Mangas de empalme de 144 hilos	2	c/u	\$155,00	\$310,00
Cajas de distribución	18	c/u	\$53,50	\$963,00
Roseta óptica	87	c/u	\$11,95	\$1.039,65
			Subtotal	\$16.364,25
			I.V.A 12%	\$1.963,71
			TOTAL	\$18.327,96

3.4.1.3 Inversión equipamiento de infraestructura

En la Tabla 3.14 se presenta el desglose de los gastos que se tiene para los materiales de infraestructura como los herrajes, *patchcords*, *pigtails*, adaptadores *dúplex*, cinta etiquetadora, etc.

Tabla 3.14 Inversión equipamiento de infraestructura

EQUIPAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO		
			UNITARIO	TOTAL	
Herrajes tipo A	25	c/u	\$4,74	\$118,50	
<i>Pigtail</i> SC/PC SM	160	c/u	\$1,50	\$240,00	
<i>Patchcord</i> SC/PC SM 3m	95	c/u	\$2,97	\$282,15	
Adaptadores <i>duplex</i> SC/SC	152	c/u	\$6,08	\$924,16	
Tubos contractiles o fusión	473	c/u	\$0,16	\$75,68	
Cinta etiquetadora	10	c/u	\$30,00	\$300,00	
Amarras plásticas (color negro)	10 cm	100	c/u	\$0,02	\$2,00
	25 cm	200	c/u	\$0,10	\$20,00
Caseteras	40	c/u	\$18,70	\$748,00	
			Subtotal	\$2.710,49	
			I.V.A 12%	\$325,26	
			TOTAL	\$3.035,75	

3.4.1.4 Inversión total del equipamiento para la red

La Tabla 3.15 presenta el costo total del equipamiento para la red de acceso GEPON; la misma consta de la sumatoria del equipamiento activo, pasivo y de infraestructura.

Tabla 3.15 Inversión total equipamiento de la red GEPON

EQUIPAMIENTO RED DE ACCESO GEPON	TOTAL
Equipamiento activo	\$8.377,60
Equipamiento pasivo	\$18.327,96
Equipamiento de infraestructura	\$3.035,75
TOTAL	\$29.741,31

3.4.2 INVERSIONES DIFERIDAS

Las inversiones diferidas se deducen como todos los gastos ordinarios por la compra de servicios o derechos que son necesarios para iniciar el proyecto, el cual la empresa debe afrontar con la finalidad de obtener beneficios.

Las inversiones diferidas incluyen principalmente los siguientes gastos:

- ❖ **Gastos de arrendamiento de postería de la EEQ:** donde se arrienda un total de 45 postes por un valor unitario de \$10,30.
- ❖ **Gastos de permisos de funcionamiento:** contempla los respectivos permisos y concesiones para ofrecer el servicio *Triple Play*, donde para nuestro país se manejan por separado (servicio de valor agregado Internet, Telefonía fija y Televisión por suscripción).

Para poder brindar servicios de última milla que ofrezcan el *Triple Play*, se debe cumplir con la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, puesto que según la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones actualmente no existe una ley única y exclusiva para este servicio.

- ❖ **Gastos de instalación:** la empresa mismo se encarga de la instalación del equipamiento activo y pasivo. La Tabla 3.16 indica los costos de instalación y mano de obra.

Tabla 3.16 Costos de instalación del equipamiento activo y pasivo

DESCRIPCIÓN	COSTO
Instalación por metro de fibra óptica 144 hilos	\$1,36
Instalación por metro de fibra óptica 2 hilos	\$0,69
Instalación del OLT	\$2.650,00
Instalación de rosetas ópticas y ONTs	\$65,00
de empalmes de fibra óptica	\$8,00
Etiquetados de enlaces de fibra óptica, equipos y materiales	\$500,00
Subtotal	\$3.225,05
I.V.A 12%	\$387,05
TOTAL	\$3.612,10

- ❖ **Gastos de configuración de equipos:** se considera el 10% del costo total de equipos activos.
- ❖ **Gastos de prueba de la red pasiva:** se considera el 10% del costo total de la red pasiva.

La Tabla 3.17 detalla un resumen de los gastos característicos nominales y su respectiva amortización anual; la misma se calcula dividiendo del valor total para cinco años a razón del 20%, según lo establece la Ley del Régimen Tributario Interno del Impuesto a la Renta [124].

Tabla 3.17 Inversiones diferidas

DETALLE	COSTO	AMORTIZACIÓN ANUAL
Arrendamiento de postería EEQ	\$463,50	\$92,70
Permisos de funcionamiento	\$1.500,00	\$300,00
Instalación del equipamiento activo y pasivo	\$3.612,10	\$722,42
Configuración de equipos	\$756,00	\$151,20
Prueba de la red pasiva	\$635,81	\$127,162
TOTAL	\$6.967,41	\$1.393,482

3.4.3 INVERSIÓN INICIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN

En la Tabla 3.18 se muestra el valor de la inversión inicial que se realizará para la implementación del proyecto en el sector residencial Balcón del Norte.

Tabla 3.18 Total de inversión inicial

INVERSIONES	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN
Fijas	\$29.741,31
Diferidas	\$6.967,41
TOTAL	\$36.708,72

3.4.4 GASTOS DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

En esta sección se describirán los egresos a realizar durante 5 años de operación del proyecto.

3.4.4.1 Gastos operativos

Los gastos operativos más relevantes son los que se presentan en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19 Gastos operativos para 5 años de operación

DESCRIPCIÓN	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Mantenimiento de la red	\$0,00	\$2.136,37	\$2.136,37	\$2.136,37	\$2.136,37	\$2.136,37
Soporte técnico	\$300,00	\$750,00	\$1.020,00	\$1.020,00	\$1.020,00	\$1.020,00
TOTAL	\$300,00	\$2.886,37	\$3.156,37	\$3.156,37	\$3.156,37	\$3.156,37

Los gastos operativos incluyen principalmente:

- ❖ **Mantenimiento de la red:** está estimado como el 10% del costo total de la parte pasiva de la red GEPON. Es decir, del total solo del equipamiento pasivo y de infraestructura \$21.363,71
- ❖ **Soporte técnico:** incluye actualización de software y mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.

3.4.4.2 Gastos de ingeniería e instalación

Para este tipo de gastos, se incrementarán los siguientes costos: El diseño de la red GEPON con el 2%, y con respecto a la ingeniería, configuración de red, capacitación al personal y todo lo necesario para la puesta en marcha con el 5% de la inversión total del equipamiento para la red.

Cabe recalcar que estos valores se verán reflejados solo al inicio de la implementación de la red.

Tabla 3.20 Gastos de Ingeniería e Instalación

DESCRIPCIÓN	COSTO	
	UNITARIO	TOTAL
Diseño de la red GEPON	\$29.741,31	\$594,83
Ingeniería, instalación, capacitación al personal	\$29.741,31	\$1.487,07
	TOTAL	\$2.081,90

3.4.5 COSTOS DE DEPRECIACIONES

Las depreciaciones se consideran como el proceso de deterioro o desgaste de los activos fijos tangibles; cuyo deterioro puede ser parcial o total. De acuerdo con el INCOP¹¹⁵, para la fabricación de bienes o prestación de servicios, la depreciación no podrá ser realizada en un tiempo menor de diez (10) años para herramientas, maquinarias, equipos e instalación [125].

Y, según el SRI, la depreciación de los activos fijos se realizará de acuerdo con la naturaleza de los bienes, a la duración de su vida útil¹¹⁶ y la técnica contable. Por tanto, para que este gasto sea deducible, es necesario considerar los costos de depreciaciones de los equipos activos de este proyecto considerando una vida útil de 10 años o del 10% anual [126].

Por otro lado, los elementos que conforman la red pasiva, es decir, los elementos de la ODN tienen un tiempo de vida útil superior a 10 años, por lo que no se ha considerado como elementos de depreciación en este análisis.

En consecuencia, para el cálculo del valor de la depreciación de los equipos activos, se aplica la fórmula del método de línea recta representada en la Ecuación 3.1 [127] [128]:

$$Dt = \frac{(VA - VR)}{T}$$

Ecuación 3.1 Fórmula para calcular la depreciación de activos fijos

¹¹⁵ Instituto Nacional de Contratación Pública-Compras Públicas del Gobierno del Ecuador.

¹¹⁶ La vida útil de un activo es el tiempo que espera que ese activo este en uso o el número de producciones u otras unidades similares que la entidad espera obtener con este activo.

Donde,

Dt : Depreciación en período t .

VA : Valor inicial o actual del activo.

VR : Valor de salvamento o residual al final de la vida útil del activo.

T : Tiempo de vida útil contable del activo.

Reemplazando los datos en la Ecuación 3.1, se tiene:

$$Dt = \frac{(4.000 - 400)}{10} = 360,00$$

$$Dt = \frac{(3.480 - 348)}{10} = 313,20$$

Ecuación 3.2 Cálculo de las depreciaciones de los equipos activos de la red

Los equipos activos por depreciarse durante los 10 años de vida útil son:

Tabla 3.21 Equipos activos por depreciarse durante 10 años de utilidad

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL DEL EQUIPAMIENTO ACTIVO
OLT Tellion EP-3116	\$4.000,00
ONTs Tellion EP-3204N	\$3.480,00
TOTAL	\$7.480,00

La Tabla 3.22 muestra los costos por depreciación anual, tanto del equipo OLT como de los respectivos ONTs.

Tabla 3.22 Costos de depreciación de los equipos activos

PORCENTAJE DE DEPRECIACIÓN POR LEY	VALOR RESIDUAL	VALOR POR DEPRECIAR
10%	\$400,00	\$360,00
10%	\$348,00	\$313,20
TOTAL	\$748,00	\$673,20

Por tanto, el valor de depreciación anual de los equipos activos para una vida útil de 10 años es de \$673,20.

3.5 PROYECCIÓN FUTURA

De acuerdo con el presupuesto referencial del diseño de la red de acceso GEPON, el total de inversión inicial para una posible implementación del proyecto en el sector residencial Balcón del Norte es de **\$36.708,72**, donde esta inversión prácticamente está dividida tanto en inversiones fijas como diferidas.

- ❖ Las inversiones fijas son las concernientes al equipamiento activo (OLT, ONT, pasivo (cables de fibra óptica, *splitters*, mangas de empalme, cajas de distribución y rosetas ópticas) e infraestructura (herrajes, *patchcords* de fibra, adaptadores ópticos, entre otros), las mismas que resultan un valor aproximado de **\$29.741,31**.
- ❖ En cambio, las inversiones diferidas abarcan todos aquellos gastos ordinarios necesarios para poder implementar la red dando como resultado un total de **\$6.967,41**. Entre estos gastos se encuentran:
 - Arrendamiento de postes a la EEQ.
 - Permisos de funcionamiento del nuevo servicio *Triple Play* a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.
 - Instalación del equipamiento activo y pasivo
 - Configuración de los equipos activos.
 - Pruebas de la red pasiva.

Además de todos estos gastos, dentro del presupuesto también se consideró los gastos de operación del proyecto para una proyección futura de 5 años de operación. Entre estos gastos principalmente se involucran los gastos operativos y de ingeniería e instalación.

- ❖ En relación con los gastos operativos, se encuentran los del mantenimiento de la red y soporte técnico, los mismos que son gastos considerados para prevenir eventos o problemas que puedan suscitarse en la red GEPON, como por ejemplo pérdida de comunicación entre el OLT y el ONT, ya sea por inconvenientes con el medio de transmisión fibra óptica o simplemente por la existencia de atenuaciones que afecten la señal óptica, y entre otros que afecten la última milla (cliente).

Es así como, para el primer año de operación, se considera para el mantenimiento de la red el 10% del costo total de la red pasiva; es decir de \$18.327,96 (equipamiento activo) sumados \$3.035,75 (equipamiento pasivo), dando como resultado bajo este porcentaje de **\$2.136,371**. Mientras que para el soporte técnico se consideró un valor inicial de **\$300**, ya que al ser implementada la red la probabilidad de existir eventos en la red es menor con relación al primer año de operación de la red.

- ❖ Los gastos de ingeniería e instalación son los reflejados solo al inicio de la implementación de la red, como son los gastos del diseño de la red GEAPON con el 2% del total de la inversión inicial (\$29.741,31) y, los gastos de ingeniería, instalación, y capacitación al personal con el 5% de la misma inversión inicial, dando un total de **\$2.081,90**.

Y, finalmente, se considera los costos de depreciaciones especialmente de los equipos activos de la red, debido a que pueden sufrir con el transcurso del tiempo algún deterioro o desgaste, el cual para este proyecto se consideró una vida útil de 10 años o del 10% anual. Mientras que los valores de las depreciaciones de cada equipo se calculan según la fórmula indicada en la sección 3.4.5. De acuerdo con esto, el costo total de depreciaciones es de **\$673,20**.

Por consiguiente, una estimación y valoración de costos lo suficientemente exactas permitirá a la empresa Telconet S.A. una mejor planificación de los proyectos que maneja, así como una mejor asignación de los recursos necesarios para cada proyecto trazado. En cambio, los errores que se involucren en estos parámetros pueden suponer que la planificación del proyecto acabe sufriendo más problemas de los esperados inicialmente, así como una disminución de la calidad de los servicios, retrasos en la fecha de entrega, exceso de recursos reservados al proyecto, el cual conlleva a un presupuesto excesivo.

Con todo lo indicado, y los beneficios que recibirán los futuros residentes del Balcón del Norte como costo/beneficio al contar con redes de fibra óptica hasta sus hogares, hacen que el diseño planteado sea viable con costos realmente accesibles y, además, se espera que la inversión que se haga en un inicio sea fácilmente recuperable bajo la comercialización del nuevo servicio *Triple Play*.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir con este trabajo de titulación, en este capítulo se mencionan las conclusiones y recomendaciones más relevantes obtenidas durante el desarrollo del diseño de la red de acceso GEPON para la empresa de Telconet S.A, la misma que permite proveer el servicio *Triple Play* a los clientes del sector residencial Balcón del Norte ubicado en la zona norte de la ciudad de Quito.

4.1 CONCLUSIONES

- ❖ Por las características que presenta, se utiliza la tecnología GEPON por ser considerada aún como una de las tecnologías de redes PON (fibra óptica) superiores a las de redes ADSL (cobre), debido a que principalmente maneja una velocidad de transmisión simétrica de 1,25 Gbps; es decir tanto de bajada (*downstream*) como de subida (*upstream*). De esta forma, permite una mejor transmisión de información en los servicios que se empaquetan en el servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión).
- ❖ Para iniciar con el diseño de la red de acceso GEPON, se dimensiona la red bajo el estudio de la demanda en el sector residencial Balcón del Norte, con el objetivo de conocer los requerimientos necesarios de la red a una proyección futura. Aquí, se calcula el tamaño de la muestra de los posibles clientes para la contratación del servicio *Triple Play*, donde se toma como base el número total de clientes (112) que únicamente pertenecen a la empresa Telconet S.A., es decir los que actualmente tienen una contratación de servicio. Y, no se consideró los clientes de otros proveedores de servicios, debido a que esto involucraba la obtención de información relacionada con sus clientes, el cual era poco probable que se facilite la misma, ya que, por políticas de seguridad de cada empresa, la información es confidencial. Y, al no obtener los datos correctos, hubiese incluso conllevado a rediseñar la red de acceso para un correcto funcionamiento, en caso de sobredimensionarse. Por tanto, de acuerdo con el proceso de cálculo realizado, se obtiene una demanda proyectada de 87 clientes por un período de 5 años (2017 - 2022).

- ❖ Las consideraciones generales, los requerimientos técnicos y los criterios de diseño que son propuestos con el propósito de ampliar la red de fibra óptica de Telconet S.A, se fundamentan en las recomendaciones y estándares de organismos internacionales que rigen en el mercado de las telecomunicaciones a nivel mundial como la IEEE, UIT-T y, también en base a las normas técnicas y leyes vigentes en el Ecuador por parte de la ARCOTEL para el despliegue y tendido de las redes físicas en el sector de las telecomunicaciones.
- ❖ Una vez identificados los principales parámetros y recomendaciones para un correcto diseño de redes de acceso GEPON, se consideró como mejor alternativa distribuir a los 87 clientes (usuarios) que conforman el sector residencial Balcón del Norte solamente en 2 áreas, para poder expandir la red y tener una mejor administración de esta. Para esto, principalmente, se tomó en cuenta que el OLT con la tecnología GEPON soporta de 32 a un máximo de 64 clientes por cada puerto PON. De tal forma, se obtiene un menor número de puertos para cubrir la demanda de los clientes en la red de acceso. Por tal razón, se requiere solo 2 puertos del cual se tiende 2 hilos de fibra óptica que conectan solamente a 2 *splitters* de primer nivel en relación 1x8 y un segundo nivel *splitter* secundario en relación 1x8, obteniendo así un máximo de 64 clientes por segmento GEPON.
- ❖ La empresa Telconet S.A. en su instalación e implementación de redes pasivas, no utiliza *splitters* con relación de 1x2 o 1x4 porque no permite tener una mejor escalabilidad y expansión de las redes y, los *splitters* 1x32 en cambio por su alto costo comercial. Los *splitters* con los que trabaja preferentemente son 1x8 y 1x16, siendo el más utilizado el 1x8 de acuerdo con el número de niveles jerárquicos de división en la red de distribución. Esta es otra de las razones por el cual en el diseño se dimensiona la red con la utilización de *splitters* 1x8, para de tal forma también acatarse o encontrarse dentro de sus criterios de diseño (estándares) para redes de acceso con fibra óptica.
- ❖ En general, los cables monomodo normalmente se clasifican en una variedad de fibras ópticas monomodo (*Single Mode*, SM) con características cuidadosamente optimizadas, disponibles en los estándares de la serie UIT-T G.65x (G.652, 653, 654, 655, 656 o 657), cada uno con su especificación única.

Además, con relación a los tipos de cables ópticos para tendido aéreo, se utiliza el de tipo ADSS por ser más simple y barata su instalación a diferencia de los cables Figura 8 y OPGW. Por consiguiente, para el tendido de fibra óptica se utiliza el cable monomodo ADSS, debido a las ventajas que ofrece en sistemas de comunicación a largas distancias. Y, según lo especificado en las recomendaciones del estándar IEEE 802.3 ah, la fibra óptica más utilizada para el despliegue de redes ópticas pasivas es la UIT-T G.652D, porque con este tipo de fibra se ha reducido el pico de dispersión por iones hidroxilo (OH⁻), aumentando de esta manera las velocidades de transmisión. La ruta de tendido de fibra óptica se detalla en el plano diseñado en AutoCAD.

- ❖ El cálculo del presupuesto óptico se realiza bajo dos escenarios distintos: el uno para el cliente más lejano y el otro para el más cercano, cada uno con respecto a la distancia existente entre el equipo OLT y su ONT respectivo. Siendo así, la pérdida total de potencia para el cliente más lejano de 32,62 dB y del más cercano de 31,78 dB para cada uno con un margen de seguridad de 3,0 dB. Con estos valores calculados, se determina el balance óptico de potencia de recepción, para ello entre el OLT y el ONT se usa láser clase B+ según la recomendación UIT-T G.984.2, el cual permite una sensibilidad mínima de recepción de -28 dBm. Por tanto, la potencia de recepción en el equipo del cliente más lejano es de -27,62 dBm y del cliente más cercano de -26,72 dBm, cuyos valores se encuentran por encima de la sensibilidad permitida (-28 dBm) por la norma UIT, indicando que el equipo receptor ONT puede funcionar sin problemas dentro del enlace óptico a una distancia máxima de 20 km, dependiendo de la distribución y tipo de *splitters*.
- ❖ Con respecto a la forma de conexión de la nueva red de acceso GEPON a la red MPLS/IP del *backbone* de Telconet S.A., se deberá tomar en cuenta que la integración de los nuevos equipos con la actual red de la empresa se hará exclusivamente para poder proveer los servicios de Internet, Telefonía fija y Televisión, considerándose entonces que la integración para otro tipo de servicio no está dentro del alcance del presente proyecto. Para esto, se deberá realizar la configuración del OLT para que soporte los tres servicios (*Triple Play*). No se deberá hacer ninguna integración con algún otro servicio de Telconet S.A.

- ❖ El equipo activo OLT es considerado como el “corazón” de la red de acceso, por tanto, al ser muy importante, para este diseño se selecciona el OLT Tellion EP-3116 que se ubicará en un nodo céntrico cercano al sector residencial Balcón del Norte. Este equipo soporta escenarios FTTH (permiten la conexión de últimas millas mediante fibra óptica) en base al estándar IEEE 802.3ah que describe el funcionamiento de la tecnología GEPON, posee puertos con capacidad *Gigabit Ethernet* que permiten la integración con las redes MPLS/IP, presenta la capacidad de transmisión en las ventanas de 1310, 1490 y 1550 nm, para transmitir señales de datos (Internet), voz (Telefonía fija) y vídeo (Televisión) hasta distancias de transmisión de 20 km.
- ❖ Por otro lado, los 87 equipos activos de última milla ONTs se ubicarán en las instalaciones internas de las residencias de cada uno de los 87 clientes. Para lo cual se selecciona el Tellion EP-3204N, que de igual forma provee las interfaces necesarias que permiten soportar el servicio *Triple Play*. Además, permite trabajar en las ventanas de transmisión 1310, 1490 y 1550 nm, para de tal forma integrar los tres servicios (Internet, Telefonía fija y Televisión) y, así brindar el acceso a los mismos de acuerdo con las necesidades de cada cliente.
- ❖ Dentro del presupuesto referencial del proyecto, solo se consideró los costos de los componentes concernientes a la red de acceso GEPON como tal, es decir solamente los que se conectan dentro del trayecto de fibra óptica desde el OLT hasta el ONT, donde se incluyen los elementos pasivos que conforman la red de distribución óptica (ODN). Más no se tomó en cuenta los costos de los equipos que se encuentran en la red de distribución y *core*, como son el transmisor óptico, amplificador EDFA, multiplexor WDM, *switch*, *router core*, *softswitch* y módulos SFP (conexión enlaces *uplink*), ya que estos costos podrían ser analizados e involucrados en otra fase del diseño, donde se analice más a fondo sus especificaciones técnicas y se configuren los mismos para su respectivo propósito dentro de una posible implementación general de la red. De acuerdo con esto, se puede decir que los costos involucrados siempre serán un factor importante para diseñar, operar y mantener la red de acceso, para que tenga la seguridad, redundancia, proyección a futuro e incluso personal adecuado para su operación y/o funcionamiento.

- ❖ No se realizó la configuración de los equipos que componen la red de acceso GEPON, principalmente por dos razones: La primera porque el alcance de este proyecto solo implica el diseño de la red, más no su implementación. Y, la segunda es debido a las políticas de seguridad de la empresa Telconet S.A. con respecto a la difusión de su información propietaria, particularmente la del área técnica, presentando una estricta confidencialidad de la misma, el cual únicamente otorga la información precisa y necesaria para el diseño de redes en caso de proyectos autorizados. Pero, para compensar esta parte, se realiza una guía manual que ayude en la configuración de los equipos OLT y ONT (marca Corecess series S5 y S3) usando los comandos básicos.
- ❖ Por consiguiente, el cambio de tecnología en el sector residencial Balcón del Norte, permitirá a los clientes de Telconet S.A. ofrecer mayores servicios como es el caso del servicio *Triple Play* de mejor calidad en cuanto a velocidad de transmisión, cubriendo así las expectativas que hoy en día presentan con el uso de servicios y aplicaciones de mayor ancho de banda. Además, en caso de una posible implementación de esta red, sería factible técnicamente, ya que existe el medio físico necesario para la instalación del cableado, de las mangas de empalme y cajas de distribución (dispersión) y, se cuenta principalmente con un nodo estándar de la empresa listo para este trabajo.

4.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Para el estudio de la demanda de los servicios que pueden penetrarse en el mercado, se debe elaborar encuestas que no sean demasiado largas, con pocas preguntas concisas y fáciles de entender, para obtener la información necesaria que facilite el análisis de los resultados obtenidos.
- ❖ Al considerar que una red de acceso GEPON permite tener en su estructura grupos de 32 o 64 de usuarios finales con segmentos de red a una distancia máxima de 20 km del OLT hasta el ONT; es importante sectorizar a los clientes de manera equitativa por áreas para disponer una mejor administración de los equipos activos que conectan a cada uno de los usuarios en caso de posibles fallas relacionadas con la fibra óptica que se distribuye desde la red de distribución hacia la red de acceso.

- ❖ Para que la red de acceso GEPON opere correctamente, adquirir equipos activos bajo el mismo fabricante principalmente el OLT y ONT, con el propósito de tener compatibilidad y así no afecte al entorno de producción. Esto se debe a que la interoperabilidad entre ellos aún no está 100% comprobada. Aunque solo ciertos fabricantes la aseguran, otros no y sobre todo que sean equipos fáciles de ser homologados por la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), el cual verifica que estos equipos cumplan con todos los requerimientos técnicos para que funcionen sin problemas en una red de telecomunicaciones en Ecuador.
- ❖ Al momento de ubicar el equipo OLT se recomienda que tenga un mejor radio de cobertura o larga distancia, también de fácil operación, mantenimiento, y permita el ahorro de cables de fibra óptica para facilitar una ampliación de la red a futuro. De igual forma, no se deberá exceder la distancia de 20 km desde el OLT hasta el ONT, ya que al seguir extendiendo esta distancia se sigue insertando atenuación en el enlace, porque durante todo el trayecto de la red podrían existir empalmes innecesarios que pueden seguir cada vez degradando el enlace y con esto la señal óptica recibida por el ONT no sería la óptima, el cual para poder corregir la misma sería necesario realizar un soporte técnico.
- ❖ Es importante que el personal técnico de mantenimiento y operación se rija en las especificaciones técnicas de cada fabricante tanto de los equipos de *backbone*, distribución como de los equipos finales (última milla), con el propósito de prevenir daños de estos. Así también, para realizar los trabajos con la fibra óptica, se debe contar personal capacitado en planta externa para la fusión de los hilos de fibra, la instalación de las mangas, el armado de las cajas de distribución, para la codificación de los hilos de fibra, entre otros, todo esto porque la fibra óptica es un medio de transmisión que se la debe trabajar de diferente manera, con un trato adecuado.
- ❖ Es primordial determinar la fibra óptica con la que se va a trabajar, el cual debe ser una existente en el mercado de acuerdo con las especificaciones técnicas necesarias; es decir, se debe seleccionar una fibra que entre sus principales características presente una baja atenuación, menor dispersión, completa inmunidad al ruido eléctrico y, pueda utilizarse a lo largo de grandes distancias.

Además, que sea ideal para aplicaciones que requieren un ancho de banda elevado.

- ❖ Los conectores ópticos son elementos esenciales que interconectan todos los elementos de la red, motivo por el cual es esencial mantenerlos en buen estado de funcionamiento para evitar que existan conexiones deficientes al estar sucios o dañados. De esta manera, se garantizará que todo el equipo funcione debidamente a su máximo rendimiento y se evite fallos de red catastróficos. Los daños o la suciedad en conectores pueden provocar lo siguiente: resultados de prueba erróneos, transmisión deficiente con elevadas pérdidas de inserción (*Insertion Loss*, IL) o pérdidas por retorno óptico (*Optical Return Loss*, ORL), daños permanentes al enlace durante transmisiones de alta potencia, daños físicos en extremo del conector, entre otros.
- ❖ Los empalmes ópticos son puntos de conexión que deben estar debidamente especificados y llevados a cabo, para esto deben ser fusionados con precisión, alta resistencia y bajas pérdidas, ya que al estar incorrectos con alineaciones deficientes de fibra-núcleo pueden causar pérdidas de acoplamiento o desajuste de núcleos y generar atenuación de la señal óptica. También una mala conexión incrementará generalmente la pérdida de inserción de un elemento (divisor óptico o *splitter*, mangas, etc.) en la ODN, el cual contribuirá al presupuesto de pérdida de potencia total. Por tanto, si hay demasiadas conexiones deficientes en la ODN, o si existe una con una pérdida exagerada, el presupuesto óptico de potencia podría no cumplirse, y conllevar a que la red de acceso no funcione correctamente o no proporcione los servicios que debería.
- ❖ El diseño de la red debe realizarse por completo con anterioridad a la instalación propiamente dicha, ya que así permite determinar el presupuesto del proyecto y, conocer su inversión inicial para su implementación. Todo esto porque, el diseño no solo afecta a las cuestiones técnicas de la instalación, sino también a las cuestiones de negocios. Por consiguiente, para el despliegue de la red de acceso se deberá seguir todos los lineamientos de Telconet S.A. para que la ruta de cobertura no se cruce con otras rutas cercanas ya construidas, y así se pueda evitar fallas en diversos tramos del enlace óptico que podrían afectar a varios clientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Ganuza, K. Perca y M. Viicens, «Las Redes de Nueva Generación en España. Situación actual y retos para el futuro,» Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.fedea.net/documentos/pubs/ee/2010/02-2010.pdf>. [Último acceso: 08 Junio 2017].
- [2] S. López, «Evaluación de los marcos regulatorios para las Redes de Acceso de Nueva Generación,» 23 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7782/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 08 Junio 2017].
- [3] Anónimo, «Consulta Pública sobre Redes de Acceso de Nueva Generación:C.M.T Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones,» Mayo 2007. [En línea]. Available: https://www.cnmc.es/sites/default/files/1491495_26.pdf. [Último acceso: 08 Junio 2017].
- [4] Anónimo, «Con los bártulos hacia una red "todo IP",» CNMC blog, 5 enero 2010. [En línea]. Available: <https://blog.cnmc.es/2010/01/05/con-los-bartulos-hacia-una-red-todo-ip/>. [Último acceso: 08 Junio 2017].
- [5] J. Escalante y E. Tordecilla, «(GEAPON) Gigabit Ethernet Passive Optical Network,» 29 Mayo 2007. [En línea]. Available: <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0039444.pdf>. [Último acceso: 09 Junio 2017].
- [6] V. D. MINTIC, «ABC de la Fibra Óptica: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia,» [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html>. [Último acceso: 14 Junio 2017].
- [7] Issuu Inc., «Fibra óptica,» *Revista Socios*, nº 25, pp. 34-35, 2016.

- [8] Anónimo, «Definición de Fibra óptica,» DefiniciónABC, [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/fibra-optica.php>. [Último acceso: 15 Junio 2017].
- [9] Anónimo, «La fibra óptica,» Estudioteca, [En línea]. Available: <http://www.estudioteca.net/universidad/telecomunicaciones/la-fibra-optica/>. [Último acceso: 20 Junio 2017].
- [10] Anónimo, «Cableado en Fibra Óptica,» [En línea]. Available: <http://www.cableadoi.com/cableado-en-fibra-optica/>. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [11] S. Schnitzler, «Fibras ópticas por Sergio Schnitzler (YIO multimedia),» YIO, [En línea]. Available: <http://www.yio.com.ar/fo/>. [Último acceso: 20 Junio 2017].
- [12] M. Jimenez, «Comunicaciones Ópticas,» Quito, 2013.
- [13] Anónimo, «¿Que es la Fibra Óptica?,» FIBERCO, [En línea]. Available: <http://www.fibra-optica.org/servicios-fibra-optica/que-es-fibra-optica/fibra-optica.asp>. [Último acceso: 21 Junio 2017].
- [14] C. Gandia, «Características principales de la Fibra Óptica,» Tecnologia para PYMES, 4 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://tecnologiaparapymes.es/caracteristicas-fibra-optica/>. [Último acceso: 22 Junio 2017].
- [15] «La Fibra Óptica,» [En línea]. Available: <http://www.robertexto.com/archivo7/fibraopt.htm>. [Último acceso: 23 Junio 2017].
- [16] E. Del Rio, «Fundamentos de las Fibras Ópticas,» [En línea]. Available: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>. [Último acceso: 23 Junio 2017].

- [17] K. Borrero y Y. Campo, «Refracción de la Luz,» 13 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://yuderlycampo.wixsite.com/advertising-blog-es/single-post/2016/02/13/Velocidad-de-la-luz>. [Último acceso: 23 Junio 2017].
- [18] J. López, Módulo 2 Física, Madrid: Paraninfo S.A., 2013.
- [19] Anónimo, «Cableado de fibra óptica para comunicaciones de datos (1ª parte),» 26 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.fibraopticahoy.com/cableado-de-fibra-optica-para-comunicaciones-de-datos-1ª-parte/>. [Último acceso: 23 Junio 2017].
- [20] UIT-T, «Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con amplificación óptica,» 08 Marzo 2004. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.977-200403-S/es>. [Último acceso: 24 Junio 2017].
- [21] Anónimo, «Diferencias entre cables de fibra óptica monomodo y multimodo,» Beyondtech Team, 18 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>. [Último acceso: 24 Junio 2017].
- [22] M. Alfonso, «Diseño de una red DWDM para la región central de Cuba,» Santa Clara, 2013.
- [23] Anónimo, «Apuntes de Networking. La fibra óptica (1). Monomodo y Multimodo,» 2010. [En línea]. Available: <http://apuntesdenetworking.blogspot.com/2012/01/la-fibra-optica-monomodo-y-multimodo.html>. [Último acceso: 24 Junio 2017].
- [24] I. The Fiber Optic Association, «Guide to Fiber Optics and Premises Cabling,» 2014. [En línea]. Available: http://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm. [Último acceso: 11 Diciembre 2017].

- [25] «Tipos de fibra óptica – Las fibras multimodos,» [En línea]. Available: <http://lafibraoptica Peru.com/tipos-de-fibra-optica-las-fibras-multimodos/>. [Último acceso: 11 Diciembre 2017].
- [26] G. Caraba, «Electronica Radical. Fibra óptica multimodo,» 16 Marzo 2011. [En línea]. Available: <http://electronicaradical.blogspot.com/2011/03/fibra-optica-multimodo.html>. [Último acceso: 25 Junio 2017].
- [27] P. Turmero, «Transmisión por fibra óptica,» Monografias.com S.A., [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos108/transmision-fibra-optica/transmision-fibra-optica2.shtml>. [Último acceso: 25 Junio 2017].
- [28] S. Gallardo, Elementos de sistemas de telecomunicaciones, España: Paraninfo, 2015.
- [29] I. Pérez, «Dispositivos y Medios de Transmisión Ópticos. Técnicas de Multiplexación,» [En línea]. Available: <http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/dispositivos-y-medios-de-transmision-opticos/material-de-clase-1/modulo-6-tecnicas-de-multiplexacion>. [Último acceso: 25 Junio 2017].
- [30] EXFO, «Póster de referencia de redes CWDM/DWDM,» 14 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://www.exfo.com/umbraco/surface/file/download/?ni=13585&cn=es-ES>. [Último acceso: 15 Febrero 2018].
- [31] P. Ramón, «Análisis del despliegue de una red de última generación usando fibra óptica para servicios Triple Play,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11035/TESINA1%20%282%29.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 15 Febrero 2018].
- [32] L. Oñate, «Análisis de una red PON UDWDM bajo la influencia de los efectos no lineales,» Enero 2017. [En línea]. Available:

- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14030/1/UPS%20-%20ST003002.pdf>. [Último acceso: 16 Febrero 2018].
- [33] Anónimo, «Line Systems, Inc. CWDM Case Study,» [En línea]. Available: http://www.omnitron-systems.com/downloads/case_study/line_systems_case_study.php. [Último acceso: 27 Junio 2017].
- [34] Smartoptics, «Coarse and Dense Wavelength Division Multiplexing,» [En línea]. Available: <https://www.smartoptics.com/article/coarse-dense-wavelength-division-multiplexing/>. [Último acceso: 17 Febrero 2018].
- [35] M. Rodríguez, «Redes de Acceso de Nueva Generación (NGA),» 17 Junio 2010. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11887/fichero/09.Redes+de+Acceso+de+Nueva+Generaci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 29 Junio 2017].
- [36] UIT-T, *Recomendación UIT-T Y.2001. Visión general de las redes de próxima generación*, 2004.
- [37] G. Vásquez, «Marco de Procesos de Negocio de un Proveedor de Servicios en un Entorno NGN,» 2009. [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/1106086/>. [Último acceso: 29 Junio 2017].
- [38] Furukawa Electric Group, «Tecnología que hace la diferencia en su vida,» [En línea]. Available: <http://arnog.com.ar/presentaciones/me/3-ftth.pdf>. [Último acceso: 30 Junio 2017].
- [39] J. Ballesta y J. Boltimore, «Passive Optical Network (PON): Características y Ventajas,» 30 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://fundacioniai.org/raccis/v7n2/n13a1.pdf>. [Último acceso: 29 Febrero 2018].
- [40] A. Quishpe y V. Nuvia, «Estudio de factibilidad de una Red de Acceso para servicios Triple Play en el Sector Central de la ciudad de Ibarra, mediante la

- combinación de las tecnologías FTTX (Fiber To The X),» Mayo 2010. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2072/1/CD-2875.pdf>. [Último acceso: 16 Julio 2017].
- [41] Y. Ishii y H. Yamashita, «Optical Access Transport System GEPON Platform,» 6 Marzo 2009. [En línea]. Available: <https://www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol45-4/paper04.pdf>. [Último acceso: 11 Febrero 2018].
- [42] UIT-T, «Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales,» 20 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/es>. [Último acceso: 1 Marzo 2018].
- [43] M. López, E. Moschim y F. Rudge, «ESTUDIO COMPARATIVO DE REDES GPON Y EPON,» Mayo 2009. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/849/84916680058.pdf>. [Último acceso: 1 Marzo 2018].
- [44] S. Gorshe, «Introduction to IEEE 802.3av 10Gbit/s Ethernet Passive Optical Networks (10G EPON),» Enero 2009. [En línea]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/a647/5dd4822aa079d7b1fb37699ecbd949b27877.pdf>. [Último acceso: 11 Febrero 2018].
- [45] G. Cevallos y F. Coronel, «Diseño y Simulación de una Red de Acceso para brindar Servicios Triple Play en el Centro de la Ciudad de Ambato,» Quito, 2014.
- [46] J. D., «Instalaciones Fibra Óptica, Mapa conceptual FTTH,» 3 Abril 2017. [En línea]. Available: <http://blaveoinstalaciones.blogspot.com/2017/04/mapa-conceptual-ftth.html>. [Último acceso: 22 Julio 2017].
- [47] Anónimo, «Sistema de Comunicaciones Óptico,» [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/870/A5.pdf?sequence=5>. [Último acceso: 31 Enero 2018].

- [48] Grupo GCO, «Tutorial de Comunicaciones Ópticas: Tipos de amplificadores,» 2006. [En línea]. Available: http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_8_2.htm. [Último acceso: 22 Febrero 2018].
- [49] Teleco, «Tutoriais Redes Ópticas: Amplificadores Raman,» [En línea]. Available: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsdwdm/pagina_2.asp. [Último acceso: 22 Febrero 2018].
- [50] NTT Technical Review, «Compact, Low-power, 120-GHz-band Wireless Link for 10-Gbit/s Data Transmission,» 3 Marzo 2009. [En línea]. Available: <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr200903sf2.html>. [Último acceso: 1 Febrero 2018].
- [51] UIT-T, «Recomendación UIT-T G.984.2,» Ginebra, 2003.
- [52] ITU-T, «ITU-T Recommendation G.984.2 (2003) – Amendment 2,» Ginebra, 2008.
- [53] B. Lee, «Divisores ópticos pasivos-Evaluación comparativa del rendimiento de las redes de acceso de nueva generación y alta velocidad,» Mayo 2015. [En línea]. Available: http://www.senko.com/es/pdf/Optical%20Splitter%20Whitepaper_Esp.pdf. [Último acceso: 11 Febrero 2018].
- [54] Silex Fiber Telecom, «Diferencias Divisores Splitters FBT & PLC,» 30 Abril 2017. [En línea]. Available: <http://silexfiber.com/diferencias-divisores-splitters-fbt-plc/>. [Último acceso: 31 Enero 2018].
- [55] Fiberbit Technology Co., LTD, «Infographic – Differences Between FBT and PLC splitters,» 10 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://fiberbit.com.tw/infographic-differences-between-fbt-and-plc-splitters/#top>. [Último acceso: Febrero 3 2018].

- [56] Multicom, «<https://www.multicominc.com/training/technical-resources/fbt-vs-plc-fiber-optic-splitters-whats-the-difference/>,» [En línea]. Available: <https://www.multicominc.com/training/technical-resources/fbt-vs-plc-fiber-optic-splitters-whats-the-difference/>. [Último acceso: 2 Enero 2018].
- [57] C. Aldaz, «Diseño de la Infraestructura FTTH GEPON para clientes masivos en la ciudad de Ambato,» Quito, 2016.
- [58] C. Gonzalez, «REDES GEPON,» Cuenca.
- [59] M. Lattanzi y A. Graf, «Redes FTTx, Conceptos y Aplicaciones,» [En línea]. Available: <http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/tutorial%209%20lattanzi%20y%20graf-%20ieee.pdf>. [Último acceso: 4 Febrero 2018].
- [60] Anónimo, «Triple Play de Megacable,» 20 Septiembre 2011. [En línea]. Available: <http://telecoms.mx/megacable>. [Último acceso: 2 Julio 2017].
- [61] JDS Uniphase Corporation, «Triple-Play Service Deployment,» 2007. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/9822950/JDSU-Triple-Play-Book-110207>. [Último acceso: 4 Julio 2017].
- [62] D. Zacarías, «Triple Play y Convergencia de medios,» 2010. [En línea]. Available: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/TriplePlay.pdf>. [Último acceso: 4 Julio 2017].
- [63] Telconet S.A., «Informe de actualización de la calificación de riesgos correspondiente a la tercera, cuarta, quinta, sexta, séptima y octava emisión de obligaciones Telconet S.A.,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://summaratings.com/wp-content/uploads/2017/11/Informe-Telconet-3-8EO-16-02-2017.pdf>. [Último acceso: 27 Enero 2018].
- [64] Telconet S.A., «Prospecto de Oferta Pública Octava Emisión de Obligaciones Telconet S.A.,» Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://www.bolsadequito.info/uploads/prosp/Q->

- Z/TELCONET/OBLIGACIONES/TELCONET%20OBL%202016.pdf. [Último acceso: 09 Julio 2017].
- [65] Telconet S.A., «La fibra del Ecuador,» [En línea]. Available: <http://www.telconet.net/>. [Último acceso: 09 Julio 2017].
- [66] Technology & Computing, «Computerworld Ecuador - Data Driven Business - Edición 296,» 14 Marzo 2017. [En línea]. Available: https://issuu.com/ekosnegocios/docs/cw_book_296_web. [Último acceso: 27 Enero 2018].
- [67] UIT-T, «Características de las fibras y cables ópticos monomodo Recomendación UIT-T G.652, T-REC-G.652-200506-S!!PDF-S».
- [68] ITU-T, «Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable Recommendation ITU-T G.657, T-REC-G.657-201611-!!!PDF-E».
- [69] Kroton, «Fibra Óptica ADSS Mono 6 Hilos,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.kroton.com.pe/producto/fibra-optica-adss-mono-6-hilos/>. [Último acceso: 11 Diciembre 2017].
- [70] Telconet S.A., «Fibra óptica Código de Colores,» de *Departamento Fibra Óptica R2*, Quito.
- [71] L. Abril, «Fábrica en Ecuador produjo más de un millón de km de fibra óptica,» *El Telégrafo*, 15 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/tecnologia/30/fabrica-en-ecuador-produjo-mas-de-un-millon-de-km-de-fibra-optica>. [Último acceso: 28 Enero 2018].
- [72] Telconet S.A., «Relaciones Públicas / TELCONET S. A.,» [En línea]. Available: <http://www.telconet.net/noticias/261-ilatamfiberhome>. [Último acceso: 11 Julio 2017].

- [73] Telconet S.A., «Diagrama de Metro Quito,» de *Departamento Networking*, Quito, 2014.
- [74] J. Calle, «Procedimientos para los trabajos dentro de los nodos,» de *Departamento de Nodos Telconet S.A.*, Quito, 2011.
- [75] Telconet S.A., «Conexiones GEAPON-PROY 06 Diagrama de Red Gepon Quito Ver 23-08-2011,» de *Departamento Networking*, Quito, 2011.
- [76] Telconet S.A., «Diagrama Pétalos/Recableado RED MPLS UIO- ESP NET 06 Ver 05 Noviembre 2014,» de *Departamento GIS (Geographic Information System)*, Quito, 2014.
- [77] Cisco Systems, «Cisco Catalyst 3560 v2 Series Switches,» 2014. [En línea]. Available:
http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3560-series-switches/data_sheet_c78-530976.html. [Último acceso: 13 Julio 2017].
- [78] Telconet S.A., «Diagramas de la red de Telconet S.A,» de *Departamento Networking*, Quito, 2010.
- [79] O. Avalos y J. Toctaguano, «Implementación de un Modelo de Gestión de Red en la Empresa "Telconet S.A." para el monitoreo de Servicios de Negocio,» Quito, 2013.
- [80] C. Jara, «Sistemas de Transporte de Datos (9186). Curso 2010 -11. Ingeniería Informática,» Noviembre 2010. [En línea]. Available:
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23719/2/Practica_1_STD.pdf. [Último acceso: 13 Marzo 2018].
- [81] C. Montero y S. Flores, «Migración de las redes de distribución y núcleo de Telconet de un esquema plano capa 2 Ethernet e IP a un diseño capa 2 802.1Q e IP+MPLS,» Guayaquil, 2010.

- [82] PSYMA GROUP AG, «¿Cómo determinar el tamaño de una muestra?,» 04 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>. [Último acceso: 31 Enero 2018].
- [83] Feedback Networks Technologies, S.L, «Calcular la muestra correcta,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calculador.html>. [Último acceso: 31 Enero 2018].
- [84] INEC, «Crecimiento poblacional del distrito Metropolitano de Quito por quince años según áreas,» 2017. [En línea]. Available: http://sthv.quito.gob.ec/recursos/indicadores/proyeccion_zonal.htm. [Último acceso: 8 Febrero 2018].
- [85] Anónimo, «Metodología, Métodos Matemáticos,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/bortolotti_s_e/capitulo_3.pdf. [Último acceso: 13 Julio 2017].
- [86] J. Pérez, «Cálculo del Crecimiento de la Población,» [En línea]. Available: <https://apuntesdedemografia.com/curso-de-demografia/temario/tema-3-crecimiento-y-estructura-de-la-poblacion/calculo-del-crecimiento-de-la-poblacion/>. [Último acceso: 13 Julio 2017].
- [87] Blog CNMC, «Conceptos básicos de telecomos: Redes (I),» 12 Febrero 2010. [En línea]. Available: <https://blog.cnmc.es/2010/02/12/conceptos-basicos-de-telecomos-redes-i/>. [Último acceso: 14 Julio 2017].
- [88] J. Huidobro, Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios. 2ª edición actualizada, RA-MA, 2014.
- [89] L. Lanchi, «Diseño de la Red de Acceso de la Universidad Nacional de Loja, basada en la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network),» Loja, 2015.

- [90] MINTEL, «Indicadores y Estadística,» 2017. [En línea]. Available: <https://observatoriotic.mintel.gob.ec/estadistica/>. [Último acceso: 7 Febrero 2018].
- [91] ARCOTEL, «Boletín Estadístico III Trimestre de 2017,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/Boletin-Estadistico-III-Trimestre-2017.pdf>. [Último acceso: 7 Febrero 2018].
- [92] CORDICOM, «Investigación para una propuesta de Programa de TV dirigido a Jóvenes,» [En línea]. Available: <http://www.cordicom.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/INVESTIGACION-TV-JOVENES.pdf>. [Último acceso: 10 Febrero 2018].
- [93] Netlife, «¿Qué es la compartición de Internet y cómo afecta la velocidad de la conexión?,» Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.netlife.ec/2015/07/que-es-la-comparticion-de-internet-y-como-afecta-la-velocidad-de-la-conexion/>. [Último acceso: 15 Julio 2017].
- [94] UIT, «IEEE Access Standards, 802.3ah GE-PON Status,» Julio 2002. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/itudoc/itu-t/workshop/optical/s3amp03-es.html>. [Último acceso: 16 Julio 2017].
- [95] Anónimo, «Redes Ópticas GEPON x GPON,» MATRIX , 21 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://suporte.matrixdobrasil.com.br/hc/pt-br/articles/204614544-Redes-%C3%93pticas-GEPON-x-GPON>. [Último acceso: 16 Julio 2017].
- [96] Netlife, «Fibra Óptica directo hasta tu hogar-Tecnología FTTH GEPON,» 10 Febero 2014. [En línea]. Available: https://issuu.com/netlife/docs/gepon_y_netlife. [Último acceso: 16 Julio 2017].
- [97] V. Heredia, «Diseño de una red FTTH para la utilización de servicios de los operadores de telecomunicaciones en la ciudad de Cuenca,» 2016. [En

- línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25833>. [Último acceso: 16 Julio 2017].
- [98] J. Tinoco, «Estudio y diseño de una Red de fibra óptica FTTH para brindar servicios de voz, video y datos para la Urbanización Los Olivos ubicada el sector Toctesol en la Parroquia Borrero de la ciudad de Azogues,» Cuenca, 2011.
- [99] EXFO, «FTTx PON Guide Testing Passive Optical Networks,» 2009. [En línea]. Available: http://media.klinkmann.lv/pdf/lv/exfo/Exfo_FTTx_PON_Reference_Guide_en.pdf. [Último acceso: 17 Julio 2017].
- [100] Telconet S.A., «Documento Google Earth, Ruta MPLS Balcón Del Norte.kmz.,» de *Departamento GIS (Geographic Information System)*, Quito.
- [101] Telconet S.A., «AutoCAD Application, AS BUILT - CONJUNTO BALCON DEL NORTE - BOSTON GARDEN - SKYRIOS.dwg,» de *Departamento GIS (Geographic Information System)*, Quito, 2013.
- [102] M. Abreu, A. Castagna, P. Cristiani, P. Zunino, E. Roldós y G. Sandler, «Características Generales de una Red de Fibra Óptica al Hogar (FTTH),» 2009. [En línea]. Available: http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_179_Caracterstic asgeneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf. [Último acceso: 18 Julio 2017].
- [103] P. Cortez, «Manual Práctico para el cableado de la red aérea de fibra óptica de Telconet en la ciudad de Quito,» Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16820/1/CD-7403.pdf>. [Último acceso: 18 Julio 2017].

- [104] E. Twain, 01 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://opticalfibersalsa.overblog.com/2016/06/single-mode-fiber-standard-and-selection.html>. [Último acceso: 16 Febrero 2018].
- [105] Optral, «Cables de fibra óptica y equipos optoelectrónicos,» [En línea]. Available: <http://www.optral.es/ecatalogo/catalogoaltacalidad.pdf>. [Último acceso: 16 Febrero 2018].
- [106] L. Criollo, «Diseño de una red convergente de fibra óptica para interconectar los campus de la Universidad de las Américas,» Quito, 2015.
- [107] EXFO, «La Guía FTTH PON Realización de pruebas de redes ópticas pasivas 5a Edición,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/Guia%20FTTH%20PON%20de%20EXFO%202013.pdf>. [Último acceso: 13 Febrero 2018].
- [108] A. García, «GPON y GPON Doctor Introducción y Conceptos Generales,» Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>. [Último acceso: 13 Febrero 2018].
- [109] G. Benítez y P. Centurión, «Comunicaciones Óptimas, Cálculo de un enlace de fibra óptica,» <https://es.slideshare.net/luisanibaldiazvera/clculo-de-un-enlace-de-fibra-ptica>, 2008.
- [110] Tellion, «GE-PON Solutions, Gigabit Ethernet PON for FTTP E-PON OLT : EP-3116,» [En línea]. Available: <http://www.tellion.com/product/access-network-equipement-cpe/epon-equipement-cpe/>. [Último acceso: 23 Julio 2017].
- [111] Huawei Technologies Co., Ltd., «OLT serie SmartAX MA5600T Global First All-in-one Access Platform,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.huaweigon.cz/wp-content/uploads/Huawei-SmartAX-MA5600T-Series-OLT-Brochure.pdf>. [Último acceso: 23 Julio 2017].

- [112] Tellion, «GE-PON Solutions, Multi-Port Optical Network Terminal for Gigabit Ethernet PON GE-PON ONT EP-3204N,» [En línea]. Available: <http://www.tellion.com/product/access-network-equipement-cpe/epon-equipement-cpe/>. [Último acceso: 23 Julio 2017].
- [113] Huawei Technologies Co., Ltd, «Huawei HG8240 Delivering Ultra-Broadband Access to Home and SOHO Users,» 2014. [En línea]. Available: http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/webasset/hw_u_390029.pdf. [Último acceso: 23 Julio 2017].
- [114] Arpatel Soluciones, «Accesorios Redes De Fibra Óptica,» [En línea]. Available: <http://arpatel.com.ec/producto/mangas-3m/>. [Último acceso: 25 Julio 2017].
- [115] Furukawa Industrial S.A, «Especificaciones Técnicas Roseta Óptica,» Diciembre 2013. [En línea]. Available: http://www.tecnoredsa.com.ar/productos/ff2c70_ET2149.pdf. [Último acceso: 25 Julio 2017].
- [116] Netlife, *Equipamiento y Tecnología, Plan 200 Mbps*, Quito.
- [117] Anónimo, «Cajas de distribución de redes FTTH GLC,» [En línea]. Available: <https://dw.01enlinea.com/glc/datasheet-caja-distribucion-fibra-fdb-2x8.pdf>. [Último acceso: 19 Abril 2018].
- [118] Tyco Electronicss (Shanghai) Co., Ltd., «FOSC-350C FOSC gel-sealed in-line closure,» [En línea]. Available: http://www.ecotelcavi.it/docs/data-sheet-tyco/fosc-350-potenzialit%C3%A0-fino-a-96-fibre.pdf?sfvrsn=7178ff2e_4. [Último acceso: 17 Abril 2018].
- [119] Furukawalatam.com, «Especificaciones técnicas roseta óptica,» [En línea]. Available: <https://www.furukawalatam.com/pt-br/versao-et-pdf/roseta-optica>. [Último acceso: 17 Abril 2018].
- [120] PlusCompu, *Lista de precios*, Cuenca, 2017.

- [121] SISCOMSERVICE S.A., *Proforma de productos*, Quito, 2017.
- [122] AsGa Telecom Solutions, «Plataforma de servicios de banda ancha escalable, Manual de Usuario Corecess,» [En línea]. Available: <https://fccid.io/ANATEL/01334-12-07958/Manual/FD82DEFA-C790-4851-B2C7-565F2BBE9133/PDF>. [Último acceso: 14 Abril 2018].
- [123] Madison Conective Technologies, «Corecess Complete Guide,» [En línea]. Available: http://support.madisontech.com.au/index.php/Corecess_Complete_Guide#VLANs. [Último acceso: 15 Abril 2018].
- [124] S.R.I, «¿Por qué glosa el SRI? Fundamentos de Hecho y de Derecho,» [En línea]. Available: <http://www.intelecto.com.ec/wp-content/themes/intelecto/por-que-glosa-el-sri/Glosas33.pdf>. [Último acceso: 27 Julio 2017].
- [125] INCOP, «RESOLUCIÓN INCOP No. 044-10,» 15 06 2010. [En línea]. Available: https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/wp-content/uploads/files/87/Resolucion_INCOP_No_044_10_digital.pdf. [Último acceso: 26 Marzo 2018].
- [126] SRI, «Reglamento para la aplicación Ley de Régimen Tributario Interno Impuesto a la Renta,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/DocumentosAlfrescoPortlet/descargar/b1055d62-8021-4a3c-9679-58f9c8cd38f7/Art.+10+Deducciones.pdf>. [Último acceso: 26 Marzo 2018].
- [127] Anonimo, «Registro de la depreciación de activos fijos,» [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1502/6/02%20ICA%20353%20capitulo%205%20II.pdf>. [Último acceso: 29 Marzo 2018].
- [128] Anonimo, «Tabla de cálculo de depreciaciones,» [En línea]. Available: http://www.subtel.gob.cl/images/stories/articles/procesostarifarios/asocfile/anexo_v_5_tabla_calculo_depreciaciones.pdf. [Último acceso: 29 Marzo 2018].

ANEXOS

ANEXO A

**VALORES CORPORATIVOS DE LA EMPRESA
TELCONET S.A.**



- **Misión**

"Buscar la excelencia en la provisión de la comunicación de datos, a través del uso de la mejor tecnología disponible y la preparación continua de nuestros recursos humanos, en beneficio de la comunidad, cliente y empresa".

- **Visión**

"Ser la mejor alternativa e integrar al Ecuador a través de la provisión de servicios de comunicación de video, voz y datos; siguiendo estándares internacionales de calidad y usando la mejor y más moderna tecnología en telecomunicaciones".

- **Política de calidad**

"Proveer Servicios de Telecomunicaciones con un Sistema de Gestión de Calidad transparente, basado en la prevención, comprometidos con el mejoramiento continuo para maximizar la satisfacción de cada cliente".

- **Política de seguridad**

"Proveer servicios de telecomunicaciones con un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información basado en la prevención y enfocado en minimizar el riesgo de incidentes que atenten contra la confidencialidad, integridad y disponibilidad de Telconet".

- **Competitividad**

Telconet S.A. cuenta con un alto estándar de competitividad por su experiencia y conocimiento en el mercado; esto gracias a sus recursos tecnológicos, financieros y personal altamente calificado y profesional para brindar servicio a sus clientes.

Su infraestructura propia proporciona acceso a una potente red con amplia cobertura de soluciones tecnológicas en más de 3.000 puntos de presencia (PDP) en todo el Ecuador.

La capacidad de crecimiento y desarrollo fundamentalmente se basa por la pronta respuesta a inconvenientes.

Por tanto, entre las ventajas competitivas que presenta la empresa Telconet S.A. en el mercado con respecto a otros proveedores de servicios se mencionan a las siguientes:

- ❖ Infraestructura propia de fibra óptica.
- ❖ Capacidad de crecimiento.
- ❖ Experiencia en el mercado.
- ❖ Cobertura con diferentes soluciones tecnológicas.
- ❖ Personal calificado y profesional.

El personal existente es muy amplio, la cantidad depende de la estructura organizacional de Telconet S.A., donde abarca los Directivos, Representantes Legales y Administradores; comprende los Departamentos Técnico, Financiero, Administrativo, Comercial, Gestión de Calidad, Procesos y Desarrollo Humano.

Telconet S.A. al presentar cobertura a nivel nacional, dividió el trabajo operativo de su personal en dos regiones, Región Costa "R1" y Región Sierra "R2, donde cumplen sus funciones según el reglamento interno de trabajo y condiciones establecidas por la propia empresa.

ANEXO B

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO REC. UIT-T G.652D Y REC. UIT-T G.657A1

Table 2 – ITU-T G.652.D attributes

Fibre attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Mode field diameter	Wavelength	1310	nm
	Range of nominal values	8.6-9.2	µm
	Tolerance	± 0.4	µm
Cladding diameter	Nominal	125.0	µm
	Tolerance	± 0.7	µm
Core concentricity error	Maximum	0.6	µm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260	nm
Macrobending loss	Radius	30	mm
	Number of turns	100	
	Maximum at 1625 nm	0.1	dB
Proof stress	Minimum	0.69	GPa
Chromatic dispersion parameter	λ_{omin}	1300	nm
	λ_{omax}	1324	nm
3-term Sellmeier fitting (1260 nm to 1460 nm)	S_{omin}	0.073	ps/(nm ² × km)
	S_{omax}	0.092	ps/(nm ² × km)
Linear fitting (1460 nm to 1625 nm)	Minimum at 1550 nm	13.3	ps/(nm × km)
	Maximum at 1550 nm	18.6	ps/(nm × km)
	Minimum at 1625 nm	17.2	ps/(nm × km)
	Maximum at 1625 nm	23.7	ps/(nm × km)
Cable attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.40	dB/km
	Maximum at 1383 nm ±3 nm after hydrogen ageing (Note 3)	0.40	dB/km
	Maximum at 1530-1565 nm	0.30	dB/km
PMD coefficient (Note 4,5)	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Maximum PMD _Q	0.20	ps/√km
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [b-IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm. Attenuation coefficient at a wavelength longer than 1625 nm (for monitoring purpose) is not well known. In general, the attenuation increases as the wavelength increases, and it may show steep wavelength dependence due to both macro- and microbending losses.</p> <p>NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm.</p>			

FIBRA OPTICA MONOMODO. G652D



NORMAS

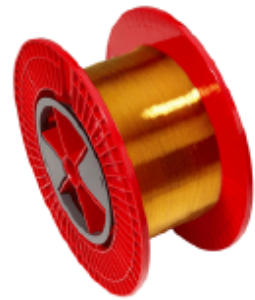
Fibra : ITU-T G.652D

IEC-EN 60793-2-50 Cat. B.1.1.

IEC-EN 60793-2-50 Cat. B.1.3.

DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN

- Fibra óptica monomodo de salto de índice. Revestimiento compuesto de SiO₂ y el núcleo de SiO₂ + GeO₂. El recubrimiento primario está compuesto de acrilato contra los rayos UV.
- Fibra con un bajo pico de agua (LWP), que proporciona un rendimiento óptimo en las dos ventanas: a 1310 nm (2ª ventana) y 1550 nm (3ª ventana). Baja dispersión en 2ª ventana. Puede ser igualmente utilizada en aplicaciones CWDM gracias a su baja atenuación en la región del pico de agua (1.383 nm).
- Es una fibra de espectro completo diseñada para los sistemas de transmisión óptica que operan en todo el rango de longitud de onda de 1260 nm a 1625 nm.
- De acuerdo con la recomendación ITU-T G-652d (y revisiones anteriores A, B y C) e IEC-EN 60793-2-50 cat. B.1.3. (Incluyendo cat. B.1.1).
- Una vez introducida en cables de tubo holgado, el código de rendimiento es OS1 y OS2, según IEC 60793-2-50 B.1.3.
- Compatible con la norma ISO / IEC 11801:2002 categoría OS1 norma y la norma ISO / IEC 24702:2006, categorías OS1 y OS2



Todos los dibujos, diseños, especificaciones y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en esta documentación son puramente indicativos y no pueden ser considerados contractuales.

FIBRA OPTICA MONOMODO. G652D

PROPIEDADES OPTICAS

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Tip. /Max. Atenuación fibra individual a 1310 nm (*)	0,32 / 0,35	dB/km	UNE-EN 188000-303 IEC 60793-1-40
Tip. /Max. Atenuación fibra Individual a 1383 nm (*)	0,28 / 0,31	dB/km	
Tip. /Max. Atenuación fibra individual a 1550 nm (*)	0,19 / 0,21	dB/km	
Tip. /Max. Atenuación fibra Individual a 1625 nm (*)	0,20 / 0,24	dB/km	
Uniformidad en la atenuación (Puntos discontinuidad a 1310 o 1550nm)	< 0,05	dB	UNE-EN 188000-309 IEC 60793-1-42
Longitud de onda de dispersión nula	$1302 < \lambda_0 < 1322$	nm	
Pendiente de dispersión a λ_0 (S_0)	$\leq 0,092$	ps/nm ² ·km	
Dispersión cromática máxima (1285 nm - 1330 nm)	$\leq 3,5$	ps/nm·km	
Dispersión cromática máxima a 1550 nm	$\leq 18,0$	ps/nm·km	
Dispersión cromática máxima a 1625 nm	$\leq 22,0$	ps/nm·km	IEC 60793-1-48
Dispersión por modo de polarización (PMD) (*)	$\leq 0,2$	ps/√km	
Coefficiente de PMD del enlace (PMD ₀) (**)	$\leq 0,06$	ps/√km	
Longitud de onda de corte (fibra cableada)	$\lambda_{cc} < 1260$	nm	UNE-EN 188000-313 IEC 60793-1-44

(*)Este parámetro está sujeto a cambios una vez la fibra está en el cable.

PROPIEDADES GEOMETRICAS

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Diámetro del campo modal a 1310 nm	$9,2 \pm 0,4$	μm	UNE-EN 188000-315 IEC 60793-1-45
Diámetro del campo modal a 1550 nm	$10,4 \pm 0,5$	μm	
Diámetro del revestimiento	$125 \pm 0,7$	μm	IEC 60793-1-20
No-Circularidad del revestimiento	< 1	%	
Error de concentricidad núcleo-revestimiento	< 0,5	μm	IEC 60793-1-21
Diámetro del recubrimiento primario (No coloreado)	245 ± 5	μm	
Error de concentricidad recubrimiento primario- revestimiento	≤ 12	μm	
Ondulación de la fibra ("Fiber Curl")	≥ 4.0	m	IEC 60793-1-34

OTRAS PROPIEDADES

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Resistencia a la tracción ("Proof test")	$\geq 1\%$ (100kpsi / 0,7GPa)	%	IEC 60793-1-30
Índice efectivo de refracción de grupo a 1330 nm	1,467		
Índice efectivo de refracción de grupo a 1550 nm	1,468		
Apertura del recubrimiento (valor de pico)	$1,3 \leq F_p \leq 8,9$	N	IEC 60793-1-32

Todos los dibujos, diseños, especificaciones y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en esta documentación son puramente indicativos y no pueden ser considerados contractuales.

Table 1 – ITU-T G.657.A attributes

Fibre attributes							
Attribute	Detail	Value					Unit
Mode field diameter	Wavelength	1 310					nm
	Range of nominal values	8.6-9.2					µm
	Tolerance	±0.4					µm
Cladding diameter	Nominal	125.0					µm
	Tolerance	±0.7					µm
Core concentricity error	Maximum	0.5					µm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0					%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1 260					nm
Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)		ITU-T G.657.A1		ITU-T G.657.A2			
	Radius	15	10	15	10	7.5	mm
	Number of turns	10	1	10	1	1	
	Max. at 1 550 nm	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	dB
	Max. at 1 625 nm	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0	dB
		ITU-T G.657 category A					
Proof stress	Minimum	0.69					GPa
Chromatic dispersion parameter 3-term Sellmeier fitting (1 260nm to 1 460 nm)	λ_{min}	1 300					nm
	λ_{max}	1 324					nm
	S_{min}	0.073					ps/(nm ² × km)
	S_{max}	0.092					ps/(nm ² × km)
Linear fitting (1 460 nm to 1 625 nm)	Min. at 1 550 nm	13.3					ps/(nm × km)
	Max. at 1 550 nm	18.6					ps/(nm × km)
	Min. at 1 625 nm	17.2					ps/(nm × km)
	Max. at 1 625 nm	23.7					ps/(nm × km)
		Cable attributes					
Attenuation coefficient (Note 3)	Maximum from 1 310 nm to 1 625 nm (Note 4)	0.40					dB/km
	Maximum at 1 383 nm ±3 nm after hydrogen ageing (Note 5)	0.40					dB/km
	Maximum at 1 530–1 565 nm	0.30					dB/km
PMD coefficient	M	20					ps/km
	Q	0.01					%
	Maximum PMD ₀	0.20					ps/km ^{1/2}

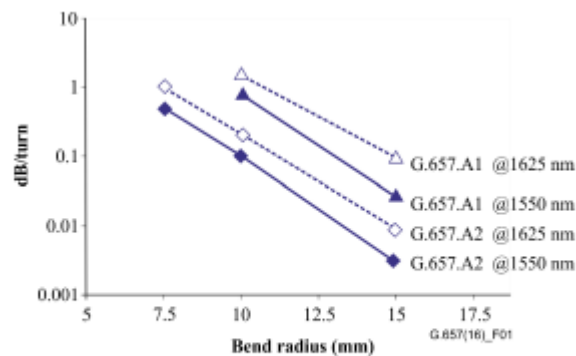


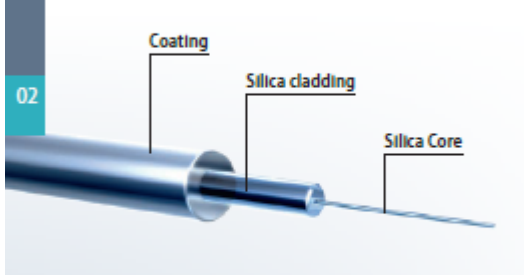
Figure 1 – Macrobending loss data from Table 1, category ITU-T G.657.A

Standard singlemode fiber

Reliable tried and tested singlemode fiber for LAN, FTTX and long distance applications

Standard optical fibers

02



Description

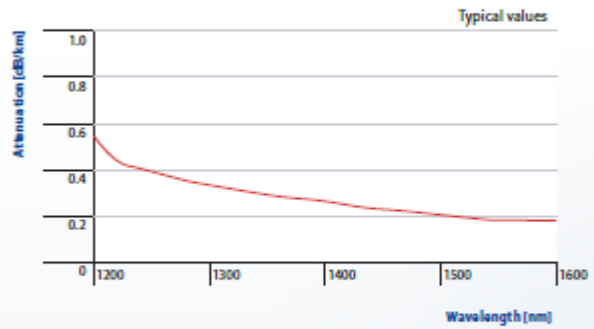
For the bridging of larger distances in LAN cabling as well as for FTTX applications we offer reliable high-performance singlemode fibers.

The G.657.A1 compliant fibers are compatible with installed networks and offer optimized bending properties. With lowest attenuation, perfect fiber geometry and tight fiber diameter tolerances, they are perfectly suited for the system demands in LAN networks.

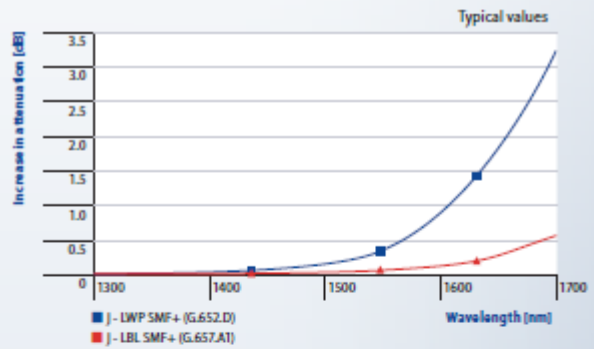
In FTTX applications they meet the requirements for robust and cost-efficient fiber solutions with a future-proof perspective.

In long-distance applications our G.652.D singlemode fibers guarantee cost advantages and performance consistency as required for the transmission of high data rates over long distances.

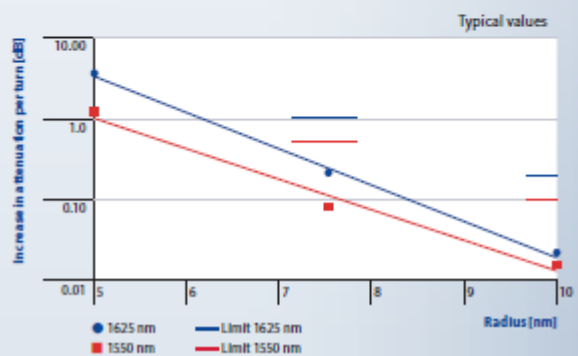
Typical spectral attenuation for LWP SMF*



Comparison of bend-performance of the LBL singlemode fiber to other G.652.D SMF (10 mm radius, 1 turn)



Typical bend-performance of ULBL SMF (G.657.B2)



LWP SMF- (ITU-T G.652.D)	LBL SMF (ITU-T G.657 A.1)	ULBL SMF (ITU-T G.657.B2)
-----------------------------	------------------------------	------------------------------



Optical properties		Specific values		
Attenuation coefficient ¹⁾ [dB/km]	1310 nm	≤ 0.33 to ≤ 0.35	≤ 0.33 to ≤ 0.36	≤ 0.38
	1383 nm ²⁾	≤ 0.31 to ≤ 0.35	≤ 0.31 to ≤ 0.36	–
	1550 nm	≤ 0.19 to ≤ 0.21	≤ 0.19 to ≤ 0.21	≤ 0.25
	1625 nm	≤ 0.20 to ≤ 0.23	≤ 0.20 to ≤ 0.23	≤ 0.25
Attenuation variance range ³⁾ [dB/km]	1285–1330 nm	≤ 0.03	≤ 0.03	–
	1530–1570 nm	≤ 0.02	≤ 0.02	–
	1460–1625 nm	≤ 0.04	≤ 0.04	–
Mode field Ø [µm]	1310 nm	9,2 ± 0.4	8,6 ± 0.4	7.5 ± 0.4
	1550 nm	10.4 ± 0.5	9.8 ± 0.5	–
Discontinuity (tp = 1 µs) [dB]	1310 nm	≤ 0.05	≤ 0.05	–
	1550 nm	≤ 0.05	≤ 0.05	–
Attenuation uniformity [dB]		≤ 0.05	≤ 0.05	–
Macrobending loss		Specified values		
Bend-induced attenuation [dB]				
100 turns Radius 50 mm	1310 nm	≤ 0.05	–	–
	1550 nm	≤ 0.05	–	–
1 turn Radius 32 mm	1550 nm	≤ 0.05	–	–
	–	–	–	–
10 turns Radius 15 mm	1550 nm	–	≤ 0.03	≤ 0.03
	1625 nm	–	≤ 0.2	≤ 0.1
1 turn Radius 10 mm	1550 nm	–	≤ 0.3	≤ 0.1
	1625 nm	–	≤ 1.0	≤ 0.2
1 turn Radius 7.5 mm	1550 nm	–	–	≤ 0.5
	1625 nm	–	–	≤ 1.0
Fiber cut-off wavelength λ _c [nm]		1200–1330	≤ 1340	–
Cable cut-off wavelength λ _{c2} [nm]		≤ 1260	≤ 1260	–
Zero crossing of dispersion λ ₀ [nm]		1300 ≤ λ ₀ ≤ 1324	1300 ≤ λ ₀ ≤ 1324	–
Slope at zero crossing of dispersion S ₀ [ps/nm ² ×km]		≤ 0.092	≤ 0.092	–
Chromatic dispersion [ps/nm×km]	1270–1340 nm	≤ 5.00	≤ 5.00	–
	1285–1330 nm	≤ 3.00	≤ 3.00	–
	1550 nm	≤ 18.00	≤ 18.00	–
Effective group index	1310 nm	1.467	1.467	–
	1383 nm	1.467	1.467	–
	1550 nm	1.467	1.467	–
Value of polarization mode dispersion link ⁴⁾ [ps/√km]		≤ 0.06	≤ 0.06	–
Individual fiber ⁵⁾ [ps/√km]		≤ 0.10	≤ 0.10	–
Mechanical properties		Specified values		
Proof test	[kpsi]	≥ 100		
	[N]	≥ 8.8		
	[GPa]	≥ 0.7		
Dynamic tensile strength in an unaged fiber (0.5 m) [GPa]	Median tensile strength	≥ 3.8		
	Tensile strength 15 %	≥ 3.3		
Dynamic tensile strength in an aged fiber (0.5 m) [GPa]	Median tensile strength	≥ 3.03		
	Tensile strength 15 %	≥ 2.76		
Dynamic fatigue	Stress-corrosion parameter n _d	≥ 20		
Operating temperature [°C]		–60 to +85		
Average coating strip force (typ.) [N]		1.9		

¹⁾ Special attenuation cells on request.

²⁾ Attenuation values for 1383 nm represent values after hydrogen charging and are always lower or equal to the attenuation value for 1310 nm.

³⁾ Fiber attenuation in specified areas exceeds the nominal values at 1310/1550 nm no more than the declared value.

⁴⁾ M = 20, Q = 0.01 %

⁵⁾ Individual values can change during the cabling.

ANEXO C

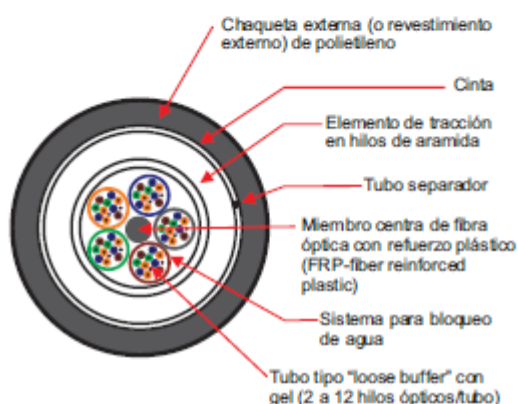
CABLE DE FIBRA ÓPTICA SM ADSS 6 HILOS



Fibra Óptica ADSS Mono 6 Hilos

Código: ADSS-6B1

- Máxima Tensión Permisible 2400N.
- Compresión 1000N/10cm.
- Temperatura de Operación -25°C +65°C.
- SPAN 100 Metros.
- Protección UV y contra la Humedad.



Características Generales	
Características	Tipo
Cubierto Exterior	HDPE
Armadura Dieléctrica	Hilos de Aramida (Armadura Dieléctrica)
Tubo Suelto	PBT Color: Azul
Fibra	Fibra a base de Silicona (G.652D)
Fibra UV, Colores	Azul, Naranja, Verde, marrón, Gris, Blanco
Miembro Central	FRP

Características de Atenuación		
Características	Unid.	Medición
1310nm	dB/Km	≤ 0.345
1383nm	dB/Km	≤ 0.340
1550nm	dB/Km	≤ 0.210
1625nm	dB/Km	≤ 0.230

Características Mecánicas		
Características	Unid.	Medición
Máxima Tensión Permisible	N	2400
Compresión	N/10cm	1000
Temperatura de Operación	°C	-25 a 65
Span Máximo	m	100
Condiciones máximas de Viento (sin hielo)	m/s	25

Características Dimensionales		
Características	Unid.	Medición
Diámetro Exterior	mm	10.7±0.5

ANEXO D

CÓDIGO DE COLORES SEGÚN EL NÚMERO DE HILOS DE FIBRA ÓPTICA

FIBRA DE 144H								
NUMERO	TUBO	HILO	NUMERO	TUBO	HILO	NUMERO	TUBO	HILO
1	R	ROJO	49	N	ROJO	97	A	ROJO
2		BLANCO	50		BLANCO	98		BLANCO
3		AMARILLO	51		AMARILLO	99		AMARILLO
4		VERDE	52		VERDE	100		VERDE
5		NARANJA	53		NARANJA	101		NARANJA
6		CELESTE	54		CELESTE	102		CELESTE
7		CAFÉ	55		CAFÉ	103		CAFÉ
8		NEGRO	56		NEGRO	104		NEGRO
9		AZUL	57		AZUL	105		AZUL
10		GRIS	58		GRIS	106		GRIS
11		VIOLETA	59		VIOLETA	107		VIOLETA
12		ROSADO	60		ROSADO	108		ROSADO
13	L	ROJO	61	C	ROJO	109	G	ROJO
14		BLANCO	62		BLANCO	110		BLANCO
15		AMARILLO	63		AMARILLO	111		AMARILLO
16		VERDE	64		VERDE	112		VERDE
17		NARANJA	65		NARANJA	113		NARANJA
18		CELESTE	66		CELESTE	114		CELESTE
19		CAFÉ	67		CAFÉ	115		CAFÉ
20		NEGRO	68		NEGRO	116		NEGRO
21		AZUL	69		AZUL	117		AZUL
22		GRIS	70		GRIS	118		GRIS
23		VIOLETA	71		VIOLETA	119		VIOLETA
24		ROSADO	72		ROSADO	120		ROSADO
25	A	ROJO	73	A	ROJO	121	V	ROJO
26		BLANCO	74		BLANCO	122		BLANCO
27		AMARILLO	75		AMARILLO	123		AMARILLO
28		VERDE	76		VERDE	124		VERDE
29		NARANJA	77		NARANJA	125		NARANJA
30		CELESTE	78		CELESTE	126		CELESTE
31		CAFÉ	79		CAFÉ	127		CAFÉ
32		NEGRO	80		NEGRO	128		NEGRO
33		AZUL	81		AZUL	129		AZUL
34		GRIS	82		GRIS	130		GRIS
35		VIOLETA	83		VIOLETA	131		VIOLETA
36		ROSADO	84		ROSADO	132		ROSADO
37	V	ROJO	85	N	ROJO	133	O	ROJO
38		BLANCO	86		BLANCO	134		BLANCO
39		AMARILLO	87		AMARILLO	135		AMARILLO
40		VERDE	88		VERDE	136		VERDE
41		NARANJA	89		NARANJA	137		NARANJA
42		CELESTE	90		CELESTE	138		CELESTE
43		CAFÉ	91		CAFÉ	139		CAFÉ
44		NEGRO	92		NEGRO	140		NEGRO
45		AZUL	93		AZUL	141		AZUL
46		GRIS	94		GRIS	142		GRIS
47		VIOLETA	95		VIOLETA	143		VIOLETA
48		ROSADO	96		ROSADO	144		ROSADO

FIBRA DE 6 H		
NUMERO	TUBO	HILO
1		AZU
2		NAR
3		VER
4		CAF
5		GRI
6		BLA

FIBRA DE 12 H		
NUMERO	TUBO	HILO
1		ROJ
2		NAT/BLA
3		VER
4		AMA
5		NAR
6		CEL/BLA
7		CAF
8		GRI
9		NEG
10		AZU
11		VIO
12		ROS

FIBRA DE 24H			
NUMERO	TUBO	HILO	
1		ROJ	
2		BLA	
3		VER	
4		AMA	
5		NAR	
6		CEL	BLA
7		CAF	
8		GRI	
9		NEG	CEL
10		AZU	
11		VIO	
12		ROS	

FIBRA DE 48H		
NUMERO	TUBO	HILO
1		NAR
2		AZU
3		CAF
4		VER
5		NAR
6		AZU
7		CAF
8		VER
9		NAR
10		AZU
11		CAF
12		VER

FIBRA DE 96H		
NUMERO	TUBO	HILO
1		ROJO
2		BLANCO
3		VERDE
4		NARANJA
5		CAFÉ
6		NEGRO
7		AZUL
8		GRIS
9		ROJO
10		BLANCO
11		VERDE
12		NARANJA
13		CAFÉ
14		NEGRO
15		AZUL
16		GRIS

FIBRA DE 12 H		
NUMERO	TUBO	HILO
1		AZU
2		NAR
3		VER
4		CAF
5		GRI
6		BLA
7		AZU
8		NAR
9		VER
10		CAF
11		GRI
12		BLA

FIBRA DE 24H			
NUMERO	TUBO	HILO	
13		ROJ	MANCHAS
14		BLA	MANCHAS
15		VER	MANCHAS
16		AMA	MANCHAS
17		NAR	MANCHAS
18		CEL	MANCHAS
19		CAF	MANCHAS
20		GRI	MANCHAS
21		NEG	MANCHAS
22		AZU	MANCHAS
23		VIO	MANCHAS
24		ROS	MANCHAS

FIBRA DE 48H		
NUMERO	TUBO	HILO
13		NAR
14		AZU
15		CAF
16		VER
17		NAR
18		AZU
19		CAF
20		VER
21		NAR
22		AZU
23		CAF
24		VER

FIBRA DE 96H		
NUMERO	TUBO	HILO
17		ROJO
18		BLANCO
19		VERDE
20		NARANJA
21		CAFÉ
22		NEGRO
23		AZUL
24		GRIS
25		ROJO
26		BLANCO
27		VERDE
28		NARANJA
29		CAFÉ
30		NEGRO
31		AZUL
32		GRIS

FIBRA DE 24H			
NUMERO	TUBO	HILO	
1		AZU	
2		NAR	
3		VER	
4		CAF	
5		GRI	
6		BLA	
7		AZU	
8		NAR	
9		VER	
10		CAF	
11		GRI	
12		BLA	
13		AZU	
14		NAR	
15		VER	
16		CAF	
17		GRI	
18		BLA	
19		AZU	
20		NAR	
21		VER	
22		CAF	
23		GRI	
24		BLA	

FIBRA DE 48H		
NUMERO	TUBO	HILO
25		NAR
26		AZU
27		CAF
28		VER
29		NAR
30		AZU
31		CAF
32		VER
33		NAR
34		AZU
35		CAF
36		VER
37		NAR
38		AZU
39		CAF
40		VER
41		NAR
42		AZU
43		CAF
44		VER
45		NAR
46		AZU
47		CAF
48		VER

FIBRA DE 96H		
NUMERO	TUBO	HILO
33		ROJO
34		BLANCO
35		VERDE
36		NARANJA
37		CAFÉ
38		NEGRO
39		AZUL
40		GRIS
41		ROJO
42		BLANCO
43		VERDE
44		NARANJA
45		CAFÉ
46		NEGRO
47		AZUL
48		GRIS

FIBRA DE 12 H		
NUMERO	TUBO	HILO
1		AZU
2		NAR
3		VER
4		CAF
5		GRI
6		BLA
7		AZU
8		NAR
9		VER
10		CAF
11		GRI
12		BLA
13		AZU
14		NAR
15		VER
16		CAF
17		GRI
18		BLA
19		AZU
20		NAR
21		VER
22		CAF
23		GRI
24		BLA

FIBRA DE 24H			
NUMERO	TUBO	HILO	
1		AZU	
2		NAR	
3		VER	
4		CAF	
5		GRI	
6		BLA	
7		AZU	
8		NAR	
9		VER	
10		CAF	
11		GRI	
12		BLA	
13		AZU	
14		NAR	
15		VER	
16		CAF	
17		GRI	
18		BLA	
19		AZU	
20		NAR	
21		VER	
22		CAF	
23		GRI	
24		BLA	

FIBRA DE 48H		
NUMERO	TUBO	HILO
25		NAR
26		AZU
27		CAF
28		VER
29		NAR
30		AZU
31		CAF
32		VER
33		NAR
34		AZU
35		CAF
36		VER
37		NAR
38		AZU
39		CAF
40		VER
41		NAR
42		AZU
43		CAF
44		VER
45		NAR
46		AZU
47		CAF
48		VER

FIBRA DE 96H		
NUMERO	TUBO	HILO
49		ROJO
50		BLANCO
51		VERDE
52		NARANJA
53		CAFÉ
54		NEGRO
55		AZUL
56		GRIS
57		ROJO
58		BLANCO
59		VERDE
60		NARANJA
61		CAFÉ
62		NEGRO
63		AZUL
64		GRIS
65		ROJO
66		BLANCO
67		VERDE
68		NARANJA
69		CAFÉ
70		NEGRO
71		AZUL
72		GRIS
73		ROJO
74		BLANCO
75		VERDE
76		NARANJA
77		CAFÉ
78		NEGRO
79		AZUL
80		GRIS
81		ROJO
82		BLANCO
83		VERDE
84		NARANJA
85		CAFÉ
86		NEGRO
87		AZUL
88		GRIS
89		ROJO
90		BLANCO
91		VERDE
92		NARANJA
93		CAFÉ
94		NEGRO
95		AZUL
96		GRIS

ANEXO E

**MODELO DE ENCUESTA PARA CLIENTES
RESIDENCIALES**



MODELO DE ENCUESTA PARA CLIENTES RESIDENCIALES

La empresa de Telecomunicaciones Telconet S.A. operadora de comunicaciones corporativas y proveedora de servicios de internet en Ecuador, desea conocer el interés que tienen los clientes en contratar los servicios de Internet, Telefonía fija y Televisión empaquetados en un solo servicio conocido como *Triple Play* o *Triple Pack*. La información proporcionada permitirá conocer el grado de aceptación de dicho servicio; el mismo que será brindado a través de una infraestructura de acceso de fibra óptica.

(Nota: Por favor marque con una X cada una de las respuestas de acuerdo con su criterio)

1. Según el cuadro adjunto, indique ¿qué servicios de *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión) tiene en su hogar con el mismo proveedor?

<input type="checkbox"/>	Internet
<input type="checkbox"/>	Internet + Televisión
<input type="checkbox"/>	Internet + Telefonía fija + Televisión
<input type="checkbox"/>	Televisión
<input type="checkbox"/>	Telefonía fija + Televisión
<input type="checkbox"/>	Telefonía fija
<input type="checkbox"/>	Internet + Telefonía fija
<input type="checkbox"/>	No cuento con ningún servicio en casa

2. De acuerdo con la respuesta anterior, ¿con qué frecuencia utiliza dichos servicios?

<input type="checkbox"/>	Una o más veces a la semana
<input type="checkbox"/>	Dos o tres veces al mes
<input type="checkbox"/>	Una vez al mes
<input type="checkbox"/>	Menos de una vez al mes
<input type="checkbox"/>	Nunca lo he utilizado

3. En general, ¿qué grado de satisfacción tiene hacia dichos servicios?

<input type="checkbox"/>	Muy insatisfecho
<input type="checkbox"/>	Insatisfecho
<input type="checkbox"/>	Indiferente
<input type="checkbox"/>	Satisfecho
<input type="checkbox"/>	Muy satisfecho

4. ¿Cree que paga mucho por el valor de los servicios contratados?

Sí _____ No _____

5. ¿Cuál de los siguientes aspectos de los servicios considera los más importantes?

<input type="checkbox"/>	Velocidad
<input type="checkbox"/>	Calidad
<input type="checkbox"/>	Disponibilidad
<input type="checkbox"/>	Movilidad
<input type="checkbox"/>	Seguridad
<input type="checkbox"/>	Precio
<input type="checkbox"/>	Otro _____

6. ¿Le interesaría utilizar una tecnología de última milla con fibra óptica para tener el servicio *Triple Play* en su hogar? (Se refiere a un servicio proporcionado mediante fibra óptica, que permita satisfacer sus necesidades con mejor calidad).

Sí _____ No _____ Ya tiene *Triple Play* _____

7. ¿Le gustaría contratar con Telconet S.A. el servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía fija y Televisión) para su hogar y pagar su valor en una sola factura? Si su respuesta es positiva, por favor indique cuáles servicios del cuadro adjunto:

Sí _____ No _____

<input type="checkbox"/>	Internet
<input type="checkbox"/>	Internet + Televisión
<input type="checkbox"/>	Internet + Telefonía fija + Televisión
<input type="checkbox"/>	Televisión
<input type="checkbox"/>	Telefonía fija + Televisión
<input type="checkbox"/>	Telefonía fija
<input type="checkbox"/>	Internet + Telefonía fija

¡Muchas gracias por su colaboración!

ANEXO F

RESUMEN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.3ah

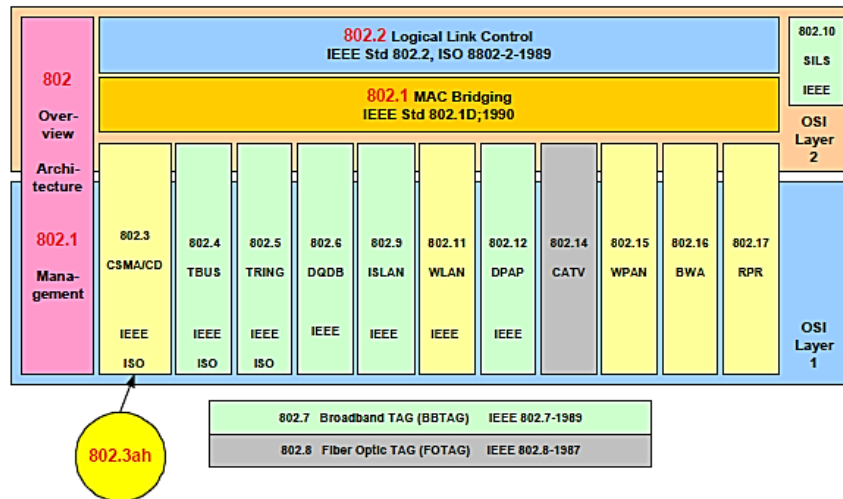
IEEE Access Standards, 802.3ah GE-PON Status

Gerry Pesavento gerry.pesavento@teknovus.com
 JC Kuo jc.kuo@teknovus.com
 Tetsu Koyama tetsu_koyama@el.nec.com

ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

1

802.3ah Task Force in 802



ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

2

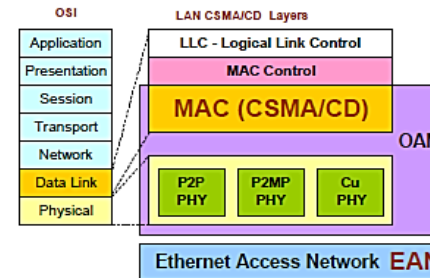
802.3ah Purpose and Scope

Purpose

To expand the application of Ethernet to include subscriber access networks in order to provide a significant increase in performance while minimizing equipment, operation, and maintenance costs.

Scope

Define 802.3 Media Access Control (MAC) parameters and minimal augmentation of MAC operation, physical layer specifications, and management parameters for the transfer of 802.3 format frames in subscriber access networks at operating speeds within the scope of the current IEEE Std 802.3 and approved new projects



ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

3

802.3ah Objectives

Support subscriber access network topologies:

- Point to multipoint on optical fiber
- Point to point on optical fiber
- Point to point on copper

Provide a family of physical layer specifications:

- 1000BASE-LX extended temperature range optics
- 1000BASE-X ≥ 10 km over single SM fiber
- 100BASE-X ≥ 10 km over single SM fiber
- PHY for PON, ≥ 10 km, 1000Mbps, single SM fiber, $\geq 1:16$
- PHY for PON, ≥ 20 km, 1000Mbps, single SM fiber, $\geq 1:16$
- PHY for single pair non-loaded voice grade copper, distance ≥ 750 m and speed ≥ 10 Mbps full duplex

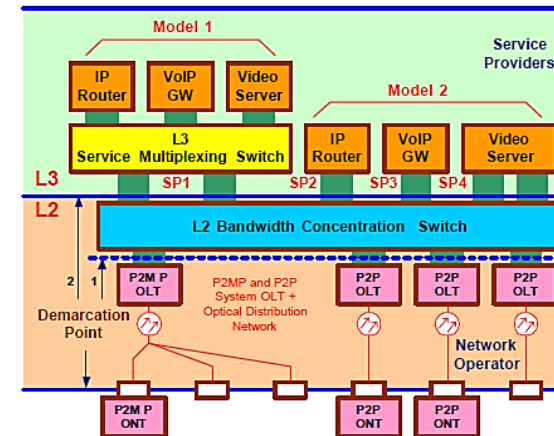
(802.3ah Objectives are as of May 2002)

Not included in 802.3ah EPON

- Bandwidth allocation algorithm (DBA)
 - TDM and ATM support
 - Security, Authentication
 - WDM Overlay Plan
 - Analog Video
 - Outside Plant
 - Protection, Diagnostics, Monitoring
- } Reference FSAN

Focus is P2MP Ethernet (narrow scope)

Optical Ethernet First Mile



Multi-Point Control Protocol (MPCP)

- EPON uses Multi-Point Control Protocol (MPCP) to control Point-to-Multipoint (P2MP) fiber network
- MPCP performs bandwidth assignment, bandwidth polling, auto-discovery process and ranging, and is implemented in the MAC Control Layer.
- New 64 byte MAC Control messages are introduced. GATE and REPORT are used to assign and request bandwidth. REGISTER messages are used to control the auto-discovery process.
- MPCP provides hooks for network resource optimization:
 - ranging is performed to reduce slack
 - reporting of bandwidth requirements by ONTs for DBA
 - optical parameters are negotiated to optimize performance

ONT and OLT Operation

ONT

- performs auto-discovery process which includes ranging, assignment of Logical Link Ids, assignment of bandwidth
- synchronizes to OLT timing through timestamps on the downstream GATE MAC Control Message
- receives GATE Message and transmits in permitted time period

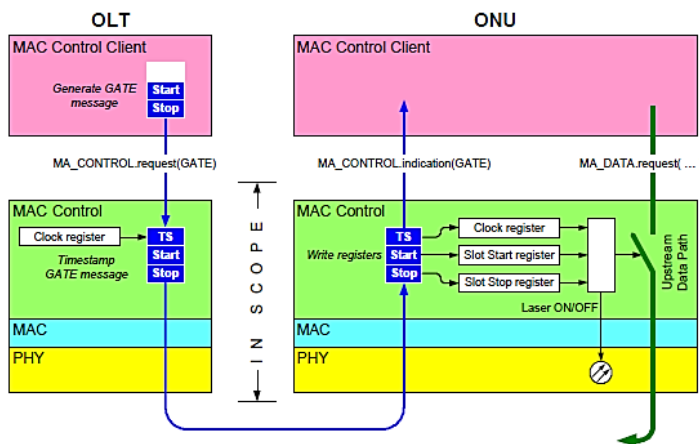
OLT

- generates time stamped messages to be used as global time reference
- generates discovery windows for new ONTs, and controls registration process
- assigns bandwidth and performs ranging

ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

8

EPON Downstream: GATE Message

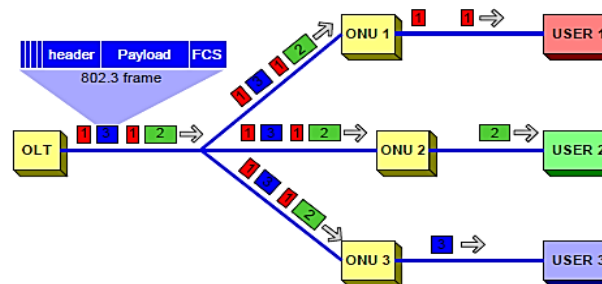


ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

10

EPON Downstream

- Physical broadcast of 802.3 Frames
- 802.3 Frames extracted by Logical Link ID in Preamble
- 64 byte GATE messages sent downstream to assign bandwidth

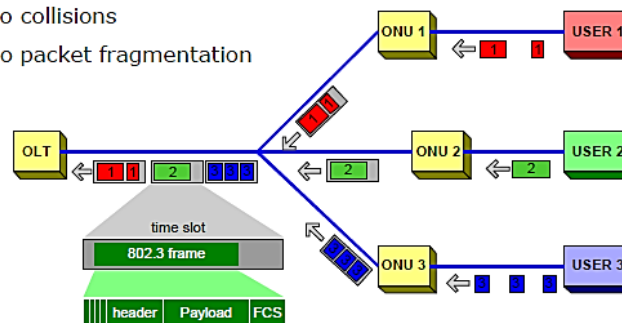


ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

9

EPON Upstream

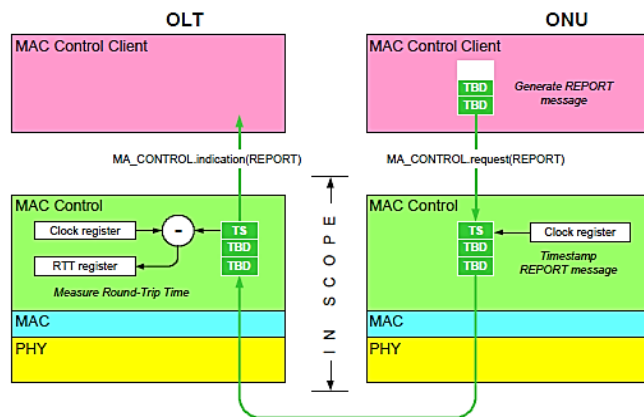
- Upstream control managed by MPCP protocol
- Time slots contains multiple 802.3 Ethernet frames
- 64 byte REPORT Message sends ONU state to OLT
- No collisions
- No packet fragmentation



ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

11

EPON Upstream: REPORT Message



ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

12

Summary

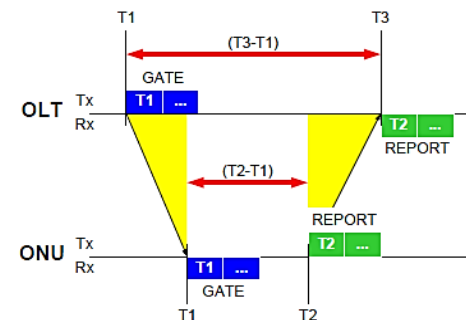
- EPON specification will include Multi-Point Control Protocol, Point-to-Point Emulation, and two PMDs for 10 and 20 km using 1490/1310 nm.
- Several issues are outstanding and are being discussed, including hooks for security and authentication. Consensus layer model anticipated to be approved this week in Vancouver.
- 802.3ah EPON standard moving to Draft phase July 2002. EFM standards anticipated by September 2003
- ITU-T G.983 documents have been provided to 802.3ah

ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

14

RTT Measurement

1. OLT sends GATE at T1
2. ONU receives GATE at T1
3. ONU sends REPORT at T2
4. OLT receives REPORT at T3
5. OLT calculates $RTT = T3 - T2$



$$RTT = (T3 - T1) - (T2 - T1) = T3 - T2$$

ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

13

802.3ah Information

802.3ah Ethernet First Mile Task Force

<http://www.ieee802.org/3/efm/>

802.3ah Baseline Technical Proposals

<http://www.ieee802.org/3/efm/baseline/index.html>

ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002

15

ANEXO G

PLANO DE LAS ÁREAS DEL SECTOR RESIDENCIAL

BALCÓN DEL NORTE

(En formato digital)

ANEXO H

**PLANO DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA DEL
SECTOR RESIDENCIAL BALCÓN DEL NORTE**

(En formato digital)

ANEXO I

**PLANO DE LA RED GEPON PARA EL SECTOR
RESIDENCIAL BALCÓN DEL NORTE**

(En formato digital)

ANEXO J

EQUIPOS ACTIVOS OLT

Tellion EP 3116 y Huawei SmartAX MA5600T

E-PON Optical Line Terminal for Cost-Effective FTTP

Gigabit Ethernet PON for FTTP

E-PON OLT : EP-3116

FEATURES

- Non-blocking high-performance switching platform
- Cost effective competitive service providers
- Multi-layer features for all IP applications
- Modular and expansible architecture
- User-friendly management interface
- Robust performance by utilizing OAM such as link monitoring, loopback and fault indication
- Secure network capabilities for protect various attacks through networks

The Tellion's Gigabit Ethernet PON platform for Single Home and MTU/MDU is comprised of the CO-side concentrator, EP-3116, and the customer-side ONT(Optical Network Terminal), EP-3201N/3204N or ONU (Optical Network Unit), EP-32xx Series. The EP-3116 aggregates traffic from max. 16 PON interfaces and 32 ONTs/ONUs per PON to four gigabit Ethernet ports that connect to the back-office gigabit Ethernet switch or router. With the EP-3116, Ethernet over PON can run up to 20Km at the maximum speed up to 1.25Gbps, which proves to be an emerging revenue generation gear for developers and service providers.

The EP-3116, a 'box' type of CO-side optical line terminal, enables a wide variety of deployment options of FTTP from customer's premises to carrier's office. It guarantees competitive access performance beyond 100Mbps bandwidth per subscriber necessary for multi channel high resolution video delivery as well as high speed data and toll quality voice.

The EP-3116 is a carrier-class Ethernet PON equipment that delivers always-on, high-speed internet data and high resolution video services to subscribers through a compact box that simplifies optical distribution network facilities and reduces the total cost of ownership.

The EP-3116 secures a migration path to fiber to the premises for IP-centric services, such as VLAN, multicasting, link aggregation, multi-layer filtering, rate limiting, class of service (CoS) and quality of service (QoS). Robust and open web-based management system provides easily the capabilities necessary for operation, administration, maintenance and provisioning.

The EP-3116 supports 802.1q Tag VLAN, limitation of number of MAC addresses per port, 2 level priority of IEEE802.1p, 802.1ad link aggregation and IP multicasting for more value generation. It also provides multi-layer features beyond L2 for future proof services, IP converged triple play services.



E-PON : EP-3116

Future-Proof FTTP Solution

Mechanical Structure and Dimension

19 Inch Rack mountable Pizza Box (2RU Height)
Box Dimension: 488mm(19")x 255mm(D) x 2RU(H)

Hardware Configuration

Board Dimension: 208mm(W) x 250mm(D)
Main Switching Unit : Ethernet Switch & CPU Peripherals
E-PON Line Unit : 8PON per Board, 2Boards per Box
Power Distribution Unit : 1+1 Redundancy
Pluggable FAN Unit

Switching Performance

24CE + 4x10GE

Interface

IPv4/IPv6 Dual Mode Supported L8 Switch
Customer Side: 8 PON Link/Card, Max 2 Cards
Network Side: 4x100Gbase-X

E-PON Functions

IEEE 802.3ah compliant ODN Interface
Wavelength: Up(1310nm)/Down(1490nm)
Symmetric Transmission Rates: Max 1Gbps
Splitting Ratio: Max 1:32(1:64 option)
System Range: Nominally 10Km, Max 20Km
Security, 128 AES Encryption
Ranging, Flexible DBA

Switching Functions

IEEE 802.1d STP, IEEE 802.1w RSTP, MSTP
IEEE 802.1q VLAN, IEEE 802.8x Flow Control
IEEE 802.1p Priority, IEEE 802.8ad Link Aggregation
MAC Address Limiting
Port based ACL Filtering, Port Redirection / Mirroring
WRED, SPQ, WRR, WFQ, SPQ+WRR, SPQ+WFQ, DWRR
NetBEUL, NetBIOS, NBT
Broadcast/Multicast Storm Control
Port based ACL Filtering
Port Redirection / Port Mirroring
DHCP Server, Snoop & Relay (option 82)
ICMPv1 v2 v8 (Snoop & Proxy supported)
PIM-SM
Static Routing

OAM Functions

SNMPv1 v2 v8 for embedded agent
Auto Rebooting
Auto CLI

Quality of Service

ACL Function Supported
Max.8 COS queue/port supported
WRED Function supported
SPQ, WRR, WFQ, SPQ+WRR, SPQ+WFQ Function supported

Filtering

Netbios / Netbeul Packet Filtering Function supported
DHCP packet filtering Function supported

Operation, Administration and Maintenance

Craft Interface : RJ-45, RS-232
EMS supporting Java based GUI and CLI
Remote Process Monitoring
System management
- Security and Configuration
Configuration management
- Configuration setting
- Configuration status retrieval
- Software upgrade and download
- Default configuration
Fault management
- Automatic alarm and status report/notification
- Alarm and event history
- LED indication and acoustic alarm
Performance management
- Downlink performance retrieval
- Uplink performance retrieval

Operating System

Embedded Linux

Power Consumption

90 VAC~250 VAC,50Hz~60Hz or -48+/-10% Vdc

Environmental Conditions

Temperature : 0°C ~ +50°C, Humidity: 5% ~ 45%

Tellion, Inc.
8th Fl, Leaders Tower,
60-15, Gasan-Dong, Geumcheon-Gu,
Seoul, 158-801, Korea
Tel: +82-70-7780-9800
Fax: +82-2-2026-7100

For more information, email a message to the corresponding address below:

product@tellion.com for all product inquiries
partners@tellion.com for all partnership inquiries
support@tellion.com for customer support inquiries

Tellion is a leading supplier of optical access solutions. Based on the needs of customers, Tellion provides the seamless solutions to converge multiple services and break the last mile barriers. Selected major products are access network equipments capable of providing high-speed internet access effectively via xDSL/FITL(Fiber In The Loop), IP-based access and multi-service access platform. More information about Tellion can be found on the web at www.tellion.com


www.tellion.com



SmartAX MA5600T

Global First All-in-one Access Platform

SmartAX MA5600T is the global first OLT which integrates the functionality of aggregation switch and edge router. It can provide highdensity GPON, 10GPON and Ethernet P2P optical access, triple-play service, TDM/ATM/Ethernet leased line services for business customers and high precision clock, and high density GE/10GE interfaces for cascading remote access equipments. MA5600T helps to simplify network architecture, to improve network reliability and lower TCO essentially.

There are three types of frame of MA5600T series product. The large frame has 16 service slots while the middle frame (which named MA5603T) has 6 service slots, the small frame (which named MA5608T) has 2 service slots. The service card and software are all compatible between MA5600T, MA5603T and MA5608T.

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



Platform History

- 2006, global first T-bit OLT for commercial deployment, and IEC InfoVision Award for creative in access platform
- 2008, global first "10G PON ready" OLT, enable FTTx seamless evolution
- 2009, global first access and aggregation Integrated OLT, simplify network architecture
- 2010, global first "IPv6 ready" (phase 2 enhanced) access device certificated by IPv6 forum
- 2011, 40G PON prototype release
- 2012, 16-port GPON and 10GPON commercial deployment
- 2012,9, Huawei and Slovak Telecom completed the world's first TWDM PON network test

Product Appearance



MA5600T

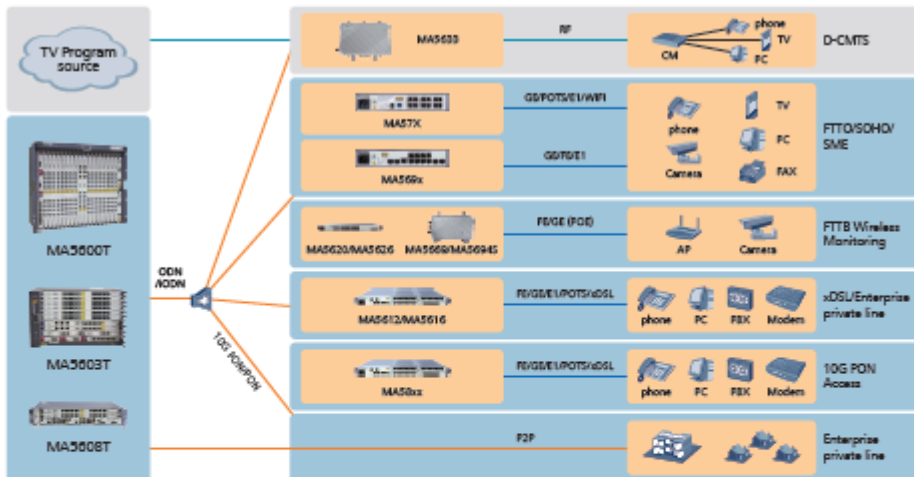


MA5603T



MA5608T

Application Scenarios



Highlights

Convergence and access integration

- Provides super large convergence switching capacity. Specifically, an MA5600T series device supports 3.2 Tbit/s backplane capacity, 1,920 Gbit/s switching capacity, and 512,000 MAC addresses.

- Provides super high-density cascading capability. Specifically, an MA5600T series device supports a maximum of 46 x 10GE or 768 GE services, with no additional convergence switches.

High reliability

- Provides highly reliable networking capabilities and ensures dual-OLT hot backup, remote disaster tolerance, and service upgrades without interruption.
- Provides comprehensive Quality of Service (QoS) functions and supports traffic classification management, priority control, and bandwidth control. The Hierarchical-Quality of Service (H-QoS) function meets various Service Level Agreement (SLA) requirements of commercial customers.
- Provides an End-to-End (E2E) highly reliable design, enabling Bidirectional Forwarding Detection (BFD), Smart Link, Link Aggregation Control Protocol (LACP) redundancy protection and GPON type B/type C line protection in the upstream direction.

Multi-scenario access

- Supports access of multiple E1 private line services, and Native Time-Division Multiplexing (TDM) or Circuit Emulation Services over Packet (CESoP)/ Structure-Agnostic TDM over Packet (SAToP) function.
- Supports the Emulated Local Area Network (ELAN) function and Virtual Local Area Network (VLAN)-based internal traffic exchange, satisfying enterprise and community network application requirements.
- Supports non-convergence access of Internet Protocol television (IPTV) users. One subrack supports 8,000 multicast users and 4,000 multicast channels.

Smooth evolution

- Supports GPON, 10G Passive Optical Network (PON), and 40G PON on a platform, enabling smooth evolution and achieving ultra-bandwidth access.
- Supports IPv4/IPv6 dual stacks and IPv6 multicast, enabling smooth evolution from IPv4 to IPv6.

Energy saving

- Uses special chips for conserving power. Specifically, 16 ports on a GPON board consume less than 73 W of power.
- Supports idle board automatic power-off and intelligent fan speed adjustment, effectively lowering idle board power consumption.

Key Features

System Performance

- 3.2T bit/s backplane capacity; 960G bit/s switch capacity; 512K MAC addresses
- Line speed L2/L3 switching
- Static route/RIP/OSPF/MPLS
- TDM private line service with Native TDM or CESoP
- BITS/E1/STM-1/Ethernet Synchronization/IEEE 1588v2/1PPS+ToD

GPON Line Card

- 8/16*port per card with pluggable SFP optical module(Class B+ or Class C+ are optional)
- Up to 1:128 splitting ratio

- Bidirectional FEC
- ONU-based and queue-based traffic shaping
- Rogue ONT detection and isolation
- Type B / Type C protection and Type C dual-homing
- Optical power meter (can support ± 1 dB precision)
- eOTDR (1:8 splitting ratio)

10G GPON Line Card

- 4*port per card with pluggable XFP optical module
- Up to 1:128 splitting ratio (N1)
- Bidirectional FEC
- Rogue ONT detection and isolation
- Type B / Type C protection and Type C dual-homing




- Coexist with GPON

Ethernet P2P Line Card

- 48 port per card with CSFP optical module, 768 ports per shelf
- Port-based and queue-based traffic shaping

- Single fiber double direction access, 100Mbit/s or 1000Mbit/s per port
- DHCP Option 82 relay agent and PPPoE relay agent
- Ethernet OAM
- Ethernet synchronization

Specifications

Appearance	 MA5600T	 MA5603T	 MA5608T
(W/D/H) mm	490x275.8x447	442x283.2x203	442x233.5x88
Operating Environment	Temperature: -25°C to +55°C Relative Humidity (RH): 5% to 95%	Temperature: -40°C to +65°C RH: 5% to 95%	Temperature: -40°C to +65°C RH: 5% to 95%
Power Parameter	Supports -48 V DC power input, dual-power supply protection, and working voltage range of -38.4 V to -72 V.	Supports -48 V DC power input, dual-power supply protection, and working voltage range of -38.4 V to -72 V.	Supports DC and AC power supply modes, and dual-power supply protection. Provides battery for power backup when AC power is used.
Cabinet	Indoor: N63E-22, N66E-18 Outdoor: F01D500	Indoor: N66E-18 Outdoor: F01D500, F01S300	Indoor: N63E-22 Outdoor: F01S200
configuration	control board: 2 Service board: 16 Universal interface board: 1 Upstream interface board: 2 Power interface board: 2	control board: 2 Service board: 6 Universal interface board: 1 Upstream interface board: 2 Power interface board: 2	control board: 2 Service board: 2 Power interface board: 1
MTBF	≥45 years	≥45 years	≥45 years
Switching Capacity of the Backplane Bus	3.2Tbit/s	1.5Tbit/s (H801MAB0) 2Tbit/s (H802MAB0)	720Gbit/s
Switching Capacity of the Control Board	SCUN/SCUK: 480Gbit/s (Standby mode), 960Gbit/s (Load-sharing mode) SCUH: 960Gbit/s (Standby mode), 1920Gbit/s (Load-sharing mode) 960Gbit/s		MCUD/MCUD1: 128Gbit/s (Standby mode), 256Gbit/s (Load-sharing mode)
Access Capacity	<ul style="list-style-type: none"> • 128*10G GPON • 256*GPON • 768*GE/FE 	<ul style="list-style-type: none"> • 48*10G GPON • 96*GPON • 288*GE 	<ul style="list-style-type: none"> • 8*10G GPON • 32*GPON • 96*GE
Maximum uplink port (GIU)	<ul style="list-style-type: none"> • 4*GE • 4*10GE 	<ul style="list-style-type: none"> • 4*GE • 4*10GE 	-

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.

Huawei Industrial Base
Bantian Longgang
Shenzhen 518129, P.R. China
Tel: +86-755-28780808

Version No.: M3-090776-20141205-C-1.0

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2014. All rights reserved.

THIS DOCUMENT IS FOR INFORMATION PURPOSE ONLY, AND DOES NOT CONSTITUTE ANY KIND OF WARRANTIES.

www.huawei.com

ANEXO K

EQUIPOS ACTIVOS ONT

Tellion EP-3204N y ONT Huawei HG8240

Multi-Port Optical Network Terminal for Gigabit Ethernet PON GE-PON ONT EP-3204N

FEATURES

- Gigabit access device for single home and MTU/MDU user
- User-friendly and cost-effective remote management interface
- High performance L2 switch embedded for 4-port 10/100Base-Tx, enabling to secure quality of services for various applications like IPTV, VoIP, etc.
- Robust performance as utilizing Ethernet OAM for link monitoring, loopback and fault indication with SNMP.
- Secure network capabilities for protect various attacks through networks
- Modular chassis structure for easy assembling resulting in reduction of installation cost

The Tellion's Gigabit Ethernet PON platform for the fiber to the premises is comprised of the Optical Line Terminal (OLT), and the customer-side ONT (Optical Network Terminal), EP-3204N. The EP-3204N aggregates traffic from 4 10/100Mbps Ethernet interfaces into a gigabit Ethernet PON interface that connect to the OLT. EP-3204N is an in-premises gateway device that provides multi-user access services delivered over a PON link connected to an GE-PON OLT. The services delivered from the concentrator are distributed to end users by plugging in-home device by 10/100Mbps Ethernet.

The EP-3204N can be used to deliver cost-effective services to FTTH users due to multi-port access over single fiber core, resulting in reducing capital expenditure and operating expenditure. With the EP-3204N, service providers set service level agreement options securing precise QoS performance parameters.

The EP-3204N secures a migration path to a broadband convergence network terminal for end-to-end Ethernet access. Robust and open web-based management system provides easily the capabilities necessary for operation, administration, maintenance and provisioning.

The EP-3204N secures a migration path to a broadband convergence network terminal for end-to-end Ethernet access. Robust and open web-based management system provides easily the capabilities necessary for operation, administration, maintenance and provisioning.



Future-Proof FTTP Solution

GE-PON ONT EP-3204N

Specifications

Gigabit access for single home and MTU/MDU/MHU

The EP-3204N is an in-premise gear for installing at single home or the multi dwelling environments. Also it supports hotel, office, building owners and BLEC (Building Local Exchange Carriers) to deliver gigabit access services for their guests and tenants by single core fiber.

Value-added service provisioning options

The EP-3204N supports 802.1q Tag VLAN, limitation of number of MAC addresses per port, IEEE 802.1p CoS and IP multicasting, resulting in value added business creation.

Robust security options

The EP-3204N is designed for setting security options in an unsecured service environments to block ports from sending or receiving traffic until authorized access has been confirmed. EP-3204N can be also protected by using access control lists offered by embedded switch, which can protect its users from unknown device's access, or to control access to external sites using the MAC address.

User-friendly management interface

The EP-3204N provides robust performance as utilizing 802.3ah compliant OAM features for link monitoring, loopback and fault indication with SNMP.

Mechanical Structure and Dimension

Desk-Top Box:
179mm(W) x 134(D)mm x 40mm(H)

Interface

WAN Port: IEEE802.3ah GE-PON-
Wavelength: Up/Down: 1310nm/1490nm
LAN Port: 4 x RJ45

GE-PON ONT Functions

IEEE802.3ah compliant ODN interface
Wavelength: Up(1310nm)/Down(1490nm)
Symmetric Transmission Rates: Max 1Gbps
Splitting Ratio: Max 1:32
System Range: Nominally 10Km, Max 20Km
Security, 128 AES Encryption
Ranging, Flexible DBA
Dying Gasp H/W Support
IEEE802.3ah MPCP
Reach up to 10Km (optionally 20Km)
IEEE802.3ah OAM
Remote statistics query capability
Remote configuration: Telnet, HTTP, TFTP, SNMP
Local configuration: RS-232C

L2 Switching

L2 Based QoS processor (Switch) Embedded
IEEE802.3x Flow control
IEEE802.3p(128KB) Queuing with 8 classes
IEEE802.3q(VLAN)
MAC address filtering
IGMP snooping

Power Consumption

100~240VAC, 50~60Hz, DC 12V/2A

Environmental Conditions

Temperature: 0°C ~ +50°C, Max 10~80% Humidity

Tellion, Inc.
8* FL Leaders Tower,
60-15, Gasaan-Dong, Geumcheon-Gu,
Seoul, 153-801, Korea
Tel: +82-2-2026-7000
Fax: +82-2-2026-7100

For more information, email a message to the corresponding address below:
product@tellion.com for all product inquiries
partners@tellion.com for all partnership inquiries
support@tellion.com for customer support inquiries



Tellion is a leading supplier of optical access solutions. Based on the needs of customers, Tellion provides the seamless solutions to converge multiple services and break the last mile barriers. Selected major products are access network equipments capable of providing high-speed internet access effectively via xDSL/FTTx (Fiber in The Loop), IP-based access and multi service access platform. More information about Tellion can be found on the web at www.tellion.com

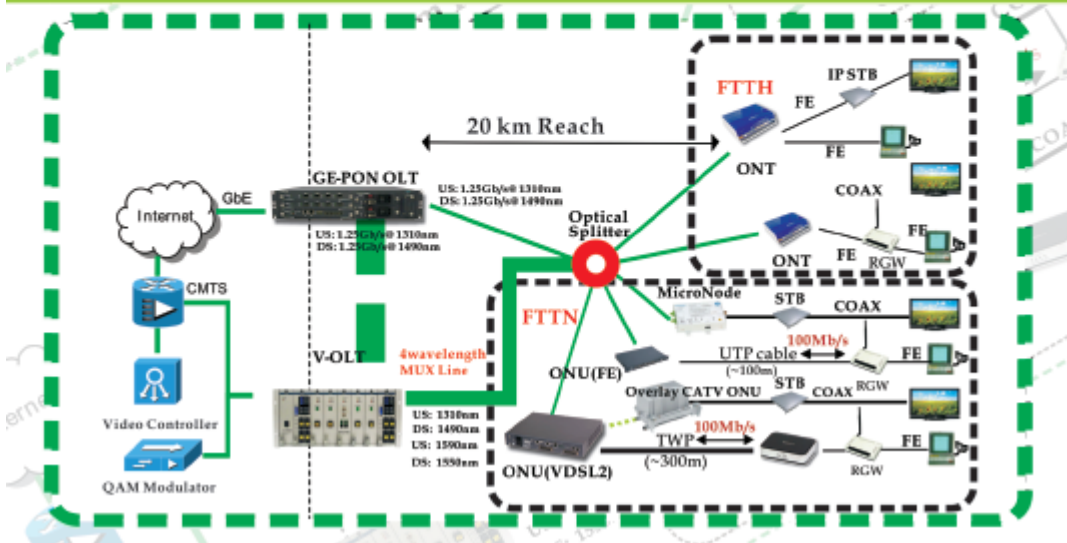


Gigabit Ethernet PON & RFoG

The Tellion's Gigabit Ethernet PON and RFoG solution, the most spread FTTP technology in the access network world, maximizes the economical efficiency of optical feeders, and provides scalable split ratio according to service requirements and subscriber-density. It powers true broadband access at gigabit Ethernet speeds while maximizing coverage over optical access networks. IEEE802.3ah compliant OLT series deployed as the CO equipments and ONT/ONU used as the premises equipment are needed for the mission-critical operators to offer triple play services to their customers.

Tellion provides a series of the V-OLT and RFoGONT multiplexing and demultiplexing the overlay wavelengths compatible with GE-PON or G-PON. Downstream and upstream transmission uses different wavelengths to share the same fiber, typically 1,550 nm downstream and either 1,610 nm or 1,590 nm for the return path. Using 1,590 nm in the upstream direction allows the fiber infrastructure to simultaneously support a standards-based PON system, which operates with 1,490nm downstream and 1,310 nm upstream wavelengths.

<p>GE-PON OLT</p>  <p>EP 3108</p> <ul style="list-style-type: none"> *L2/L3 Switching: Bidirectional 48Gbps *GE-PON capabilities: IEEE802.3ah compliant *Down link: 8-PON, Up link: 2 GbE Ports (Combo) *Range: 10km (optional 20km) *L2/L3 QoS *Dimension: 19" (W) x 2U(H) x 255mm(D) 	<p>V-OLT</p>  <p>WA 1116</p> <ul style="list-style-type: none"> *Wavelength plan: DS (1490nm, 1550nm), US (1310nm, 1590nm) *CATV analog, Digital: 54-750MHz, 750-870MHz *Satellite Digital: 950-2150MHz *SF Pre-amplifier with Auto Limiting Control function *Transmission Distance: 5km, 10km, 20km, 5MP *16 PON
<p>ONU-FE</p>  <p>ES 6224B</p> <ul style="list-style-type: none"> *L2 Switching: Bidirectional 12.8Gbps *GE-PON capabilities: IEEE802.3ah compliant *Down link: 24-port 100Base-Tx *Up link: 3-port GE-PON/G-PON (Optional Combo) *2-port 1000Base-X *Dimension: 19" (W) x 1U(H) x 260mm(D) 	<p>ONU-VDSL2</p>  <p>EX 5124B</p> <ul style="list-style-type: none"> *L2 Switching: Bidirectional 48Gbps *VDSL2 line capabilities: ITU-T G.993.2 compliant *Down link: 24 VDSL2 Ports, Up link: 2GbE Ports *Dimension: 19" (W) x 1U(H) x 300mm(D)
<p>GE-PON ONT 1port</p>  <p>EP 3201</p> <ul style="list-style-type: none"> *Desktop type terminal *IEEE802.3ah compliant *Down link: 1-port 100Base-Tx *Up link: GE-PON *Dimension: 134mm(W) x 40mm(H) x 179mm(D) 	<p>GE-PON ONT 4port</p>  <p>EP 3204</p> <ul style="list-style-type: none"> *Desktop type terminal *IEEE802.3ah compliant *Down link: 4-port 100Base-Tx *Up link: GE-PON *Dimension: 134mm(W) x 40mm(H) x 179mm(D)





Huawei HG8240 Delivering Ultra-Broadband Access to Home and SOHO Users

Product Highlights

Highest Performance:

HG8240 can deliver Gigabit speeds and traditional voice services with a energy-efficient low power design. It supports QoS enabling different revenue generating services over the fiber access.

Plug-and-play (PnP):

All services using the HG8240, including voice, data, and video services, are deployed through a point-and-click user interface, requiring no on-site configuration.

Remote maintenance:

Supports GPON Standards compliant OMCI protocols and allows remote fault diagnosis, service provisioning, and performance monitoring.

Automatic self-isolation:

In case of faults, the HG8240 can actively detect the optical port fault and isolate itself within 20 ms to eliminate potential threats to the shared network.

Highly-efficient remote bulk upgrade:

About 2000 HG8240s can be remotely upgraded in batches every hour for high operational efficiency.

IPv6 line-speed forwarding:

The HG8240 supports IPv4 and IPv6, offering seamless migration to IPv6 networks.

Power Management:

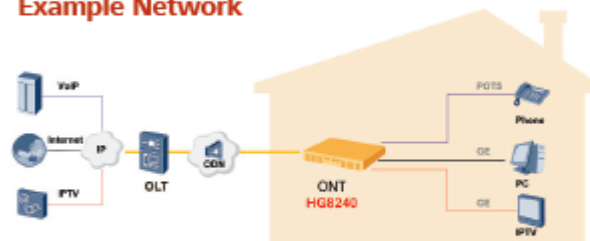
The HG8240 supports dynamic power consumption adjustment among three power modes (active, backup battery, and idle), thus reducing power consumption.



The HG8240 is a highly cost-effective high performance optical network terminal (ONT) that delivers ultra-broadband access to home and SOHO users. It is FCC and UL certified with a compact, aesthetic enclosure ideal for indoor applications. Its two POTS and Four ethernet ports can accommodate current and future home applications. The HG8240's rich feature set makes it the ideal ONT for FTTH deployments – enabling voice, video and data applications at home.

The HG8240 offers a number of features that help carriers implement their business strategies: Triple Play services, Tiered services up to Gigabit speeds, and different Layer2/Layer3 network deployment models. To help carriers address operational challenges, Huawei provides automatic provisioning, network monitoring, remote maintenance and management.

Example Network



The HG8240 connects home and SOHO users upstream to the network using its optical port, and it connects the four 10M/100M/1000M BASE-T ports downstream to service terminals such as PC, STB, or video phone set. In addition, two POTS ports (TEL 1 and TEL 2) on the HG8240 are for traditional phone sets.

Product Features

GPON features	<ul style="list-style-type: none"> Authentication mode: SN, password, and SN+password Mapping traffic to GEM port according to VLAN, 802.1P, VLAN+802.1p, IP Type of Service (IPToS), physical port, physical port+VLAN, physical port+802.1p, or physical port+VLAN+802.1p
Multicast features	<ul style="list-style-type: none"> 255 multicast groups IGMPv2/IGMPv3 snooping Multi-multicast VLANs
Voice features	<ul style="list-style-type: none"> Complies with SIP and H.248 Supports G.711A/μ, G.729A/B, and G.722 codec Supports T.38 and T.30 fax Call waiting, call hold, call transfer, call forwarding unconditional (CFU), Call forwarding- busy, and call forwarding-don't answer Multi-homing of POTS ports to different IMSs/softswitches
Ethernet features	<ul style="list-style-type: none"> Supports two VLAN tags: (inner tag used for identifying a specific ISP, and outer tag used for identifying a type of service) VLAN filtering, VLAN N:1 aggregation, and VLAN 1:1 switching Supports rate limit on an Ethernet port or a traffic stream
Maintainability & manageability	<ul style="list-style-type: none"> Local equipment management through Web interface Remote service provisioning, equipment management and software upgrade through OMCI Dual backup of system software Proactive or reactive rogue ONT isolation Backup power supply and backup power supply monitoring Supports OPM features

Product Specifications

Dimensions	176 mm W × 138.5 mm D × 28 mm H
Ports	4GE+2POTS
Power consumption	Minimum: 3.0 W Maximum: 7.0 W
Operating temperature	0°C to 40°C / 32°F to 104°F

Operating humidity	5% to 95% (non-condensing)
Power supply	Adapter input: 100-240 VAC, 50-60 Hz System power supply: 11-20 VDC, 1A
Weight	About 500g
Installation mode	Wall mount or desk top
Certification	FCC, UL



Huawei Technologies (USA)
5700 Tennyson Pkwy., Ste 500
Plano, TX 75024
Main: 214-919-6000
Email: usasales@huawei.com

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2014.
All Rights Reserved. The information contained in this document is for reference purpose only, and is subject to change or withdrawal according to specific customer requirements and conditions.

Huawei is a leading global provider of communication telecom networks and is currently serving 45 of the world's top 50 telecom operators to support the communications of one-third of the world's population. The company is committed to providing innovative and customized products, services and solutions to create long-term value and growth potential for its customers. For more information, please visit www.huawei.com/us.

innovation through technology

ANEXO L

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ELEMENTOS PASIVOS

Splitters ópticos

Características

Dispositivos que permiten dividir la señal óptica de entrada en N ramas de salida con mínimas pérdidas. La necesidad de distribución de múltiples señales los hace fundamentales en las nuevas redes FTTH PON.

Funcionalidad

La posibilidad de utilizar diferentes arquitecturas para compartición de señales ópticas, permite al proveedor de servicios configurar su red de la forma más efectiva posible. Con una rama de entrada y 2, 4, 8, 16, 32 o 64 ramas de salida, y con pérdidas de inserción aproximadamente iguales en todas las ramas de salida.

Terminaciones

La fibra óptica es optimizada frente a curvaturas de acuerdo a la recomendación ITU-T G.657.A1. Pueden ser suministrados con conectores a requerimiento del cliente, pudiendo ser tanto de pulido angular convexo y altas pérdidas de retorno (FC/APC, SC/APC), como de pulido convexo (FC/PC, SC/PC).

Las fibras de cada rama pueden presentarse como fibra 250 μm , con protección ajustada a 900 μm o cable monofibra de 2 mm.

También posibilidad de suministro como módulo preconnectorizado.

La presentación mecánica habitual es sobre: bandejas de empalme, bandejas rack o casetes para mecánica rack.

Documentación

Cada acoplador/divisor se suministra caracterizado con las medidas de Pérdida de Inserción (P.I.) y uniformidad de P.I. en 1310 y 1550 nm de cada rama.

Integrabilidad

Esta solución se puede integrar perfectamente dentro de un despliegue completo de red FTTH, junto con otros productos proporcionados por TELNET, como son: cables de tendido, splitters ópticos, cajas de empalme, microcables de acometida y latiguillos de interior.



Descripción

Presentación	Dimensiones (mm)	Tipo splitter	Terminación	Detalle
Bandeja	Max 15x10. Tipo SE	1x4, 1x8, 1x16, 1x32 y 1x64	Fibra 900 μm	
Bandeja / Rack	438 x 44 x 222 mm	1x4, 1x8, 1x16 y 1x32 (1 unidad de altura)	Adaptadores (FC/APC, SC/APC)	
	438 x 88 x 222 mm	1x64 (2 unidades de altura)		
Casete	94x 23 x 195mm (en 3 unidades de altura)	1x2, 1x4: 1 slot	Cordón 3 mm	
		1x8: 2 slots		
		1x16: 3 slots		
		1x32: 5 slots		
Módulo conectores SC/APC	115 x 75 x 8,5 mm	1x2	Cordón 2 mm	
		1x4		
		1x16		
		1x32		
	115 x 75 x 15 mm	1x64		

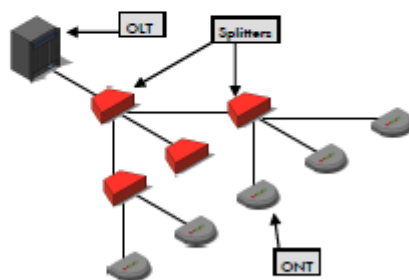
Splitters ópticos

Especificaciones técnicas

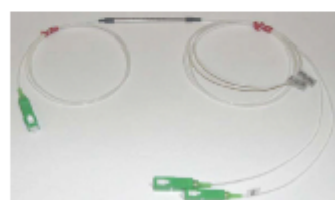
Características fundamentales (elemento individual)						
Configuración de los splitters	1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Longitud de onda	1260-1360 nm, 1450-1650 nm					
Tecnología	Fusión PLC					
Pérdidas inserción (dB)	≤ 3,7	≤ 7,3	≤ 10,5	≤ 13,7	≤ 17,1	≤ 20,5
PDOL (dB)	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,25	≤ 0,3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

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

Código de colores			
Código colores puertos de salida	Código colores tubos identificadores		
Puerto 1	Azul	Tubo 1	Azul
Puerto 2	Naranja	Tubo 2	Naranja
Puerto 3	Verde	Tubo 3	Verde
Puerto 4	Marrón	Tubo 4	Marrón
Puerto 5	Gris	Tubo 5	Turquesa
Puerto 6	Bianco	Tubo 6	Bianco
Puerto 7	Rojo	Tubo 7	Rojo
Puerto 8	Negro	Tubo 8	Negro



Estructura de una red óptica pasiva (PON)



Información de Contacto

Oficinas Centrales
Polígono Industrial Centrovía
c/ Buenos Aires, 18
50196 La Muela, Zaragoza
España

Teléfono: (+34) 976 14 18 00
Fax: (+34) 976 14 18 10
comercial@telnet-ri.es

Oficina Comercial en Madrid
Avda. Menéndez Pelayo, 85 - 1º A
28007 Madrid
España

Teléfono: (+34) 91 434 39 92
Fax: (+34) 91 434 40 84

Filial en Portugal
NETIBERTEL
Avenida da Liberdade, 110
1269- 046 Lisbon
Portugal



Divisor Óptico 1xN Equilibrado

Tipo del Producto	Divisor óptico
Familia del Producto	FBS - Furukawa Broadband System
Descripción	<p>Splitters Ópticos son componentes pasivos que realizan la división del señal óptico en una red PON. Son constituidos por una fibra de entrada y N fibras de salida, las cuales dividen la potencia del señal óptico proporcionalmente, caracterizándolos como splitters equilibrados. Son utilizados principalmente en redes ópticas FTTx/PON y redes HFC (Cable TV).</p> <p>Disponible en tres modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conectorizado en la entrada y salidas; - Conectorizado sólo en las salidas; - No conectorizado.
Ambiente de Instalación	Interno o Externo (Alojamiento en caja adecuada).
Ambiente de Operación	No Agresivo
Compatibilidad	Bandejas de Empalme o Módulos Conectorizados.
Garantía	12 meses
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos 1x2 fabricados con tecnología FBT o PLC; • Modelos 1x4, 1x8, 1x16, 1x32, 1x64 fabricados con tecnología PLC; • Operación en las tres ventanas de comunicación para los estándares de redes ópticas pasivas: 1310nm, 1490nm y 1550nm; • Pérdida de Inserción y Uniformidad estables entre 1260 y 1650nm para modelos PLC - Full Spectrum; • Para modelos FBT, los parámetros de Pérdida de Inserción y Uniformidad se aplican a los anchos de 1260-1360 y 1480-1650nm; • Tamaño compacto permite el almacenamiento en diversos tipos de bandejas ópticas de empalme; • Baja Pérdida de Inserción y excelente Uniformidad; • Alta fiabilidad; • Fibra especial G.657A - optimizado para almacenamiento en bandejas con radio de curvatura reducidas.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

2371 - V 10 (24/02/2016)

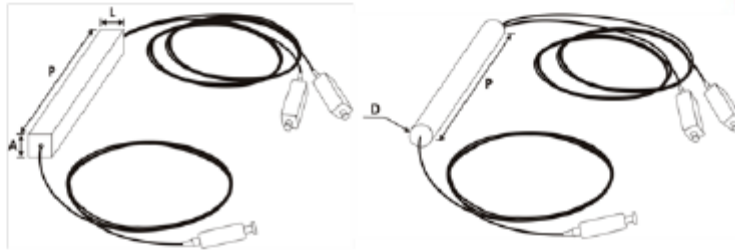
Parámetros de desempeño

Modelos	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Banda Óptica Pasante	PLC: 1260~1650		FBT:1260~1360nm y1480~1650nm			
Pérdida de Inserción Máxima (Sin Tener en Cuenta las Pérdida de las Conexiones)	3,7dB	7,1dB	10,5dB	13,7dB	17,1dB	20,5dB
Uniformidad	0,5 dB	0,6 dB	1,0 dB	1,3 dB	1,5 dB	1,7 dB
Sensibilidad a la Polarización Máxima (PDL)	0,2 dB	0,2 dB	0,25dB	0,3 dB	0,4 dB	0,5 dB
Directividad	>55 dB					
Pérdida de Retorno	>55 dB					

Especificaciones ambientales

Modelos	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Temperatura de Operación	-40~+85°C		-25~+70°C			
Temperatura de Almacenamiento	-40~+85°C					
Humedad Relativa de Operación	5~95%					
Humedad Relativa de Almacenamiento	5~95%					

Splitter con conector

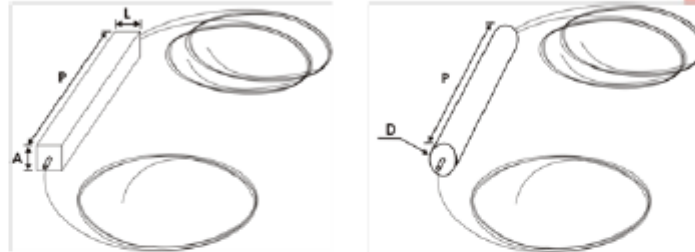


Características dimensionales para splitter con conector

Modelos	1x2 FBT		1x2 PLC		1x4		1x8		1x16		1x32	
	E/S	S	E/S	S	E/S	S	E/S	S	E/S	S	E/S	S
Tipo de Conectorización												
Profundidad (P)	50mm		55mm		55mm		55mm		60mm		80mm	
Diámetro (D)	3.0mm		N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
Anchura (L)	N/A		7mm		7mm		7mm		12mm		20mm	
Altura (A)	N/A		4mm		4mm		4mm		4mm		6mm	
Largura del Pigtail de Entrada	1.5m	0.6m	1.5m	0.6m	1.5m	0.6m	1.5m	0.6m	1.5m	0.6m	1.5m	0.6m
Largura del Pigtail de Salida	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m
Diámetro del Pigtail	900µm											

- S - Splitter Conectorizado sólo en las Salidas;
- E/S - Splitter Conectorizado en la Entrada y en las Salidas.

Splitter sin conector



Características dimensionales para splitter sin conector	Modelos	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
	Profundidade (P)	50mm	40mm	40mm	40mm	50mm	60mm
	Diámetro (D)	3mm	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Anchura (L)	N/A	4mm	4mm	4mm	7mm	12mm
	Altura (A)	N/A	4mm	4mm	4mm	4mm	4mm
	Largura de la fibra	2m					
	Diámetro da Fibra Desnuda	250µm					

Código de Colores

Puerta 1	Azul
Puerta 2	Naranja
Puerta 3	Verde
Puerta 4	Marrón
Puerta 5	Gris
Puerta 6	Blanco
Puerta 7	Rojo
Puerta 8	Negro

- En los divisores de 16, 32 y 64 salidas, el grupo de colores se repetirá a cada 8 puertas, siendo separados e identificados a través de tubos plásticos y etiquetas;
- Código de colores válido para splitters no conectorizados;
- Splitters Conectorizados presentan identificación de las puertas por medio de etiquetas numeradas.

Tipo del conector

Conectores	Atenuación Óptica por Conexión (dB)		Pérdida de Retorno Máxima por Conexión (dB)	Características
	Típica	Máxima		
SC-APC	0,15	0,30	>60	- Conector del tipo "Push-Pull";
SC-UPC	0,15	0,30	>50	- Cuerpo Plástico; - Cerrojo Cerámico (Zirconia).

- Para los Splitters Conectorizados es necesario sumar las pérdidas de las conexiones a las pérdidas presentes en el splitter. De esa forma, se obtiene los parámetros de rendimiento del conjunto.

Tipo da Fibra

Fibras de Entrada y Salidas del Tipo "Bend Insensitive" G.657A [2].

Normas Aplicables

- Telcordia GR-1209 (Componentes Ópticos Pasivos)
- Telcordia GR-1221 (Requisitos de Confiabilidad para Componentes Ópticos Pasivos)
- IEC 61753-1 (Dispositivos de Interconexión de Fibra Óptica y Componentes Pasivos - Estándar de Rendimiento)

Certificaciones

ANATEL (Homologación 1837-11-0256 y 1835-11-0256)

**Grabación Padrón
Furukawa**

SPLITTER OPTICO XXX 1XN YY/ZZ G.657A GG-GGG/AA-AAA BBDCC/EEDFF

XXX = Tecnología de fabricación (FBT ou PLC);

N = Cantidad de salidas;

YY = Si es un componente no balanceado, indica la porcentaje de potencia óptica de la primera salida;

ZZ = Si es un componente no balanceado, indica la porcentaje de potencia óptica de la segunda salida;

G.657A= Tipo da fibra;

GG-GGG = Tipo de conector de las entradas;

AA-AAA = Tipo de conector de las salidas;

BB = Longitud de la fibra de entrada (m);

CC = Diámetro do revestimiento de la fibra de entrada (0,9 mm ou 2 mm);

EE = Longitud de las fibras de salida (m);

FF = Diámetro del revestimiento de la fibra de salida (0,9 mm ou 2 mm).

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

2371 - V 10 (24/02/2016)

Código del Producto SPLITTERS SIN CONECTORES:

35500100	SPLITTER OPTICO FBT 1X2 50/50 G.657A NC/NC 2M/2M
35500104	SPLITTER OPTICO PLC 1X4 G.657A NC/NC 2M/2M
35500099	SPLITTER OPTICO PLC 1X8 G.657A NC/NC 2M/2M
35500108	SPLITTER OPTICO PLC 1X16 G.657A NC/NC 2M/2M
35500112	SPLITTER OPTICO PLC 1X32 G.657A NC/NC 2M/2M
35500109	SPLITTER OPTICO PLC 1X64 G.657A NC/NC 2M/2M

SPLITTERS CONECTORIZADOS SÓLO EN LA SALIDA:

35500174	SPLITTER OPTICO PLC 1X4 G.657A NC/SC-APC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500178	SPLITTER OPTICO PLC 1X8 G.657A NC/SC-APC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500191	SPLITTER OPTICO PLC 1X2 G.657A NC/SC-APC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500192	SPLITTER OPTICO PLC 1X16 G.657A NC/SC-APC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500196	SPLITTER OPTICO PLC 1X32 G.657A NC/SC-APC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500175	SPLITTER OPTICO PLC 1X4 G.657A NC/SC-UPC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500179	SPLITTER OPTICO PLC 1X8 G.657A NC/SC-UPC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500189	SPLITTER OPTICO PLC 1X2 G.657A NC/SC-UPC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500193	SPLITTER OPTICO PLC 1X16 G.657A NC/SC-UPC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500197	SPLITTER OPTICO PLC 1X32 G.657A NC/SC-UPC 1.5D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT

SPLITTERS CONECTORIZADOS EN LAS SALIDAS Y ENTRADA:

35500173	SPLITTER OPTICO PLC 1X4 G.657A SC-APC/SC-APC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500177	SPLITTER OPTICO PLC 1X8 G.657A SC-APC/SC-APC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500188	SPLITTER OPTICO PLC 1X2 G.657A SC-APC/SC-APC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500195	SPLITTER OPTICO PLC 1X16 G.657A SC-APC/SC-APC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500199	SPLITTER OPTICO PLC 1X32 G.657A SC-APC/SC-APC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500172	SPLITTER OPTICO PLC 1X8 G.657A SC-UPC/SC-UPC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500176	SPLITTER OPTICO PLC 1X4 G.657A SC-UPC/SC-UPC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500190	SPLITTER OPTICO PLC 1X2 G.657A SC-UPC/SC-UPC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500194	SPLITTER OPTICO PLC 1X16 G.657A SC-UPC/SC-UPC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT
35500198	SPLITTER OPTICO PLC 1X32 G.657A SC-UPC/SC-UPC 0.6D0.9/0.6D0.9 SEM BREAKOUT

Accesorios Incluidos Hoja de Pruebas (Medidas de Pérdida de Inserción y Pérdidas de Retorno⁽¹⁾).

Notas
1-Medidas sin conectores
2-Tiene baja sensibilidad a la curvatura, y es compatible con las fibras G.652, que pueden ser utilizados en toda la red de fibra óptica



FOSC-350C

FOSC gel-sealed in-line closure

EnLighten
FTTH Solutions

The FOSC-350C in-line closure is a sealed fiber optic splice closure designed for cable joint applications in the telecom outside plant network. The closure is suitable for deployment in aerial, underground or direct buried environments.

Suitable for housing up to 144 splices, the closure comes complete with mass splicing trays and cable attachment devices.

Sealing is achieved via built-in gel technology, resulting in extremely convenient re-entry and re-sealing.

Features:

- Gel-sealing
- In-line design
- 4 cable ports
- Multi-port kit options available; see separate datasheet for FOSC-350C multi-port kit (TC-2057/SIP/ACS/1-04/09)
- Suitable for aerial, underground and direct buried applications
- Easy re-entry and re-closure mechanism with latches
- High density
- Multiple splice tray options

TE
connectivity

DIMENSION AND CAPACITIES

Length (mm)	369
Width (mm)	182
Height (mm)	106
Maximum splicing capacity	144F
Cable range (mm)	8 - 20
Number of cable port	2 + 2

PRODUCT OFFERINGS

FOSC - 350C - **XXX** - **X** - **X****X****X**

Tray Type

12	Thin tray for 12 fusion splice protectors in single layer, tower style
24	For 24 fusion splice protectors stacked in dual layer, tower style
12A	For 12 fusion splice or mechanical splice protectors in single layer, side hinge
24A	For 24 fusion splice in single layer, side hinge
48*	For 48 fusion splice protectors stacked in dual layer, side hinge

* Only use this tray with 60mm fusion splice protectors

No of Trays

1-4	For type 24
1-8	For type 12
1-3	For type 12A, 24A, 48

Mounting Kit

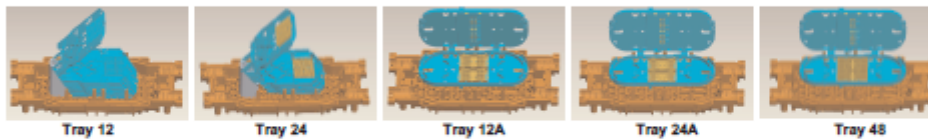
0	No mounting kit
1	Aerial mounting kit
2	Wall mounting kit

Cable Attachment

N	No cable attachment
A	1 cable attachment
0	2 cable attachments
1	3 cable attachments
2	4 cable attachments

Number of Splice Protector SMOUV Included

0	0	6	72
1	12	8	96
2	24	9	108
3	36	A	120
4	48	B	132
5	60	C	144



TE (logo) and TE Connectivity are trademarks of the TE Connectivity group of companies and its licensors.

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics which are intended for illustration purposes only, is believed to be reliable. However, TE Connectivity makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. TE Connectivity's obligations shall only be as set forth in TE Connectivity's Standard Terms and Conditions of Sale for this product and in no case will TE Connectivity be liable for any incidental, indirect or consequential damages arising out of the sale, resale, use or misuse of the product. Users of TE Connectivity products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for the specific application.

Tyco Electronics (Shanghai) Co., Ltd.
267 Gaojing Road, Shanghai, 200233 China
Tel 86-21-61067000
Fax 86-21-64852522
www.teconnectivity.com
www.ta.com
TC-2055/05/13-11/11





CAJAS DE DISTRIBUCIÓN DE REDES FTTH GLC

DESCRIPCIÓN:

Este producto es aplicable para su uso en proyectos FTTH. Permite distribuir el cable de FO, instalado, por medio de splitters PLC. También se puede para albergar empalmes mecánicos y empalme de fusión.

ESPECIFICACIONES PARA GLC-FDB-001/002

- Puede acomodar PLC Splitter 1*4, 1*8 & 1*16.
- Posee tratamientos UV.
- Hasta 16 adaptadores de FO.
- Para pared o montaje en poste.
- 2 Puertos de entrada (p/cables con max. diámetro 12mm) y 16 puertos de salida.
- Protección: IP67.
- Cumple ROHS.

APLICACIÓN PARA:

- Redes FTTH.
- Redes de TV por cable.
- Redes de comunicación.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Modelo	Capacidad	Dimensión
GLC-FDB-001	8 Núcleos	205*215*55 (mm).
GLC-FDB-002	16 Núcleos	268*320*90 (mm).

ROSETA MURAL FTTH 10683

Roseta para despliegues FTTH



La roseta mural FTTH 10683 de 3MTM es un punto de transición ideal entre el cable de fibra entrante y el punto de acceso a la vivienda en despliegues de fibra en el hogar. La roseta está diseñada para aceptar hasta dos conectores SC (usando adaptadores con flancos cortos y tapa integrada) y es compatible con la terminación directa de las fibras usando conectores NPC de 3MTM. Si se empalma a rabillo, pueden insertarse hasta dos empalmes (mecánicos o de fusión) en los soportes de empalme integrados en la bandeja de empalme. La roseta mural FTTH 10683 puede usarse como caja de transición para cables, con tres entradas posibles de cable: superior, inferior y trasera. La preparación del cable se realiza externamente a la roseta (fijando los elementos de tracción incluidos en misma) con un mecanismo único de entrada de cables.

La roseta mural FTTH 10683 de 3MTM es compatible con cables drop redondos de hasta 6mm de diámetro y con fibras estándar ITU.G.652D con radios de curvatura de hasta 30mm y puede instalarse directamente en la pared o sobre cajas de mecanismo estándar (60mm).

Características

- Tamaño pequeño, compacta
- Montaje mural o sobre caja de mecanismos
- Entrada (superior o inferior) con mecanismo de fijación externo
- Bandeja de empalme abatible y removible que permite el cambio de dirección en la coca
- Entrada trasera de cables
- Hasta 2 adaptadores SC simples (flancos cortos) con tapa integrada
- Pestañas removibles en la tapa

Beneficios

- Permite una instalación simple en casa del abonado
- Versátil en cada situación
- Instalación simple
- Instalación flexible
- Independiente del puerto de entrada
- Versátil en cada aplicación
- Protección frente a la suciedad y el láser
- Seguro para el usuario
- Configuración flexible de la roseta según la aplicación

Especificaciones

- Dimensiones: 106mm x 83mm x 24mm
- Material: ABS similar al RAL 1015
- Contenido:
 - Base y tapa con tornillos de fijación y tapón de seguridad
 - 2 soportes de fijación del cable
 - 4 gomas de entrada de puertos (EPDM)
 - 2 tornillos de fijación a la pared
 - 2 paquetes
 - 4 Cintillos (nylon)



CATÁLOGO	DESCRIPCIÓN
10683	Roseta óptica para FTTH acoplador SCA
8310GES	Acoplador SC/APC, flancos cortos, simplex con tapa
AEPO0AU0002	Pigtail SC/APC, verde, semi-ajustado, G.657.A1

	LA FERRETERA DE LAS TELECOMUNICACIONES* Tel. (55) 5243-6900, del Interior 01800-INCOM-00 ventas@incom.mx, www.incom.mx	COTIZACIÓN:	ULTIMA ACTUALIZACIÓN: 2016/05/03
		FECHA APROBADA:	COMENTARIOS:



ROSETA ÓPTICA



Descrição	A ROSETA ÓPTICA atua como um ponto de terminação da rede óptica utilizando conectorização direta ou emenda por fusão em uma extensão pré-conectorizada (pigtail).				
Aplicação	Uso interno em redes FTTx				
Vantagem	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser instalada em qualquer superfície vertical plana ou sobre caixas 4x2" embutidas em parede • Manuseio simples, não necessita de ferramentas especiais • Dimensional compacto • Feito em plástico de alta resistência mecânica • Permite a acomodação de protetores de emenda por fusão de 40mm ou 60mm, além de emendas mecânicas • A tampa pode ser fechada com um parafuso de aço inoxidável • Possui etiqueta de identificação na tampa frontal • Capacidade para armazenar 20cm de cordão óptico de 3mm de diâmetro. • Compatível com conectores de montagem em campo com polimento SC-APC 				
Características Físicas	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Dimensão</td> <td style="padding: 5px;">79,8x114,9x22,5 [mm]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Material do corpo</td> <td style="padding: 5px;">Plástico ABS</td> </tr> </table>	Dimensão	79,8x114,9x22,5 [mm]	Material do corpo	Plástico ABS
Dimensão	79,8x114,9x22,5 [mm]				
Material do corpo	Plástico ABS				
Características Técnicas	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Quantidade de posições</td> <td style="padding: 5px;">capacidade de 2 emendas ópticas por fusão ou mecânicas capacidade para 2 adaptadores ópticos SC simplex ou LC duplex</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Acesso para cabos e cordões</td> <td style="padding: 5px;">Possui cinco acessos para entrada e saída de cabos ou cordões ópticos: 2 inferiores, 1 superior, 1 lateral e 1 acesso na tampa traseira.</td> </tr> </table>	Quantidade de posições	capacidade de 2 emendas ópticas por fusão ou mecânicas capacidade para 2 adaptadores ópticos SC simplex ou LC duplex	Acesso para cabos e cordões	Possui cinco acessos para entrada e saída de cabos ou cordões ópticos: 2 inferiores, 1 superior, 1 lateral e 1 acesso na tampa traseira.
Quantidade de posições	capacidade de 2 emendas ópticas por fusão ou mecânicas capacidade para 2 adaptadores ópticos SC simplex ou LC duplex				
Acesso para cabos e cordões	Possui cinco acessos para entrada e saída de cabos ou cordões ópticos: 2 inferiores, 1 superior, 1 lateral e 1 acesso na tampa traseira.				
Cor	Branco				
Tipo de Pintura	Acabamento plástico texturizado				

Compatibilidade	<ul style="list-style-type: none">* Cabo flat compacto 2mm x 1,6mm ou 3mm x 2mm* Cordões ópticos COA 2,0mm, 3,0mm, 5,8mm (dupla capa)
Acessórios Inclusos	<ul style="list-style-type: none">* 04 Braçadeiras plásticas* 02 Parafusos de fixação* 01 Parafuso para fechamento da tampa
Garantia	12 meses
Normas	Telcordia GR-771 (Fiber Optic Splice Closures)

ANEXO M

PROFORMA DE OFERTA Y LISTA DE PRECIOS DE PRODUCTOS GEPON DE DOS PROVEEDORES LOCALES

PROFORMA

Número: 2017-000479587

Fecha: 14-12-2017

Cliente: Ana Cristina

A continuación se detalla los productos y servicios ofertados:

CANTIDAD	EQUIPOS	P. UNIT	TOTAL
1	OLT	\$ 6,571.00	\$ 6,571.00
89	ONT	\$ 243.00	\$ 21,627.00
12000	FIBRA OPTICA 2 HILOS G.657 DROP	\$ 0.26	\$ 3,120.00
6000	FIBRA OPTICA 6 HILOS ARMADA GYFTY53-06B1.3	\$ 1.02	\$ 6,120.00
2137	FIBRA ÓPTICA ADSS-96 hilos B1.3 SPAM 120 MT (144 hilos no stock)	\$ 3.05	\$ 6,517.85
1	ODF ABATIBLE 96 PUERTOS SC/PC 5M PIGTAIL 2M 3.00MM ACC	\$ 318.00	\$ 318.00
18	SPLITTER OPTICO 1X8 - CONECTOR SC/PC	\$ 27.72	\$ 498.96
5	MANGA VERTICAL PARA 144 HILOS MODELO HSC-NB1	\$ 115.00	\$ 575.00
15	CAJA DE DISTRIBUCION DE F.O.-2 PLC SPLITTER 1*8 SC/PC TL-04U	\$ 68.00	\$ 1020.00
89	CAJA TERMINAL 2 PUERTO SIN ADAP SC FTTH-01 TWO PORT	\$ 7.32	\$ 651.48
25	HERRAJE TIPO A / ARGOLLA	\$ 4.74	\$ 118.50
150	PIGTAIL SC/PC - SC/PC 3M 5M 5X	\$ 7.00	\$ 1050.00
230	PATCH CORD SC/PC - SC/PC 10M 5M DX	\$ 7.82	\$ 1,798.60
152	ADAPTADOR SC/SC DUPLEX	\$ 6.08	\$ 924.16
473	PROTECTOR TERMO CONTRACTIL 60 CM	\$ 0.16	\$ 75.68
55	AMARRAS PARA CABLE UTP 10CM T4 FUN.X100 -NEGRA/P-0313	\$ 0.97	\$ 53.35
50	AMARRAS PARACABLE UTP25CM T10HD FUN.X100-NEGRA/P-0	\$ 10.00	\$ 500.00
40	CASSETTE PARA CAJA DE DISTRIBUCION	\$ 18.70	\$ 748.00
	MANO DE OBRA COSTO UNITARIO		\$ -
	Tendido de fibra optica de 6 H y 96 H. Inc montaje de herrajes	\$ 1.36	\$ -
	Fusión termoeléctrica en ODF. Inc armado de ODF	\$ 7.12	\$ -
	Fusión termoeléctrica en manga o caja de distribución. Inc armado de caja	\$ 7.62	\$ -
	Fusión termoeléctrica en caja terminal	\$ 5.08	\$ -
	SUBTOTAL		\$ 52,287.58
	IVA		\$ 6,274.51
	TOTAL		\$ 58,562.09



GEPON SOFTEL			
EPON OLT 1U 19", 2 GEAPON PORTS, 128 ONU	OLT-E2	1010,75	1081,50
EPON OLT 4 GEAPON PORTS DOBLE VENTILADOR	OLT-E4	1523,90	1630,57
EPON OLT 8 GEAPON PORTS DOBLE VENTILADOR	OLT-E8	2177,00	2329,39
EPON ONU 1Gbps PON UPLINK, 1*10/100Mbps	ONU-1GE	36,54	39,10
EPON ONU 1Gbps PON Uplink, 4*10/100Mbps, Build-in WIFI, 1 Antena Interna	ONU-4FE-W	46,65	49,92
EPON ONU 1Gbps PON Uplink, 4*10/100Mbps, 1 RF Port CATV, Build-in WIFI	ONU-4FE-RF-W	85,53	91,51
EPON MÓDULO SFP 1.25G, TX:1490nm-RX:1210NM, 20KM, SC	OLT-SFP-EPON	69,98	74,87
Atenuador Óptico Ajustable desde 1-30dB	SCAPC-ATT	23,32	24,95
GPON SOFTEL			
GPON OLT 8 GPON PORTS	OLT-G8	3110,00	3327,70
GPON MÓDULO SFP 2.5G, TX:1490nm-RX:1210NM, 20KM, SC	OLT-SFP-GPON	77,75	83,19
GPON ONT 1Gbps PON Uplink; 1*10/100/1000Mbps; DC 12V Power Supply, Ext	ONT-1GE	43,54	46,59
GPON ONT 1Gbps PON Uplink; 4*10/100/1000Mbps; Build-in WIFI, 1 Internal A	ONT-4GE-W	54,43	58,23
GPON ONT 1Gbps PON Uplink; 4*10/100 Mbps; Build-in WIFI, 1 RF Port CATV	ONT-4FE-RF-W	93,30	99,83
HUAWEI GPON			
MAS680T OLT, 1 MABH CHASIS, 2 SUPER CONTROL UNIT, 2*10GE UPLINK INTE	MAS680T	2430,05	2600,15
MAS608T OLT, 1 MABR CHASIS, 2 GE UNIT CONTROL, 2 DC POWER CONTROL	MAS608T	2782,50	2977,28
MAS800T OLT, 1 CHASIS, 2 MAIN CONTROL, 2 DC POWER BOARD	MAS800T	3094,85	3311,49
Interface GPON 8 puertos, incluye Módulo Óptico SFP C+	GPBD	676,43	723,77
Interface GPON 16 puertos, incluye Módulo Óptico SFP C+	GPFD	1262,66	1351,05
Software Administración hasta 500 ONT's	NMS-HUAWEI	600,00	642,00
GPON ONT, 2FE+1POTS	HG8120C	40,43	43,26
GPON ONT, 4FE+1POTS	HG8541	41,99	44,92
GPON ONT, 4FE+1POTS	HG8546	46,65	49,92
MATERIALES FIBRA OPTICA			
10Gtek Convertidor Gigabit, Single Mode SC Fiber, 1,25Gb/s, 20 Km	1GX1GT-SC20	40,00	42,80
SC/APC Pigtail 1.5 M 0.9MM	SCA-SSM-0.9-1.5	1,63	1,74
SC/APC Pigtail 0.5 M 0.9MM	SCA-SSM-0.9-0.5	1,50	1,61
Patchcord Single Mode Simplex SC/APC-SC/APC 0.5 Metro	SCA-SCA-SSM-3.0MM-0.5M	2,31	2,47
Patchcord Single Mode Simplex SC/APC-SC/APC 1 Metro	SCA-SCP-SSM-3.0MM-1M	2,64	2,82
Patchcord Single Mode Simplex SC/APC-SC/APC 3 Metro	SCA-SCP-SSM-3.0MM-3M	2,97	3,18
ODF Bandeja Corrediza 24 SC; 2 or 3 Adapter Plates; Support Max 24 SC/ST/FC	ODF-B-24C	68,75	73,56
ODF Optical Distribution Frame 1U; 24 Core; SC Adapter Plates; No incluye Ada	ODF-E-24SC	66,25	70,89
Caja Terminal 8 Hilos PC/ABS, SC/LC	FTTH08C	24,00	25,68
Caja Terminal 16 Hilos IP65, PC/ABS, 1X8 o 1X16 plc splitters	FTB16I	45,50	48,69
Caja Terminal 16 Hilos IP65, PC+ABS flame resistance 3mm, 1X8 o 1X16 plc sp	FTTH16E	50,00	53,50
Caja Terminal 16 Hilos IP68, IK10, PP, 1X8 o 1X16 plc splitters	FTB16G	92,00	98,44
Caja Terminal Horizontal FOXC con capacidad para splitter	FOH-M2	53,79	57,55
Caja Terminal Pequeña FFTH incluye 1x8 plc splitter y adaptadores	FTTX-PT-A8	31,94	34,18
Caja Terminal Grande FFTH SMC 16 puertos	FTTX-PT-C16	27,31	29,22
Caja Multimedia 2 puertos incluye adaptador y pigtail	A86-1	1,50	1,61
Fiber Optic Splice Closure Dome 12 cores, 4 inlet/outlet ports	FOM-H-12C	26,25	28,09
Manga Tipo Domo 12 - 96 cores IP68, 2 inlet/ 2 outlet ports	FOSDDO	69,00	73,83
Manga Horizontal Enclosure 24 fibras	FOH-A-24	28,75	30,76
Manga Horizontal Enclosure 24 fibras	FOH-B-24	28,75	30,76
Conector Mécanico Optical Fast Connector SC/APC, Single Mode	FIC-SAP-SSM	1,96	2,09
PLC Splitter 1x4 Steel Tube, SC/APC Connector, 1.5M, SM	PLC-1X4-S-0.9-1.5-SCAPC	14,63	15,65
PLC Splitter 1x8 Steel Tube, SC/APC Connector, 1.5M, SM	PLC-1X8-S-0.9-1.5-SCAPC	20,00	21,40
PLC Splitter 1X16 Steel Tube; SC/APC Connector, 1.5M, SM	PLC-1X16-S-0.9-1.5-SCAPC	37,50	40,13
Single Mode, SC APC Adaptador Conector	SC-APC-ADAPTER	0,46	0,49

Av. Huayna Cápac 1-22 y Rafael María Arizaga, Cuenca

Tel: 07 - 2802804 / ventas@pluscompu.com

Precios no incluyen IVA

www.pluscompu.com



CAMBIIUM ePMP 1000			
ePMP FORCE 110 PTP	EPMP110PTP	303,00	324,21
ePMP 5GSPS Conectorizado	EPMP5GSPS	455,00	486,85
ePMP 5 Integrada	EPMP5INT	136,00	145,52
ePMP Force 180	EPMP180	127,10	136,00
ePMP Force 200	EPMP200	175,00	187,25
Antena Sectorial Cambium 90° / 5GHZ / 17dbi	EPMPSEC90	264,00	282,48
CnPilot e400	CNE400	270,00	288,90
PIGTAIL			
PIGTAIL MMCX- N-HEMBRA 21 cm	N-MMCX-21	24,42	26,13
PIGTAIL MMCX- N-HEMBRA 30 cm	N-MMCX-30	26,54	28,39
PIGTAIL RPSMA A RPSMA 50cm Baja Pérdida Azul	RPSMA-RPSMA-50	14,00	14,98
PIGTAIL UBNT RPSMA CORTO IP67 ANTENAS	UBNT-RPSMA	7,00	7,49
PIGTAIL RPSMA A N-MACHO 60 cm	RPSMA -N-MACHO-60	26,54	28,39
PIGTAIL RPSMA A N-MACHO 120 cm	RPSMA -N-MACHO-120	30,78	32,94
PIGTAIL N-HEMBRA-UFL 25cms	N-HEMBRA-UFL	23,89	25,57
MIKROTIK MODULOS SPF			
Modulo SFP S-85DLC05D, LC para 550 m, 1.25G, multi modo 850nm	S-85DLC05D	25,61	27,41
Modulo SFP S-31DLC20D, LC para 20 km, Conexión monomodo con DDM	S-31DLC20D	35,00	37,45
Modulo SFP S-85DLC03D, LC Multimodo 10G 300m 850nm	S-85DLC03D	79,21	84,75
PIGTAIL FIBRA ÓPTICA			
CABLE SFP+ Direct Attach Cooper 10 Gigabit 1 metro	SFP+DAC	29,00	31,03
CABLE SFP+ Direct Attach Cooper 10 Gigabit 3 metros	SFP+DAC3M	41,00	43,87
PATCH CORD FIBRA OM3 MULTIMODO, DUPLEX, LC-LC, 1 metro	OM3-LC-LC-D1M	10,00	10,70
MIKROTIK POE			
POE GIGABIT + ADAPTADOR	POEGIGAMKI	29,23	31,28
POE GIGABIT INECTOR	ADAPT24V	16,73	17,90
ADAPTADOR 24V / 0,8A	18POW	12,50	13,38
ROUTER QPCOM - TPLINK			
Router QPCOM WR327N 2 antena		16,00	17,12
Router TP LINK 1 antena		17,00	18,19
CABLE DE RED			
Rollo Cable UTP LanCom Cat5e 305m	LANCOM5e	75,00	80,25
Rollo Cable UTP QPCOM Cat5e Negro Exteriores 305m	QPCOM5e-ext	122,00	130,54
Rollo Cable FTP QPCOM Cat5e Negro Exteriores 305m	QPCOMFTP5e-ext	196,00	209,72
Rollo Cable UTP Nexxt Cat5e 305m	NEXXT5e	120,63	129,07
Rollo Cable UTP Nexxt Cat5e exteriores Negro 305m	NEXXT5e-ext	137,86	147,51
Rollo Cable UTP Nexxt Cat6a 305m	NEXXT6a	155,09	165,95
Rollo Cable FTP QPCOM Cat6 Negro Exteriores 305m	QPCOMFTP6-ext	275,00	294,25
Rollo Cable UTP Nexxt Cat6a exteriores Negro 305m	NEXXT6a-ext	258,49	276,58
CONECTORES RJ 45			
Conectores Red Nexxt RJ45 Cat5e 100u	NEXXTRI45-5e	15,00	16,05
Conectores Red XLC RJ45 Cat5e 100u	XLCTRJ45-5e	11,00	11,77
Conectores Red Nexxt RJ45 Cat6 100u	NEXXTRI45-6	18,00	19,26
Conectores Red XLC RJ45 Cat6 100u	XLCTRJ45-6	14,00	14,98
Conectores Red Lanpro RJ45 Cat6 (3 piezas) unidad	LANPRORJ45-6	0,65	0,70
Conectores Red Maxmoral RJ45 Cat 5 Blindado 50u	MAXRJ45-5B	16,50	17,66
Conectores Red XLC RJ45 Cat6 Blindado 100u	XLCTRJ45-6B	25,00	26,75
Conectores Red Tupavco RJ45 Cat6 Blindado 100u	TP807	38,00	40,66
CABLEADO ESTRUCTURADO			
Rack Abierto 40Ur Connection Negro	CONRACK-40UR	89,00	95,23

Av. Huayna Cápac 1-22 y Rafael María Arízaga, Cuenca

Telf: 07 - 2802804 / ventas@pluscompu.com

www.pluscompu.com

Precios no incluyen IVA



HERRAJES INSTALACIÓN			
Abrazadera Tipo C 7"	HE-TIPOC	4,57	4,89
Pinza Tensor	HE-PINZA	1,42	1,52
Rollo Cinta Eriban 3/4"	HE-ERIBAN-3/4	35,70	38,20
Hebillas 3/4"	HE-HEBILLA-3/4	0,37	0,39
CABLES FIBRA OPTICA			
FURUKAWA AT-3BE1756-012-CMCA 12 HILOS G.652D ADSS SPAM 120m ROLLO	FURK-ADSS-12H	1,01	1,08
FURUKAWA AT-3BE1756-006-CMCA 6 HILOS G.652D ADSS SPAM 120m ROLLO	FURK-ADSS-6H	1,01	1,08
FURUKAWA CFOA-5M-AS120-RA 6 HILOS G.652D	FURK-ADSS-6H-CF	0,84	0,90
PRISMA DROP 2 HILOS G.657 1 KM	PRISMA-DROP-2H-1KM	0,15	0,16
FIBERHOME DROP 2 HILOS G.657 2KM	FIBERHOME-DROP-2H-2KM	0,14	0,15
DAHUA CAMARAS, DVR, NVR			
DAHUA HDCVI KIT XVR4104C 4 CANALES, 2 CAMARAS DOMO Y 2 BULLET	DH-KIT4CAMARAS	150,12	160,63
NVR 32 CANALES DH-NVRS832, SOPORTA 12 CAMARAS 12MP, 8 HDD	DH-NVRS832	661,98	708,32
Cámara IP Domo DH-IPC-HDBW1220E-S3 /2Mp / fija 2.8mm / DWDR / IR 30m /	DH-IPC-HDBW1220E-S3	68,25	73,03
Cámara DH-IPC-HDBW4231E-AS-S2 Cámara IP Domo 2Mp / Lente 2.8mm, SD, A	DH-IPC-HDBW4231E-AS-S2	166,95	178,64
Cámara IP Bullet DH-IPC-HFW1220S-S3 2mp Fija 2.8mm / SD, Audio, Alarm / IR M	DH-IPC-HFW1220S-S3	71,40	76,40
Cámara PTZ DH-SD6C225U-HNI 2Mp CMOS 25x Optical Zoom, Starlight / Auto-tr	DH-SD6C225U-HNI	632,40	676,67
Fuente de Poder DH-PFM321 12v 1A	DH-PFM321	7,00	7,49
POE 1 Puerto GB af/at QPI-10GPE Qpcom	QPI-10GPE	31,90	34,13
Switich POE Qpcom 8 puertos 10/100 2 SFP	QP-802PEW	177,45	189,87
Disco Duro 2 TB 3,5" WD Purple Video Vigilancia	WD20PURZ	87,91	94,06

Av. Huayna Cápac 1-22 y Rafael María Arízaga, Cuenca
 Telf: 07 - 2802804 / ventas@pluscompu.com
 www.pluscompu.com

Precios no incluyen IVA