

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO TÉCNICO DE LA RED DE ACCESO PARA LA EMPRESA
ARCLAD S.A, MEDIANTE TECNOLOGÍA FTTX (FIBER TO
THE X), A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED DE
CNT E.P. Y CRITERIOS DE INSTALACIÓN.**

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

CARLOS JAVIER ACOSTA ARIAS

carlosjavieraa@hotmail.com

DIRECTOR: MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ

maria.jimenez@epn.edu.ec

Quito, mayo 2012

DECLARACIÓN

Yo Carlos Javier Acosta Arias, 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.

Carlos Javier Acosta Arias

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por Carlos Javier Acosta Arias bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todos y cada uno de los momentos en los cuales me ha brindado la fuerza espiritual para seguir adelante con humildad y sabiduría.

A mis padres por estar presentes en mi vida desde siempre, por saber guiarme y enseñarme la satisfacción que te brinda la recompensa del trabajo realizado con esfuerzo dedicación y constancia, por los incontables momentos en que me apoyaron para enfrentar las dificultades; y a través del ejemplo mostrarme la importancia de tomar decisiones oportunas que me permitan sobresalir y mejorar individualmente.

A mi familia por el cariño tan especial hacia mí, lo cual me llena de felicidad y le da paz a mis días.

A los maestros que estuvieron presentes a lo largo de mi vida estudiantil les agradezco por encaminarme en el campo del aprendizaje e investigación, ya que es algo que me llena profundamente; especialmente a la Msc. Soledad Jiménez por supervisar este documento a pesar de mi falta de constancia.

A mis amigos de universidad que han hecho muy agradable mi estancia en las aulas de la Escuela Politécnica Nacional y fuera de ellos también.

Finalmente quiero agradecer a Gaby, quien ha estado en esta última etapa de mi vida apoyándome incondicionalmente.

Carlos Acosta.

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente proyecto a mi madre Rosita quien ha sido el motor que me impulsa a seguir adelante día a día para alcanzar las metas trazadas, en especial esta que la había desplazado por circunstancias de la vida, sin embargo ahora que está culminada quiero expresarle la inmensa satisfacción de decir labor cumplida mamá.

Javiercito.

CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 FIBRAS ÓPTICAS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN	1
1.1.1 COMUNICACIONES ÓPTICAS.....	1
1.1.2 FIBRA ÓPTICA	1
1.1.3 VENTANAS DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA.....	3
1.1.4 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....	4
1.1.5 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.....	8
1.1.6 CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA.....	10
1.1.7 TÉCNICAS DE EMPALME	14
1.1.8 DISPOSITIVOS ÓPTICOS.....	16
1.1.9 TIPOS DE TENDIDO DE LA FIBRA ÓPTICA.....	21
1.2 REDES ÓPTICAS PASIVAS PON (PASSIVE OPTICAL NETWORK)	25
1.2.1 CARACTERÍSTICAS.....	26
1.2.2 ARQUITECTURA FUNDAMENTAL.....	27

1.2.3 MÓDULOS ACTIVOS	29
1.2.4 ESTÁNDARES DE LAS REDES PON	32
1.2.5 DESCRIPCIÓN BPON	35
1.2.6 DESCRIPCIÓN EPON	39
1.2.7 DESCRIPCIÓN GPON.....	42
1.2.8 VARIANTES DE LAS REDES FTTX	52
1.3 DATOS ESTADÍSTICOS SOBRE FTTX.....	55
1.3.1 DATOS DEL CONSEJO DE FIBRA AL HOGAR.....	56
1.3.2 DATOS DEL USO DE TECNOLOGÍAS EN ECUADOR.....	57
CAPÍTULO II	60
2.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA ARCLAD S.A.....	60
2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE CNT E.P.....	61
2.2.1 RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA CORPORACIÓN.....	61
2.2.2 CONECTIVIDAD INTERNACIONAL	61
2.2.3 RED NACIONAL DE TRANSMISIÓN.....	62
2.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	65
2.3.1 DEMANDA DEL ENLACE DE DATOS	67
2.3.2 DEMANDA DEL ENLACE DE INTERNET	68

2.3.3 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	70
2.3.3.2 Posible Incremento en el Ancho de Banda	71
2.4 ESTÁNDAR PON A EMPLEARSE	71
2.5 DECISIÓN DE LA VARIANTE FTTX.....	73
2.6 DISEÑO DE LA RED DE ACCESO	74
2.6.1 ÁREA DE IMPACTO DE LA RED GPON.....	75
2.6.2 DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS SPLITTERS.....	75
2.6.3 DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE LA RED DE ACCESO.....	77
2.6.4 ESQUEMA TOTAL DE LA SOLUCIÓN FTTB	80
2.6.5 TIPO DE FIBRA ÓPTICA	80
2.6.6 TENDIDO DEL CABLE.....	81
2.6.7 TASA DE TRANSFERENCIA MÁXIMA.....	83
2.6.8 PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN EN LOS ELEMENTOS DE LA RED	83
2.6.9 MARGEN DE PÉRDIDA	84
2.6.10 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA RED	85
2.6.11 CÁLCULOS DE LA RED	85
2.6.12 PÉRDIDAS POR EMPALMES	87
2.6.13 PÉRDIDAS POR CONECTORIZACIÓN.....	87
2.6.14 PÉRDIDAS POR PATCHCORD.....	88

2.6.15 PÉRDIDAS POR ATENUACIÓN EN LA FIBRA	88
2.7 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LA RED.....	90
2.7.1 RESERVA EN EL CABLE PRINCIPAL	91
2.7.2 DUPLICIDAD DE OLT.....	91
2.7.3 DUPLICIDAD DE TODA LA RED PON	92
2.7.4 DECISIÓN DE LA ARQUITECTURA DE REDUNDANCIA.....	92
CAPÍTULO III	95
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN	95
3.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS TERMINALES GPON.....	95
3.1.1 EQUIPOS OLTS (<i>OPTICAL LINE TERMINAL</i>)	95
3.1.2 EQUIPOS ONT (<i>OPTICAL NETWORK TERMINAL</i>).....	102
3.2 INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO A LA INFRAESTRUCTURA DEL PROVEEDOR	105
3.3 DESPLIEGUE DE LA RED DE ACCESO	106
3.3.1 TENDIDO CON CARRETE FIJO	107
3.3.2 HERRAJES PARA EL TENDIDO DE CABLES.	109
3.3.3 DESPLIEGUE DEL PRIMER SEGMENTO DE LA RED DE ACCESO. .	110
3.3.4 DESPLIEGUE DEL SEGUNDO SEGMENTO DE LA RED DE ACCESO	112
3.4 ACOPLAMIENTO A LA RED LAN DEL CLIENTE	115

3.5 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA RED	116
3.5.1 EQUIPOS ACTIVOS.....	117
3.5.2 ELEMENTOS PASIVOS.....	117
3.5.3 COSTOS TOTALES	118
3.6 NORMATIVA VIGENTE PARA EL USO DEL ESPACIO URBANÍSTICO EN QUITO.....	122
3.6.1 SUJETOS OBLIGADOS A LA OBTENCIÓN DE LA LICENCIA LUM40	122
3.6.2 TRÁMITE PARA LA OBTENCIÓN DE LA LICENCIA LMU40.....	122
3.6.3 VIGENCIA DE LA LMU 40.	123
3.6.4 ZONAS DE LA LMU40	123
3.7 NORMAS PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO.....	125
3.7.1 UBICACIÓN DE REDES DE PORVEEDORES DE SERVICIOS DE TELCOMUNICACIONES ACTUALES Y DISTANCIAS CON LAS REDES ELÉCTRICAS.	125
3.7.2 ETIQUETADO DE LAS REDES	126
3.7.3 NORMAS GENERALES.....	127
CAPÍTULO IV	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128

4.1 CONCLUSIONES.....	128
4.2 RECOMENDACIONES.....	132

RESUMEN

El presente proyecto presenta el diseño de la red de acceso para la empresa Arclad S.A. mediante tecnologías *FIBER TO THEx*, adicionalmente se detallan aspectos relacionados con la posible implementación de dicho diseño.

El primer capítulo presenta una introducción al estudio de las comunicaciones mediante fibra óptica así como su uso en las redes ópticas pasivas, para integrar los usuarios a las redes de proveedores de servicios con mayor eficiencia. Adicionalmente se presenta una visión general del desenvolvimiento de las redes mediante fibra óptica y su tendencia global, además de analizar el uso de las tecnologías en el Ecuador.

En el capítulo dos se procede al análisis de la red del proveedor y la posible integración de una red FTTx, dentro de la cual se precisa el estándar de transmisión adoptada, tipo de fibra a emplearse ubicación de *splitters* y distancias inmersas en el diseño; además se presenta el cálculo del presupuesto de pérdidas de potencia óptica con la finalidad de garantizar los requerimientos mínimos según el estándar a emplearse.

En el tercer capítulo se presenta un análisis de los equipos a emplearse en una posible implementación del diseño realizado en el capítulo anterior y la selección del equipo más idóneo en función de sus características, adicionalmente se presentan los lineamientos generales de la instalación para que se pueda tener un patrón en la instalación de este tipo de redes.

Finalmente en el capítulo cuatro se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto de titulación.

PRESENTACIÓN

Dentro de la tendencia a cumplir con los requerimientos de mayores anchos de banda que permitan una interacción más dinámica entre los usuarios y la red, y el hecho de que converjan los servicios a través de un solo medio de transmisión, ha llevado al desarrollo de tecnologías de acceso de gran capacidad que emplean fibra óptica como canal físico.

En el siguiente proyecto se presenta el diseño de la red de acceso de la empresa Arclad S.A. como parte de una red GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) que podría servir a la zona industrial de la ciudad de Quito, además de delinear de manera general los parámetros a considerarse durante la instalación de dicho diseño.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 FIBRAS ÓPTICAS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN

1.1.1 COMUNICACIONES ÓPTICAS

Las comunicaciones ópticas se definen en principio como la transmisión de señales o información en forma de luz a través de un medio apto para este propósito como es el caso del plástico o vidrio.

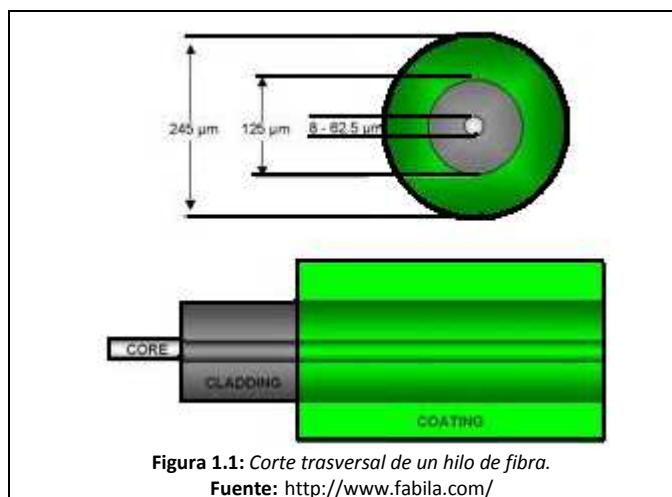
Para que dicha transmisión sea posible a través de un medio se requieren de varios elementos especialmente para la transición entre señales eléctricas y ópticas debido a la gran difusión de las primeras, adicionalmente para acoplamiento al medio se requiere de elementos que acondicionen las señales de luz para poder viajar y ser reproducidas en el extremo remoto de la comunicación.

1.1.2 FIBRA ÓPTICA

En principio una Fibra Óptica es una varilla delgada y flexible de vidrio u otro material transparente y que cuenta con un índice de refracción alto, adicionalmente debe ser capaz de concentrar, guiar y transmitir la luz con muy pocas pérdidas incluso cuando esté curvada.

La fibra óptica adicionalmente es empleada en la transmisión de señales en grandes distancias gracias a sus características que la destacan en referencia a los medios de cobre en los cuales los problemas como distorsión y atenuación son más notorios, lo cual impide alcanzar distancias aceptables para ser utilizadas en redes de alto rendimiento.

A continuación se muestra una figura donde se detalla la composición de la fibra.



Las fibras ópticas comerciales están constituidas de los siguientes componentes:

- Núcleo (*Core*)

Es la parte del interior de la fibra y por ahí es que se mueven las ondas y se puede hacer en sílice, cuarzo fundido o plástico, adicionalmente están dopadas de óxidos de Boro, Germanio, o Fósforo.

- Revestimiento (*Cladding*)

Son capas generalmente del mismo material del que está compuesto el núcleo pero que poseen menor índice de refracción¹, lo cual se consigue variando el dopaje de sus materiales.

¹ Índice de refracción.- relación entre la velocidad de la luz en el vacío c y la velocidad de la luz en el medio

- Chaqueta (*Coating*)

Está hecha de plástico y tiene la función de proteger a la fibra frente a los factores externos.

En fibra óptica se puede transmitir información en forma analógica o digital, en la cual los principios básicos de funcionamiento se justifican, aplicando las leyes de la óptica geométrica y depende de tres características fundamentales:

Del diseño geométrico de la fibra

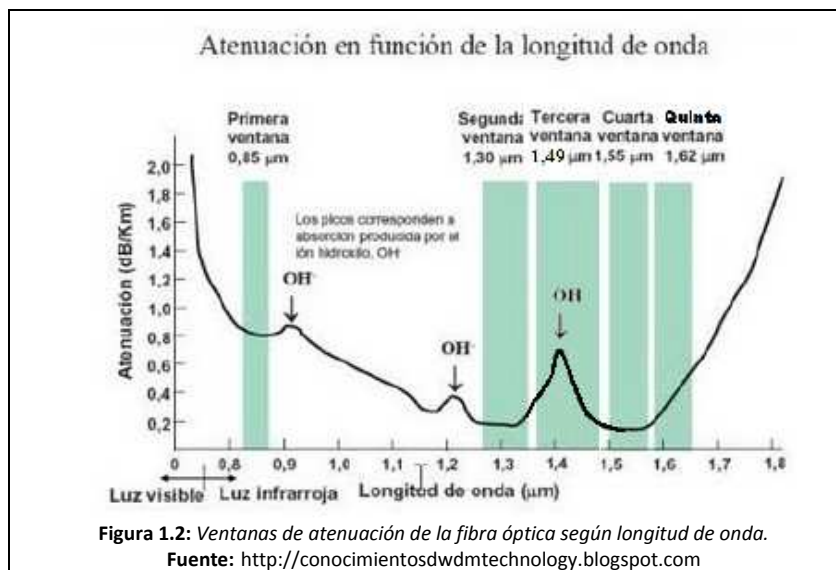
De las propiedades de los materiales empleados en la fabricación (Diseño Óptico).

De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esa anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.

Otra característica importante de destacar es que a diferencia de los medios de transmisión convencionales en los medios ópticos la atenuación es independiente de la velocidad de transmisión, mas sin embargo esto no implica que no se tengan atenuaciones en comunicaciones ópticas, pues éstas existen y son función de sus características físicas, que además, es variable con la longitud de onda de la señal que atraviesa la fibra, a continuación se describen las ventanas de transmisión de la fibra óptica.

1.1.3 VENTANAS DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

Se define como ventana de transmisión a la zona en la cual la atenuación de la fibra en función de la longitud de onda es menor y relativamente constante, a continuación se muestra dicha curva.



La importancia de la elección de la ventana de transmisión radica en que ésta determinará las pérdidas que sufrirán las señales por unidad de longitud, lo que implica a su vez que esta degradación se incrementará conforme a la distancia en la fibra que viajará el haz óptico.

1.1.4 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

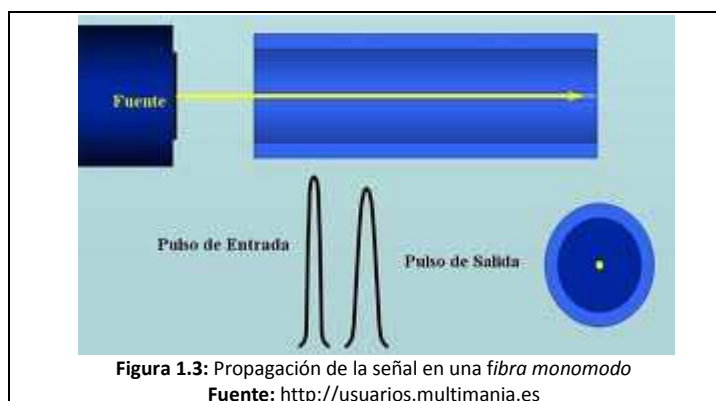
Un haz de luz que se propaga dentro de una fibra óptica puede tomar diferentes trayectorias y a éstas se las denomina modos de propagación, de acuerdo a lo cual se tiene dos tipos de fibra: monomodo y multimodo.

1.1.4.1 Fibra Monomodo

Como bien su nombre lo indica este tipo de fibra posee un modo de transmisión, lo cual conlleva a que su núcleo sea más fino, y se evite la dispersión modal.²

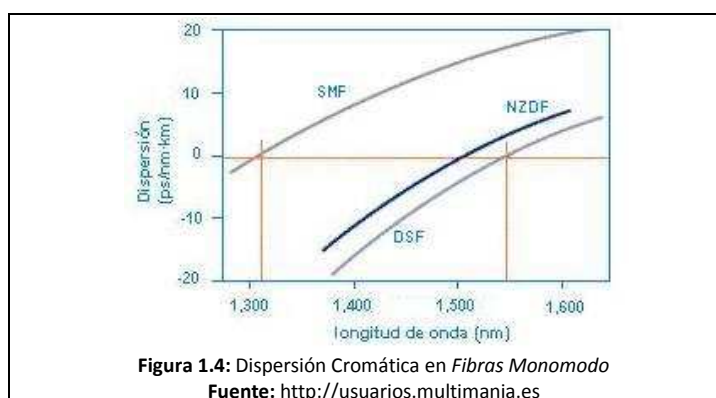
² Dispersión Modal.- se conoce a la dispersión por la diferencia de llegada en los rayos de luz que viajan a por diferentes trayectorias, ver más detalle en la sección 1.1.5.1

Esta característica permite alcanzar mayores distancias debido a que no se ensanchan los pulsos en la recepción de la señal, lo cual es provocado por la diferencia de retardos en los modos que viajan por la fibra.



1.1.4.1.1 SMF (Standar Single-Mode Fiber)

Esta es la fibra monomodo estándar la cual tiene una dispersión cromática³ nula a una longitud de onda de 1310nm, y una atenuación de 0.2dB/Km, sin embargo su dispersión cromática es demasiado alta alrededor de los 17 ps/Km·nm en la ventana de 1500nm, estas fibras se describen en la recomendación UIT G.652, a continuación se muestra una comparativa gráfica con otras fibras monomodo.



³ Dispersión Cromática.- es la dispersión generada por las características del material y de guía de onda, ver más detalle en la sección 1.1.5.2.

1.1.4.1.2 DFS (Dispersion Shifted Fiber)

Mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir el desplazamiento de longitud de onda de dispersión nula a tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazada. Sus pérdidas son ligeramente superiores a (0,25 dB/km a 1500 nm), pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra monomodo estándar. Este tipo de fibras se describe en la recomendación UIT G.653.

1.1.4.1.3 NZDFS (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)

Para resolver los problemas de no linealidad de la fibra de dispersión desplazada sugirieron este tipo de fibras, que se caracterizan por valores de dispersión cromática reducidos sin llegar a ser nulos en la ventana de 1500 nm. Debido a la finalidad de estas fibras es que se tienen valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-). La recomendación G.655 describe a este tipo de fibras.

1.1.4.2 Fibra Multimodo

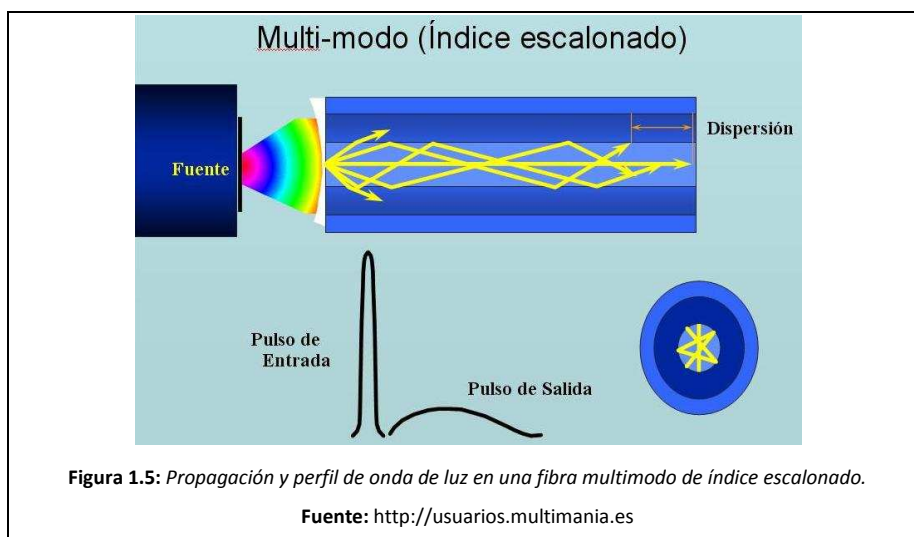
En este tipo de fibras los rayos de luz viaja por distintas trayectorias llamadas modos, si el coeficiente de refracción es constante la velocidad de los distintos modos es la misma y siendo distintas las distancias recorridas, llegarán al extremo opuesto en diferentes instantes, produciéndose un retardo relativo lo cual provoca un ensanchamiento en el pulso de entrada del receptor, lo cual repercute en una disminución en el ancho de banda que se puede alcanzar.

Se tienen dos tipos de fibras multimodo según su índice de refracción.

1.1.4.2.1 Fibra Óptica Monomodo de Índice Escalonado

En este tipo de fibra óptica viajan varios rayos ópticos simultáneamente. Estos se reflejan con diferentes ángulos sobre las paredes del núcleo que posee un

índice de refracción constante, por lo que recorren diferentes distancias (ver figura 1.5), y se desfasan en su viaje dentro de la fibra, razón por la cual la distancia de transmisión es corta.



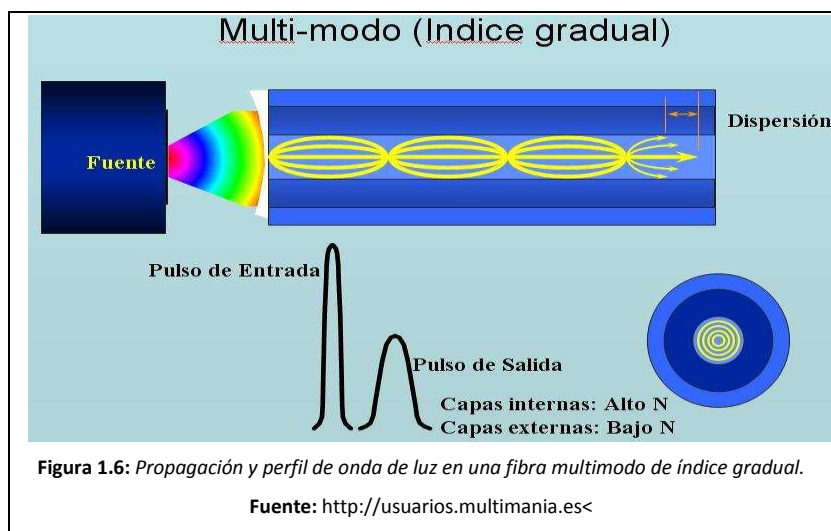
A la señal resultante compuesta por la suma de los diversos modos que llegan en cada instante al receptor, mantienen un desfase en el tiempo al viajar por caminos diferentes, y se produce un ensanchamiento en el pulso original, esto se llama dispersión modal. Ésta dispersión es acumulativa con la distancia, y esto origina una reducción en el ancho de banda, el cual es inversamente proporcional al ancho del pulso en la recepción.

1.1.4.2.2 Fibra Óptica Monomodo de Índice Gradual

En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo es variable a lo largo del radio de la fibra, siendo máximo en el centro y disminuyendo hacia la periferia, en el revestimiento permanece constante.

Esta constitución especial del núcleo de la fibra logra graduar la velocidad de las ondas cuando viajan en las proximidades del eje del núcleo y acelerarlas cuando se aproximan a la frontera con el revestimiento, para tratar de que los distintos modos lleguen en instantes de tiempo muy próximos, con lo cual se

merma el ensanchamiento del pulso en recepción y se aumenta el ancho de banda en transmisión de la fibra con respecto a la fibra de índice escalonado.



Como se puede apreciar en la figura 1.6, en este tipo de fibras la trayectoria de los modos son curvas, en lugar de rectas, como ocurre en las fibras de índice escalonado. Esta variación ocurre de tal forma que se van produciendo enfoques sucesivos de los rayos en dirección hacia el eje de la fibra.

1.1.5 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.

La dispersión en la fibra óptica es la distorsión que sufren los pulsos de la señal transmitida a través de una fibra óptica, y es inversamente proporcional al ancho de banda de dicha fibra.

Se tienen los siguientes tipos de dispersión: modal, cromática y de modo de polarización.

1.1.5.1 Dispersión Modal

Las distintas velocidades y direcciones de una misma longitud de onda que penetran en la fibra óptica producen la propagación de modos diferentes, es decir, rayos de que inciden simultáneamente, llegarán en instantes diferentes al extremo receptor.

Este efecto se lo conoce como dispersión modal o intermodal, por afectar las relaciones entre los modos, y es un parámetro característico de las fibras multimodo.

1.1.5.2 Dispersión Cromática

Se la conoce como la suma de las dispersiones causadas por la dispersión del material y de la guía de onda.

1.1.5.2.1 Dispersión del Material

Esta distorsión se debe al conjunto de longitudes de onda contenidos en un mismo pulso, debido a que el índice de refracción varía con cada longitud de onda. Este tipo de dispersión afecta tanto a las fibras monomodo como multimodo.

1.1.5.2.2 Dispersión de Guía de Onda

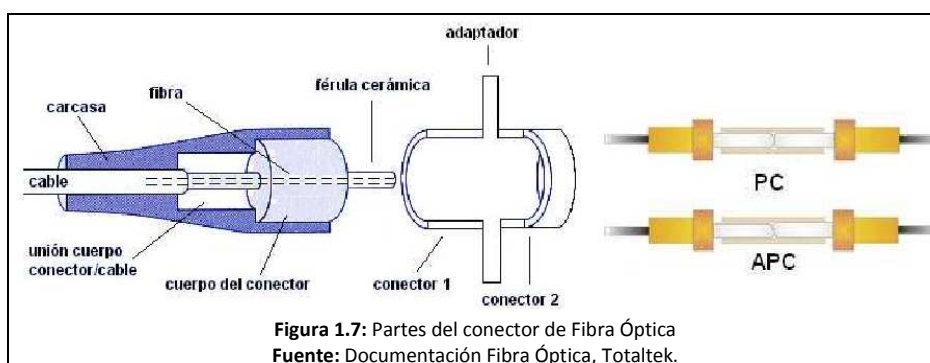
Esta dispersión es ocasionada cuando la variación entre el índice de refracción del núcleo y el revestimiento no es tan notoria, lo cual produce que parte de la potencia óptica de la señal se propague por el revestimiento e incluso vuelva a ingresar al núcleo.

1.1.5.3 Dispersión por Modo de Polarización PMD (Polarization Mode Dispersion)

Este modo se produce por el efecto birrefringente⁴ de las fibras lo cual produce que las componentes ortogonales o modos de polarización viajen a distinta velocidad, lo cual contribuye a la distorsión del pulso en el extremo remoto de la transmisión.

Para sistemas de transmisión de alta velocidad (>10Gbps) y de largas distancias PMD es una limitante, ya que el ensanchamiento de los pulsos produce una interferencia entre símbolos consecutivos, lo cual produce el aumento en la tasa de bits errados.

1.1.6 CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA



Los conectores son elementos terminales de las fibras y tienen las siguientes características.

La fibra se monta a lo largo de la férula cuyo diámetro coincide con el del revestimiento de la fibra y su misión es alinear y proteger mecánicamente a la fibra. El extremo final de la fibra llega al final de la férula, que suele ser pulido o alisado; y que además puede ser de dos formas PC *Physical Contact* o APC *Angled Physical Contact*.

⁴ Birrefringente.- Es el cambio del índice de refracción en los ejes trasversales de la fibra óptica.

Una carcasa protege la unión entre el conector y el cable de la fibra. A diferencia de los conectores electrónicos la mayoría de los estándares de conectores de fibra carece de polaridad macho/hembra, por ello los conectores de fibra se acoplan a través de adaptadores. A continuación se resumen los principales conectores.

Figura	Conector	Pérdidas Inserción ⁵	Característica
	FC	0.5 - 1.0 dB	Monomodo-Multimodo Férula flotante acoplamiento Push/Pull
	FDDI	0.2 - 0.7 dB	Monomodo-Multimodo Férula cerámica acoplamiento Push/Pull
	LC	0.15dB SM 0.10dB MM	Monomodo-Multimodo Férula 1,25 mm cerámica acoplamiento Push/Pull
	MT	0.3 - 1.0 dB	Multimodo Férula 2,45 x 4,4 mm Polímero acoplamiento Push/Pull
	SC	0.2 - 0.45 dB	Monomodo-Multimodo Férula 2,5 mm cerámica acoplamiento Push/Pull
	ST	0.4dB SM 0.5dB MM	Monomodo-Multimodo Férula 2,5 mm cerámica acoplamiento Bayoneta

Tabla 1.1: Conectores de Fibra

Fuente: Tutorial de Comunicaciones Ópticas, Nemesis.

1.1.6.1 Conector SC (*Straight Connection*)

Es un conector plástico de inserción directa, con férula⁶ de cerámica, sujeción *push-pull*, *simplex* o *duplex*, usado tanto en multimodo como en monomodo,

⁵ Pérdidas por Inserción.- es la pérdida que se le agrega a un enlace por la presencia de un conector o empalme.

con pulido convexo PC y APC, en tres colores diferenciados: azul, para monomodo; beige para multimodo y verde para larga distancia.

1.1.6.2 Conector ST (*Straight Tip*)

Similar al Sc pero requiere de un giro del conector para su inserción, es metálico, con férula de cerámica, sujeción a bayoneta, usado en multimodo como monomodo, con pulido convexo PC.

1.1.6.3 Conector FC

El conector FC es un conector de fibra óptica con un cuerpo roscado y su férula flotante ofrece un buen aislamiento mecánico, este conector fue diseñado para su uso en ambientes de alta vibración y es ampliamente utilizado tanto con fibra monomodo como multimodo.

1.1.6.4 Conector LC

Externamente los conectores LC se asemejan a un estándar Jack RJ45, internamente se asemejan a una versión en miniatura del conector SC. Los conectores LC usan una férula de 1,25 mm de cerámica (óxido de circonio) en lugar de la férula de 2,5 mm y su el diseño resiste tirones, lo que proporciona estabilidad en los sistemas de rack montados.

⁶ Férula.- estructura que inmoviliza el conector para la estabilización de la conectorización.

1.1.6.5 Conector FDDI.

Este es el nombre del conector usado en redes FDDI, es *duplex* por lo que posee dos férulas dentro de una cubierta grande de plástico la cual usa un mecanismo de sujeción basado en apretar las piezas.

1.1.6.6 Conector D4

Los conectores D4 poseen un diámetro de 2,5 mm férula de cerámica de alta durabilidad, y tienen un sistema de montaje tipo rosca de alto rendimiento.

1.1.6.7 Conectores BICÓNICOS

Los conectores bicónicos presentan una férula en forma de cono que ayuda a alinear las fibras ópticas en la interfaz de conexión, su robusto diseño hace a los conectores bicónicos muy apropiado para aplicaciones militares.

1.1.6.8 Conector MU

Los conectores y adaptadores MU fueron desarrollados por NTT, y poseen un mecanismo *push-pull*. Se les llama “mini SC” y son más populares en Japón. Las aplicaciones incluyen datos de comunicaciones de alta velocidad, redes de voz, telecomunicaciones, y sistemas DWDM (*Dence Wavelength Division Multiplexing*).⁷

⁷ DWDM.- es una de las variantes de las técnicas de división por longitud de onda en las cuales el término denso hace referencia a la estrecha separación entre las longitudes de onda multiplexadas.

1.1.6.9 Conector RJ-MT

Posee una férula miniatura de dos fibras con dos pernos de guía paralela a las fibras en el exterior. Los guías pasadores alinean las férulas precisamente cuando se ponen en contacto los dos conectores MT-RJMT-RJ.

1.1.7 TÉCNICAS DE EMPALME

Existen fundamentalmente dos técnicas diferentes de empalme que se emplean para unir permanentemente entre sí fibras ópticas. La primera es el empalme por fusión que actualmente se utiliza en gran escala y la segunda el empalme mecánico.

1.1.7.1 Empalme por Fusión.

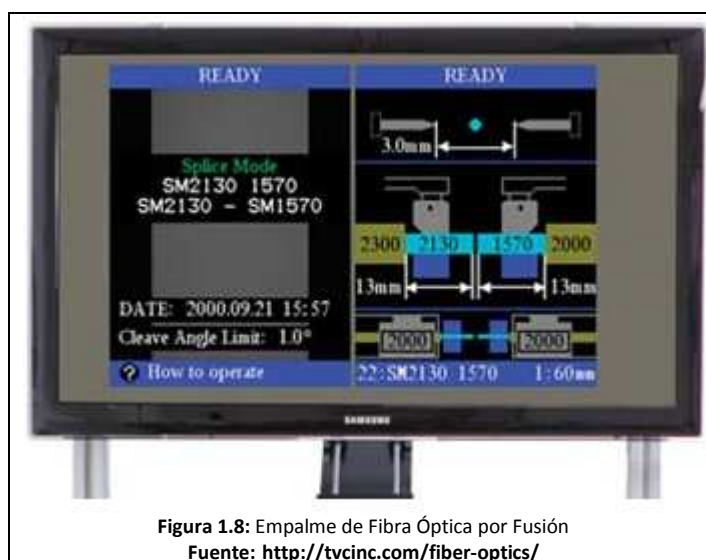


Figura 1.8: Empalme de Fibra Óptica por Fusión
Fuente: <http://tvcinc.com/fiber-optics/>

Esta técnica consiste en unir los extremos de la fibra por medio de un instrumento denominado fusionadora y se busca principalmente lograr el

acoplamiento de los núcleos, para este procedimiento se cumplen las siguientes etapas:

- preparación y corte de los extremos
- alineamiento de las fibras
- soldadura por fusión
- protección del empalme

Se considera que un valor aceptable para una fusión debe ser menor a 0.1dB.

1.1.7.2 Empalme Mecánico



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

Después de realizado el empalme de la fibra óptica se debe proteger con:

- manguitos metálicos
- manguitos termo retráctiles
- manguitos plásticos.

En todos los casos para el sellado del manguito se utiliza adhesivo o resina de secado rápido.

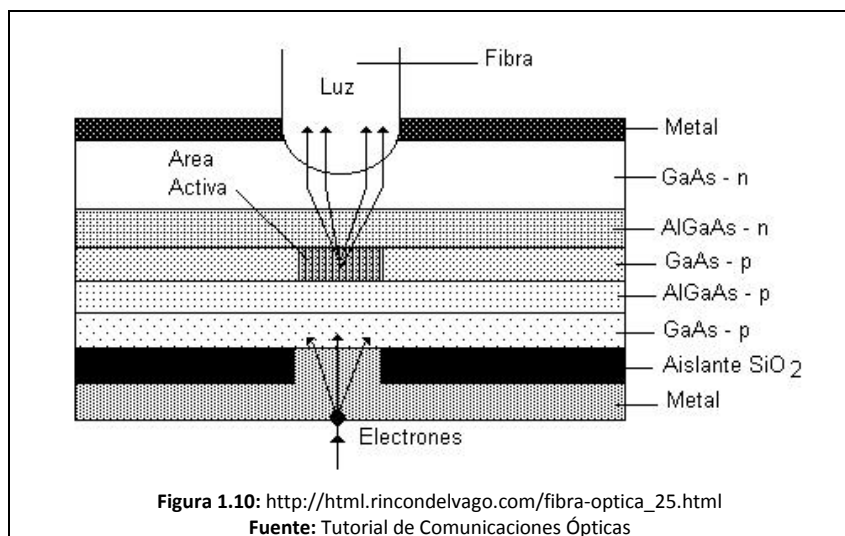
1.1.8 DISPOSITIVOS ÓPTICOS

1.1.8.1 Fuentes de Luz

Las fuentes ópticas utilizadas en las comunicaciones pueden variar desde un simple y económico diodo LED hasta unos costosos diodos láser de alta potencia con complejas estructuras semiconductoras. Así mismo los transmisores varían desde un equipo que emplea una sola fuente emisora hasta equipos donde se tienen varios módulos o etapas que generan una sofisticada electrónica la cual es capaz de controlar temperatura, longitudes de onda, estabilidad y el nivel de potencia de la señal óptica de salida para largas distancias en enlaces DWDM. Para aplicaciones PON los transmisores no demandan sofisticadas características y se prioriza siempre el bajo costo.

1.1.8.1.1 Diodo Emisor de Luz (LED)

Este tipo de diodos emiten señales de luz que se propagan luego a través de fibra óptica, sin embargo actualmente se optan por emisores láser que focalizan más las señales de luz y permite un mayor alcance de la misma utilizando el mismo cable. La anchura espectral de esas fuentes rodea los 35nm en 850nm y los 150nm en 1310nm.



1.1.8.1.2 Diodos Láser (LD)

Los diodos láser basados en semiconductores son ampliamente usados en sistemas de comunicación con fibra óptica, existen dos tipos de laser empleados en PON, y son los *Fabry-Perot* (FP) y los *Distributed Feedback* (DFB), las propiedades claves en estas fuentes incluyen un alto nivel de potencia en la señal óptica de salida, estrecho ancho espectral con valores menores a 3nm y una alta direccionalidad en su radiación de salida para un eficiente acoplamiento al interior de la fibra.

- *Laser FP*

En el laser *Fabry- Perot* (FP) la inversión de la densidad de portadores en la cavidad emisora del laser está definida por las dos caras de un chip semiconductor miniatura, pero esta salida es de espectro ancho lo que no permite que este tipo de laser FP sea útil para transmisiones en largas distancias y a altas velocidades sino más bien en cortas distancias. En las PON un laser FP puede ser usado en 1310nm para upstream y en 1490nm para downstream en enlaces digitales que trabajan con velocidades arriba de los 1.25Gbps. Los niveles de señal de salida de este transductor pueden estar en el orden de -10 a -3dBm, un típico valor del ancho espectral, debe ser menor a 4nm en la ventana de 1310nm y menor a 8nm en la ventana de 1490nm.

- *Laser DFB*

En un laser *Distributed Feedback* (DFB), una serie de reflectores estrechamente separados proveen la retroalimentación de luz de manera distribuida a través de la cavidad del semiconductor para habilitar la emisión laser.

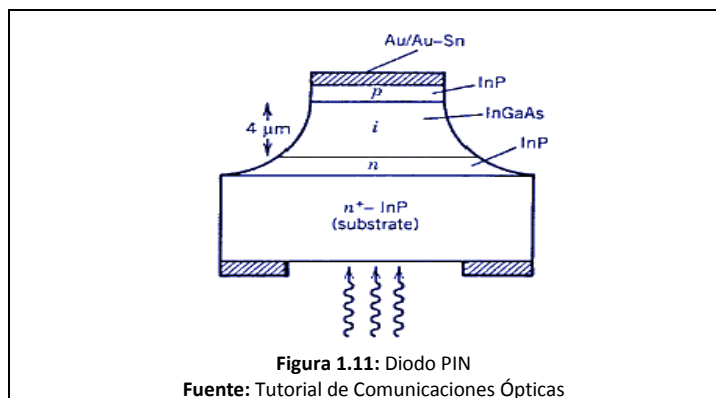
De acuerdo a un adecuado diseño de estos reflectores el dispositivo puede oscilar para un solo modo con un ancho espectral muy estrecho. Esto significa que la emisión se la hace con una longitud de onda muy bien definida. La particular operatividad de la longitud de onda puede ser seleccionada en la fabricación del laser espaciando adecuadamente los reflectores, los laser de FB monomodo son ampliamente utilizados en sistemas de transmisión de alta velocidad y para el envío de señales de video a 1550nm en las PON.

1.1.8.2 Fotodetectores

El fotodetector es el encargado de censar las transiciones de la señal de luz en recepción y convierte dicha variación, en el correspondiente nivel de corriente eléctrica. Debido a que la señal óptica generalmente se ve atenuada y distorsionada al emerger de la fibra, el fotodetector debe cumplir con estrictos requerimientos de funcionamiento.

Existen dos tipos de fotodiodos PIN y APD, y para que la operación oscile entre 1100 y 1700 nm es común el uso de materiales como arseniuro de galio e indio (In Ga As).

1.1.8.2.1 Fotodiodo PIN



La característica principal de este tipo de diodo radica en que por la disposición de su zona de deplexión⁸ mucho más amplia, le permite corrientes eléctricas por estimulación de los electrones en el límite con el contacto eléctrico, adicionalmente es muy estable y confiable.

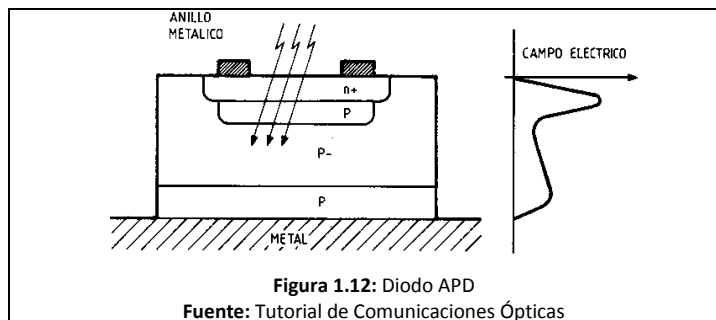
1.1.8.2.2 Fotodiodo Avalancha (APD)

Este tipo de diodo *Avalanche Photo Diode* (APD) multiplica internamente la señal primaria antes de que ingrese a las etapas de amplificación para lo cual necesita ser polarizado con un voltaje inverso mayor que el diodo PIN.

Este efecto de multiplicación avalancha incrementa la sensibilidad debido a que la corriente fotoeléctrica es amplificada antes de que ésta se vea afectada por el ruido eléctrico⁹ asociado al fotodetector.

⁸ Zona de deplexión.- área de incidencia de las señales ópticas por donde se absorben los electrones y huecos.

⁹ Ruido eléctrico.- Señales eléctricas generadas por corriente parásitas, de inducción o remanentes.



1.1.8.3 Multiplexores Ópticos.

Básicamente un multiplexor óptico tiene la característica de intercalar señales provenientes de varios canales y las ubica dentro de una misma fibra por lo cual tiene múltiples funcionalidades dependiendo si se multiplexa en tiempo, frecuencia o longitud de onda.

1.1.8.3.1 Multiplexación por División de Tiempo

Como su nombre lo indica esta técnica se usa para intercalar señales en el tiempo para lo cual se establece periodos de asignación de tiempo denominados slots de tiempo, y va generando tramas de salida en una secuencia lógica para que pueda ser demultiplexada en otro punto terminal de la fibra.

Su principal característica es agrupar varios usuarios dentro de un mismo medio y consiste justamente en asignar a cada usuario un slot de tiempo único en el cual está autorizado para transmitir.

1.1.8.3.2 Multiplexación por División de Frecuencia.

Es una técnica que consiste en dividir mediante filtros el espectro disponible para la transmisión de los datos y desplazar la señal de cada usuario mediante

el uso de una portadora (modulación) de tal manera que se pueda aprovechar el canal constantemente en el tiempo.

Del lado remoto el multiplexor que recibe la señal debe regenerarla, obteniendo de manera separada cada uno de los canales que se encontraban desplazados de su frecuencia original (modulados).

1.1.8.3.3 Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

En esta técnica se permite transmitir varias señales de diferente longitud de onda simultáneamente aprovechando independientemente al máximo las bondades del canal sin que existan interferencias entre las señales transmitidas, lo cual se podría considerar como una multiplicación de la capacidad del canal.

El punto principal que se debe tener en cuenta cuando se implementa un sistema DWM es que las longitudes de onda deben tener una separación apropiada para evitar interferencias entre canales adyacentes. Un diseño básico de una PON dispone las longitudes de onda seleccionadas entre longitudes de onda de 1310, 1490 y 1550 nm. Este espaciamiento permite la operación nominal de las longitudes de onda en los componentes terminales para flujos amplios con factores como cambios de temperaturas y fabricación.

1.1.9 TIPOS DE TENDIDO DE LA FIBRA ÓPTICA

1.1.9.1 Tendido Submarino

Estos sistemas submarinos se componen de cables de fibra óptica interconectados a través de repetidores, que amplifican las señales y permiten alcanzar distancias de hasta nueve mil kilómetros por tramo. Asimismo, resiste las inclemencias de la temperatura, salinidad y humedad, así como las

presiones del agua, ya que se encuentran instalados hasta tres mil metros de profundidad.

El proceso del tendido de la red submarina es complejo y largo. Como primera instancia, antes de llevar a cabo la instalación se realiza un estudio en el cual se traza la ruta del cableado submarino y se especifican los requisitos tecnológicos. Posteriormente, se evalúan los datos geofísicos y en base a ellos se define la ruta real a utilizar. En esta fase se especifican los tipos de cable submarino, empalmes, estructuras y demás equipamiento, incluido el mecanismo de transmisión electrónica.

La instalación del tendido de fibra óptica es llevada a cabo por dos barcos, que después de partir de diferentes áreas geográficas, van desenrollando y sumergiendo el cable, hasta que se encuentran en un punto determinado del océano, es ahí donde se realiza la conexión de los dos puntos. Finalmente, después de comprobar que el enlace funciona correctamente, sumergen los dos extremos de los cables conectados.

1.1.9.2 Tendido Subterráneo

Al momento de realizar este tipo de cableado la opción más típica es el abrir las aceras, lo cual es complicado en centros urbanos por las molestias que produce, alternativamente existen técnicas que utilizan los sistemas de ductos para otros servicios como alcantarillado, sistemas de transporte subterráneo, etc.

Adicionalmente existen otras técnicas de tendido que evitan el tener que abrir zanjas en suelo, entre estos se puede citar el sistema *trenchless*,¹⁰ o el uso de robótica para llegar a ductos de difícil acceso.

¹⁰ Trenchless.- Traslado de túneles mediante perforaciones direccionales

1.1.9.2.1 Cables Blindados

Los cables blindados también llamados acorazados, tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno, lo cual le proporciona una resistencia suficientemente fuerte, para soportar pesos sobre su estructura además de proveerle protección frente a roedores y daños ambientales. El cable habitualmente se lo fabrica en estructura holgada¹¹ aunque también hay cables de estructura ajustada.¹²

1.1.9.3 Tendido Aéreo.

Los cableados aéreos se los realiza en la mayoría de los casos a través de las redes de transporte de energía eléctrica, ya sea por líneas de alta tensión o líneas de distribución, en este tipo de tendido básicamente se utilizan tres tipos de cables.

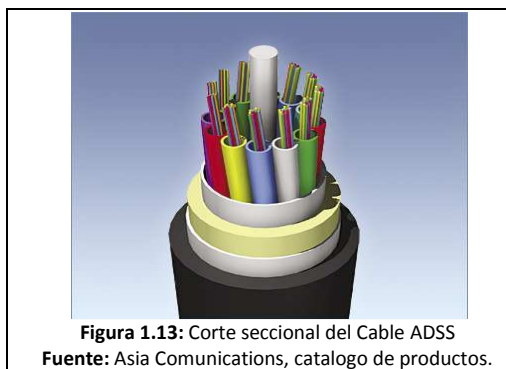
1.1.9.3.1 All Dielectric Self-Supporting (ADSS)

Éste es un cable auto soportado diseñado para instalarse en líneas de alta tensión, en su composición no se incluye elementos metálicos, y su cubierta está protegida para minimizar el efecto *tracking*¹³, adicionalmente su peso es ideal para no generar mayor carga a las torres eléctricas y pueden instalarse en distancias de hasta 600m.

¹¹ Estructura holgada.- cable con tubos de fibras que rodean un tubo hueco de soporte y se disponen de manera holgada

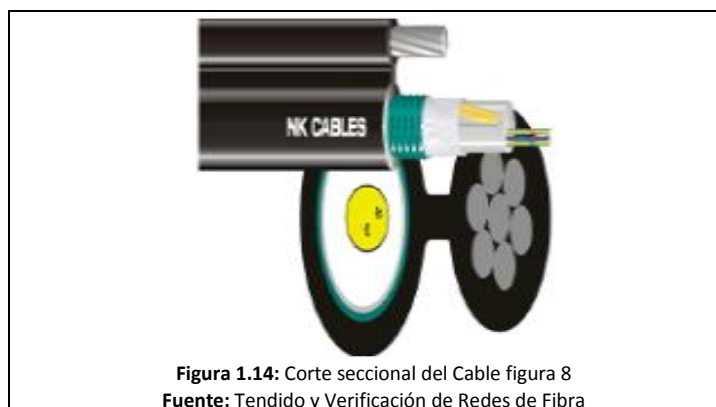
¹² Estructura ajustada.- Cable compuesto por varias fibras con protección secundaria dispuestos de manera ajustada alrededor de una elemento de soporte

¹³ Efecto Tracking.- Carga capacitiva que se puede acumular en la cubierta del cable al estar expuesto a campos electromagnéticos.



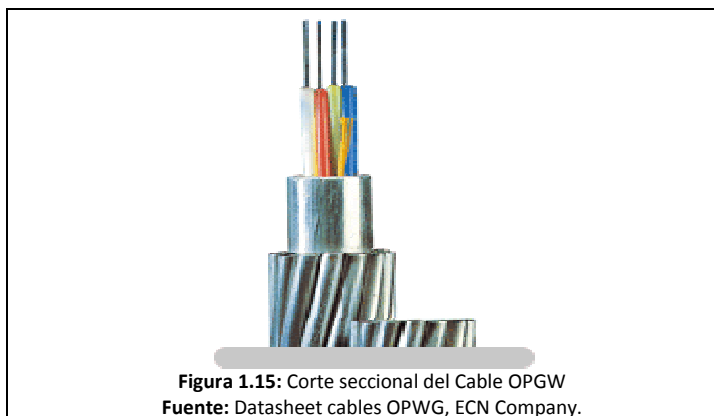
1.1.9.3.2 Figura 8

Este diseño contiene el mensajero unido al cable mediante la cubierta externa. El mensajero actúa como elemento de refuerzo y soporta el peso del cable. Este tipo de cable se usa en instalaciones aéreas con vanos cortos siendo una solución muy económica. En la siguiente figura se puede ver un esquema de estos cables.



1.1.9.3.3 Optical Ground Wire OPWG

El núcleo de fibras ópticas se aloja en el interior de un tubo de aluminio extruido que proporciona protección mecánica al núcleo óptico y al mismo tiempo lo inmoviliza para evitar la humedad o penetración de agua. Este tubo de aluminio provee a su vez alta conductividad eléctrica necesaria para la disipación de las descargas atmosféricas o cortocircuitos accidentales. El número de fibras ópticas contenidas puede llegar hasta 96.



1.2 REDES ÓPTICAS PASIVAS PON (PASSIVE OPTICAL NETWORK)¹⁴

En contraste a las redes convencionales las PON no poseen elementos activos entre la central y las premisas del usuario, en lugar de éstos se usan solamente elementos ópticos pasivos durante toda la ruta de transmisión para guiar las señales de tráfico contenidas entre las longitudes de onda específicas.

Remplazando los componentes activos por pasivos se logra un significativo ahorro en los costos de mantenimiento debido a la eliminación de energía en los nodos y la reducción de los equipos de administración de los componentes activos.

Adicionalmente las redes ópticas pasivas son una gran solución a los problemas que presenta el cobre en el bucle de abonado, que es el sistema tradicional que se ha venido prestando en el país a través de tecnologías como ADSL, pero que presentan limitaciones de ancho de banda especialmente al momento de cubrir grandes distancias.

¹⁴ PON.- término utilizado para referir a las redes ópticas que no utilizan elementos activos entre sus nodos intermedios.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS

En canal descendente una PON es una red punto multipunto. El equipo OLT¹⁵ (*Optical Line Terminal*) maneja la totalidad del ancho de banda que se reparte a los usuarios en intervalos temporales. En canal ascendente la PON es una red punto a punto donde múltiples ONUs¹⁶ (*Optical Network Unit*) transmiten a un único OLT. Trabajando sobre una sola fibra, la manera de optimizar las transmisiones de los sentidos descendente y ascendente sin entremezclarse consiste en trabajar sobre diferentes longitudes de onda.

Al mismo tiempo las arquitecturas PON utilizan técnicas de multiplexión en tiempo TDMA, administrados por el controlador de cabecera OLT, para que los equipos ONUs puedan enviar sus tramas en canal ascendente. De manera equivalente el equipo de cabecera OLT también debe utilizar una técnica TDMA para enviar en diferentes slots temporales la información del canal descendente que selectivamente deberán recibir los equipos de usuario (ONU).

Las redes PON permiten servir a usuarios localizados nominalmente a distancias de hasta 60 Km desde el nodo óptico principal OLT y comparado con las distancias que se pueden brindar con DSL es muy superior en la atención a los abonados, sin embargo la limitación de los equipos solo permiten alcanzar distancias menores a 20Km.

En cuanto al despliegue de las fibras ópticas, las redes PON presentan una gran ventaja con respecto a los enlace punto a punto puesto que minimizan el número de cables que se deben tender en los trayectos de planta externa, especialmente los de distribución principal, lo cual tiene repercusiones positivas en la administración, control de fallas, ornamental y recursos físicos.

Las arquitecturas PON también han tenido que resolver otro aspecto importante: la dependencia de la potencia de transmisión del equipo OLT con

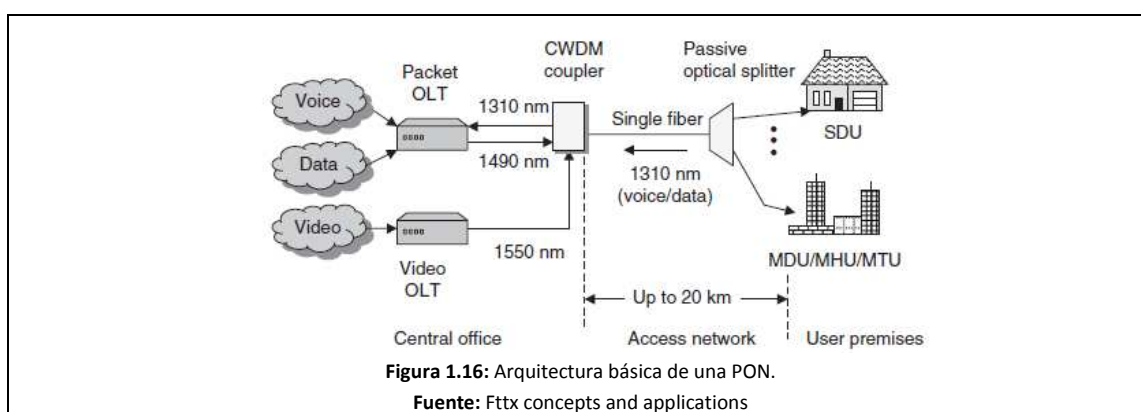
¹⁵ OLT.- Equipo que realiza la interfaz con la red del operador, y administra los equipos OLT en una PON.

¹⁶ ONU.- Equipos que realizan la interfaz con redes de usuarios, llamados equipos terminales dentro de las PONs

la distancia a la que se encuentra el equipo ONU, que como se ha detallado anteriormente, puede variar en el orden de decenas de Km. Evidentemente un equipo ONU muy cercano al OLT necesitará una menor potencia de su ráfaga para no saturar su fotodiodo; los equipos muy lejanos necesitarán que su ráfaga temporal se transmita con una mayor potencia, esta prestación ha sido introducida recientemente en los transceptores ópticos PON, que han simplificado notablemente la electrónica anteriormente necesaria para actuar sobre un control de ganancia externa al transmisor.

1.2.2 ARQUITECTURA FUNDAMENTAL

Como su nombre lo indica, las PON no contienen elementos activos en los puntos intermedios de las rutas de transmisión, en la siguiente figura se muestra la arquitectura básica de una PON en la cual una red de fibra óptica conecta el equipo de conmutación de la central con un determinado número de suscriptores. Como ejemplos de equipos que se usan en la central para interactuar con las PON se incluyen a los *switches* PSTN, *routers* IP, servidores de video bajo demanda, *switches* Ethernet, *switches* ATM y sistemas de almacenamiento de respaldo consistentes en unidades como por ejemplo discos de alta capacidad y bibliotecas de unidad de cinta.



Empezando desde la central una fibra monomodo se extiende hacia un *splitter* óptico en las cercanías de una urbanización, un edificio de departamentos u

oficinas, una zona comercial, o algún otro ambiente de usuario. En este punto el *splitter* que simplemente divide la potencia óptica en N rutas hacia los suscriptores, y está diseñado para dividir la potencia equitativamente. Si se considera a P como la potencia total entrante al *splitter*, la potencia que se destina a cada suscriptor es de P/N . El diseño de los divisores de potencia permite diferentes relaciones de derivaciones, y además es posible tener más de un *splitter* para una ruta de transmisión.

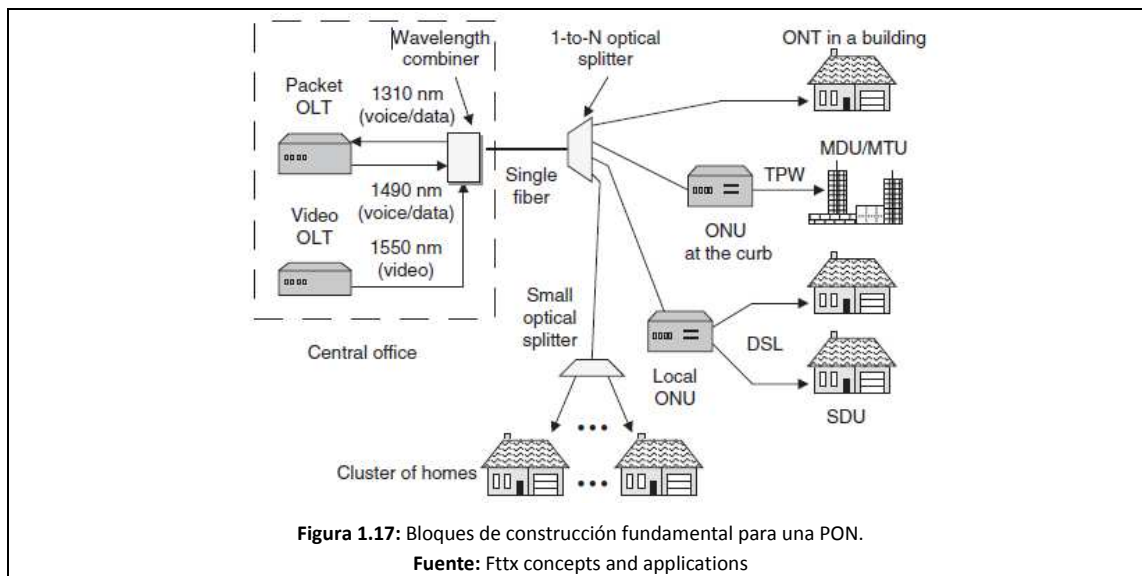
El número de derivaciones puede cambiar de 2 a 64, pero típicamente se usan de 8, 16 y 32. Desde el *splitter* en las premisas del usuario se dirige una fibra óptica hacia el equipo en el lado del cliente. La ruta total de transmisión entre la central y el usuario puede estar sobre los 20km.

Los módulos activos de la red consisten en un terminal de línea óptica (OLT) situado en la oficina del proveedor y otro terminal óptico de red (ONT) o una unidad óptica de red (ONU) en el terminal más lejano de la red.

Como se muestra en la figura 1.17 una ONT se usa cuando las fibras se extienden hasta dentro de las premisas del usuario, mientras que una ONU se usa cuando la fibra termina en algún cuarto de telecomunicaciones cercano a los hogares o negocios, las conexiones de la ONU hacia las premisas del usuario pueden realizarse mediante cables UTP.

En algunas ocasiones esto puede ser ventajoso desde el punto de vista económico para lanzar una fibra desde el *splitter* óptico principal hacia una corta distancia a los hogares y negocios o desde una localización central en un barrio.

Adicionalmente en la misma figura 1.17 se muestra un pequeño *splitter* localizado al final de la fibra y luego enlaces cortos a las premisas de cada uno de los usuarios; en contraste al lanzar un largo enlace hacia cada usuario remoto, esta disposición disminuye significativamente los costos del desarrollo total de la red. El término red de distribución óptica ODN (*Optical Distributed Network*) hace referencia a la colección de fibras y *splitters* o acopladores ópticos dispuestos entre la OLT y varias ONTs y ONUs.



El enlace que conecta la central y el *splitter* óptico es conocido como cable alimentador, un *splitter* óptico puede servir a más de 32 suscriptores, comúnmente se localiza a 10km desde la central y a 1 km del usuario. La distribución de cables se origina en el *splitter*, desde aquí se interconecta directamente con los usuarios o a través de múltiples fibras por medio de una caja de empalmes llamada terminal de acceso y a partir de esta terminal se conectan a las premisas del usuario usando cables de gran flexibilidad.

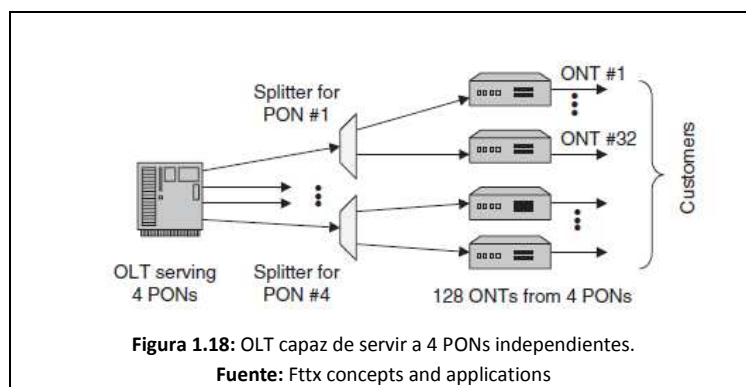
1.2.3 MÓDULOS ACTIVOS

En esta sección se dará una visión general acerca del funcionamiento y composición básicos de los equipos OLT, ONT y ONU; con fines de disminuir la complejidad de la terminología se usará el acrónimo ONT para ambos equipos ONT y ONU.

1.2.3.1 Terminal de Línea Óptica (OLT)

Se localiza en la central del proveedor y controla el flujo bidireccional de información a través de la ODN; una OLT tiene que ser capaz de soportar distancias de transmisión superiores a 20km, en downstream la función de la

OLT es tomar el tráfico de voz, datos y video desde el backbone del proveedor o una red metro y difundirlo hacia todos los módulos ONT de la ODN, en upstream la OLT recibe y distribuye los múltiples tipos de tráfico desde las redes del usuario.



Una OLT típica está diseñada para controlar más de una PON, en la siguiente figura se puede ver cómo una OLT es capaz de servir a cuatro PONs independientes, en este caso si existieran 32 conexiones para cada PON, la OLT pudiera distribuir información a 128 ONTs. Los equipos OLT se pueden adherir a específicos estándares para PON, ya que pueden interactuar con módulos ONT de diferentes fabricantes; adicionalmente, las OLT comúnmente se localizan dentro de la central.

Se usan transmisiones simultáneas para separar los tipos de servicio brindados a través de la misma fibra, utilizando para ello diferentes longitudes de onda como ya se lo ha mencionado anteriormente. Dependiendo del estándar PON que se esté empleando, los equipos de transmisión en *downstream* y *upstream* operan a 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps o 2.5 Gbps; en algunos de los casos se usa la misma tasa de transmisión en ambas direcciones, es decir se tienen redes simétricas. En otros estándares PON la

tasa en *downstream* suele ser mayor que la de *upstream*, en cuyo caso se las conoce como implementaciones asimétricas.

1.2.3.2 Terminal de Red Óptico (ONT)

Como se muestra en la figura 1.15 una ONT se ubica directamente en las premisas del usuario, y su funcionalidad es servir como interfaz para la conexión con la PON en *upstream* e interactuar de manera eléctrica con el usuario, dependiendo de los requerimientos del usuario o conjunto de usuarios, una ONT normalmente soporta una mezcla de servicios entre los que se puede mencionar varias Ethernet de diferentes tasas de transmisión, conexiones telefónicas T1¹⁷ o E1¹⁸ (1.544 o 2.048 Mbps) y DS3 o E3 (44.736 o 34.386), interfaces ATM (155Mbps) y formatos de video digital o analógico.

Existen una gran variedad de diseños en cuanto a la funcionalidad y al chasis para equipos ONTs, los cuales pueden variar desde una simple caja que pueda estar enganchada en los exteriores de una casa hasta una sofisticada unidad montada en un rack electrónico estándar de uso interno que pueden ser empleados en aplicaciones MDU o MTU, como departamentos complejos o edificios de oficinas.

Para un alto rendimiento de un terminal ONT en *upstream* el equipo de conmutación puede mirar dentro de los datos multiplexados por división de tiempo, identificar los canales destino luego de pasar la OLT, y organizar la multiplexación de tal manera que puedan ser distribuidos eficientemente una

¹⁷ T1.- Portadoras T, formato de transmisión digital, transportan circuitos PCM multiplexados en tiempo utilizados en Japón y EE.UU.

¹⁸ E1.- Portadores E, formato de transmisión digital, transportan circuitos PCM multiplexados en tiempo utilizados Europa y el resto de países.

vez que la OLT reciba la información. Éste procedimiento es conocido como *grooming*.

En concordancia con la OLT, una ONT permite también la ubicación de ancho de banda dinámica para facilitar la difusión del tráfico de usuario, el cual típicamente se transmite en forma de ráfagas.

1.2.4 ESTÁNDARES DE LAS REDES PON

Existen varias alternativas en los esquemas de implementación de la PON, las tres principales son *broadband* PON (BPON), Ethernet PON (EPON) y Gigabit PON (GPON). La tabla 1.2 lista algunas de las características de cada una de las metodologías y el estándar a través del cual fueron adheridas, todas estas variantes calzan en la arquitectura de red mostrada en la figura 1.16; la diferencia entre éstas radica en el protocolo de transmisión que usan.

CARACTERÍSTICA	BPON	EPON	GPON
Familia de Estándares	UIT-T G.983	IEEE 802,3 ah	UIT-T G.984
Protocolo	ATM	Ethernet	ATM y Ethernet
Velocidad de Transmisión	622/1244 Downstream 155/622 Upstream	1244 Downstream 1244 Upstream	1244 o 2448 Downstream 155 a 2448 Upstream
Alcance Máximo	20 Km	10 Km	20 Km
Número de Splitters	32	16 nominal 32 permitido	64
AOM	PLOAM + OMCI	Ethernet OAM	PLOAM + OMCI
Soporte Video RF	No	Si	No
Codificación de Línea	NRZ	8b/10b	NRZ

Tabla 1.2: Tecnologías PON y sus características

Fuente: Fttx concepts and applicatios

1.2.4.1 APON, BPON

Broadband PON se basan en la serie de recomendaciones UIT-T G.983 que especifica a ATM como protocolo de transporte y señalización, ocasionalmente se suele referir a esta variante como APON (ATM PON), ésta fue la tecnología PON inicial para la cual se estableció el estándar G.983.1 y ahora es subconjunto de la categoría expandida BPON.

ATM es una tecnología de conmutación y multiplexación de alto rendimiento que utiliza paquetes de longitudes fijas para transportar los diferentes tipos de tráfico, la atracción de ATM es que permitía a los proveedores ofertar múltiples clases de servicios sobre redes METRO o WAN, conectando dispositivos que operan a distintas velocidades y con la capacidad de mezclar varios tipos de tráfico con diferentes requerimientos de transmisión. Debido a que la interconexión entre proveedores poseían en gran parte infraestructura ATM, estos usaban con frecuencia BPON para desarrollar redes de acceso, el interés detrás del empleo de esta tecnología está el hecho de que esta infraestructura tiene la capacidad de ser escalable y posee administración del tráfico además de características robustas en cuanto a calidad de servicio.

1.2.4.2 EPON

El amplio uso de tecnologías de *Ethernet* tanto en las LAN como en las WAN, hace a esta tecnología de transporte muy atractiva en la utilización en redes de acceso; su método es encapsular y transportar los datos en tramas Ethernet, lo que facilita el transporte de paquetes IP sobre enlaces *Ethernet*, por lo que se facilita la interacción de redes Metro y WAN con las existentes LANs Ethernet, comparado con el uso de tecnología BPON.

En términos generales el uso de Ethernet en las redes de acceso es tener Ethernet en la última milla (EFM *Ethernet in the First Mille*). Se tienen tres esquemas posibles de transporte físico para EFM, la siguiente tabla lista las principales características de estas opciones y constan en el estándar

IEEE802.3ah, mismo que especifica las condiciones operativas para máximas distancias de transmisión (10 o 20Km), entre OLT y ONT.

OPCIONES DE CAPA FÍSICA	
EPON	1.- Distancia 10Km; 1Gbps; Splitter 1X16; Una sola fibra monomodo bidireccional.
	2.- Distancia 20Km; 1Gbps; Splitter 1X132; Una sola fibra monomodo bidireccional.
P2P sobre cobre	1000BASE-LX. Rangos ópticos de temperatura extendidos.
	1000BASE-X. 10Km Sobre una sola fibra monomodo bidireccional.
	100BASE-X. 10Km Sobre una sola fibra monomodo bidireccional.
P2P sobre cobre	Distancia de 750m; Transmisión full-duplex de 10 Mbps en pares de cobre sin carga de voz.

Tabla 1.3: Opciones EFM y sus características de capa física

Fuente: Fttx concepts and applicatios

Las otras dos opciones de EFM suponen enlaces dedicados entre la central y el usuario, lo que implica mayor número de líneas de transmisión y además cada enlace usa su propio equipo transductor, a cada extremo del enlace, así por ejemplo suponiendo que se tengan 16 suscriptores se usarían 32 transductores y 16 fibras, este tipo de soluciones no son muy útiles a menos que el usuario requiera gran parte de la máxima capacidad prestada por una línea Gigabit *Ethernet*.

1.2.4.3 GPON

La creciente demanda de grandes velocidades en las redes de acceso, genera el concepto de las GPON con capacidades mayores que las ofertadas por las arquitecturas BPON y EPON. Un objetivo importante era el de desarrollar una PON versátil, con un formato de trama capaz de transportar eficientemente paquetes de longitud variable, a tasas de Gigabit por segundo.

El diseño de GPON sigue el concepto de una PON estándar, y conserva muchas de las características funcionales de los esquemas BPON y EPON,

como el DBA¹⁹ (*Dynamic Bandwidth Allocation*), el uso de mensajes de operación, administración y mantenimiento OAM (Operación, Administración y Mantenimiento), sin embargo, en contraste a estas dos arquitecturas anteriores, las cuales se desarrollan desde un punto de vista del equipo del proveedor, el esquema operacional de GPON es un diseño más bien orientado hacia el usuario.

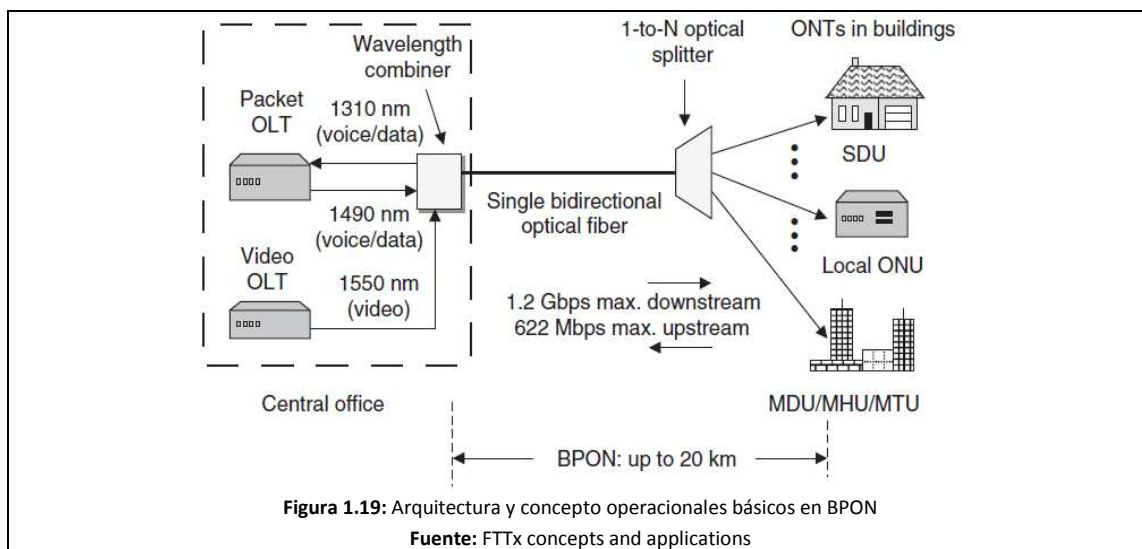
1.2.5 DESCRIPCIÓN BPON

El estándar *Broadband Pasive Optical network* (BPON) está basado en la serie de recomendaciones IUT-T G.983 que especifican el modo de transferencia asincrónico (ATM) como protocolo de transporte y sincronización. Debido a que los proveedores de servicios de telecomunicaciones tienen incluida en gran parte de su infraestructura de red elementos de conmutación ATM, éstos usan tecnología BPON para desarrollar FTTP. Otro aspecto importante de usar esta tecnología es el hecho de que ATM es escalable y posee una capacidad de administración del tráfico flexible, además de robustas características en cuanto a la calidad de servicio.

1.2.5.1 Arquitectura BPON

En la figura 1.17 se muestra la arquitectura y el concepto operacional de una BPON, esta arquitectura sigue la misma disposición que la descrita en la sección anterior, es decir con una distancia de transmisión máxima entre OLT y ONT de 20 Km.

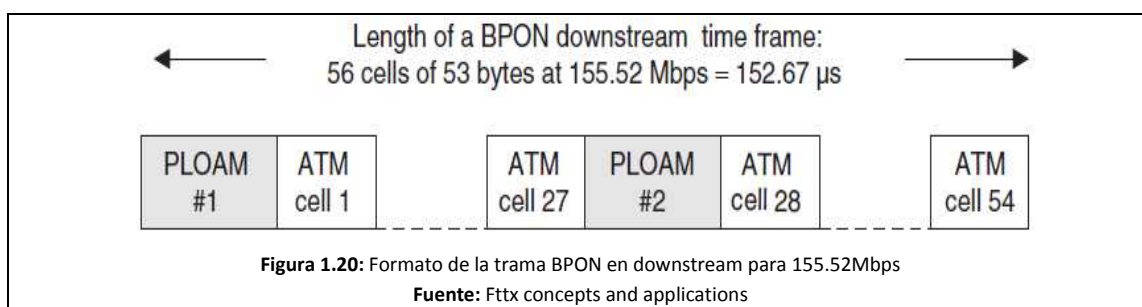
¹⁹ DBA.- se refiere a la asignación dinámica del ancho de banda, en función de las necesidades de los usuarios.



1.2.5.2 Esquemas en el Flujo de Tráfico

Cuando la información de voz y video arriba a la OLT, ésta los transmite a todos los suscriptores en celdas ATM utilizando una multiplexación por división de tiempo, las opciones de la tasa de transmisión son de 155.52, 622.08 y 1244.16 Mbps.

En la figura 1.18 se muestra la trama y sus ranuras de tiempo poseen una estructura especial para 155,52 Mbps, ésta consta de 56 celdas cada una de ellas con una longitud 53 bytes de las celdas ATM, existen dos tipos de celdas una de DATOS donde se incluye la información del usuario y la señalización de dicha información y celdas ATM de operación, administración y manejo de la información (OAM).



El segundo tipo de celdas son de capa física (PLOAM)²⁰, y son responsables de la sincronización, control de errores, seguridad, mantenimiento y ubicación del ancho de banda, para 155,52Mbps las tramas en *downstream* poseen dos celdas PLOAM y se ubican, la primera al inicio y la segunda a la mitad de la trama, por lo que solo 54 de las 56 celdas llevan información, lo cual reduce la velocidad de transmisión a:

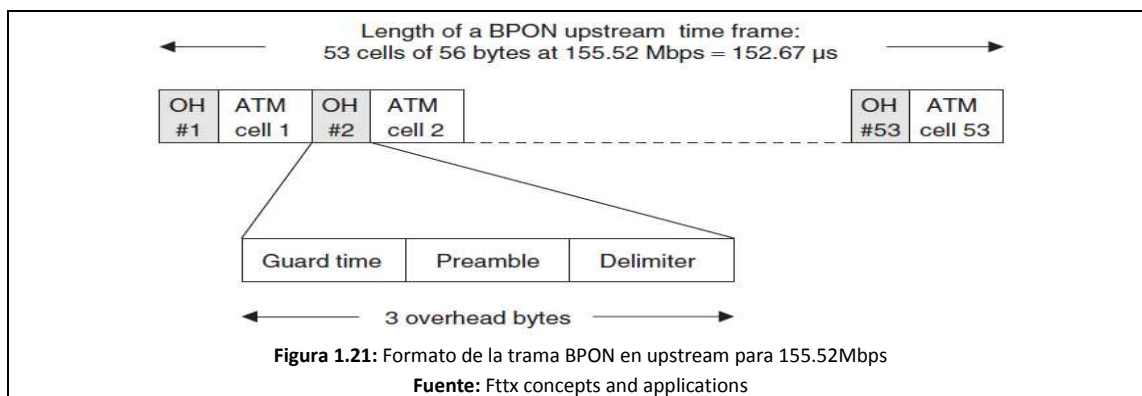
$$54/56 * 155,52 \text{ Mbps} = 149.97\text{Mbps}$$

Para la transmisión a 155.52Mbps el periodo de la trama es de 1532,67µs, para obtener las velocidades de 622.08 Mbps se incrementan las celdas a 224 y para 1244.156 Mbps a 448 celdas, en cuyos casos las tramas contienen 8 y 16 celdas PLOAM respectivamente.

En la figura 1.18 se muestra el formato de la trama en *upstream* la cual consta de 53 celdas cada una con una longitud de 56 bytes, los 3 bytes adicionales por cada celda son de encabezamiento, con lo cual la OLT puede programar para varias funciones y poseen un mínimo de 4 bits de tiempo de guardia, el preámbulo y el campo de delimitación.

El tiempo de guardia provee de distancia suficiente para evitar las colisiones con celdas provenientes de otras ONTs. La información del preámbulo sirve para extraer la fase de la celda ATM entrante con referencia al reloj local de la OLT y puede ser usada para la adquisición de sincronización a nivel de bit. El campo delimitador es únicamente un patrón de bits que indica el inicio de una nueva celda ATM y puede ser usado para la sincronización a nivel de byte. Las tramas de *upstream* también poseen celdas PLOAM provenientes de cada ONT, y es la OLT quien define sus tasas de transmisión para cada ONT, siendo el mínimo cada 100 milisegundos.

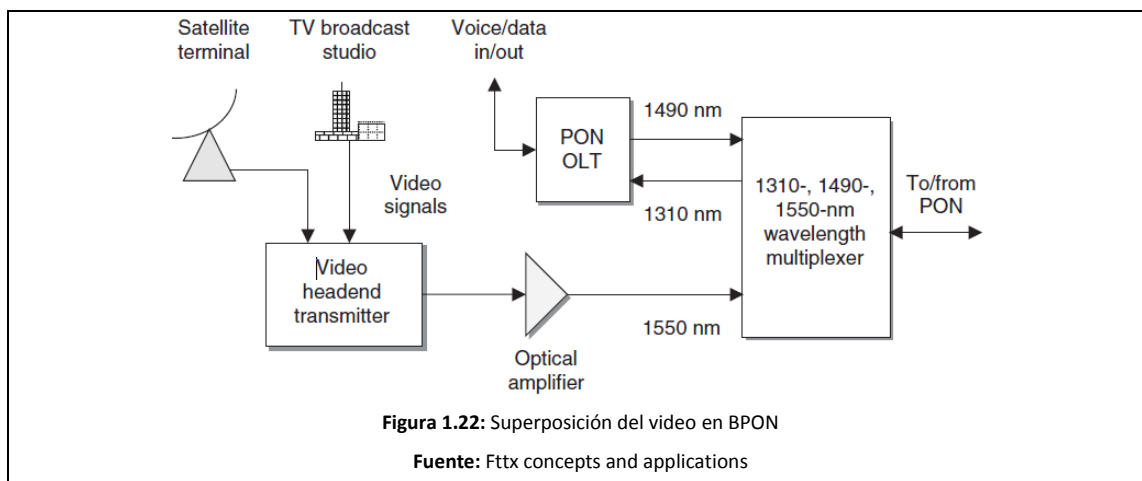
²⁰ PLOAM.- celdas insertadas para el control de la operación administración y mantenimiento de las celdas de información



Dado que las ONTs transmiten usando el esquema TDMA, cada una de ellas debe ser sincronizada con todas sus recíprocas, para lo cual la OLT usa un proceso de jerarquización, dentro del cual la OLT determina cuán lejos se encuentra cada ONT para que una vez se determine dicha distancia la OLT, asigne un time slot para la transmisión de determinada ONT, con el fin de optimizar la sincronización y evitar la interferencia en las transmisiones de las demás ONTs.

1.2.5.2.1 Tráfico del Video

Como se muestra en la figura 1.22 la transmisión en 1550nm provee la superposición del video sobre los servicios del suscriptor. El equipo relativo al video en la central consiste en un transmisor de cabecera que transmite la información recibida de diferentes fuentes analógicas y digitales. La transmisión del servicio se la difunde a los suscriptores por medio del mismo estándar de la sub-portadora con un esquema multiplexado como se lo usa en los sistemas de CATV.



Debido a que la superposición de los servicios se la realiza por la diferenciación en las longitudes de onda, se puede usar cualquier tipo de modulación para el video, por ejemplo se puede usar AM-VSB, QAM64/256, QPSK, e incluso directamente modulación MPEG, sin embargo esto implica tener un sistema WDM adicional en el lado del suscriptor.

1.2.6 DESCRIPCIÓN EPON

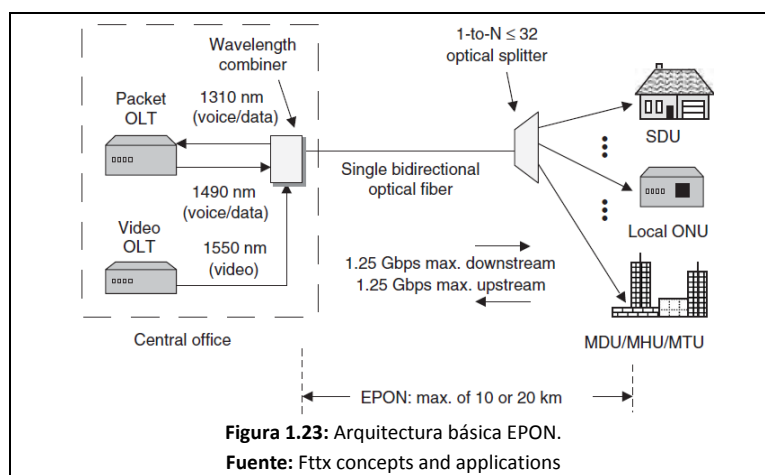
Debido a que el transporte con tecnología ATM posee severas limitaciones como el hecho de la segmentación de los paquetes IP de longitud variable dentro de celdas de tamaño fijo con *payloads* de 48bytes e incluso menos, y que la cabecera de 5 bytes represente alrededor del 10% de paquete, además del hecho de que si una sola celda se daña o se pierde se debe descartar toda la trama y se deba reenviar todo el paquete, todos estos factores hacen que se tenga una acumulación de encabezamiento reduciendo el ancho de banda y exigiendo mayores requerimientos de procesamiento.

El amplio uso de Ethernet en redes LANs y MANs la hace atractiva como alternativa de tecnología de transporte para redes de acceso, debido a que este método encapsula y transporta los datos en tramas Ethernet, lo que es conveniente para llevar paquetes IP sobre enlaces Ethernet, este esquema por

lo tanto simplifica la interoperabilidad entre MAN, WAN y las múltiples LANs instaladas, a diferencia del empleo de tecnologías BPON.

1.2.6.1 Arquitectura EPON

En la figura 1.23 se muestra una arquitectura básica EPON y su principio de funcionamiento



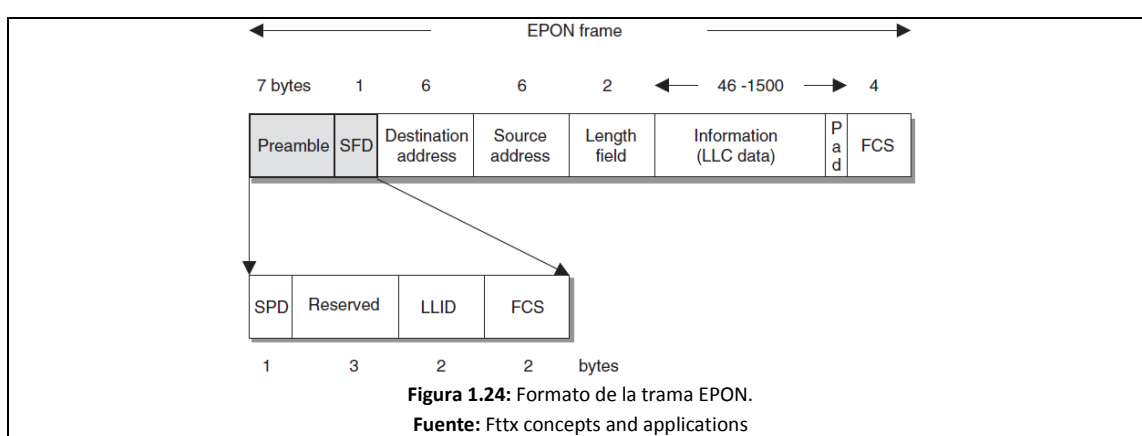
Tal como se lo señala en IEEE.802.3, existen limitaciones para las distancias máximas que se pueden alcanzar entre OLT y ONT, las cuales están entre los 10 y 20Km y dependen entre otras cosas del tamaño del splitter óptico y también el tipo de red según su rango de atenuación (CLASE B) corto alcance o (CLASE C) de largo alcance.

En las implementaciones comerciales de EPON usualmente utilizan chips prefabricados para el control de acceso al medio y capa física, debido a la reducción en los costos y la confiabilidad de estos componentes. Análogo a BPON utiliza la misma disposición en cuanto a las ventanas de transmisión y los servicios que transportan. Debido a que se basa en el protocolo Gigabit *Ethernet*, una PON tiene una tasa de transmisión nominal de 1250Mbps, los cuales se envían usando codificación 8B10B, se incorporan 2 bits de redundancia cada bloque de 8 bits de datos para probar la sincronización

adecuada en la recuperación de la señal y con propósitos de monitoreo de errores.

1.2.6.2 Flujos de Tráfico EPON

En la siguiente figura se muestra el formato de trama *Ethernet* estándar a nivel MAC, el cual puede variar su longitud entre 72 y 1526 bytes y consta con ocho campos funcionales.



En EPON el bloque del preámbulo no es necesario debido a la naturaleza operativa full dúplex de la red, pero es útil para introducir las direcciones de las ONTs en la trama *Ethernet*, por lo tanto en lugar de introducir otro campo de encabezamiento en el formato de la trama se usa este campo para identificar la ONT que debe aceptarla, en resumen se tiene la misma trama *Ethernet* estándar, simplemente se reemplazan los campos del preámbulo y SFD (*Start Frame Delimiter*) como se muestra en la figura 1.24.

- 1 Byte SPD (*Start of Packet Delimiter*), el cual contiene la información de reloj. El marcador de la sincronización es enviada cada 2ms a las ONTs.
- Tres bytes reservados para usos futuros.
- 2 Bytes de banderas llamados LLID (*logical Link Identifier*)

- 2 Bytes de FCS (*Frame Check Secuency*) la cual contiene información de la detección de errores para la trama EPON.

En *downstream* la OLT difunde las tramas Ethernet hacia todas las ONTs, éstas filtran las tramas basadas en las banderas de LLID, y descarta las tramas de otras ONTs así como las tramas de propósito general emitidas por la OLT. Cuando se envía de regreso las tramas hacia la OLT, la ONT inserta su LLID asignado, hay que tomar en cuenta que el LLID es útil solo dentro del enlace EPON, ya que la ONT lo retira de la trama para enviar la información hacia el equipo del usuario.

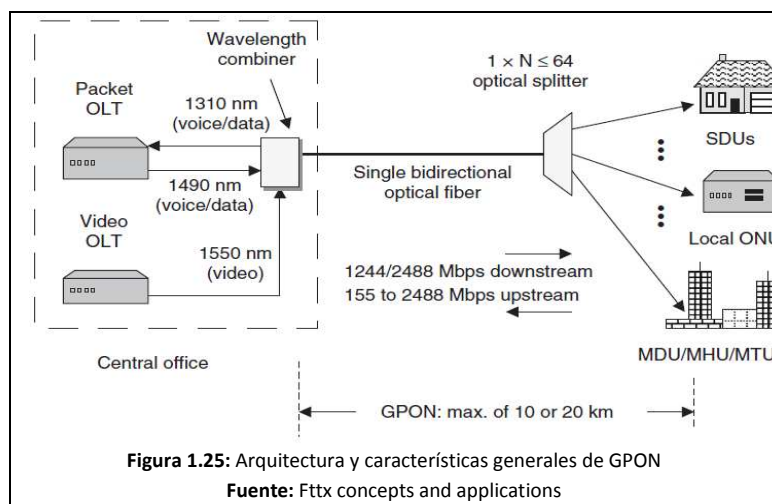
Para transmitir en *upstream* se necesita seguir un proceso especial ya que se deben evitar las colisiones entre los paquetes de las demás ONTs enviados simultáneamente, el proceso es manejado por un protocolo de control multipunto (MPCP), el cual media el acceso al canal. La función del MPCP es designar el ancho de banda dinámicamente a los diferentes servicios de los suscriptores, está descrito en IEEE.802.3ah y no se describe ningún algoritmo de asignación.

1.2.7 DESCRIPCIÓN GPON

La creciente demanda de grandes velocidades en las redes de acceso y el amplio uso de ATM y *Ethernet*, impulsan la idea de desarrollar una PON con capacidades mayores a las arquitecturas de BPON EPON. La mejor opción de estas ideas era desarrollar una PON con un formato de trama que pueda transmitir eficientemente paquetes de longitud variable a velocidades de gigabit por segundo. EL GRUPO FSAN inicio con este esfuerzo en abril del 2001 y el resultado fue la recomendación G.984.4 para Gigabit PON (GPON).

1.2.7.1 Arquitectura GPON

Como se aprecia en la figura 1.25, la arquitectura es la misma que las mencionadas para las PONs, y conserva muchas de las características de las redes BPON y EPON, como la asignación dinámica del ancho de banda (DBA) y el uso de mensajes de operación, administración, y mantenimiento (OAM).²¹



Sin embargo en contraste con las arquitecturas BPON y EPON, las cuales fueron desarrolladas desde el punto de vista del fabricante, el esquema operativo de GPON tiene un diseño más apegado a las necesidades del usuario, esto se lo puede evidenciar en las especificaciones de requerimientos de servicio descritos en G.984.1, el cual considera los requerimientos colectivos de los principales proveedores de servicios alrededor del mundo.

Además, esta recomendación describe características generales como la arquitectura GPON, qué tipos de servicios se pueden brindar, las tasas de transferencias deseadas, los retrasos en las transferencias de señales, y seguridad de la información; nótese que para hacerla compatible con los existentes sistemas BPON G.984.1 mantiene algunos de los requerimientos de la recomendación G.983.1.

²¹ OAM.- Destinado para describir tareas de Operación, Administración y Mantenimiento

1.2.7.2 Especificaciones de los Requerimientos de Servicios para GPON (GSR, GPON Service Requirement)

Primeramente GPON debe ser una red *FULL SERVICE*, es decir que debe soportar todo tipo de servicios, esto incluye Ethernet de 10 y 100 Mbps, la telefonía analógica tradicional, tráfico digital E1/T1, celdas ATM y tráfico de líneas rentadas de alta velocidad.

A continuación se tabulan las principales especificaciones de los requerimientos de servicio.

Parámetro	Especificación GSR
Servicio	Full Servicio; por ejemplo 10/100 BASE-T Ethernet, Telefonía analógica, SONETH/SDH TDM, ATM
Velocidades de Acceso	Downstream: 1.244 and 2.488Gbps; upstream: 155Mbps, 622Mbps, 1.244Gbps, 2.488Gbps
Distancia	Máximo de 10 a 20 Km
Número de divisiones	Máximo de 64
Longitudes de onda	Voz y datos Downstream: 1480 a 1500nm; Upstream 1260 a 1360nm; Video Downstream 1550 a 1560nm
Protección de conmutación	Protección 1+1 Full redundante; Protección 1:N redundante parcial
Seguridad	Seguridad de información a nivel de protocolo por ejemplo Advance Encryption Stándar(AES)

Tabla 1.4: Resumen de las especificaciones de requerimientos de servicios para GPON.

Fuente: Fttx concepts and applicatios

1.2.7.3 Seguridad de la Información en GPON

Como en el caso de otras arquitecturas PON, la información proveniente de la OLT se difunde a todas las ONTs, en consecuencia todos los mensajes pueden ser vistos por cada una de los usuarios enganchados a la red GPON. Por lo cual el estándar GPON menciona el uso de un mecanismo de seguridad de la información que garantice que los usuarios puedan acceder únicamente a los datos que estén destinados a ellos, que asegure que ninguna amenaza de escucha maliciosa sea posible. Un ejemplo de mecanismo de encriptación punto a punto es el estándar de encriptación avanzada (AES, *Advance*

Encryption Standar),²² el cual es usado para proteger la carga útil de las tramas GPON.

1.2.7.4 Flujo de tráfico GPON

La recomendación G.9984.2 describe los requerimientos y especificaciones de la capa dependiente del medio físico para GPON, la cual es equivalente a la capa física de los sistemas con arquitectura ISO /OSI, las especificaciones incluyen las conversiones electro-óptica y viceversa, recuperación del reloj y mecanismos de corrección de errores. La tabla 1.5 resume estas especificaciones.

Parámetro	Especificación GPM23
Velocidad de Acceso	Downstream: 1244y 2448Gbps; Upstream: 155Mbps, 622Mbps,1244Gbps y 2448Gbps
Clases Ópticas	Clase A, B y C; al igual que en BPON
Burst Overhead	Específico de cada velocidad de transmisión
Confiabilidad Datos	Puede usarse Forward error correction (FEC)
Niveles de Potencia	La salida de la ONT puede operar en modo de tres niveles de potencia para adecuar a la tolerancia del fotodetector de la OLT

Tabla 1.5: Resumen de las especificaciones GPM.

Fuente: Fttx concepts and applicatios

1.2.7.4.1 Rendimiento Óptico

La recomendación en G.984.2 especifica el rendimiento de transmisión y recepción en distancias de 10 – 20 Km. Para efectos del cálculo del presupuesto de potencia GPON usa las mismas clases ópticas especificadas en los sistemas BPON. Estos presupuestos de potencia son:

- Clase óptica A: 5 a 10 dB.
- Clase óptica B: 10 a 25 dB.

²² AES.- Algoritmo de cifrado con claves de 128,192, 256 bits y que puede cambiar periódicamente sin disturbar el tráfico de información.

- Clase óptica C: 15 a 30 dB.

En estas atenuaciones están incluidas las pérdidas en las fibras, empalmes, conectores y splitters ópticos; adicionalmente los diseñadores deben considerar otras posibles degradaciones del enlace como por ejemplo empalmes y longitudes de cable adicionales provenientes de las reparaciones de averías en el cable de fibra, el efecto de los factores ambientales sobre el rendimiento de la fibra y degradaciones imprevistas en cualquiera de los componentes pasivos.

1.2.7.4.2 Sincronización y Control de Potencia Óptica

Debido a que el proceso de división tiene una limitada precisión se ubica un tiempo de guardia entre los *burst*²³ consecutivos de las ONTs para evitar colisiones entre paquetes independientes, los intervalos del tiempo de guarda se asignan considerando factores como el tiempo de encendido del laser, el tiempo de apagado; y, la corriente residual de cola del *burst* precedente que se origina por los periodos de descarga de los componentes de la OLT. Nominalmente el tiempo de guarda es de 25,6 ns, y el número de bits que se tengan en este tiempo aumenta conforma a la velocidad de transmisión. Por ejemplo para 622Mbps se tienen 16 bits, para 1244Mbps se tienen 32 bits y para 2488 Mbps se tienen 64.

Cuando una ONT se encuentra cercana a la OLT el fotodetector avalancha del receptor puede percibir una alto nivel de potencia óptica, y a través de un control de potencia óptica en el transmisor de la OLT se evita que el fotodetector en el lado de la ONT llegue a condiciones de sobrecarga, esto se lo hace a través de la implementación de tres modos en los niveles de potencia óptica, en el modelo 1 el transmisor de la ONT opera en condiciones

²³ Burst.- transmisión de altos anchos de banda en cortos periodos de tiempo.

normales en el modo 2 y 3 el transmisor decrementa su potencia en 3 y 6dB respectivamente.

1.2.7.5 Convergencia de transmisión GPON

La recomendación G.984.3 describe la capa convergente de transmisión (*TC layer*)²⁴ la cual es equivalente a la capa 2 en el modelo de referencia ISO/OSI, en esta especifica el formato de trama GPON, el protocolo de control de acceso al medio, procesos de operación y mantenimiento y la información del método de encriptación.

1.2.7.5.1 Formato de trama GPON (Downstream)

Para insertar todos los tipos de servicios (por ejemplo ATM, TDM, EHERTNET) eficientemente se usa un método de encapsulación GPON (GEM, GPON Encapsulation Method)²⁵ este método se basa en GFP²⁶, en la figura 1.24 se muestra el formato de la trama GPON, el cual tiene una periodicidad de 125 μ s, la trama consiste en un bloque de control de capa física (PCB) y un *payload* constituido de un segmento ATM y un segmento GEM. El PCB²⁷ contiene la información de encabezamiento de capa física para control y administración de la red.

Las funciones de cada uno de los campos se describen a continuación.

- Un campo de sincronización de trama de 4 bytes

²⁴ TC Layer, capa de convergencia del medio de transmisión.

²⁵ GEM.- Método de encapsulamiento GPON

²⁶ GFP.- Generic Framming Procedure brindado por la recomendación G.7041

²⁷ PBC.- Bloque de control de capa física

- Un segmento IDENT de 4 bytes que contiene un contador de 8KHz, un bit de estado del FEC en *downstream*, un bit de conversión de la clave de encriptación y 8 bits reservados para usos futuros.

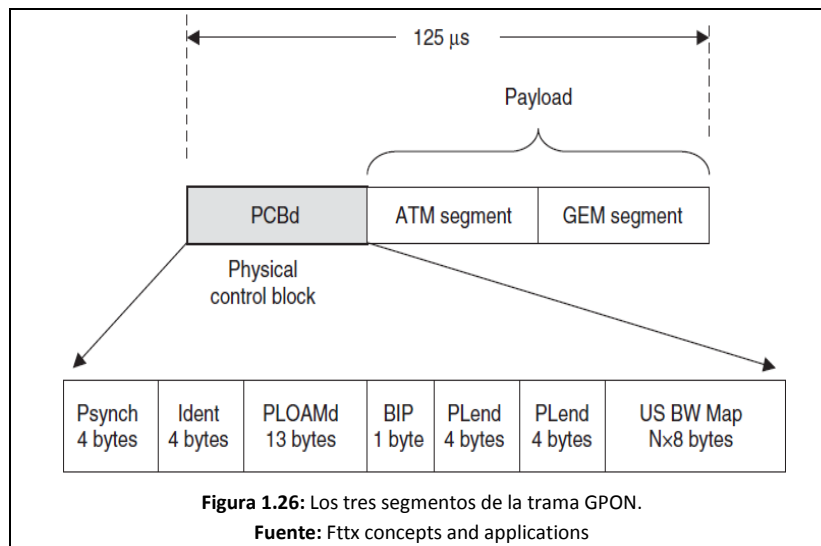
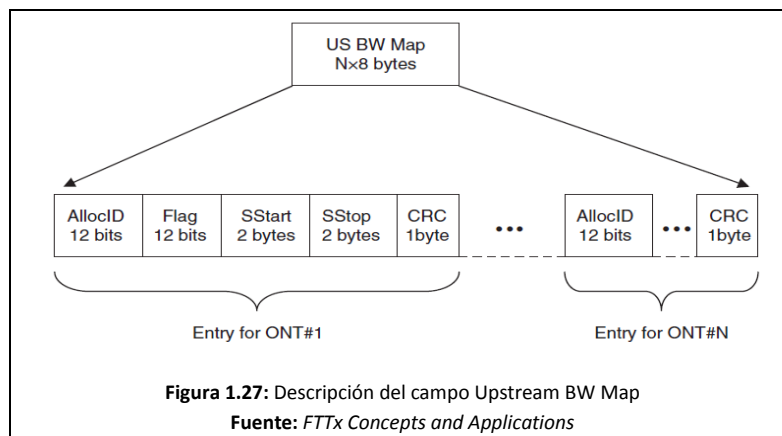


Figura 1.26: Los tres segmentos de la trama GPON.

Fuente: Ftx concepts and applications

- 13 bytes del mensaje de OAM para capa física, el cual maneja funciones como las alarmas relacionadas con la operación y mantenimiento o las alertas de sobrecarga.
- Un campo de 1 byte de la paridad de bit intercalado, usado para estimar la tasa de bits errados.
- 4 bytes para indicar la longitud del *payload* en *downstream* (PLend) el cual da la longitud del ancho de banda del mapa en *upstream* (US BW) y el tamaño del segmento ATM, este campo se lo envía dos veces para crear redundancia y hacerlo robusto frente a errores.
- Los bytes 8XN del mapa del ancho de banda en *upstream* asignan ranuras de tiempo para la transmisión de las N ONTs.

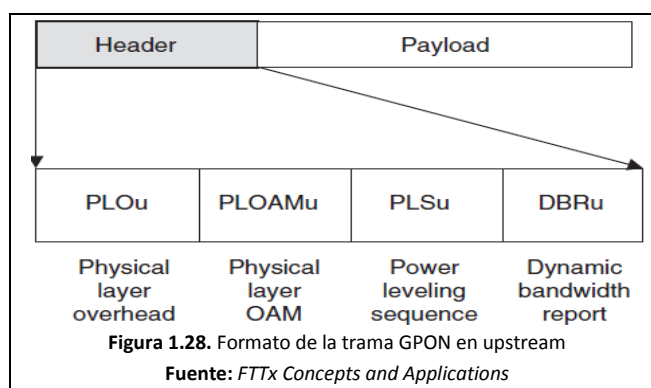


En la figura 1.25 se muestra el campo que mapea la distribución del ancho de banda en *upstream*, a continuación se da una breve descripción de su función.

- 12 bits para el identificador de asignación de cada ONT (*AllocID*), lo cual permite identificar a qué ONT le corresponde la transmisión en el rango limitado por los siguientes campos de inicio y parada.
- 12 bits de bandera que permiten la transmisión en *upstream* de la capa física sobre la cabecera para una determinada ONT.
- 2 bytes de puntero de inicio (*SStart*) que indican el time slot en el que la ONT indicada por el *ALLocID* inicia su ventana de transmisión en *upstream*, este tiempo es medido en bytes; el inicio de la trama GTC en *upstream* es designado como tiempo cero.
- 2 bytes de puntero de parada (*SStop*) que indica el time slot en el que la ONT designada por el *ALLocID* termina su ventana de transmisión en *upstream*.
- 1 byte que provee la detección de 2 bits de errores y la corrección de 1 bit sobre el campo de asignación de ancho de banda.

1.2.7.5.2 Formato de trama GPON (Upstream)

El tráfico GPON en *upstream* consiste en transmisiones sucesivas de una o más ONTs como se lo ilustra en la figura 1.26, la secuencia particular de tramas está basada en la designación de las ranuras de tiempo y que está a cargo de la OLT; para permitir la recepción adecuada de las tramas enviadas en modo de ráfaga se necesita añadirle un cierto encabezamiento al inicio de cada *burst*, el cual tiene hasta 4 tipos de encabezamiento PON y una carga de datos variable, estos campos añadidos son los siguientes:



- Encabezamiento de capa física (PLOu) al inicio del *burst* de cada transmisión por parte de una ONT existe un preámbulo que asegura la correcta operación de la capa física como pueden ser un bit y byte de alineación.
- Un campo de operación, administración y mantenimiento de capa física (*PLOAMu*), el cual es el responsable de varias tareas como la activación de la ONT, alarmas de notificación. Consta de 13 bytes e incluyen los mensaje se *PLOAM* como se define en G.983.1 y está protegido contra errores por los CRC (*Cyclic Redundancy Check*) que usa una detección de errores polinomial estándar y código de corrección.
- El campo de secuencia del nivel de potencia (PLSu) contiene la información acerca de los niveles de potencia en la ONT para que puedan

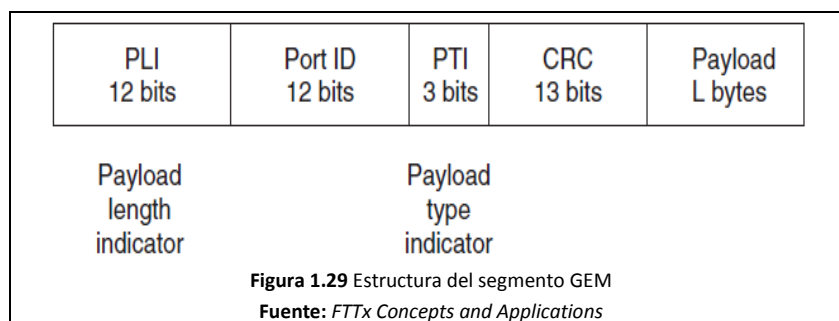
ser detectados por la OLT y de esta manera poder ajustarlos convenientemente.

- El campo de reporte de ancho de banda dinámico (DBRu) informa a la OLT la cola de cada *Alloc.ID*²⁸ en una ONT. Esto permite la operación apropiada de los procesos de asignación de ancho de banda y está protegido contra errores por el CRC.

1.2.7.5.3 Segmento GEM (GPON Encapsulation Method)

El método de encapsulación funciona de manera similar al de ATM , con la diferencia de que este usa formatos de trama variable, por lo tanto GEM provee un medio genérico para enviar diferentes tipos de servicios, la encapsulación del *payload* puede llegar hasta los 1500 bytes y si una ONT contiene un paquete superior a esta longitud lo debe dividir en dos para poder ajustarlo al tamaño máximo de la trama, el equipo de destino es el responsable de ensamblar el paquete fragmentado al formato original.

En la siguiente figura se muestra la estructura del segmento GEM, el cual está constituido por cuatro campos de encabezamiento y uno de carga con L bytes de longitud; y, se disponen de la siguiente manera:



²⁸ Alloc ID.- Es el identificador de asignación designado para cada ONT

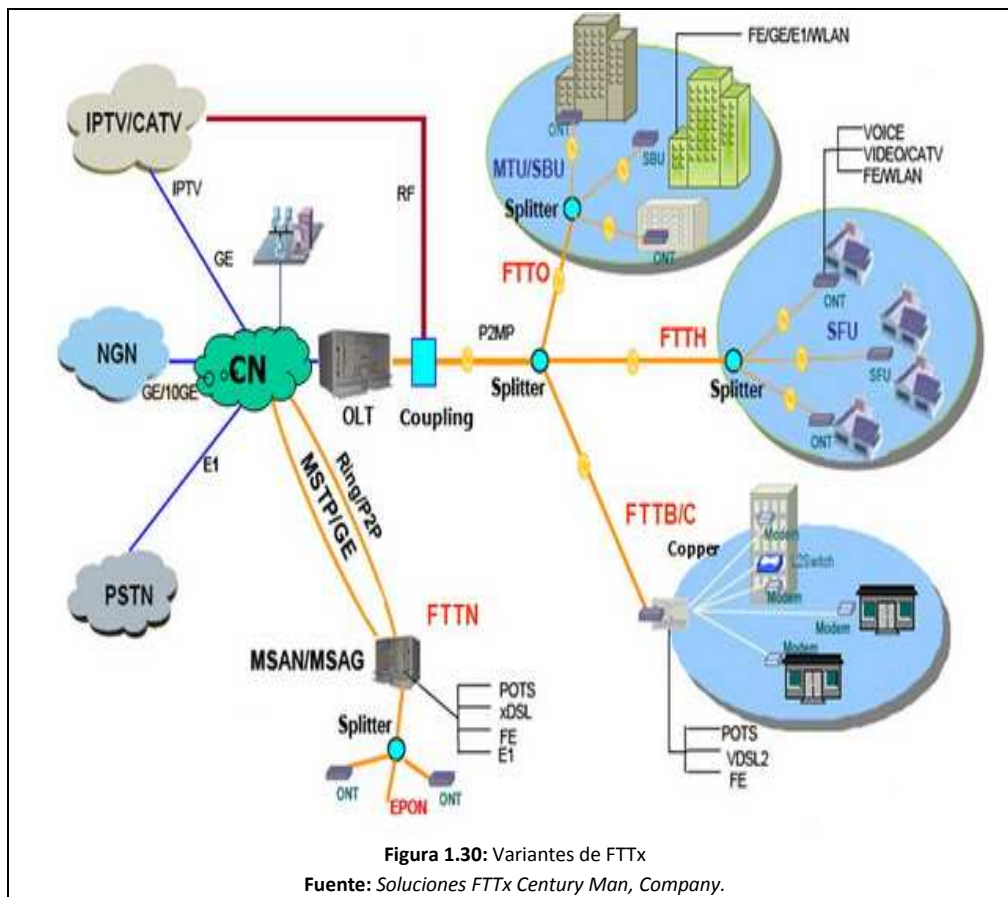
- Un indicador de 12 bits de la longitud de la carga encapsulada (PLI), dicha longitud se mide en bytes.
 - Un campo del número de identificación del, el cual indica qué tipo de servicio pertenece la fragmentación.
 - Tres bits que indican el tipo de carga (PTI), el cual indica si el fragmento es el final del datagrama del usuario, si el flujo de tráfico está congestionado o si la carga del GEM posee información de OAM
-
- 13 bit de CRC29 para controlar los errores en el *header* y que a su vez habilita la corrección de dos bits erróneos y la detección de tres.

Una ventaja del esquema GEM es que provee de un medio eficiente para encapsular los paquetes de información del usuario. La razón para usar encapsulamiento en GPON, es que éste permite la administración adecuada de los múltiples servicios provenientes de las diferentes ONTs que comparten el enlace de transmisión óptica. El propósito de la fragmentación es enviar paquetes provenientes del usuario independientemente de su tamaño y cubriendo la confiabilidad del paquete original de la ventana de transmisión de capa física en GPON.

1.2.8 VARIANTES DE LAS REDES FTTX

La aplicación de las tecnologías PON para brindar conectividad de acceso banda ancha para hogares, unidades ocupacionales múltiples, y pequeños negocios se la conoce como FTTx, donde la designación de la letra x es el indicador de cuán cerca se encuentra el extremo final de la fibra con respecto al usuario real.

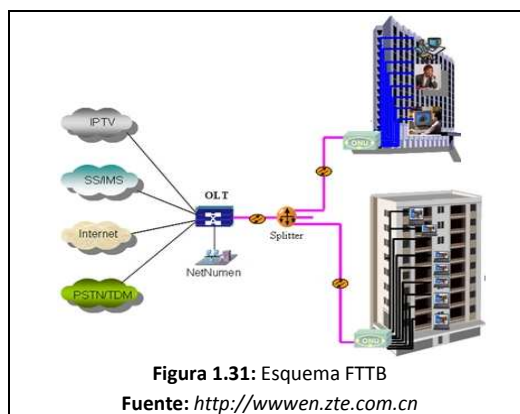
²⁹ CRC.- Control de redundancia Cíclica.



A continuación se describen las variantes más comunes:

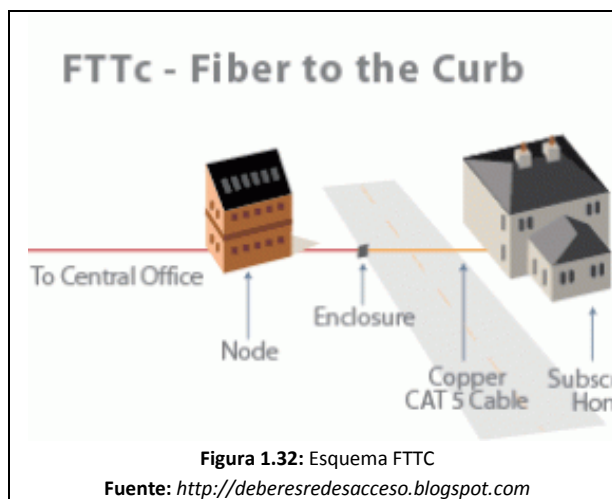
1.2.8.1 FTTB (*fiber-to-the-business*)

En este caso la red PON se extiende desde la OLT en la oficina central hasta un cuarto de equipos ubicado dentro de un centro de negocio, para luego interconectarse a la red interna del establecimiento.



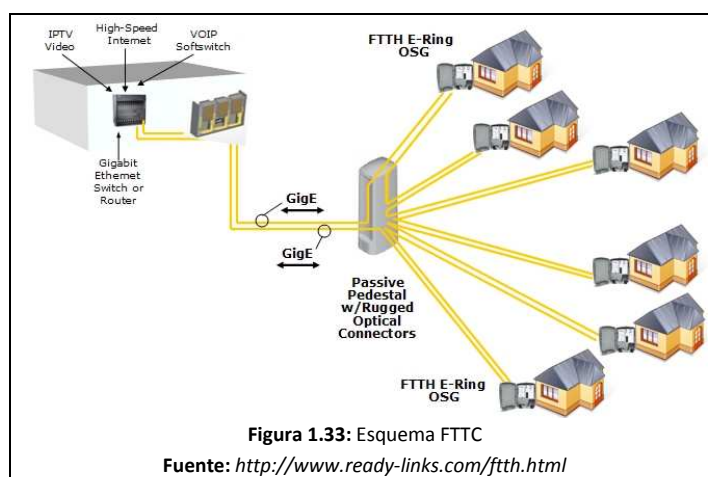
1.2.8.2 FTTC (*fiber-to-the-curb*)

En este caso el equipo ONU se encuentra a distancias no mayores a los 300m medidas desde el usuario final, y desde este punto se puede llegar con pares de cobre.



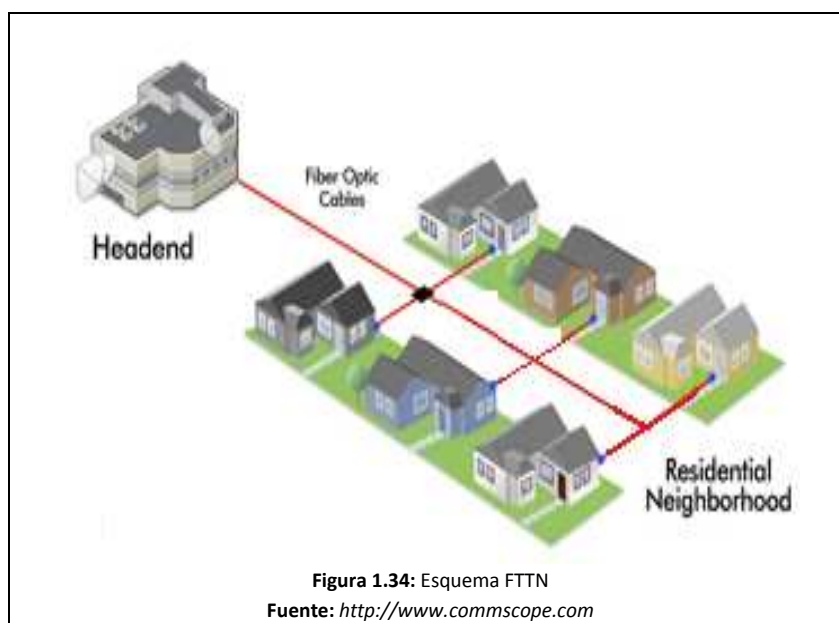
1.2.8.3 FTTH (*fiber-to-the-home*)

Esta solución realiza la incursión de la fibra hasta el domicilio de los usuarios colocando un equipo en las premisas del usuario.



1.2.8.4 FTTN (*fiber-to-the-neighborhood*)

Este esquema llamado también fibra al nodo, dispone el equipo terminal en un punto cercano a los usuarios finales, generalmente en gabinetes y desde aquí se distribuye a través de otras tecnologías como ADSL, VDSL, etc.



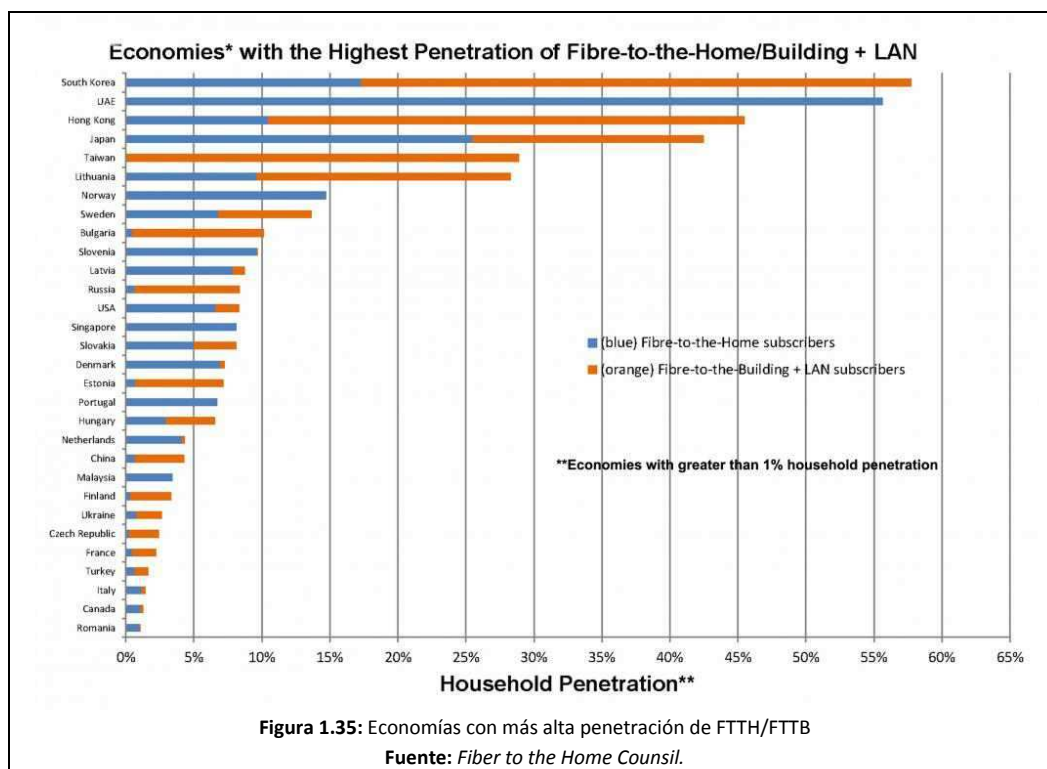
1.3 DATOS ESTADÍSTICOS SOBRE FTTX.

Es importante analizar las cifras de la penetración de fibra óptica hasta los hogares para poder visualizar como se encaminarán las redes de datos en los próximos años, en el caso de fibra hasta el hogar o negocio existe una organización a nivel mundial que analiza, norma y agrupa los trabajos en este campo y se denomina el consejo de fibra a la casa. (*Fiber to the Home Council*).³⁰

³⁰ FTTH Council.- Entidad formada principalmente por operadores de servicios y consultores de servicios *fiber to the home* a nivel mundial, en el cual se intenta normar y estandarizar el uso de estas tecnologías.

1.3.1 DATOS DEL CONSEJO DE FIBRA AL HOGAR.

Este organismo ha publicado recientemente una lista de los países con mayor penetración de este tipo de tecnologías dentro del cual destaca hace varios años ya como líder, Corea del sur con una penetración que bordea el 58% de en hogares; a continuación se presenta una gráfica con dicha información.



Adicionalmente el mismo organismo analiza el año en que se ha alcanzado una madurez en la tecnología FTTX por parte de algunos países, y estima también cuando será alcanzada por otros países de acuerdo a la tendencia de su evolución, esto se lo puede ver en la siguiente gráfica cronológica.

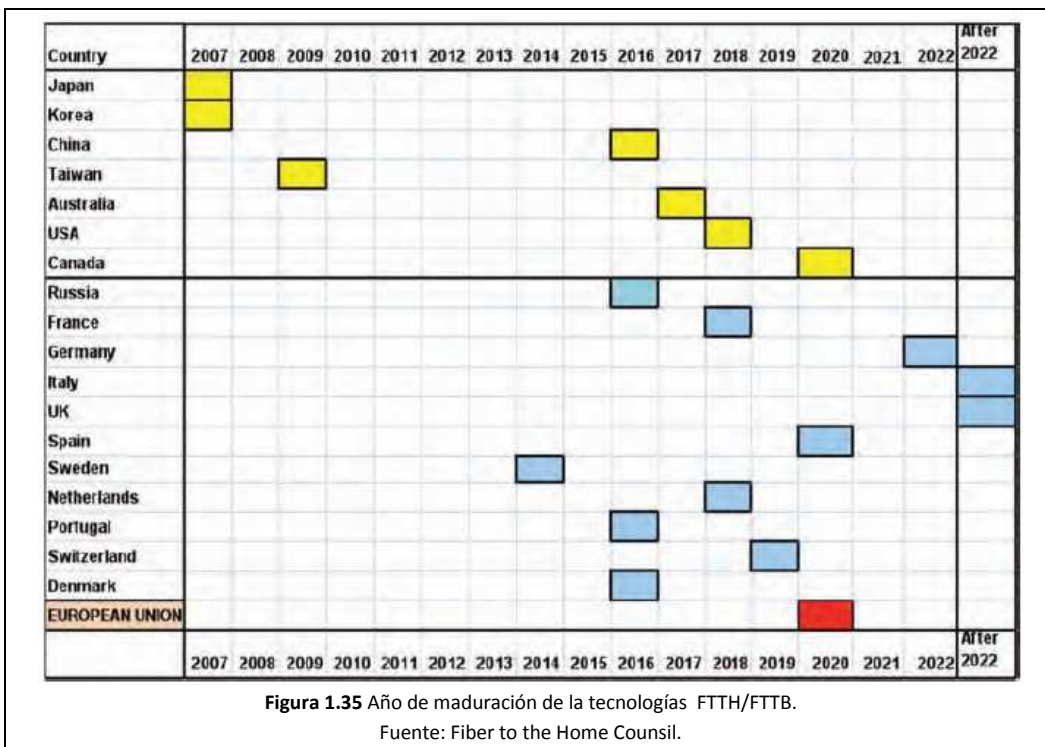


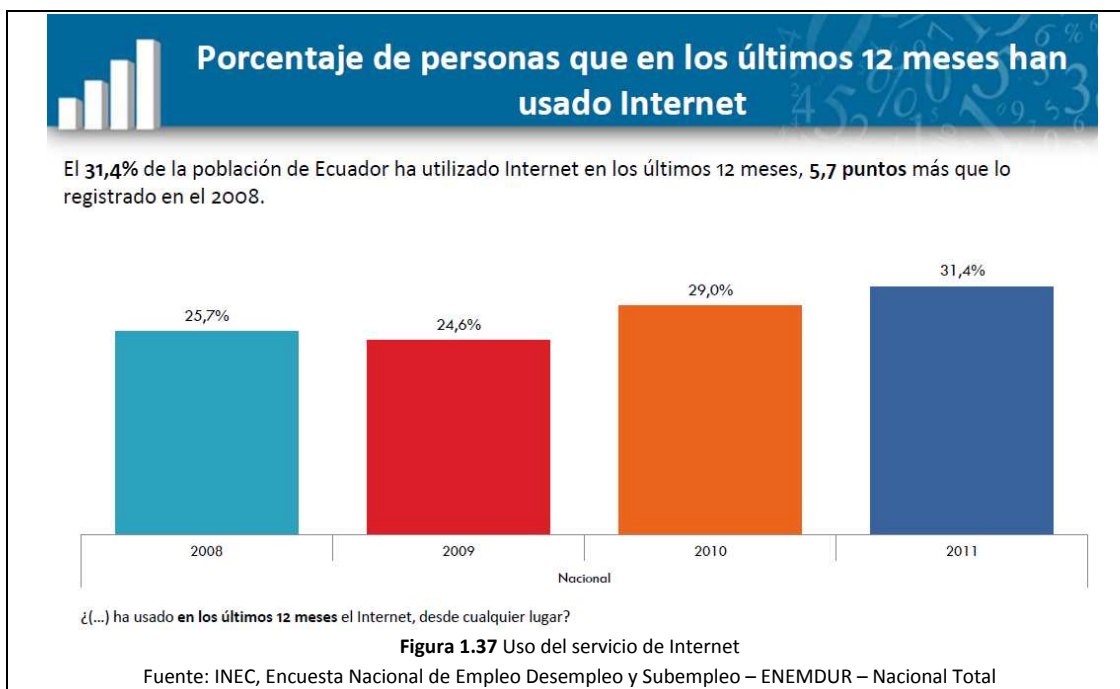
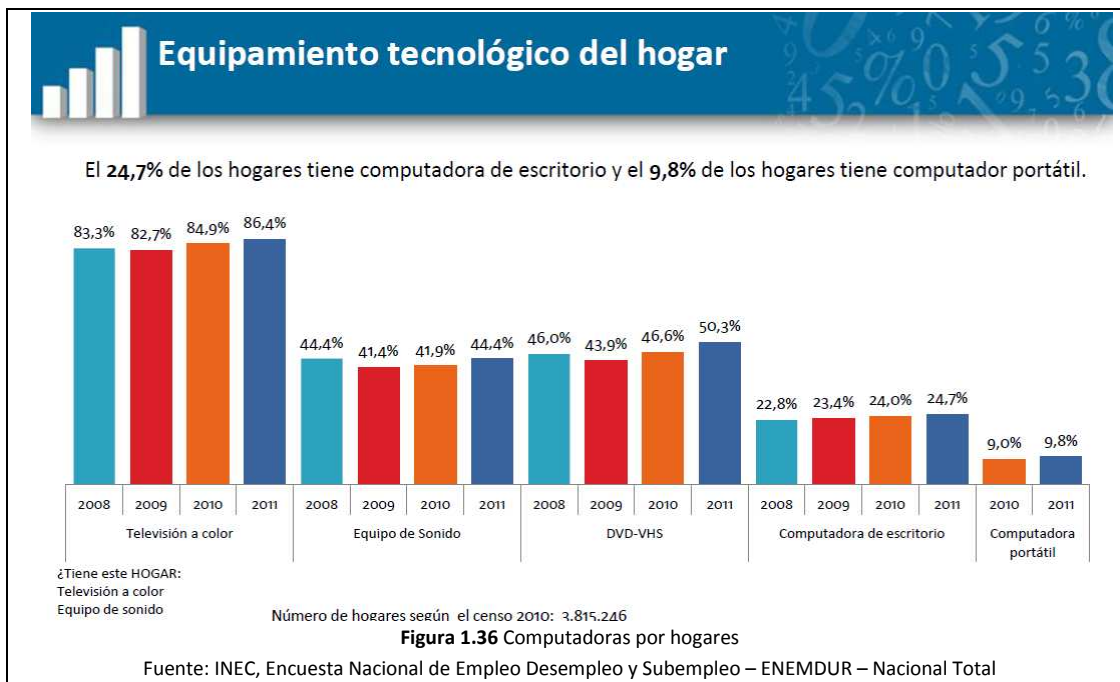
Figura 1.35 Año de maduración de las tecnologías FTTH/FTTB.

Fuente: Fiber to the Home Council.

1.3.2 DATOS DEL USO DE TECNOLOGÍAS EN ECUADOR.

A partir de los datos encuestados en el último censo de población y vivienda realizado por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)³¹, se proporcionan los siguientes gráficos en cuanto al uso y tendencias de computadoras e Internet.

³¹ INEC.- entidad gubernamental encargada de gestionar los datos estadísticos de la población y sociedad.



Analizando estas cifras se muestra que actualmente la penetración del uso del computador bordea el 30% de la población, lo cual significa que existe un gran mercado por abarcar dentro de las tecnologías de la información y comunicación, además el porcentaje de crecimiento desde el año 2008 no es

muy significativo lo cual nos lleva a percibir que es necesario emprender políticas rigurosas para la difusión de tecnología, ya que esto es vital para llegar a una sociedad de la información, la cual esté habida por servicios de comunicación.

Adicionalmente según los resultados de la encuesta presentados en la figura 1.37 el uso del Internet entre los ciudadanos del país sobrepasa el 31%, lo cual es bueno considerando que la gran parte de este porcentaje pertenece a la población económicamente activa, sin embargo es indiscutible que se debe trabajar arduamente para incrementar el uso de esta herramienta para que en un futuro podamos desarrollar la mayor parte de nuestras actividades en línea.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE LA RED DE ACCESO FTTX

2.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA ARCLAD S.A.

La empresa Arclad S.A. está dedicada a la fabricación y desarrollo de materiales autoadhesivos y artes plásticas que son empleados en distintas áreas como publicidad, etiquetas, empaques para diversas industrias lo que hace posible que la marca de la empresa esté presente cotidianamente en la conciencia del consumidor.

Actualmente cuenta con 30 años de experiencia en el mercado, tiempo en el cual se ha afianzado entre sus consumidores como socio estratégico, pues además de entregar un producto bien logrado y de buena calidad, brinda asesoramiento técnico para encontrar la mejor opción en cuanto a las necesidades de sus socios comerciales.

La casa matriz de la empresa se encuentra en Colombia, sin embargo tiene presencia con infraestructura y recursos propios en Ecuador, Perú, Venezuela, México y Costa Rica, además tiene presencia en casi toda Centro América y América del Sur a través de empresas filiales, en el país la empresa cuenta con centrales de abastecimientos en cinco ciudades desde las cuales se distribuye los productos a sus consumidores y sus direcciones son:

- *Ambato*: Bolívar 3345 entre Quito y Guayaquil
- *Guayaquil*: Víctor Manuel Rendón 401 y Córdova
- *Riobamba*: Av. 10 de agosto y García Moreno
- *Cuenca*: calle Sucre y presidente Borrero
- *Ibarra*: Atahualpa 1743 y Teodoro Gómez
- *Quito*: Av. José Andrade Oe-298 y Juan de Selis.

2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE CNT E.P.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones es la empresa de mayor participación en el mercado local, sobre todo en la provisión de telefonía fija sin embargo en los últimos años está alcanzando una gran penetración en la prestación de servicios de Internet banda ancha y televisión IP, adicional a todo esto debido a su sinergia con la ex operadora estatal Telexa S.A., hoy por hoy tiene la capacidad de brindar panes comerciales que incluyen también telefonía móvil.

En cuanto a las comunicaciones de datos por fibra, en la actualidad la mayor parte de usuarios corporativos tienen enlaces punto a punto.

2.2.1 RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA CORPORACIÓN

En su calidad de empresa pública prima la labor social, de tal manera que se provea de las tecnologías de la comunicación e información a la mayor cantidad de ciudadanos en el territorio nacional, siempre de la mano de proyectos que le garanticen su auto sustentabilidad como corporación.

Dentro del Plan Nacional de Conectividad se tiene como objetivos principales ampliar las capacidades de acceso y desarrollar infraestructura para favorecer la inclusión social y mejorar la atención a los usuarios de los diversos servicios brindados.

2.2.2 CONECTIVIDAD INTERNACIONAL

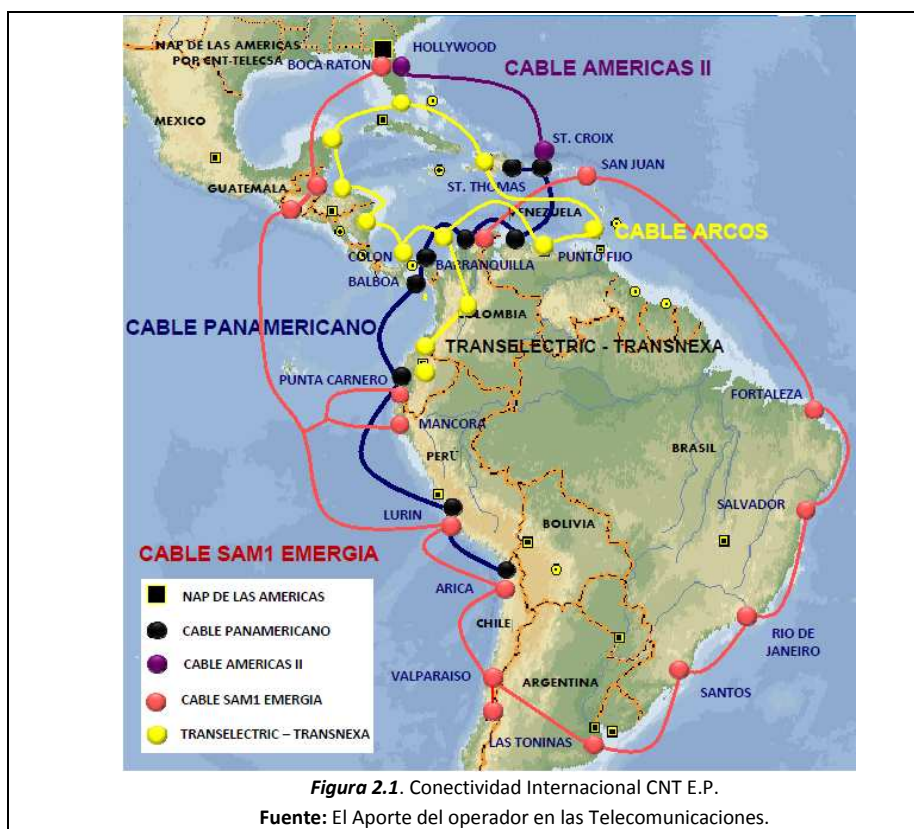
Para la interconexión internacional, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones cuenta con varias vías de acceso a las redes mundiales, a continuación se muestra un resumen de éstas así como sus principales características.

Acceso Internacional	Inicio Operación	Servicios	Capacidad
NAP de las Américas	2003	telefonía Internacional, Internet	
Cable panamericano	2000	Acceso a Internet	160 STM1 ³⁰
Cable Américas II	2010	Acceso a Internet	160 STM1
Cable SAM I Emergia	2007	Acceso a Internet	32 STM1
Traselectric - TRANSNEXA	2003	Acceso a Internet	16 STM1

Tabla 2.1.- Medios de acceso Internacional CNT E.P.

Fuente: El Aporte del operador en las Telecomunicaciones.

En el siguiente gráfico se muestra las rutas de cada una de las vías de acceso inmersas en el cuadro 2.1.



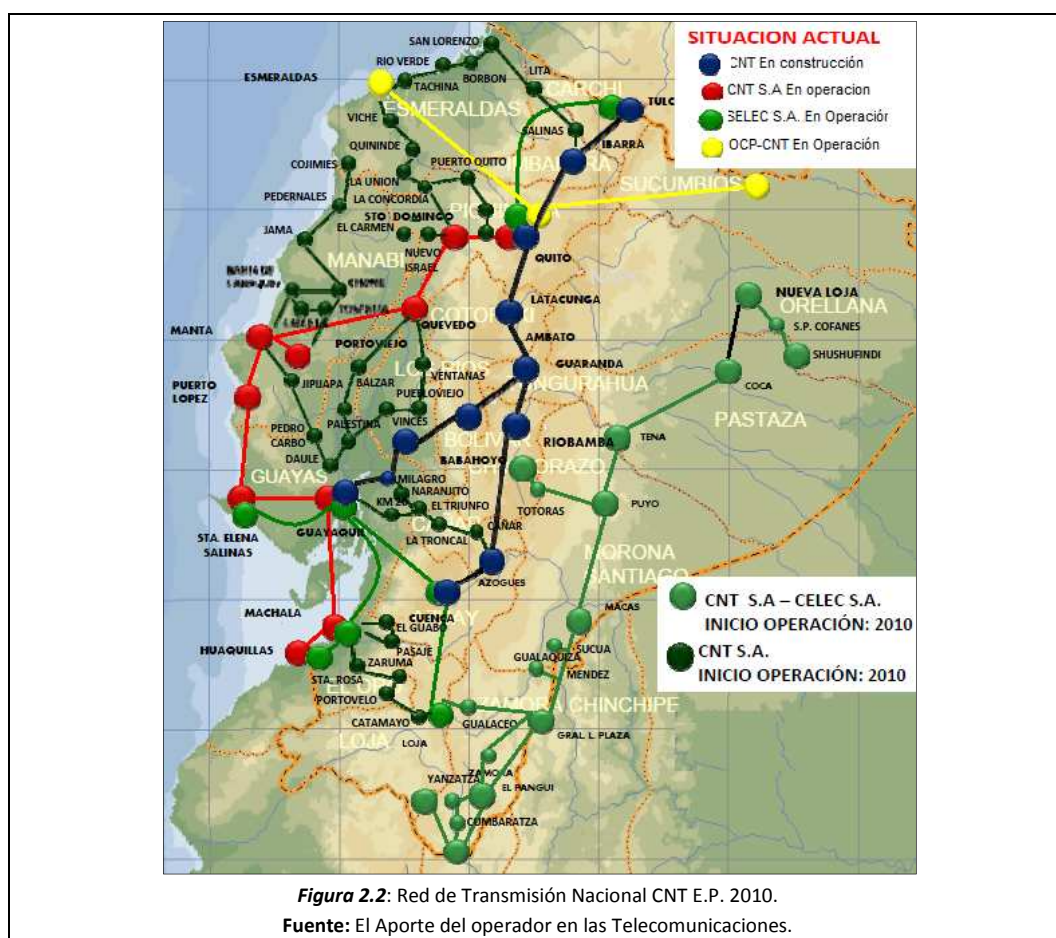
2.2.3 RED NACIONAL DE TRANSMISIÓN

A continuación se muestra el estado actual de la red nacional de transmisiones, la cual está implantada sobre cables de fibra óptica y que

³² STM1.- Unidad de transmisión básica de la jerarquía SDH, correspondiente al primer nivel.

utilizan una multiplexación DWDM³³ permitiendo con esto llegar a la mayor parte de zonas pobladas dentro del país con gran capacidad para soportar los servicios de voz, datos y video.

Es importante mencionar que existen planes de expansión de esta red para soportar los inminentes incrementos en la demanda de los servicios de telecomunicaciones, en función de la masificación del servicio de Internet banda ancha gracias a la reducción del precio.

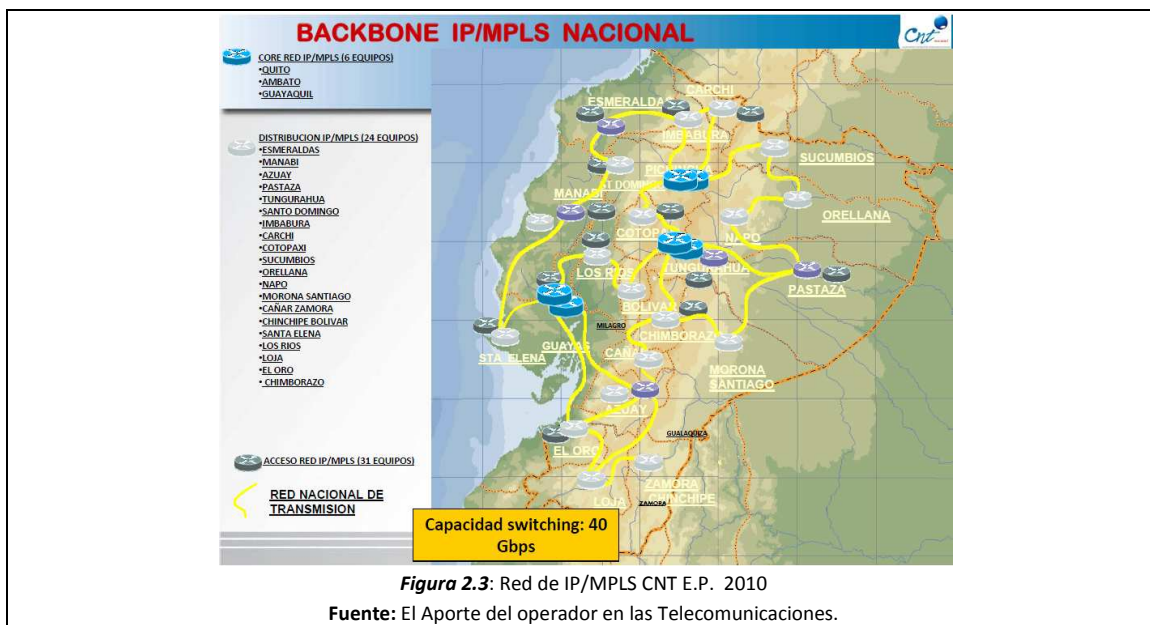


2.2.3.1 Red IP/MPLS Nacional

A continuación se presenta un esquema general de la red IP/MPLS, la cual se compone de 31 nodos de acceso, 24 equipos de distribución y 6 equipos de

³³ DWDM.-multiplexación por división de onda denso utilizado 1 en redes MAN y WAN por su estrecha separación denotado en el estándar G.694.

core³⁴, los mismos que interconectados tienen una capacidad de *switching* de 40Gbps.

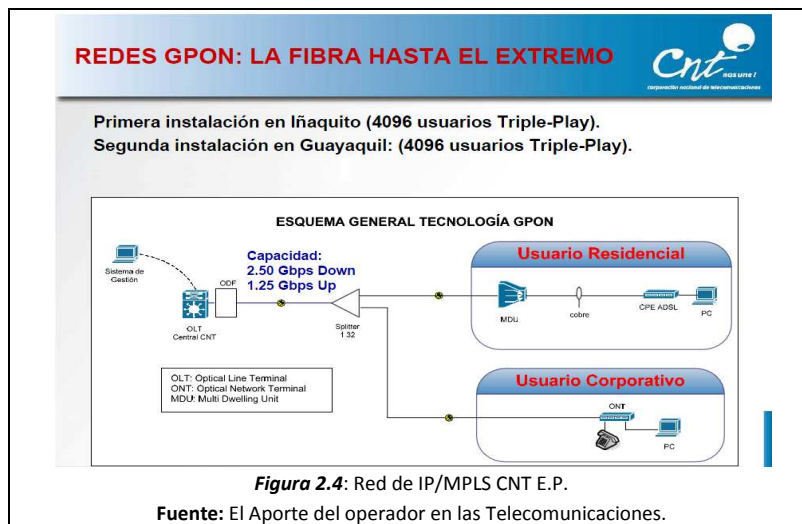


2.2.3.2 GPON en Redes de Acceso

Actualmente se tienen instalados equipos OLT GPON en la infraestructura de red de CNT EP, siendo la primera en operar la central Iñaquito y la segunda en la ciudad de Guayaquil.

Sin embargo, para efecto de este proyecto se considera la instalación de una OLT GPON en la central Carcelén, lo cual permitirá servir al sector norte de la ciudad capital y particularmente estará a cargo de la red de acceso para la empresa Arclad, el cual es el propósito de este proyecto de titulación.

³⁴ Core.- Nodos centrales de una red de transmisión de datos



2.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

El motivo principal para emprender la instalación del medio de acceso a través de fibra óptica es la necesidad de comunicación con otras agencias de la empresa, especialmente en la transmisión de datos, con las sucursales que se encuentran en las distintas ciudades del país, las mismas que tienen un número de personal reducido ya que se encargan principalmente de la fuerza de venta, gerencia, gestión administrativa y distribución de los productos.

A continuación se detallan en número de usuarios por agencia, cabe destacar que no se incluyen a aquellas personas que no tienen acceso a los recursos de red por la labor que desempeñan en el giro del negocio.

Agencia	# Usuarios Agencia
AMBATO	5
GUAYAQUIL	9
RIOBAMBA	6
CUENCA	8
IBARRA	5
QUITO	12

Tabla 2.2.- Usuarios de las redes de Datos.

Fuente: Recopilada de Arclad S.A.

Es importante determinar el requerimiento de ancho de banda que tienen los distintos tipos de servicios a los que acceden los usuarios de las agencias; y, que éstos se convierten en la carga de nuestra red de datos debido a que la agencia matriz en Quito, concentra todo su contingente tecnológico, y desde este punto se provee de acceso a Internet, se recibe toda la data para la determinación de la producción, logística y provisión de recursos necesarios para cubrir con los requerimientos existentes.

En la siguiente tabla se detallan los consumos típicos por servicio en función de la prioridad que la red asigna.

Aplicación	Capacidad/ Usuario	Notas
Mensajería de texto / IM	< 1 Kbps	Como el tráfico es infrecuente y asíncronico, IM va a tolerar mucha latencia.
Correo electrónico	1 to 100 Kbps	Al igual que IM, el correo electrónico es asíncronico e intermitente, por lo tanto va a tolerar la latencia. Los archivos adjuntos grandes, los virus y el correo no deseado aumentan significativamente la utilización del ancho de banda. Los servicios de correo web (tales como Yahoo o Hotmail) deben ser considerados como navegadores web, no como correo electrónico.
Navegadores web	50 - 100+ Kbps	Los navegadores web sólo utilizan la red cuando se solicitan datos. La comunicación es asíncronica, por lo que se puede tolerar una buena cantidad de demora. Cuando los navegadores web, buscan datos voluminosos (imágenes pesadas, descargas largas, etc.) la utilización del ancho de banda aumenta significativamente.
Flujo de audio (streaming)	96 - 160 Kbps	Cada usuario de un servicio de flujo de audio va a utilizar una cantidad constante de una relativamente gran cantidad de ancho de banda, durante el tiempo que está activo. Puede tolerar algo de latencia pasajera mediante la utilización de mucha memoria de almacenamiento temporal en el cliente (buffer). Pero extensos períodos de espera van a hacer que el audio "salte" o que se den fallos en la sesión.
Voz sobre IP (VoIP)	24 - 100+ Kbps	Como con el flujo de audio, VoIP dedica una cantidad constante de ancho de banda a cada usuario mientras dura la llamada. Pero con VoIP, el ancho de banda utilizado es aproximadamente igual en ambas direcciones. La latencia en una conexión VoIP molesta inmediatamente a los usuarios. Para VoIP una demora mayor a unas pocas decenas de milisegundos es inaceptable.
Flujo de video (streaming)	64 - 200+ Kbps	Como el flujo de audio, un poco de latencia intermitente es superada mediante la utilización de la memoria de almacenamiento temporal del cliente. El flujo de video requiere de alto rendimiento y baja latencia para trabajar correctamente.
Aplicaciones para compartir archivos Par-a-par (BitTorrent, KaZaA, Gnutella, eDonkey, etc.)	0 - Infinitos Mbps	Si bien las aplicaciones par a par (peer-to-peer) toleran cualquier cantidad de latencia, tienden a utilizar todo el rendimiento disponible para transmitir datos a la mayor cantidad de clientes y lo más rápido como les sea posible. El uso de estas aplicaciones causa latencia y problemas de rendimiento para todos los otros usuarios de la red, a menos que se utilice un conformador de ancho de banda adecuado.

Tabla 2.2.- Consumo Ancho de banda Típico por Servicio
Fuente: Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, BookSprint.

2.3.1 DEMANDA DEL ENLACE DE DATOS

En función de la tabla 2.2 se escoge los valores que denoten la peor condición, en este caso el valor más alto, a partir del cual se procederá al cálculo real de los requerimientos de ancho de banda de cada una de las agencias; sin embargo, se debe considerar que para efectos de diseños de las redes de telecomunicaciones no se diseña en función de máxima carga si no que se considera un factor de sobre-suscripción y cuyos valores típicos varían entre dos y cinco, para efectos del presente diseño se considerara un factor de sobre-suscripción de 3, ya que se ha estimado que el uso de usuarios simultáneos en hora pico corresponde a la tercera parte del total para cada agencia.

Adicionalmente, el sistema de gestión de la empresa es considerado como una aplicación punto a punto y para la cual se considera reservar una capacidad de 300Kbps. Bajo las consideraciones mencionadas anteriormente se presenta los siguientes resultados del cálculo en Kbps y la estimación del ancho de banda requerido para cada agencia.

CONSUMO ENLACES DATOS POR SERVICIO								
Agencia	Correo (Kbps)	Navegación Web (Kbps)	VoIP (Kbps)	Video Streaming (Kbps)	Aplicaciones P2P (Kbps)	Total Agencia (Kbps)	Sobre suscripción 1/3 (Kbps)	TOTAL A CONTRATAR (Kbps)
AMBATO	500	500	500	1000	1500	4000	1333,33	1500
GUAYAQUIL	900	900	900	1800	2700	7200	2400	2500
RIOBAMBA	600	600	600	1200	1800	4800	1600	1500
CUENCA	800	800	800	1600	2400	6400	2133,33	2500
IBARRA	500	500	500	1000	1500	4000	1333,33	1500
QUITO								10000

Tabla 2.2.- Consumo Ancho de Banda Datos por Agencia.

Fuente: Propia del autor.

En la tabla 2.2, se presentan los valores de capacidad requerida, calculados en función del número de usuarios de cada agencia y la capacidad requerida por servicio de acuerdo a la tabla 2.1; así mismo se realiza la suma de la

capacidad por servicio, para obtener la capacidad total por agencia y esta a su vez se la divide por el factor de sobre suscripción adoptado en la sección 2.3.1.

Una vez que se tiene la capacidad de teórica para cada agencia se adopta un valor que se lo puede encontrar comercialmente con los proveedores de servicio, este valor corresponde al de la columna total a contratar de la tabla 2.2.

Como se puede apreciar en la tabla 2.2 el valor requerido de la agencia matriz Quito es de 10Mbps, que corresponde a la suma de los consumos requeridos por cada una de las sucursales, debido a que todas ellas se interconectan hacia Quito para el acceso a todos los servicios mencionados.

2.3.2 DEMANDA DEL ENLACE DE INTERNET

Para la determinación del ancho de banda requerido para el enlace de Internet es importante destacar que corresponde al mismo tráfico del enlace de datos sin tomar en cuenta al *software* de gestión centralizado de la empresa, ya que éste sólo utiliza el canal de datos, a continuación se presenta el resumen tabulado de los cálculos.

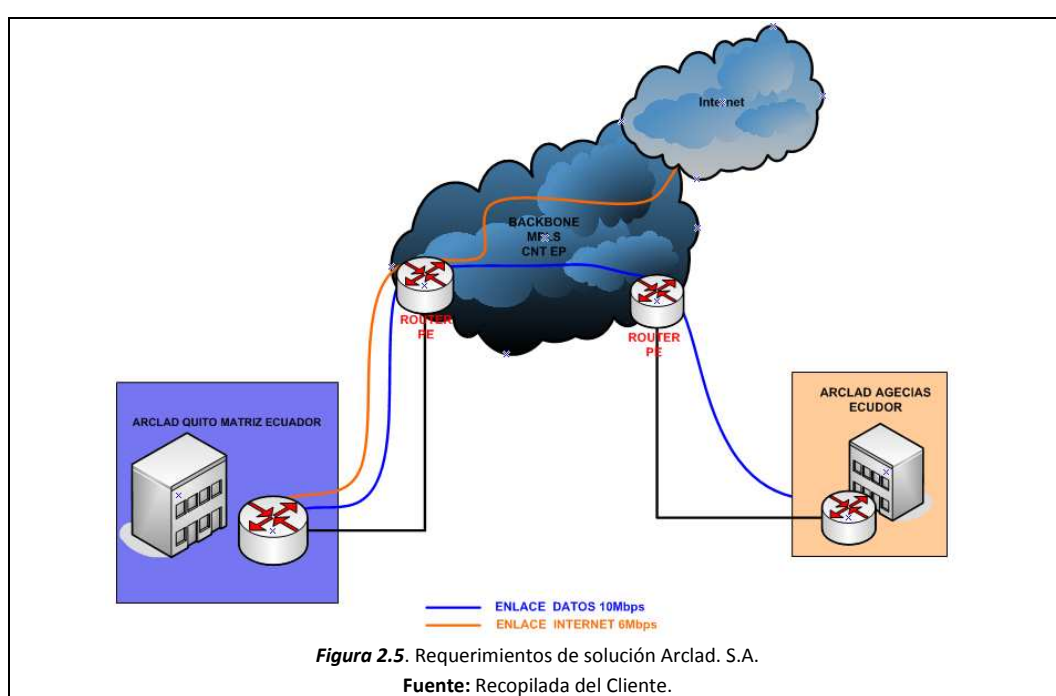
CONSUMO ENLACE INTERNET POR SERVICIO							
Agencia	Correo electrónico (Kbps)	Navegación Web (Kbps)	VoIP (Kbps)	Video Streaming (Kbps)	Total Agencia (Kbps)	Sobre suscripcion 1/3 (Kbps)	TOTAL A CONTRATAR (Kbps)
AMBATO	500	500	500	1000	2500	833,33	750
GUAYAQUIL	900	900	900	1800	4500	1500	1500
RIOBAMBA	600	600	600	1200	3000	1000	1000
CUENCA	800	800	800	1600	4000	1333,33	1000
IBARRA	500	500	500	1000	2500	833,33	750
QUITO	1200	1200	1200	2400	6000	2000	2000
							7000

Tabla 2.2.- Consumo Ancho de Banda Internet por Agencia.

Fuente: Propia del autor.

A diferencia del caso anterior, en el consumo de Internet si se debe considerar al consumo propio de la agencia matriz, ya que éste valor, incide en la carga total del servicio de Internet contratado.

En la figura 2.5 se muestra un esquema general de la solución de comunicaciones de datos e Internet propuesta para la agencia matriz de Arclad S.A. y sus agencias nacionales.



En resumen la demanda actual de la empresa en ancho de banda asciende a 17Mbps.

AB	Requerido	CAPACIDAD Mbps
DATOS		10
INTERNET		7
TOTAL		17

Tabla 2.3.- Ancho de Banda Total Requerido.

Fuente: Propia del autor.

2.3.3 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

En todo proyecto se debe considerar la posibilidad de expansión de la demanda actual en el tiempo de vida del proyecto, ya que indudablemente las necesidades se irán incrementando conforme al desarrollo de las tecnologías o al incremento de los usuarios de la red.

Para el caso específico de Arclad se ha alcanzado una madurez en cuanto a sus operaciones, lo que implica que las variantes con respecto a sus recursos humanos no han cambiado de forma drástica en los últimos cuatro años, razón por la cual se estima que el crecimiento que pudiese tener la carga de la red debido al incremento de usuarios en los próximos 10 años no representaría mas allá de un 10 % con respecto al contingente actual.

Sin embargo el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información si juegan un papel preponderante en cuanto al aumento en los requerimientos de ancho de banda que tendría la red, ya que el uso por ejemplo de domótica en temas de seguridad, entre otras aplicaciones, suponen un mayor presupuesto en los requerimientos actuales, además de esto se tiene un panorama incierto con respecto al apareamiento de nuevas aplicaciones que de acuerdo a la tendencia tecnológica involucran de manera más estrecha las interacciones que se generan en sentido ascendente, es decir la data que se envía desde el usuario a la red es cada vez mayor.

En virtud de esto es importante analizar la capacidad de la red que se está explotando bajo las condiciones actuales y el crecimiento que sería factible en las condiciones descritas anteriormente.

2.3.3.1 Máximo Ancho de Banda

De acuerdo al Estándar G.984 se define la máxima tasa de transferencia en 2.5Gbps, lo cual implica que en una red operando a la máxima tasa de división óptica de 64 equipos ONTs, y asumiendo que todos ellos estén utilizando

simultáneamente el canal, a cada uno de ellos les correspondería la fracción equivalente a 40Mbps.

2.3.3.2 Posible Incremento en el Ancho de Banda

De acuerdo a la demanda actual determinada para esta red, la cual es de 17Mbps y la máxima posible calculada en el inciso 2.3.3.1 que asciende a 40Mbps, el incremento en los requerimientos de ancho de banda asciende a 23Mbps, el cual corresponde al 135,29%; es decir que se tiene la capacidad de duplicar el acceso de la red de Arclad de acuerdo a como se vaya evolucionando las necesidades de la empresa.

Adicionalmente se debe considerar que no todos los usuarios ocupan el máximo ancho de banda; y que como se lo describe en la recomendación UIT G.984.3, la OLT está en la capacidad de controlar o asignar el ancho de banda de cada ONT a través del mapa de asignación de ancho de banda en *upstream*, lo cual habilita la posibilidad de que para determinado cliente que desee incrementar la capacidad de su canal mas allá de los 40Mbps es factible de acuerdo a la capacidad disponible en la PON a la que está atado.

2.4 ESTÁNDAR PON A EMPLEARSE

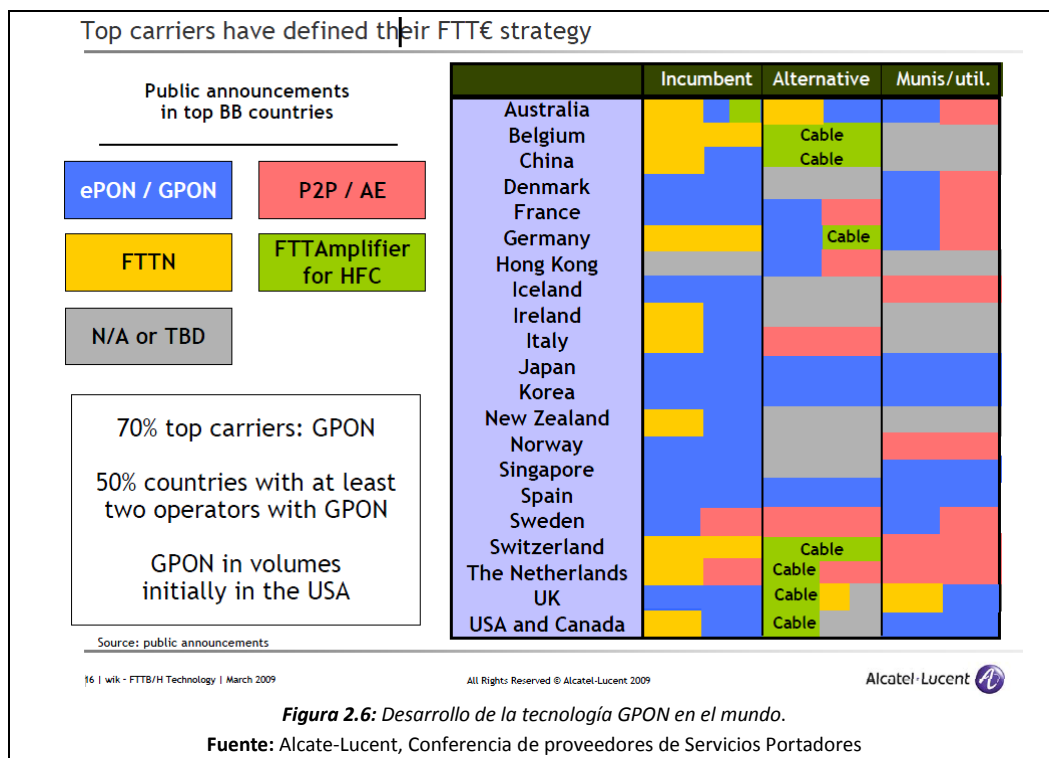
De acuerdo a las características descritas anteriormente para las variantes de los estándares PON, se elige para el presente diseño al estándar GPON de la familia UIT. G.984 como tecnología PON para la red de acceso, en virtud de los beneficios que presta en relación al presente proyecto, los mismos que se describen a continuación.

- El estándar GPON describe una distancia máxima de 20 Km, la cual está dentro del rango necesario para la implementación de la red de

acceso del presente proyecto, como se lo muestra más adelante en la sección 2.6.3.

- El estándar admite una mayor división de los canales de comunicación (1/64) hecho que lo destaca frente a EPON o BPON cuya tasa de división, máxima es de 1/32. Esta característica facilita la expansión del servicio para cubrir zonas más amplias, característica muy importante debido al incremento en la penetración de los servicios de alta capacidad.
- Una de las principales ventajas de GPON frente a EPON y BPON es que el uso del encapsulamiento utilizado GEM (GPON *Encapsulation Method*), estandarizado en la recomendación ITU-T G.984.3 soporta cualquier tipo de servicio o protocolo, bajo el mismo esquema de transporte síncrono basado en tramas de 125ms.
- GPON incorpora en sus especificaciones un avanzado sistema de OAM (*Operation, Administration, Maintenance*) lo cual potencializa la gestión que se tiene sobre el servicio extremo a extremo, detección de eventos, alarmas, asignación de ancho de banda, etc.
- El estándar soporta el transporte de video en RF e IP, lo que contribuye a la convergencia de servicios, ya que se puede convivir con los dos tipos de servicios adaptándose a las necesidades del usuario, las mismas que varían de acuerdo a los terminales y su desarrollo tecnológico.
- En cuanto a la velocidad de transmisión GPON es el estándar que ofrece las mejores prestaciones habilitando la simetría de sus canales hasta su máxima tasa de transferencia 2.5Gbps.
- La ventaja de GPON es que es una red diseñada desde la visión del usuario y no del prestador de servicio como es el caso de BPON y EPON, lo cual le brinda al sistema una mayor versatilidad.

Adicionalmente dando un vistazo al panorama internacional se puede ver cómo la tendencia se va apuntalando hacia el uso de GPON conforme al estudio realizado por la empresa *Alcatel-Lucent*, del cual se deduce que al menos el 70% de los operadores incunventes apuestan por GPON.



2.5 DECISIÓN DE LA VARIANTE FTTX

Dentro de las opciones que se tiene en una red FTTX, descritas en el capítulo I, es necesario tomar la decisión más adecuada para el diseño de la red de acceso hacia nuestro destino, además de tener la premisa de que se eligió a GPON como estándar para la red de acceso.

A continuación se analizan algunos de los aspectos principales a ser considerados para la elección de la variante FTTX.

En lo que respecta a la localización de la empresa con respecto al nodo de acceso a la red del proveedor, es aplicable a cualquier de las variantes ya que ésta es inferior a la distancia máxima de 20 Km estipulada en la normativa de UIT G.984.1.

Al ser un medio de acceso de gran ancho de banda y que demanda de la mayor disponibilidad posible del servicio, se debe tender a reducir la distancia entre el usuario y el acceso a la red, es decir que la fibra esté lo más cercana posible a los equipos terminales, lo cual ayuda a mejorar esta característica.

Al tratarse de una empresa puntual se descarta las tecnologías FTTN y FTTC, las cuales aplican para conjuntos multi-habitacionales o acoplamiento para redes ya preexistentes, lo cual reduce las posibilidades para la elección a FTTH y FTTB.

En virtud de los motivos analizados anteriormente se ha decidido adoptar la configuración de FTTB (*Fiber To The Business*), para que una vez se entregue la transmisión de datos en el cuarto de equipos con el equipo ONT, la información se distribuya a través de la red LAN hacia los usuarios.

En adición a lo expuesto anteriormente, este tipo de configuración es la más idónea para atender a los usuarios corporativos aledaños al sector geográfico de la red PON.

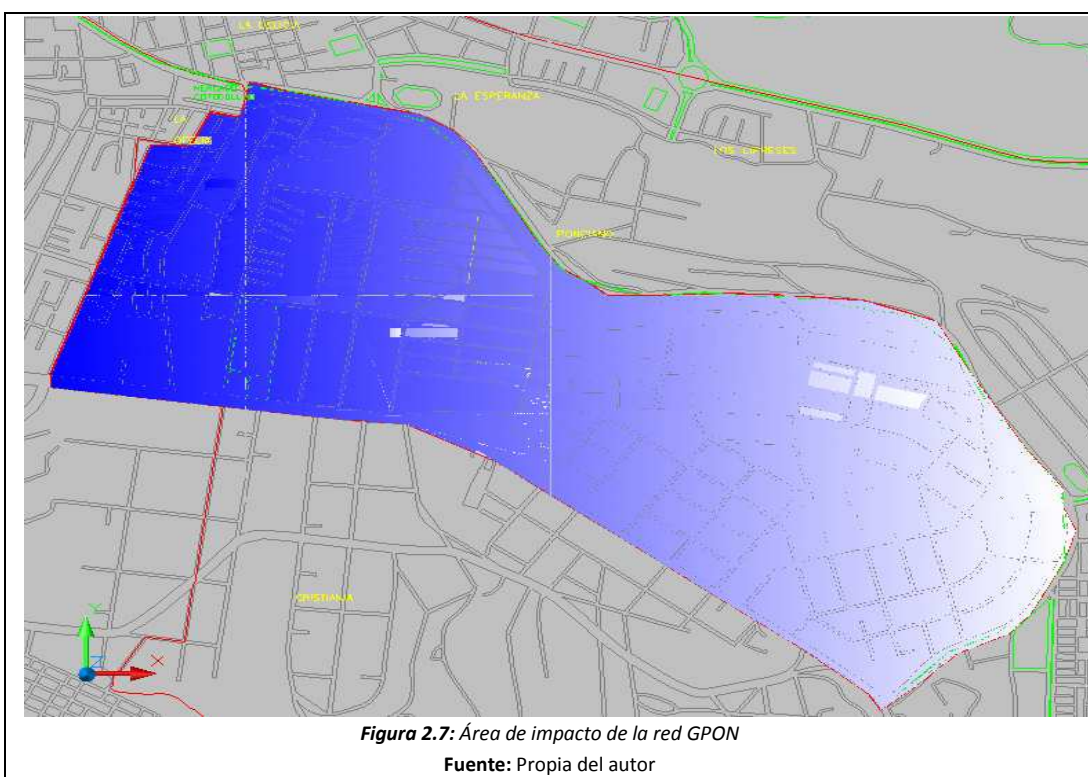
2.6 DISEÑO DE LA RED DE ACCESO

Para fines de diseño de la red se considerará como premisas que se diseñará una red FTTB, bajo el estándar GPON G.984, y el requerimiento de 17Mbps como carga de la red.

Adicionalmente esta red se integrará a la red MPLS de CNT E.P. a través de una interfaz Gigabit *Ethernet* de la OLT que se destinará como punto inicial de la red.

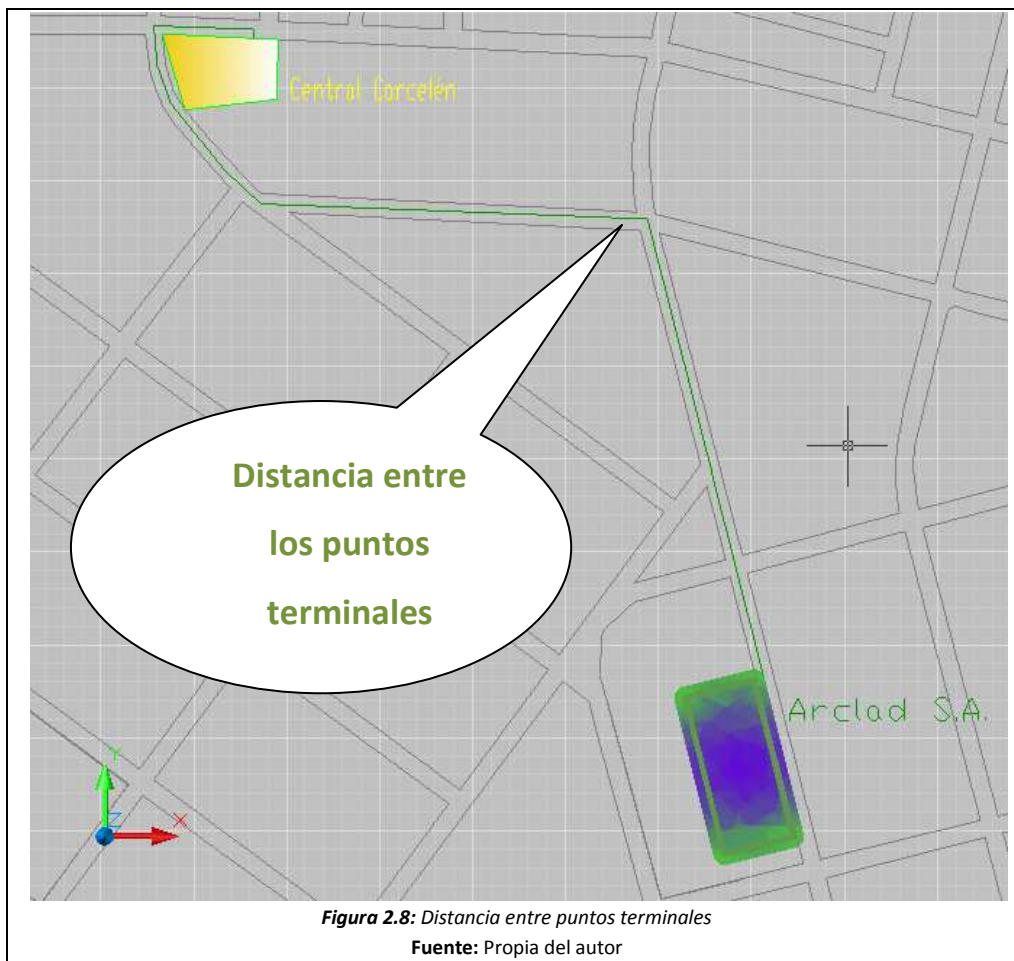
2.6.1 ÁREA DE IMPACTO DE LA RED GPON

De acuerdo a la percepción del mercado, se estima que el área denotada en la figura 2.7 es la de mayor impacto de la red; sin embargo, es importante notar que la extensión puede ser mayor en función de los requerimientos de la demanda comercial y del diseño del resto de la red GPON, la cual no es objeto de este proyecto de titulación, más no tienen limitación de alcance pues en ninguno de los casos superarían los 20Km de distancia máxima establecidos por el estándar.



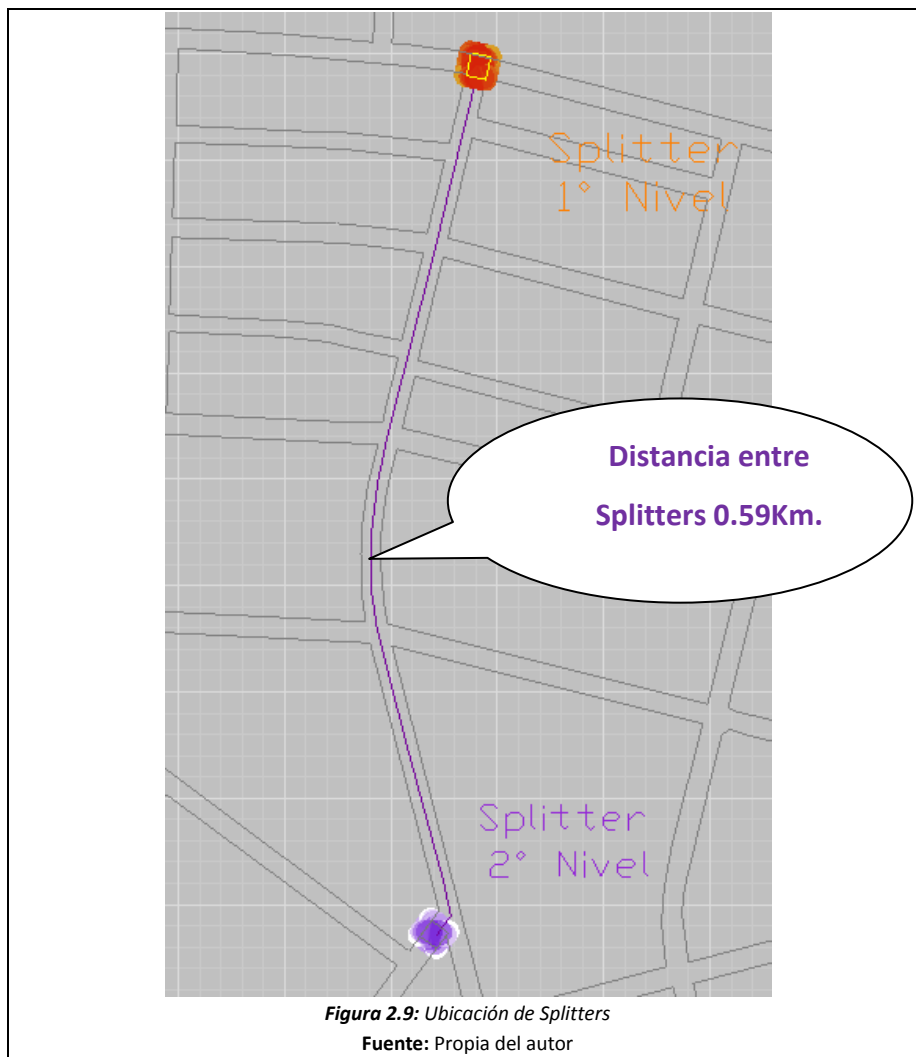
2.6.2 DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS SPLITTERS

Definiendo como punto inicial de la red a la central Carcelén de CNT. E.P. ubicado en las calles Juan Barrezueta OE2-152 Y Domingo Rengifo; y; como punto final la empresa Arclad S.A. ubicado en la Av. José Andrade OE-298 y Juan Selis, se calcula que la longitud de la mejor ruta para una red punto a punto entre los dos puntos terminales es de 0.79 Km, a continuación se muestra el recorrido que tendría la fibra antes mencionada.



Sin embargo bajo el principio de extender la red a más clientes dispersos en la zona de impacto de la red, es necesario establecer la ubicación de divisores ópticos para efectos de la implementación de las redes de acceso de futuros clientes, razón por la cual se colocarán dos *splitters*, el primero con una relación de división de 1:4 en la intersección de las calles Mariano Paredes y José Andrade y el segundo con una relación de división de 1:16 en la intersección de las calles Domingo Rengifo y Joaquín Mancheno, esto se lo puede apreciar en la figura 2.9.

Cabe mencionar que la ubicación de estos *splitters* ha sido pensada estratégicamente bajo la consideración de minimizar las distancias para los puntos más extremos correspondientes a los potenciales usuarios de la red más alejados del centro de operación.



2.6.3 DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE LA RED DE ACCESO

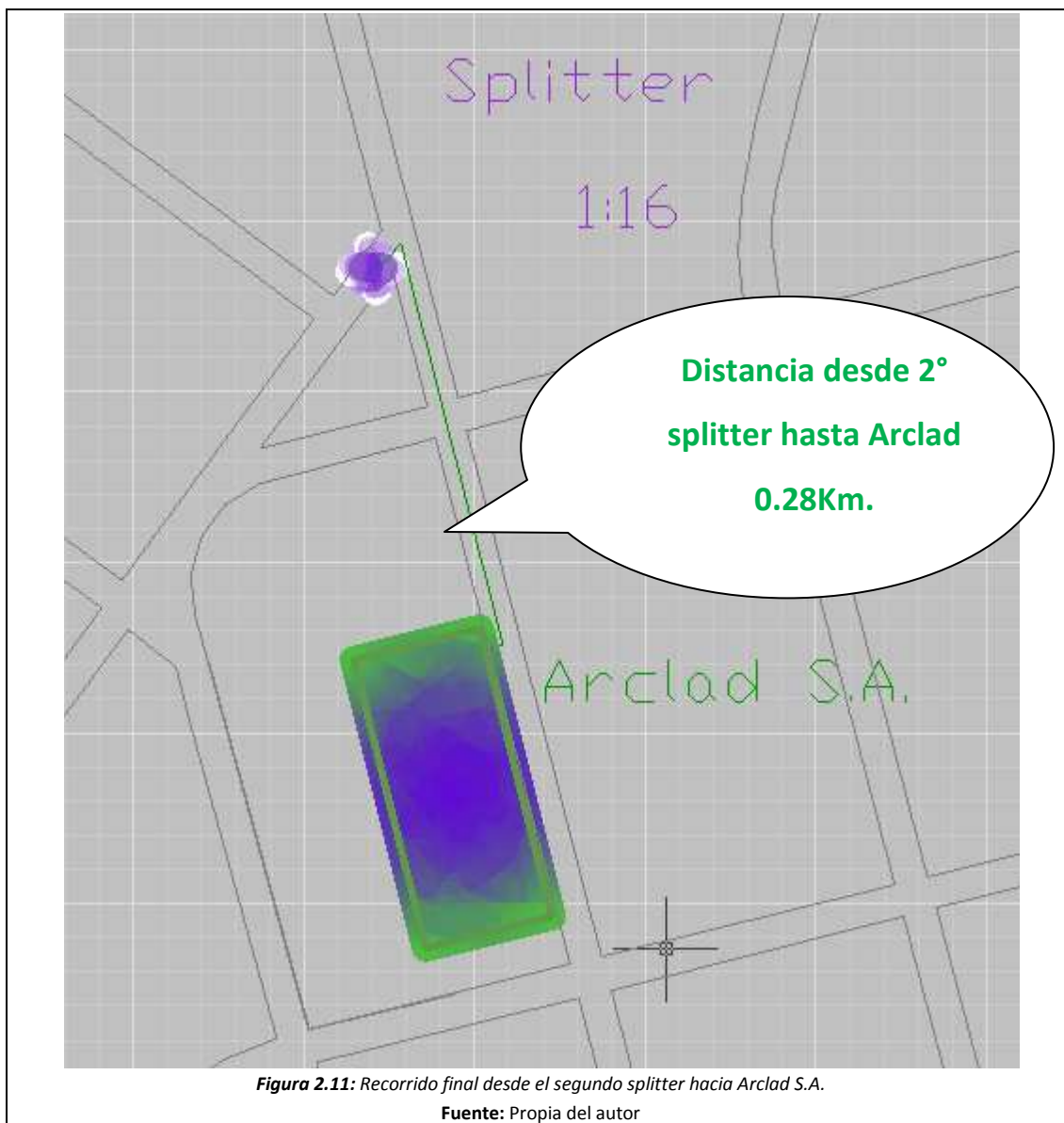
Es importante calcular la distancia total que tendría la red de acceso considerando que se tiene ya determinada la ubicación de los *splitters* de primera y segunda línea y a partir de aquí, se llegará con una fibra independiente hasta las instalaciones de la empresa usuaria de la red.

Para esto primero se determina la distancia desde la central hasta el primer *splitter*, la cual es de 0,59 Km y para lo cual se emplean 7 postes de la empresa eléctrica Quito, y su recorrido se lo muestra en la figura 2.10.



Luego del primer *splitter* se accede a otro de segundo nivel con una relación 1:16 cuya distancia hacia el *splitter* de primera línea es de 0.59 km y su ubicación se muestra en el figura 2.9.

Finalmente se debe considerar la distancia desde el *splitter* de segunda línea hasta el destino las instalaciones de Arclad S.A, la cual es de 0.28Km, y su recorrido se lo puede mostrar en la figura 2.11.



Adicionalmente se debe considerar que el cable de fibra se fijará sobre los postes de tendido eléctrico a una altura aproximada de 5m y se tienen dos ascensos y dos descensos del cable lo cual representan 20m mas a la longitud del cable, resultando una distancia neta de la red de 1.48 Km (0.59km + 0.59Km + 0.28Km + 0.02Km), a esto se debe añadir un porcentaje del 20% de esta última longitud por efectos de la curvatura en el tendido del cable sobre los postes de la red de distribución.

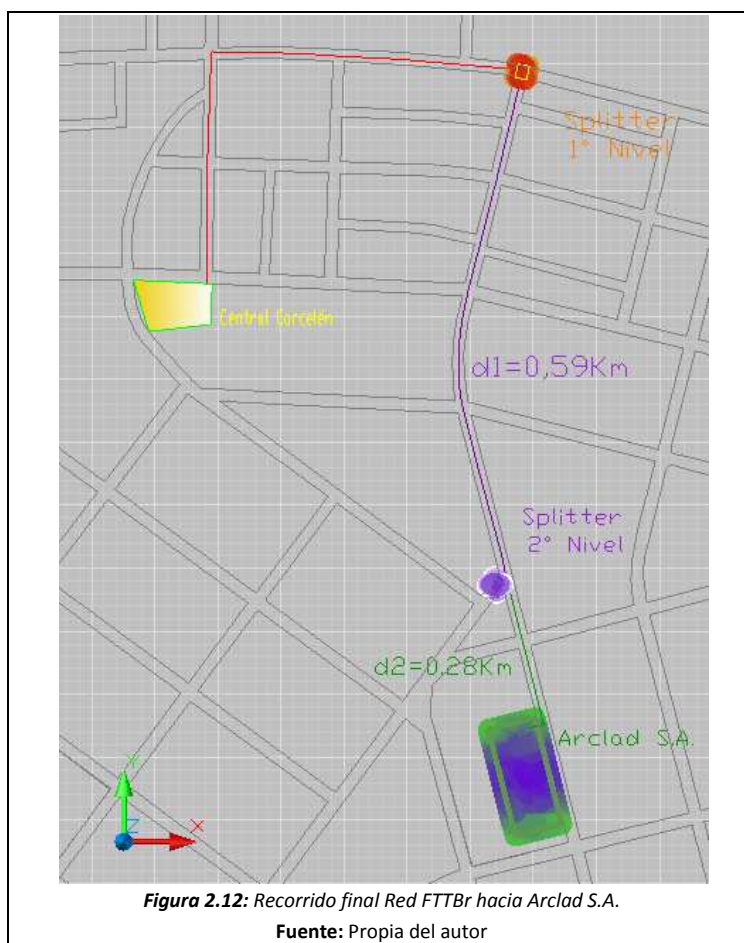
$$\text{distancia}_{\text{real}} = 1.2 * \text{distancia}_{\text{neto}}$$

$\text{distancia}_{\text{real}} = 1.2 * 1.48 \text{ Km}$

$\text{distancia}_{\text{real}} = 1.78 \text{ Km.}$

2.6.4 ESQUEMA TOTAL DE LA SOLUCIÓN FTTB

La figura 2.12 muestra un esquema general de la red FTTB.



2.6.5 TIPO DE FIBRA ÓPTICA

En cuanto a la fibra que se empleará se ha tomado la decisión de utilizar fibra monomodo ya que tiene mejores prestaciones al disminuir la dispersión modal y la diferencia en el costo beneficio con relación al desempeño de las transmisiones con fibras multimodo no justifica el empleo de esta última.

Las recomendaciones de la UIT-T G.650.1 a G.657 definen los métodos de prueba, características de las fibras y cables de fibras monomodo y multimodo.

Para efectos de este diseño se elige la recomendación G.652 la cual define las características de las fibras y cables monomodo, en esta recomendación se define características de la fibra como diámetros modales y del revestimiento, longitud de onda de corte, y también especificaciones de los largos de fabricación.

Dentro de la recomendación se definen cuatro sub categorías que permiten satisfacer los requerimientos de la recomendación en función de coeficiente de dispersión por modo de polarización y de los requisitos de atenuación en 1383nm, las dos primeras categorías cuentan con un pico alto de atenuación por la presencia de iones hidroxilos OH-.

A continuación se resumen en la tabla 2.4 las principales consideraciones de las cuatro subcategorías.

Característica	G.652A	G.652B	G.652C	G.652D
Atenuación a 1310nm	0.5 dB/km	0.4 dB/km	0.4 dB/km	0.4 dB/km
Atenuación a 1383nm			0.4 dB/km	0.4 dB/km
Atenuación a 1550nm	0.4 dB/km	0.35 dB/km	0.3 dB/km	0.3 dB/km
Atenuación a 1625nm		0.4 dB/km	0.4 dB/km	0.4 dB/km
Máxima PMD _q	0.5 ps/ km	0.20 ps/ km	0.5 ps/ km	0.20 ps/ km
Coefficiente D _c S ₀ MAX	0.092 ps/nm ² × km	0.092 ps/nm ² × km	0.092 ps/nm ² × km	0.092 ps/nm ² × km

Tabla 2.3.- Resumen Subcategorías G.652..

Fuente: UIT-T G652

En función a lo detallado anteriormente se escoge a la subcategoría D de la recomendación G.652.

2.6.6 TENDIDO DEL CABLE

Para el tendido del cable que conformará la red GPON se tienen dos alternativas; la primera es cruzar el cable de fibra enterrado por las aceras de las calles descritas en el recorrido expuesto en el inciso 2.6.4, pero esto

requiere de obra civil ya que en el sector no existe ningún plan para este tipo de tendido de cables y provocaría incomodidad a los habitantes, además del costo que esto implicaría. Paralelamente se puede realizar el tendido del cableado a través de la red de distribución eléctrica, lo cual es más factible debido a que las molestias ocasionadas son mínimas, el tiempo total de los trabajos es mucho menor en relación al cableado terrestre, sin embargo es necesario tramitar el arrendamiento con el propietario de los postes en este caso la Empresa Eléctrica Quito.

En virtud de lo expuesto se elige realizar un cableado aéreo, por lo cual es importante elegir entre las opciones de cables para este tipo de tendido, como se lo había mencionado en el capítulo I se tienen tres opciones cables ADSS, OPGW y Figura 8.

A continuación se mencionan las características que se consideran para elegir al cable ADSS.

- En cuanto a la carga estructural el cable ADSS tiene menor impacto con respecto al cable OPGW, lo que es muy útil puesto para este diseño, ya que se utilizará postes en los cuales ya soportan otros proveedores y la red de distribución eléctrica.
- Un cable ADSS no requiere consideraciones de puesta a tierra ya que en su construcción no intervienen materiales metálicos que pudieran verse afectados por descargas eléctricas, como es el caso de OPGW y Figura 8.
- En cuanto al costo como tal del cable es menor en relación a otros cables con procesos de fabricación más complejos.
- En temas de acceso a las fibras es de gran utilidad un cable ADSS por cuanto facilita las posibles reparaciones y sellados luego de realizarlas.
- En cuanto a la tensión que soporta un cable ADSS presenta una desventaja frente a los demás tipos de cables, pero dado que las

distancias de vano no son largas se lo puede emplear sin inconvenientes.

- Es de fácil instalación lo cual reduce el tiempo de la implantación del cableado, lo cual puede favorecer los tiempos de respuesta frente al requerimiento de servicio de los potenciales clientes.

2.6.7 TASA DE TRANSFERENCIA MÁXIMA

De acuerdo a las recomendaciones de la UIT-T se establece que la máxima tasa de transferencia es de 2488 Mbps tanto par *uplink* como *downlink*, sin embargo la tasa más común utilizada en redes GPON por los fabricantes de equipos terminales es de 2488 Mbps en *downlink* y 1244 Mbps en *uplink*.

Para el presente enlace se establece que la capacidad actual requerida es de 17Mbps, lo cual es totalmente manejable bajo este esquema aún con la proyección de demanda expuesta anteriormente.

2.6.8 PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN EN LOS ELEMENTOS DE LA RED

A continuación se listan las pérdidas en los elementos pasivos, la potencia de transmisión y la sensibilidad de los elementos activos, acompañadas de su respectiva forma de evaluación.

ITEM	PARÁMETRO
Atenuación del Cable UIT G.652.D [dB/Km]	1310nm: 0,4
	1490nm: 0,4
	1550nm: 0,3
Pérdida Máxima por Conector [dB]	0,4
Pérdida Máxima por Empalme [dB]	0,05
Potencia de salida OLT [dBm]	-1,5 ~ 5
Sensibilidad Recepción OLT [dBm]	-28
Potencia de salida ONT [dBm]	-1,5 ~ 5
Sensibilidad Recepción OLT [dBm]	-28
ODN Óptico loss budget [dB]	28
Spitter 1:4	7,7
Splitter 1:16	14,4
Óptica Distribución Frame ODF [dB]	0,4 Por Conector

Tabla 2.4. Atenuación en los elementos de la Red
Fuente: Recomendaciones UIT, Catálogos de fabricantes.

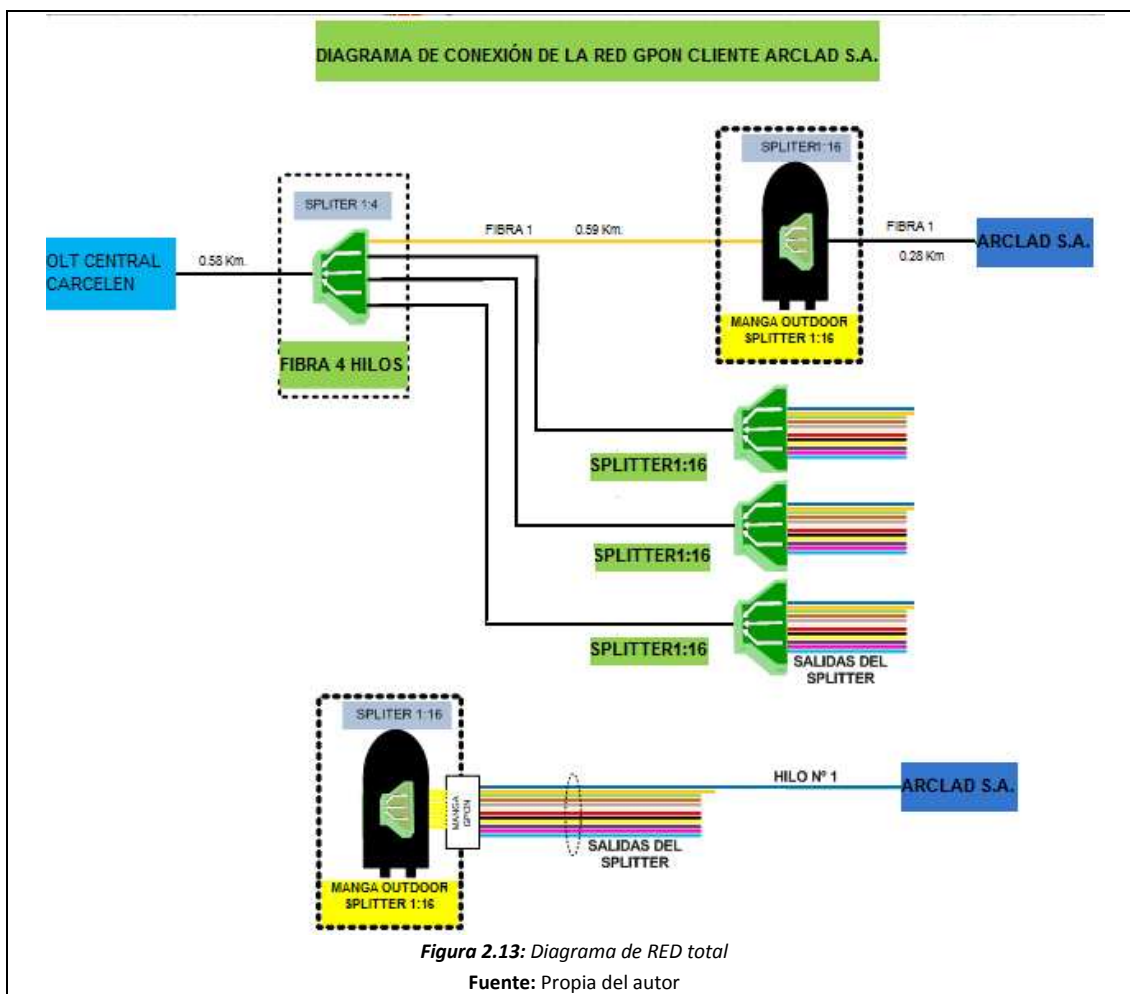
2.6.9 MARGEN DE PÉRDIDA

Este es un factor de seguridad de la potencia en el diseño del enlace e implica el hecho de añadir decibelios a los requerimientos de potencia para compensar posibles degradaciones inesperadas del sistema como por ejemplo: el oscurecimiento de la fuente de luz, el envejecimiento de otros componentes de la red o pérdidas adicionales que puedan ocurrir cuando se repara un cable.

La recomendación UIT-T G.957 menciona que se debe prever un margen de pérdida que compense el envejecimiento de los equipos, pero no establece valores de dicho margen, sin embargo actualmente una regla de diseño que es ampliamente aceptada establece que el margen de pérdidas no debe superar los 3dB, por lo tanto se usan márgenes muy estrechos para las PONs debido a que las distancias son relativamente cortas.

Para efectos de este diseño se considerará un margen mínimo de pérdidas de 3dB.

2.6.10 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA RED



2.6.11 CÁLCULOS DE LA RED

Para efectuar el cálculo de las pérdidas presentes en los distintos elementos de la red a diseñarse es necesario analizar cada uno de los tramos inmersos en la transmisión de las señales y específicamente en sus puntos de inflexión.

2.6.11.1 Pérdidas por Splitter

En el diseño de redes GPON se emplean usualmente dos o tres niveles de splitters, es recomendable utilizar el menor número de *splitters* ya que esto reducirá también las pérdidas inmersas en éstos.

Para el presente diseño se emplean dos niveles de *splitters* conforme a lo expuesto en la diagramación de la red.

La pérdida introducida por estos dos niveles de *splitters* para el enlace se la calcula como la suma en cada uno de los niveles así:

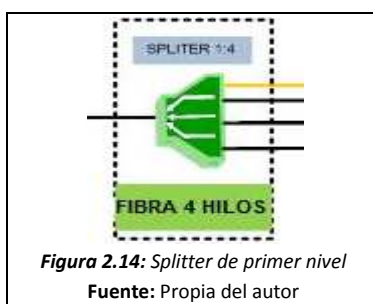
$$\text{Pérdida}_{\text{Splitter}} = P_{\text{Splitter 1 Nivel}} + P_{\text{Splitter 2 Nivel}}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Splitter}} = 7.7 \text{ dB} + 14.3 \text{ dB} = 22 \text{ dB}.$$

Es importante destacar que los valores expuestos anteriormente corresponden a las pérdidas por inserción y sus valores corresponden a la tabla 2.4.

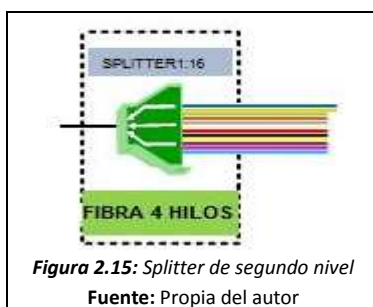
2.6.11.1.1 Primer Nivel

En este caso se emplea un splitter 1:4, el cual introduce una pérdida de 7.7 dB



2.6.11.1.2 Segundo Nivel

En este caso se emplea un *splitter* 1:16, que introduce una pérdida de 14.3 dB



2.6.12 PÉRDIDAS POR EMPALMES

Para determinar cuál es la pérdida por empalme del enlace es vital determinar el número de fusiones presentes, para este efecto se observa que por cada splitter se origina un par de fusiones antes y después del mismo, en nuestro caso al tener dos niveles de división se generan 4 fusiones de la fibra, adicionalmente se tienen una fusión más en los puntos terminales para la conectorización de la fibra, por lo cual la pérdida por fusión para los 5 empalmes es de:

$$\text{Pérdida}_{\text{Empalmes}} = \# \text{ de Empalmes} * P_{\text{Empalme}}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Empalmes}} = 5 * 0.05$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Empalmes}} = 0.25\text{dB.}$$

2.6.13 PÉRDIDAS POR CONECTORIZACIÓN

Para la interconexión de los equipos terminales tanto ONT como OLT es necesaria la presencia de conectores, por lo cual se presentan las pérdidas por conectorización tanto en el lado del ODF como en el ONT y OLT correspondientemente.

$$\text{Pérdida}_{\text{Conectorización}} = \text{Pérdida}_{\text{Conector}} [\text{dB}] * \text{Número de conectores}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Conectorización}} = 0.4 \text{ dB} * 4$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Conectorización}} = 1.6\text{dB}$$

2.6.14 PÉRDIDAS POR PATCHCORD

Se tienen dos *patchcords* a cada extremo del enlace, por lo que las pérdidas inmersas son:

$$\text{Pérdida}_{\text{Patchcord}} = \text{Pérdida}_{\text{Patchcord}} [\text{dB}] * \text{Número de Patchcords}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Patchcord}} = 0.3 \text{ dB} * 2$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Patchcord}} = 0.6 \text{ dB}$$

2.6.15 PÉRDIDAS POR ATENUACIÓN EN LA FIBRA

Dado que la distancia total de la red es de 1.78 Km las pérdidas inmersas son:

2.6.15.1.1 Pérdidas de la Fibra en 1330nm

$$\text{Pérdida}_{\text{Fibra } 1310\text{nm}} = \text{Atenuación/Km}_{1330\text{nm}} * \# \text{ Km de fibra.}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Fibra } 1310\text{nm}} = 1.78\text{Km} * 0.4\text{dB/Km}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Fibra } 1310\text{nm}} = 0.712 \text{ dB.}$$

2.6.15.1.2 Pérdidas de la Fibra en 1490nm

$$\text{Pérdida}_{\text{Fibra } 1490\text{nm}} = \text{Atenuación/Km}_{1490\text{nm}} * \# \text{ Km de fibra.}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Fibra } 1490\text{nm}} = 1.78\text{Km} * 0.3\text{dB/Km}$$

$$\text{Pérdida}_{\text{Fibra } 1490\text{nm}} = 0.534 \text{ dB.}$$

2.6.16 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS

En virtud de las apreciaciones realizadas anteriormente se realiza el cálculo del presupuesto de potencia óptica.

Para el cálculo del presupuesto de pérdidas es necesario definir a la potencia total de la siguiente manera:

$$P_T = P_S - P_R = 32\text{dB}$$

P_T =Potencia Total

P_S =Potencia Salida

P_R =Potencia Recepción

El cálculo anterior se lo hace en referencia a los equipos activos que serán seleccionados en la sección 3.1.1.4 y 3.1.2.4 y a los valores expuestos en la tabla 2.4.

Adicionalmente se debe realizar el cálculo para cada uno de los sentidos de la transmisión ya que se trabajan bajo distintas ventanas de transmisión y algunos de los parámetros son susceptibles a la longitud de onda de acuerdo a lo expuesto anteriormente.

Es importante mencionar que de acuerdo a los datos expuestos se debe trabajar con un rango de atenuación clase C debido a que los valores de perdidas en la red de distribución óptica para 1310nm y 1490nm es de -25.24dB

Por otra parte es importante mencionar que solo se analizan en las dos longitudes de onda 1310nm y 1490nm, ya que para el presente diseño no se está implementando la difusión de video RF, mismo que demandaría el análisis en 1550nm.

2.6.16.1 Cálculo del presupuesto de pérdidas en 1310nm (UPSTREAM)

Componente / Parámetro de Pérdida	Valor	Pérdidas dB
Potencia de salida ONT	5.0 dBm	
Sensibilidad OLT	-28 dBm	
Pérdidas permitidas[5.0-(-28)]		32
Pérdida por patchcord	-0,6	31,4
Penalización Potencia receptor OLT	-3	28,4
Pérdidas por Splitter	-22	6,4
Pérdidas por Fusión	-0,25	5,7
Pérdidas por conectorización	-1,6	4,2
Atenuación del Cable 1,78*0,4dB	-0,712	3,488
Margen del Sistema		3,488

Tabla 2.5: Presupuesto de Potencia en 1310nm.

Fuente: Propia del autor

2.6.16.2 Cálculo del presupuesto de pérdidas en 1490nm (DOWNSTREAM)

Componente / Parámetro de Pérdida	Valor	Pérdidas dB
Potencia de salida ONT	5.0 dBm	
Sensibilidad OLT	-28 dBm	
Pérdidas permitidas[5.0-(-28)]		32
Pérdida por patchcord	-0,6	31,4
Pérdidas por Splitter	-22	9,4
Pérdidas por Fusión	-0,25	9,15
Pérdidas por conectorización	-1,6	7,55
Atenuación del Cable 1,78*0,3dB	-0,534	7,016
Margen del Sistema		7,016

Tabla 2.8. Presupuesto de Potencia en 1490nm.

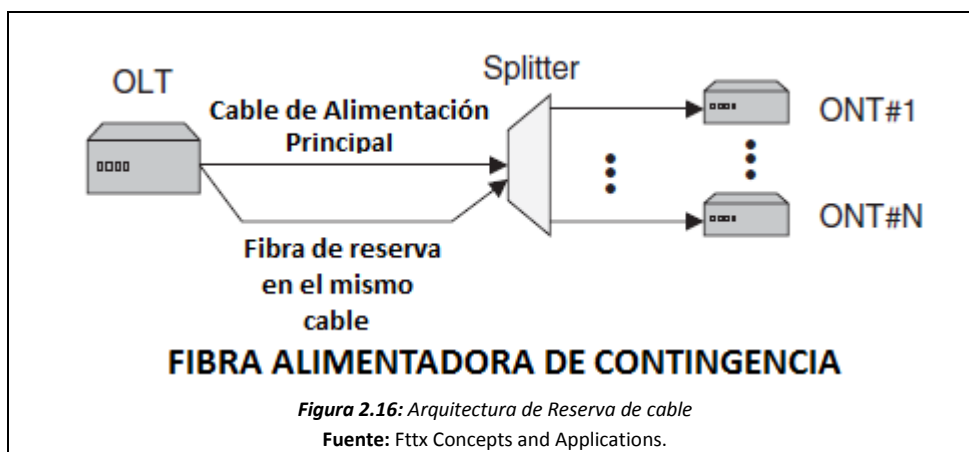
Fuente: Propia del autor

2.7 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LA RED

Cuando se trabaja en redes de alta disponibilidad se manejan varios esquemas entre los cuales se puede dar redundancia a las redes PON, a continuación se enumeran los esquemas y se elige la opción más idónea de acuerdo a las condiciones reales del diseño.

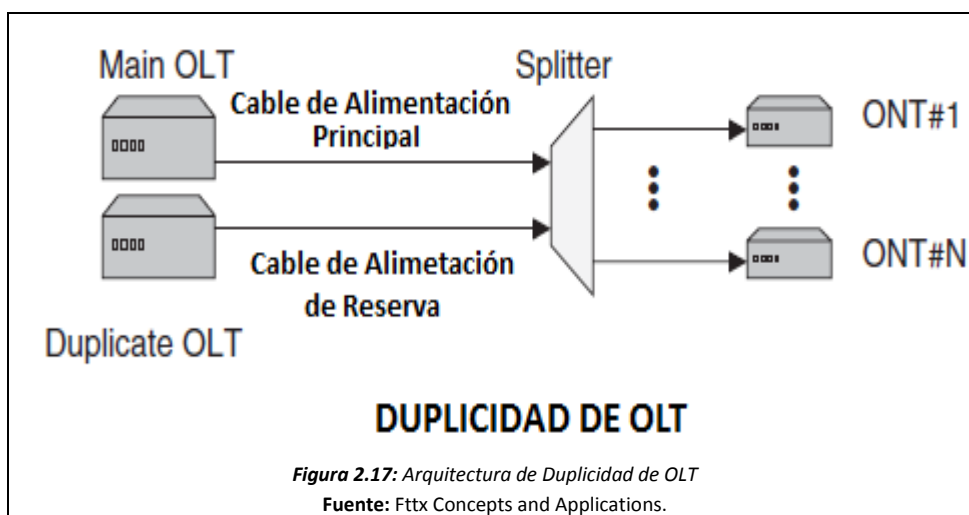
2.7.1 RESERVA EN EL CABLE PRINCIPAL

En este esquema reserva una fibra para ser usada en caso de fallas de la fibra principal dentro del mismo cable de alimentación principal, pero no se tiene contingencia en caso de que el puerto de la OLT falle.



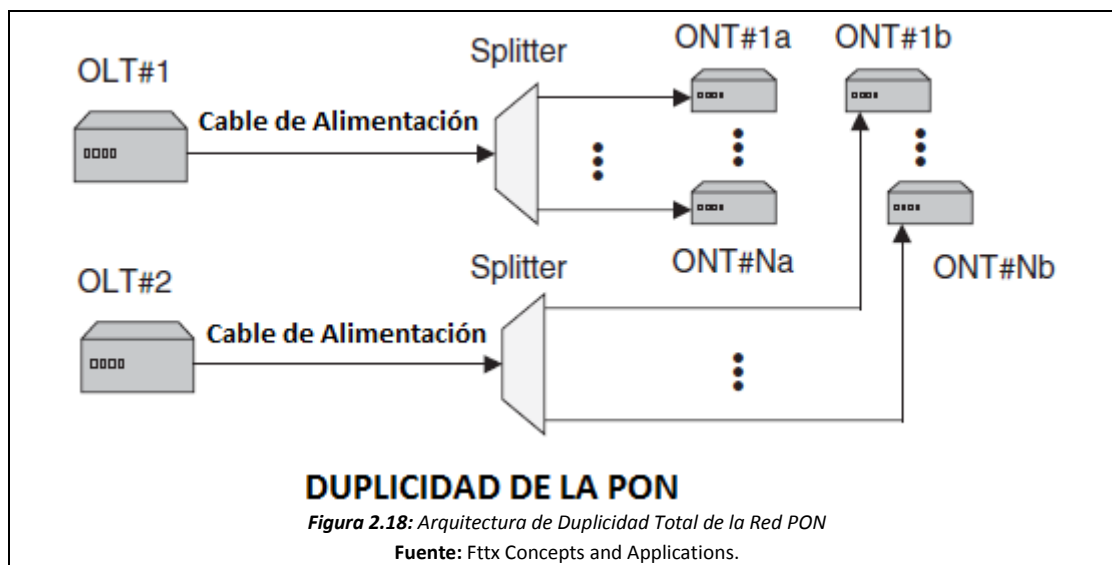
2.7.2 DUPLICIDAD DE OLT

Ésta alternativa de protección plantea tener un puerto de la OLT libre para proporcionar redundancia a la red, adicional a tener un cable de distribución principal contingente, con lo cual se proporciona una total redundancia frente a fallas que puedan afectar al conglomerado de abonados atados a esta red principal.



2.7.3 DUPLICIDAD DE TODA LA RED PON

Bajo este esquema se plantea tener un respaldo total de la red, lo cual implica la recuperación del servicio inmediata frente a cualquier caso de falla del servicio, es decir en incidencias masivas como en la afectación de un usuario específico, este tipo de arquitectura encarecen el costo de la red al doble.



2.7.4 DECISIÓN DE LA ARQUITECTURA DE REDUNDANCIA

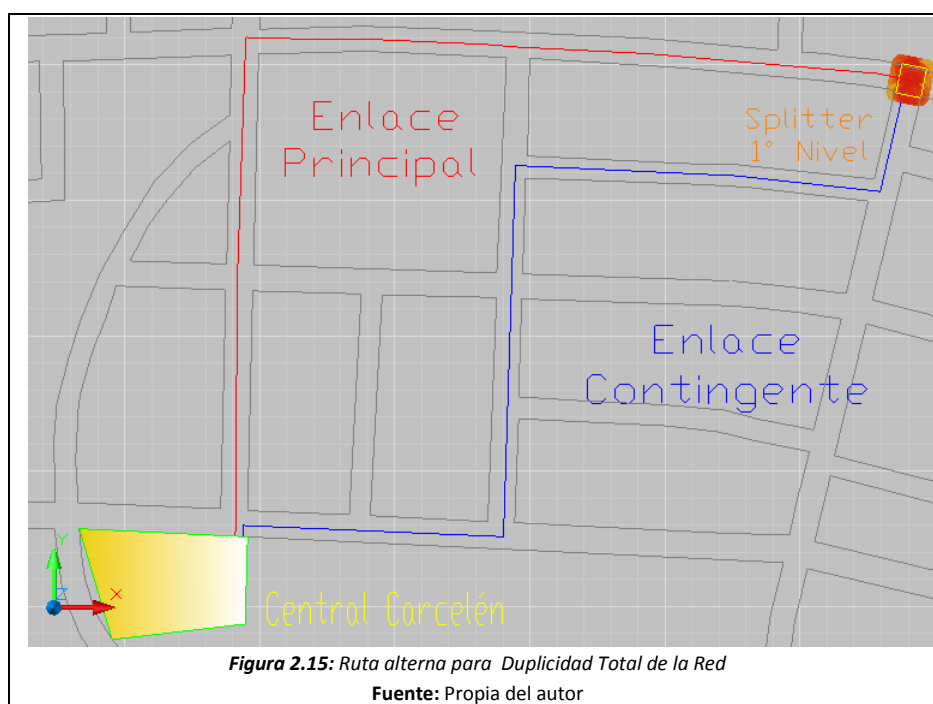
Para adoptar la opción más idónea se considera los siguientes criterios:

- Se debe priorizar la recuperación del servicio en el menor tiempo posible cuando la afectación del mismo abarca un mayor número de usuarios, para lo cual se enfoca en elementos del *backbone*, en redes PON se debe prever fallas de OLT y redes de distribución principal, que son los segmentos que comparten todos los usuarios de la red.
- Es importante tener en cuenta el costo que tendría el despliegue de la red, pues esto determinará su implementación o no; en tal virtud no es factible entregar un par de terminales a cada uno de los usuarios ya que esto reducirá el margen de rentabilidad del proyecto, adicionalmente está el hecho que estas eventuales fallas no son de gran impacto y que

pueden ser contrarrestadas con planes de soporte, en los cuales se establezcan factores como: tiempos de respuesta, equipos en *stock* para reemplazo y mantenimiento de equipos; lo cual permitirá dar un servicio de calidad a través de esta red de acceso.

Adicionalmente, se debe destacar que los equipos ONT actualmente proveen más de un puerto, lo cual si bien no brinda un respaldo en caso de falla total del equipo, si ofrece la versatilidad de poder usar otro de los puertos disponibles en el mismo equipo en caso de falla del puerto en uso.

En virtud de los criterios expuestos anteriormente, se determina que a la red diseñada se le dará una redundancia de OLT, bajo el criterio de reservar un puerto de la OLT para eventuales fallas del que está en operación sirviendo a cada 64 terminales OLT, adicionalmente se tenderá una fibra de *backcup* cuyo recorrido se lo describe a continuación, en color azul.



El recorrido adoptado para el paso del cable de fibra redundante hacia el primer *splitter* se valida que es de 0.57Km, es decir menor a la distancia del recorrido de la fibra principal lo cual implica que no es necesario establecer un nuevo escenario dentro del cálculo de los parámetros de la red en virtud de

que los valores obtenidos hasta el momento cubrirían una eventual conmutación entre los dos caminos, bajo la consideración que el único aspecto en que se podría ver afectado es en la atenuación de la señal mientras viaja por la fibra.

CAPÍTULO III

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

En función de la red diseñada en el capítulo anterior se presenta a continuación un plan en el cual se pretende dar los lineamientos generales y el orden en que se deben implementar los distintos tramos de la red para mantener un esquema predefinido, lo cual facilitará la transición entre el diseño y la posible implementación de la red.

3.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS TERMINALES GPON

Existen varios fabricantes en nuestro medio que ofertan equipos terminales, a continuación se presentan algunas alternativas de las cuales se ha podido recabar información y en función de esto se escogerá una línea de productos que se podrían considerar para objeto de una posible implementación de la red diseñada en el capítulo anterior.

3.1.1 EQUIPOS OLTS (*OPTICAL LINE TERMINAL*)

Entre los equipos que se tienen dentro de la central o nodo de interconexión del proveedor de servicios se tienen algunas alternativas, las cuales se exponen a continuación.

3.1.1.1 Huawei MA5600T

La compañía Huawei, es el líder de fabricantes de la tecnología FTTX GPON, y ofrece una plataforma unificada para ofrecer varios tipos de servicios como IPTV, TV *Broadcast*, VoIP, redes de datos, etc.

Además sus equipos están siendo usados por importantes proveedores de servicios a nivel mundial, entre los que se puede citar a *France Telecom*, *Deutsche Telecom*, *Telefónica Wholesale* y *Saudi Telecom*.

Para efectos de este estudio se ha escogido el equipo MA5600T, a continuación se presentan las características en la tabla 3.1, así como una fotografía del equipo.



Tipo	Tarjeta	Nombre	Función	Puertos Externos
Tablero de Control	SCUL	Super Control Unit	Sirve como tablero de control para el sistema	1 puerto para mantenimiento
Tablero de Servicio	GPBC	Tarjeta Interfaz GPON	Provee el acceso a GPON	4 Puestos GPON
	OPFA	Tarjeta Interfaz Optica FE	Provee 16 puertos ópticos FE	16 puertos Opticos FE
Tarjeta de Interfaz Upstream	GIFC	Tarjeta Interfaz GE Uplink	Genera los puertos GE Upstream	2 puertos Opticos GE
	GICG	Tarjeta Interfaz Eléctrica GE Uplink	Genera los puertos GE Upstream	2 puertos Eléctricos GE
	X1CA	Tarjeta Interfaz Óptica 10GE Uplink	Brinda enlace de subida para puertos 10GE	1 puertos Opticos 10GE
	X2CA	Tarjeta Interfaz Óptica 10GE Uplink	Brinda enlace de subida para puertos 10GE	2 puertos Opticos 10GE
Tarjeta Interfaz TDM	TOPA	Tarjeta Interfaz TDM	Brinda conexión Subida E1	16 puertos E1
Tarjeta Subred	ETHA	Interfaz de subred GE	Da funciones de subred GE	8 puertos ópticos GE
Tarjeta de alimentación de Potencia	PRTG	Tarjeta de alimentación de Potencia	Brinda alimentación de potencia para el servicio de chasis	1 Conector de potencia
Tarjetas Funcionales	BIUA	Interfaz BITS	procesamiento de señales de reloj	2 ingreso de reloj bits y 1 salida reloj bits

Tabla 3.1.- Características LT Huawei MA5600T

Fuente: SmartAx MA5600T Acces Equipment V800R005 Product Description "Huawei technologies"

A continuación en la tabla 3.2 se destacan las características de los puertos GPON de esta OLT MA5600T.

Párametro	Especificación
Tasa de transmisión	Transmisión (Tx): 2.5Gbit/s Recepción (Rx): 1.25Gbit/s
Tipo de conector	SC/PC
Distancia máxima de Tx	20Km
Longitud de onda central	Tx: 1490nm Rx: 1310nm
Potencia de Tx óptica	1,5dBm a 5dBm
Radio de Extinción	10dB
Sensibilidad Máxima Rx	-28dBm
Potencia de Sobrecarga	-8dBm
Estandar	UIT-T G.948.2 CLASE B +

Tabla 3.2.- Especificaciones Técnicas de puertos MA5600T

Fuente: SmartAx MA5600T Acces Equipment V800R005 Product Description "Huawei technologies"

Dentro de las características del servicio de este equipo, el fabricante oferta un sistema de gestión en el cual se destacan varios tipos de servicio como los listados en la tabla 3.3.

Características del servicio MA5680T	
Categoría	VLAN
	Multicast
	Servicio de Línea privada TDM
	Reloj Stratum-3
	Extención GE
	Suspensión Tormenta Broadcast
	Tabla de Direcciones MAC
	Control de Flujo
	QoS
	Seguridad
	Manejo de Terminales GPON
	Puertos GPON

Tabla 3.3.- Características del servicio MA5600T

Fuente: SmartAx MA5600T Acces Equipment V800R005 Product Description "Huawei technologies"

Para el mantenimiento y administración de la red el sistema presenta las siguientes bondades, expuestas en la tabla 3.4.

Características de administración y mantenimiento MA5680T	
Categoría	Configuración por consola
	Configuración remota SSH/Telnet
	Configuración CLI
	Almas Gerárquicas
	Ping
	Trasado de Ruta
	Protocolo IGMP
	Protocolo DHCP

Tabla 3.4.- Características de administración y mantenimiento MA5680T

Fuente: SmartAx MA5600T Acces Equipment V800R005 Product Description "Huawei technologies"

3.1.1.2 Motorola AXS2200



La solución tecnológica en OLT de Motorola ofrece varios tipos de servicio y está optimizada para la distribución del video; ofrece escalabilidad y flexibilidad para una capacidad de crecimiento superior en servicios como IPTV, alta definición en video bajo demanda y desplazamiento temporal en televisión, soporta hasta 2034 suscriptores.

Nombre	Función	Puertos
Ranuras Control	Sistemas de control	2 puertos de control
Ranuras Conmutación	Sistemas de conmutación	2 puertos de manejo de conmutación
Ranuras GPON	Capacidad de tarjetas	18
Tarjetas GPON	Agrupar puertos GPON	4 puertos por tarjeta
Puertos GPON	Interconexión de usuarios	hasta 64 usuarios por puerto
Tarjeta Interfaz Eléctrica GE Uplink	Genera los puertos GE Upstream	hasta 180 puertos GE
Tarjeta Interfaz Óptica 10GE Uplink	Brinda enlace de subida para puertos 10GE	hasta 20 puertos 10GE
Tarjeta Interfaz TDM	Soporte para GR-303, TR-008, T1 CAS voice GW y CES	Hasta 112 puertos T1
Tarjeta Interfaz TDM	Soporte para GR-303, TR-008, T1 CAS voice GW y CES	Hasta 84 puertos E1
tarjetas Funcionales	procesamiento de señales de reloj	puerto externo reloj DS1/E1

Tabla 3.5.- Características OLT AXS2200
Fuente: Motorola AXS2200 GPON OLT datasheet.

Con respecto al servicio se tiene el siguiente esquema soportado.

Características del servicio ASX2200	
Categoría	Multicast
	Servicio de Línea privada TDM
	Reloj Stratum-3
	Extensión GE
	OLT voice gateway clustering
	VLAN 802.1Q
	Ethernet QoS
	SIP
	Seguridad
	Manejo de Terminales GPON
	Puertos GPON
	VoIP

Tabla 3.6.- Características del servicio soportado OLT AXS2200
Fuente: Motorola AXS2200 GPON OLT datasheet.

3.1.1.3 OLT FHC1102L



Las características de este equipo se muestran en la tabla 3.7

Módulo	Característica	Descripción
Equipo interfaz	2 Puertos de Ethernet 10/100/1000M, 2 ranuras extensibles 1.25Gbps SFP	Reune todas las características de 1000BASE-T Soporta 10/100/1000 full - duplex / halfdúplex Soporta LED indicador de LINK/ACT
	4 puertos PON SC/PC	De acuerdo estándar del protocolo 802,3ah
	4 puerto CATV de fibra SC/APC	Longitud de onda de 1550nm
	1 puerto de consola	De acuerdo con estándar del protocolo RS232
	1 puerto de administración Ethernet 100M	De acuerdo con estándar 100 BASE-TX
Administración	SNMP	Adopta el protocolo SNMP V2, y provee un software de administración PC GUI
	CLI	Administración remota a través de protocolo telnet y autenticación de usuario.
Sistema Gestor Mantenimiento	Configuración de Almacenamiento	Los parámetros de configuración almacenados en la FLASH no se pierden en caso de fallas de energía.
	Configuración del direccionamiento IP	Número e información del enlace descendente ONU de PON
	Información del sistema	Establece el nombre y la ubicación geográfica del sistema
Administración PON	Administración topológica de la red	Número e información del enlace descendente PON para cada ONU.
	Administración Estadísticas	Cuenta el flujo por puerto de los CNIs
Administración ONU	Configuración de Ancho de Banda	Asigna la prioridad así como el mínimo y máximo ancho de banda
	Información Acceso	Provee ONTOLT ID, LLID, Adicionalmente dirección MAC, Información geográfica, etc.
	Configuraciones de autorización de la ONU	Autoriza el ingreso o no de una ONU a la Red
	Administración Estadísticas	Contabiliza el flujo de tráfico de las ONUs
	Gestión de Puertos	Administra el estado de los puertos Ethernet
Protocolo de Transmisión Capa 2	IGMP SNOOPING	Soporta Protocolo IGMP V1/V2 y entrega reporte de abandono o encolamiento
	Aislamiento de Puerto	Aislamiento de puerto basado en el protocolo 802.3ah Soporta la transmisión, servicios y almacenamiento de VLANs
	Funciones de VLAN	

Tabla 3.7.- Características FHC1102L

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/olt-fhc1102l-equipment-532313847.html>

3.1.1.4 Elección de la OLT

A continuación se muestra una tabla comparativa entre los tres modelos de OLT analizados en las secciones 3.1.1.1, 3.1.1.2 y 3.1.1.3.

Característica	OLT MA5600T	OLT AXS2200	OLT FHC1102L
Número de usuarios soportados	4096	2304	
Puerto para Mantenimiento	si	si	si
Tasa de transmisión	2,5 Gbps <i>Downlink</i> 1,25 Gbps <i>Uplink</i>	2,5 Gbps <i>Downlink</i> 1,25 Gbps <i>Uplink</i>	1,25 Gbps <i>Downlink</i> 1,25 Gbps <i>Uplink</i>
Soporte Vlan	si	si	si
Adminstración y Configuración Remota	si	Solo Administración	no
Calidad de Servicio	si	si	no
Protocolo de Administración	SNMP v1, v2-; IGMP	SNMP v2	IGMP v1,v2
Sistemas de Alarmas Jerárquicas			
Optimizado para	ISP	TELFONICAS	CATV
Conectividad E1/ATM	si	si	no

Tabla 3.8.- Comparación de equipos OLT.

Fuente: Propia del autor

Los equipos analizados anteriormente tienen características bastante similares, sin embargo se puede destacar por ejemplo:

- La gestión remota a través de dos tipos de protocolo (Telnet/SSH), brindada por el fabricante Huawei.
- El sistema de alarmas jerárquicas brindadas en el *software* de gestión de la OLT MA5600T.
- La OLT FHC1102L si bien es cierto soporta servicio triple *play*, tiene una concepción de fabricación desde el punto de vista de una empresa de CATV.
- La OLT FHC1102L no tiene la capacidad en puertos para conexión con redes ATM o Interfaces E1, a diferencia de las OLTs MA5600T y AXS2200.

En función de los equipos descritos en los apartados precedentes, se elige la solución del fabricante Huawei ya que cumple con los estándares para la recomendaciones bajo las cuales se ha realizado éste diseño, presenta características que las destacan de entre los tres fabricantes mencionados anteriormente, como por ejemplo el hecho de configuración remota tanto de OLT como de ONT. Adicionalmente, se tiene familiarización por parte del diseñador en cuanto al manejo de los equipos y al software de gestión, el cual es amigable para las personas encargadas del monitoreo y soporte de la red.

3.1.2 EQUIPOS ONT (*OPTICAL NETWORK TERMINAL*)

3.1.2.1 Huawei HG850a

A continuación se describen las principales características de la ONT Huawei HG850a como equipo terminal de la red a diseñarse.



ONT HG850a		
Puerto	Cantidad	Descripción
GPON	1	Entrada de señal óptica Gpon
INIT	1	Puerto para reiniciar o restaurar la configuración interna.
FE /GE	4	Puerto de conexión Switch, router PC, LAN
Fuente de poder	1	Conecta hacia la fuente de alimentación AC 110 -120 Mhz

Tabla 3.9.- Características ONT HG850a

Fuente: SmartAx MA5680T Acces Equipment V800R005 Product Description "Huawei technologies"

3.1.2.2 Motorola ONT1120GE



A continuación se presenta uno de los equipos ONT's del fabricante Motorola y cuyas principales características se resumen en la tabla 3.10.

ONT MOTOROLA 1120GE		
Puerto	Cantidad	Descripción
GPON	1	Entrada de señal óptica Gpon conector SC/UPC
Red LAN	4	Puertos 10/100/100 base T conector Rj45.
Fuente de poder	1	Conecta hacia la fuente de alimentación 110 -120 V AC / 12V DC

Tabla 3.10.- Características Motorola 1120GE
Fuente: Motorola 1120GE GPON ONT datasheet.

3.1.2.3 ONT FHC1102R1

Siguiendo en la búsqueda del equipo terminal de usuario se describe a continuación la ONT FHC1102R1.



La siguiente tabla muestra las principales características de este equipo.

ONT FHC1102R1		
	Feature	Description
Ports	LAN	4 ports 100Mbps
CATV fiber port	Working wavelength	1310nm&1550nm±20nm
	Optical receiving power range	-6dBm~-1dBm
	Optical adaptor	SC/APC
CATV RF feature	Output level	75dBvu@860MHz
	AGC working range	10dB
	CNR	≥46dB@-6dBm optical receiving power
	C/CSO&C/C TB	≤-60dB
Other parameter	Power supply	90-260AC
	Power consumption	Quota: 7W Max: 10W
	Dimension	200mm×120mm×30mmL×W×H
	Weight	G.W 3Kg
	Temperature	0~+40

Tabla 3.11.- Características ONT FHC1102R1

Fuente: <http://www.fh-net.cn/en>

3.1.2.4 Elección del equipo ONT

A continuación se muestra una tabla comparativa entre los tres equipos presentados anteriormente.

Característica	ONT HG850a	ONT 1120GE	ONT FHC1102R1
Número de puertos PON	1	1	1
Puertos FE	4	4	4
Puertos GE	4	-	-
Botón de Reinicio	si	si	si
Alimentación eléctrica	110 VAC	110 VAC -220 VAC	90 -260 VAC

Tabla 3.12.- Comparación de equipos ONT

Fuente: Propia del autor

En función de las bondades que ofertan las ONT descritas, se aprecian que son muy similares en cuanto a la conexión con los equipos del usuario final; sin embargo se elige al equipo del fabricante Huawei ONT HG850a en virtud de que se ha elegido a su par OLT, lo cual limita ya que se debe escoger una solución completa en equipos GPON, por temas de compatibilidad y soporte.

Adicionalmente, este equipo al tener cuatro puertos permite tener la factibilidad de utilizar el mismo equipo en caso de fallas de uno de los puertos, lo cual reduce el tiempo de recuperación frente a fallas y ayuda a mantener los acuerdos de disponibilidad ofertados al cliente.

3.2 INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO A LA INFRAESTRUCTURA DEL PROVEEDOR

Bajo la consideración de que, el equipo que brinda la conexión hacia la infraestructura del proveedor del servicio de las redes GPON (OLT), y en virtud a las características expuestas en la tabla 3.1, se utilizará la tarjeta GICG,³⁵ que brinda la conexión de subida con una interfaz eléctrica con capacidad Gigabit *Ethernet*, y la cual se conectará a un *switch* metro *Ethernet* a través del cual se establecerá la integración de la red de acceso, el cual a su vez se integra a la red MPLS referida en el capítulo 2.

Luego de esto se debe colocar el *patchcord* de fibra en el ODF, para conservar una distribución ordenada dentro de los armarios de comunicaciones, y desde qui se conecte hacia la red *outdoor* la cual se colocará a través de los postes de la empresa eléctrica Quito.

³⁵ GIFC.- Interfaz RJ45 con capacidades Gigabit Etehernet, la cual se pues expandir hasta 384.



3.2.1 SALIDA DE LA CENTRAL DEL OPERADOR HACIA LA REDES DE ACCESO.

Los dos cables empleados para la redundancia de la red hacia el primer splitter son direccionados a través de ductos destinados específicamente para cables ópticos y alcanzan la parte superior del edificio de la central Carcelén de CNT E.P, para luego trasladarse hacia el primer poste ubicado directamente sobre la acera de la entrada de dicha la edificación antes mencionada, y que siguen las rutas descritas en el apartado.

3.3 DESPLIEGUE DE LA RED DE ACCESO

La instalación de los cables de fibra en los postes de distribución eléctrica básicamente pueden clasificarse en aquellas que usan cable de guarda y las que usan cable auto soportado; dado que se ha elegido utilizar cables ADSS se tienen dos técnicas de tendido del cable, la primera con el carrete fijo y la segunda con desplazamiento de carrete, se procede a describir el proceso de carrete fijo como guía para este proyecto, en virtud de que este tipo de instalación tiene varias ventajas sobre la instalación del cable de guarda, ya que el tipo de cable utilizado es mucho más liviano que el OPGW, posee menor carga de rotura, lo que facilita su manipulación, disminuye la movilización e implica un menor tiempo de instalación, lo que se traduce en reducción de los costos.

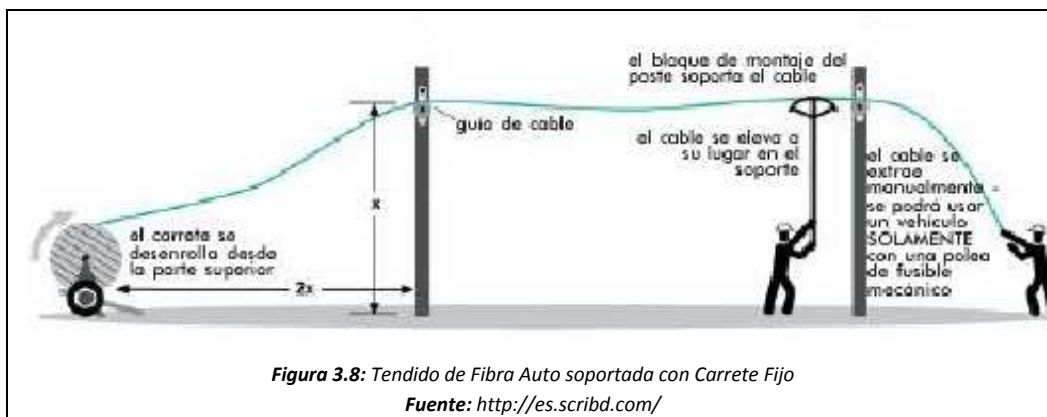
3.3.1 TENDIDO CON CARRETE FIJO

Este es el método usual de tendido de cables. El cable se coloca desde el carrete hacia arriba por el alambre, tirado por un dispositivo que solamente viaja hacia adelante y es mantenido en alto por los soportes de cables tal como se muestra en la figura 3.8. Durante la extracción se forman bucles de exceso (flojedad) y el atado de hilos de cables se realiza después de tender los cables. El procedimiento de instalación utilizando este método es el siguiente:

- a) Se coloca el carrete al comienzo de la ruta y se ata una cuerda al extremo del cable.
- b) Se pasa el cable a través de la guía del poste inicial del tendido.
- c) Se hace pasar el cable a través de las guías de los postes restantes de la ruta, controlando la velocidad de giro del carrete. Se procede a tensar el cable teniendo cuidado en no exceder el máximo valor de tensión que puede soportar. La guía de instalación debe colocarse en el primer poste de la ruta del cable o acoplarse al alambre en el primer poste. La ubicación de la guía de cables debe mantener el cable apartado para que no roce el carrete ni el poste. Se puede usar un bloque de esquina de 45° o 90° como guía de instalación.
- d) El remolque debe colocarse en línea con el alambre y a doble distancia de la guía de instalación al piso desde la guía. Esto impedirá que el cable roce el poste (o carrete) o que se acople a la guía. Si el remolque no se puede ubicar allí, debe moverse la guía de instalación y el remolque del cable a un poste adyacente.
- e) Se debe utilizar una jabalina de guía/levantador de soporte de cable para colocar soportes de cable en el alambre cada 9 a 15 metros, se debe colocar los bloques de esquina en todas las esquinas mayores de 30° en la línea de postes.

Nunca se debe extraer el cable por encima de los rodillos extremos de los bloques de esquina.

Se debe usar todo el juego o de lo contrario deformarán el cable. En las esquinas de menos de 30°, se pueden colocar soporte s de cables en el alambre a varios metros de cada lado de los accesorios de poste.



f) Debe acoplarse un agarre de cable adecuado a cada cable, asegurando que se agarre al cable con cinta para impedir que el cable se salga del agarre si se soltara la tensión de extracción. Colocar un fusible mecánico entre el agarre para extraer el cable y el tirador del cable. Se puede colocar un dinamómetro en línea junto con el fusible mecánico.

g) Aplicar el tirador de cable en el poste y libara la tensión en la línea de extracción. Pasar el cable y el tirador a lo largo del frente del poste y el accesorio de línea/poste, y volver a acoplar el tirador de cable al alambre. Colocar los soportes de cable a cada lado del poste. En las ubicaciones de los bloques de esquina, se debe pasar el tirador de cable al lado opuesto del poste y encaminar los cables a través del bloque de esquina.

h) Debe dejarse suficiente cantidad de cable en el primer y último poste al extraer el cable para facilitar el empalme. El cable debe poder alcanzar el suelo, pasar por un camión/remolque y colocarse en una caja de

empalme. Debe cubrirse el extremo del cable abierto para prevenir la contaminación con la suciedad o humedad, luego enrollar el cable, teniendo cuidado de no exceder el radio mínimo de curvatura y atar el bucle al alambre alejándolo del poste. Debe apartarse cable adicional (flojedad) y volverse a atar al alambre para facilitar el empalme o la futura reubicación de la línea de postes. Por lo general, un 5% adicional de la extensión total del cable se guarda durante la instalación.

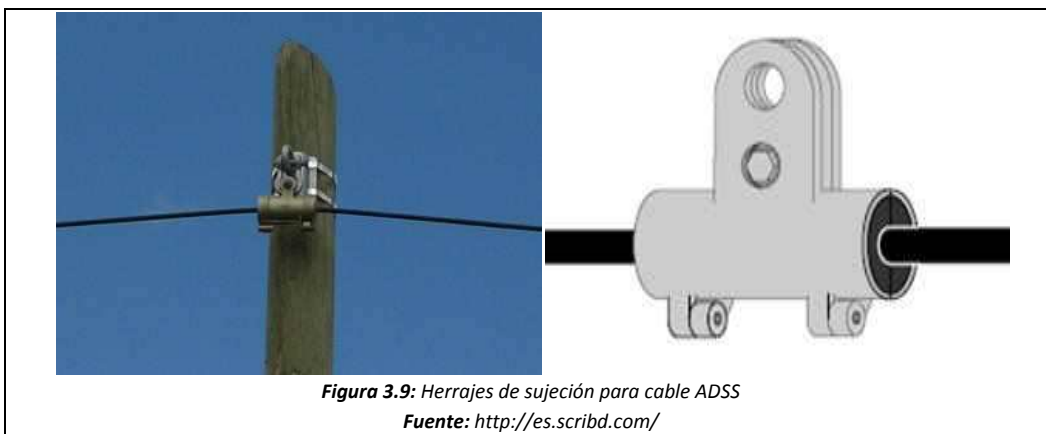
3.3.2 HERRAJES PARA EL TENDIDO DE CABLES.

Los herrajes son los elementos de sujeción y tensión de cables, además sirven de elementos de protección eléctrica dentro del tendido en las infraestructuras de redes de distribución eléctrica.

En cuanto a la clasificación de los herrajes se consideran factores como el tipo de cable y los vanos en los cuales van a ser empleados, en función de esto vamos a analizar los herrajes para cable ADSS tanto de soporte como de sujeción.

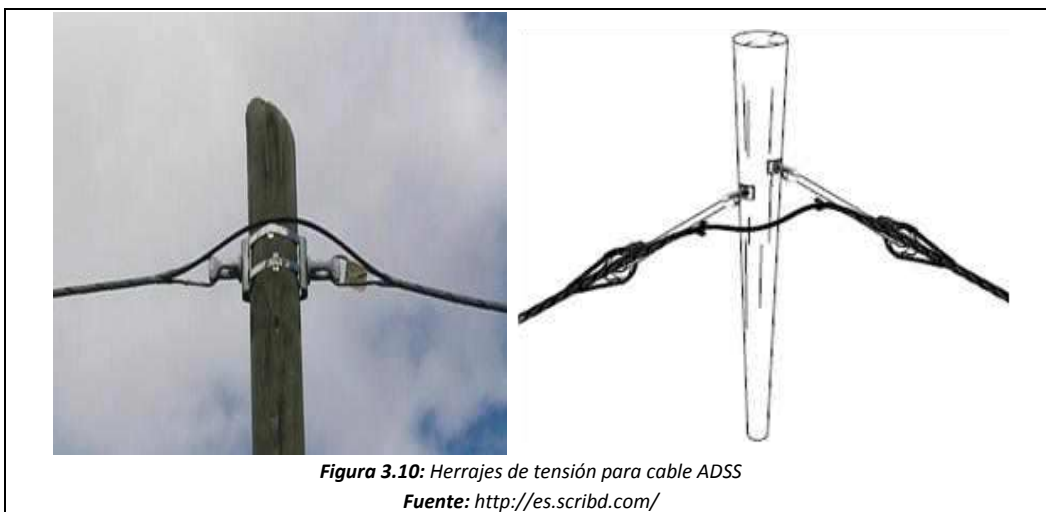
3.3.2.1 Herrajes de Sujeción para cables ADSS.

Los herrajes de suspensión se utilizan en vanos cortos y rectos, es decir que no posean tensión ni cambio de dirección del cable, en estos elementos el cable se puede deslizar de manera libre para evitar las tensiones en el tendido.



3.3.2.2 Herrajes de Tensión para cables ADSS.

Este tipo de herrajes se utilizan en vanos largos donde es preciso sujetar el cable para evitar que la tensión propia del cable dañe la forma geométrica del mismo, así mismo se utiliza en curvaturas de la trayectoria del tendido de la fibra óptica.



3.3.3 DESPLIEGUE DEL PRIMER SEGMENTO DE LA RED DE ACCESO

Como siguiente paso a seguir se debe tramitar los permisos necesarios con las autoridades competentes, en este caso el Ilustre Municipio de Quito.

Paralelamente se debe solicitar el arrendamiento al propietario de los postes a utilizarse para el tendido aéreo de la fibra, en este caso corresponde a la Empresa Eléctrica Quito.

Posterior a tener en regla el tema de la normativa, se puede proceder al tema operativo de tender la fibra desde la central de abonado hacia el primer splitter ubicado en las calles José Andrade y mariano Paredes, para lo cual se emplearán 7 postes para el recorrido principal y 6 adicionales para el secundario, este equipo es del tipo *outdoor* y se lo ubica dentro de una manga aérea instalada apropiadamente; es importante destacar que se tiene dos tramos de fibra para crear la redundancia a este segmento, debido a que soporta a todos los usuarios de la red en cuestión.



Como norma general en este tipo de instalaciones *outdoor* es necesario dejar un segmento del cable de fibra de aproximadamente 5 metros para efectos de refacciones, fusiones, empalmes, ya que se requiere bajar la mufa a nivel del suelo para facilitar la manipulación de *splitters* y cables.

A continuación se muestra un resumen de las distancias entre postes para cada uno de los recorridos de este segmento, las cuales se pueden observar en el anexo C de este documento.

DISTANCIAS AL 1 SPLITTER PRINCIPAL	DISTANCIAS AL 1 SPLITTER BACKUP
6,52	6,52
89,52	67,54
93,03	57,07
85,55	81,07
108,67	90,06
123,6	92,57
88,7	71,94
	28,16
	70,14
595,59	565,07

Tabla 3.13.- Longitud de los vanos de cable, primer segmento.
Fuente: Propia del auto.

3.3.4 DESPLIEGUE DEL SEGUNDO SEGMENTO DE LA RED DE ACCESO

Para este caso se deben gestionar de igual forma los permisos de las autoridades de regulación y contratar el servicio de arrendamiento con el propietario de los postes a utilizarse.

Luego de esto se debe proceder al tendido de la fibra hacia el segundo *splitter* 1:16 ubicado en la intersección de las calles Domingo Rengifo y Joaquín Mancheno y éste se colocará en el interior de una mufa y desde aquí se procederá a distribuir a los 16 posibles clientes pegados a este segmento de red.

Para el caso particular de la empresa Arclad se procederá hasta el poste ubicado frente a las instalaciones sobre la calle José Andrade, desde aquí se procederá a introducir la fibra al interior hasta el cuarto de equipos de la empresa, como se muestra en el siguiente reporte fotográfico.



Figura 3.11: Ingreso Fibra a Arclad S.A.

Fuente: Propia del autor

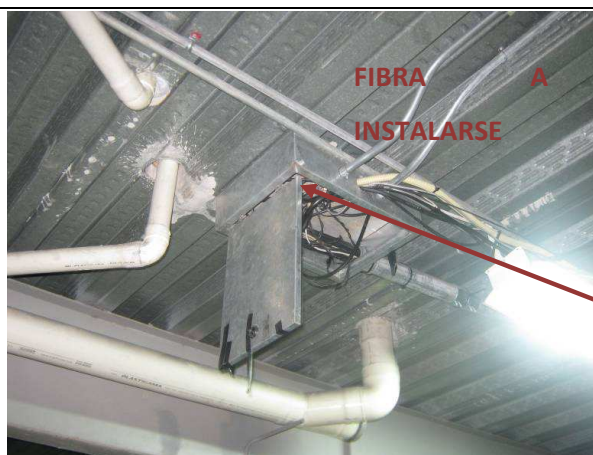


Figura 3.12: Ingreso de la fibra por ductería.

Fuente: Propia del autor

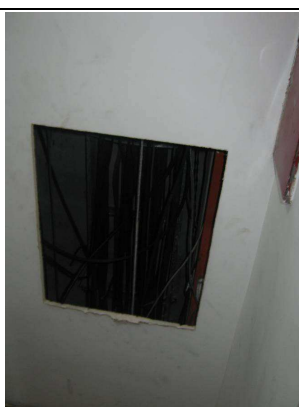
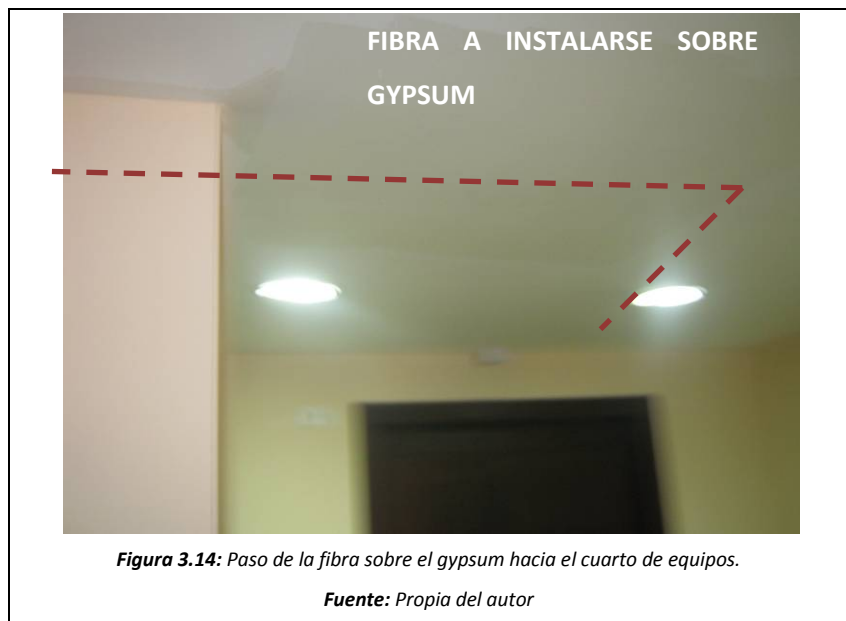


Figura 3.13: Paso de la fibra hacia la planta baja a través de la ductería

Fuente: Propia del autor



Para este caso se emplean 10 postes adicionales de la empresa eléctrica Quito, a continuación se detallan las distancias de los vanos para dichos recorridos, y su disposición está disponible en el anexo C.

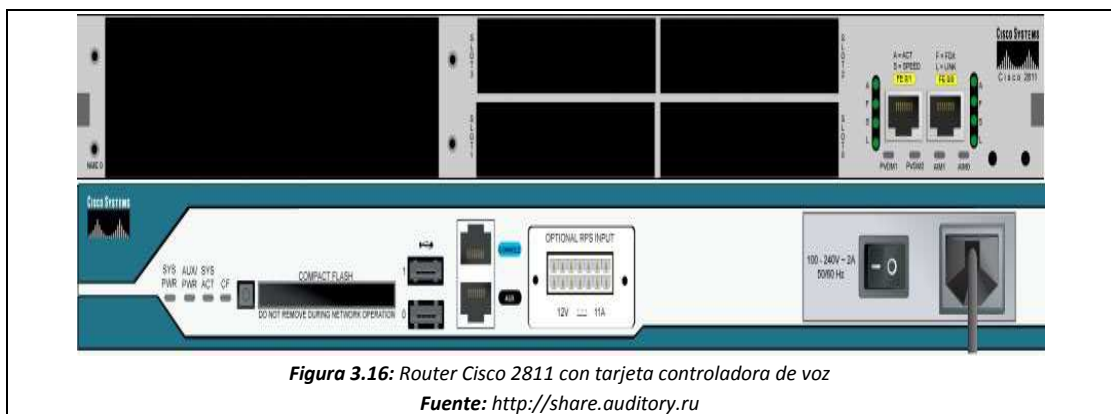
DISTANCIAS AL 2 SPLITTER	DISTANCIA HASTA ARCLAD
70,26	22,5
112,84	79,19
76,72	130,48
82,57	51,3
66,85	
89,2	
66,9	
22,5	
587,84	283,47

Tabla 3.14.- Longitud de los vanos de cable segundo segmento.
Fuente: Propia del auto.

3.4 ACOPLAMIENTO A LA RED LAN DEL CLIENTE

Una vez que se encuentra la fibra en el cuarto de equipos del cliente se debe realizar la interfaz electro-óptica para lo cual en la tecnología FTTH, se utilizará el equipo terminal ONT elegido en el inciso 3.1.2.4, la cual a través de uno de sus cuatro puertos brindará conectividad hacia un *router* como punto de control para el proveedor de servicios, para este efecto se puede seleccionar el equipo más idóneo dependiendo de las características que requiere el operador o el cliente, como: protocolo de enrutamiento, calidad de servicio, priorización de tráfico, administración de centrales de VoIP, monitoreo SNMP, etc. Para el caso particular de Arclad S.A., se requiere una interfaz de voz adicionalmente al tráfico de Internet y Datos, por lo cual se colocará un *Router* Cisco 2811 con una tarjeta controladora de voz cisco VWIC de dos puertos, para la interconexión con la PSTN³⁶ y la administración de la telefonía IP.

³⁶ PSTN.- Public Switched Network.



Es necesaria la instalación de una bandeja de Rack (1UR) para la instalación de los equipos dentro del rack en el cuarto de equipos del cliente.

Adicionalmente se deben conectar a la toma que están atadas al regulador de voltaje para evitar el daño en los equipos instalados.

Es importante validar que el *rack* que aloja los equipos de comunicación esté provisto por un sistema de ventilación adecuado que impida el sobrecalentamiento de los mismos.

3.5 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA RED

Para este análisis del estimado de la red solo se considerarán los costos de los equipos a instalarse tanto de infraestructura del proveedor de servicios como del equipo terminal del cliente; y, se descarta los costos que se generarían por mano de obra, ya que dichos costos deberán ser asumidos por el proveedor de servicios con sus recursos disponibles y que están bajo relación de dependencia.

Adicionalmente se descartan los costos de trámite de permisos y de alquiler de los postes que serán empleados en el tendido de los cables de fibra, ni de las herramientas necesarias para la realización de dichos trabajos.

Como premisas operativamente se estima los costos para los 64 usuarios que se podrían atar a 1 splitter de primer nivel (1 a 4) y 1 splitter de (1 a 16), para

el cual en virtud de las distancias obtenidas en el diseño de la red descrita en el capítulo anterior se asume una distancia promedio del primer segmento de 700m y para la fibra de acometida al cliente de 400m y, en función de lo cual se tienen los siguientes valores.

3.5.1 EQUIPOS ACTIVOS

Dentro de los elementos activos de la red están los equipos terminales, es decir los equipos ONT y OLT del fabricante Huawei y cuyos costos del mercado se los detalla en la siguiente tabla.

EQUIPOS ACTIVOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
ONT HG850a HUAWEI	U	64	213	13632,00
OLT MA5600T HUAWEI	U	182/4096	20000	625,00
			SUMA TOTAL	14257,00

Tabla 3.15.- Costos de Elementos activos

Fuente: Estudio y Diseño Para el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito.

Cabe destacar que para el caso de la OLT el costo está prorrateado entre los 64 de los 4096 posibles usuarios en función de que ésta es la capacidad del equipo; sin embargo, considerando el tema de contingencia de infraestructura y al modelo escogido en el diseño de esta red se requieren 128 recursos disponibles del equipo OLT.

3.5.2 ELEMENTOS PASIVOS

A continuación se listan los elementos que se requieren para la instalación de la red de acceso de esta empresa y los costos referenciales que se tienen en el mercado de acuerdo a varias fuentes que se ha logrado recopilar.

ELEMENTOS PASIVOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDA D	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	TOTAL
FO monomodo 2 hilos Tipo G.252 Acometida	m	7680	1,50	11520,00
FO monomodo 2 hilos Tipo G.252 segundo Segmento	m	3360	1,50	5040,00
FO monomodo 2 hilos Tipo G.252 primer segmento	m	1392	1,50	2088,00
Splitters 1 a 16 GPON norma UIT-T G.984.X	u	4	541,00	2164,00
Splitters 1 a 4 GPON norma UIT-T G.984.X	u	1	237,00	237,00
Mufas para Fibra outdoor	u	2	2000,00	4000,00
Soporte protectores de Mufas	u	2	9,20	18,40
Grapas suspensión de Fibra 2 hilos	u	138	2,20	303,60
Patch Cord FO SC(APC)/SC(PC) 2,5M	u	64	11,14	712,64
ODF 2 Puertos (chasis)	u	64	9,59	613,82
Pigtail SC	u	64	6,42	411,11
			TOTAL	27108,58

Tabla 3.16.- Costos de Elementos activos
Fuente: Catalogo empresa Furukawa,

Para los elementos activos es necesario aclarar que las longitudes de las fibras están calculadas en función de los valores promedios descritos como premisas del análisis de costos y se introduce un factor de ajuste del 10 % para fusiones, técnicas de tendido y empalmes, así también es importante indicar que los elementos atados a las acometidas del cliente están consideradas para los 64 usuarios posibles.

3.5.3 COSTOS TOTALES

Dentro del alcance de esta estimación del costo se tienen los siguientes costos totales.

ELEMENTOS ACTIVOS	
DESCRIPCIÓN	TOTAL
COSTOS ELEMENTOS ACTIVOS	14257,00
COSTOS ELEMENTOS PASIVOS	27108,58
SUMA TOTAL	41365,58

Tabla 3.17.- Costos Totales de la Red de Acceso
Fuente: Propia del autor.

3.5.3.1 Estimación del Costo que Incidiría la Red de Acceso en el Precio del Servicio

A continuación se realiza un análisis del costo que se debería considerar añadir para el uso de esta red para el precio que el proveedor de servicios oferta a sus clientes, para dicho efecto se considerarán tres escenarios de utilización de la red que simulan la incertidumbre que se genera en cuanto a la operación de esta red, por motivo de que no se cuenta con un análisis de mercado previamente realizado el cual permita determinar la demanda presente en el área de impacto de esta red de acceso.

Adicionalmente los costos de esta red están estimados para un lapso de cinco años para los elementos correspondientes a la infraestructura de red del proveedor de servicio y de tres años para quipos terminales o equipos de usuario, adicionalmente se estima que para proyectos de telecomunicaciones terrestres en el Ecuador la tasa de retribución necesaria para inversiones varía entre el 18% y 22%,³⁷ dicho valor puede variar por factores como la condición financiera y operativa de la empresa, la oferta y demanda del capital en el mercado, el riesgo de invertir en el país, las condiciones mismas del mercado, la cantidad de financiamiento, etc. los mismos que están determinados dentro del cálculo del promedio ponderado del costo del capital o más comúnmente conocido como WACC (*Weighted Average Cost of Capital*).³⁸

Para efectos de este análisis se considerará una tasa de interés de 20 % para infraestructura de red y de 18% para costos de terminales.

A continuación se clasifica los costos en función del tipo de la parte de la red donde se está empleando, así:

- Global.- Cuando se comparte con todos los usuarios de la red.
- Parcial.- Cuando se comparte un segmento de los usuarios de la red.

³⁷ Valor referenciado del Curso de Costeo de Redes Escuela Politécnica Nacional, Ing. Freddy Lemus 2010.

³⁸ WACC.- Modelo que permite fijar una tasa de descuento para que una inversión sea viable.

- Terminal.- Cuando es único para un usuario.

COSTOS		
TIPO	DESCRIPCIÓN	TOTAL
GLOBAL	OLT MA5600T HUAWEI	625,00
GLOBAL	FO monomodo 2 hilos Tipo G.252 primer segmento	2088,00
PARCIAL	Splitters 1 a 16 GPON norma UIT-T G.984.X	2164,00
PARCIAL	Splitters 1 a 4 GPON norma UIT-T G.984.X	237,00
PARCIAL	Mufas para Fibra outdoor	4000,00
PARCIAL	Soporte protectores de Mufas	18,40
TERMINAL	ONT HG850a HUAWEI	13632,00
TERMINAL	FO monomodo 2 hilos Tipo G.252 segundo Acometida	11520,00
TERMINAL	FO monomodo 2 hilos Tipo G.252 segundo Segmento	5040,00
TERMINAL	Grapas suspensión de Fibra 2 hilos	303,60
TERMINAL	Patch Cord FO SC(APC)/SC(PC) 2,5M	712,64
TERMINAL	ODF 2 Puertos (chasis)	613,82
TERMINAL	Pigtail SC	411,11

Tabla 3.18.- Clasificación de costos de la Red de Acceso

Fuente: Propia del autor.

A continuación se muestra un resumen de los costos según la clasificación descrita en la tabla 3.18.

COSTOS	
TIPO	VALOR
TERMINAL	32233,18
PARCIAL	6419,40
GLOBAL	2713,00

Tabla 3.19.- Resumen de costos de la Red de Acceso

Fuente: Propia del autor

Consiguientemente se procederá a mensualizar los costos con la ayuda de la herramienta Excel, de acuerdo a lo estipulado anteriormente, es decir con una tasa del 20% y un plazo de 5 años para costos parciales y globales (INFRAESTRUCTURA) y a una tasa del 18% para costos terminales,

adicionalmente se prorratea este costo para los 64 usuarios que tendría como carga esta red.

COSTOS GLOBALES		
TIPO	VALOR TOTAL	VALOR POR USUARIO
TERMINAL	\$ 874,22	\$ 13,66
PARCIAL	\$ 174,10	\$ 2,72
GLOBAL	\$ 73,58	\$ 1,15
TOTAL		\$ 17,53

Tabla 3.20.- Costo por usuario de la Red de Acceso

Fuente: Propia del autor

En virtud de no contar con un análisis que determine la demanda del mercado existente en el sector de impacto del presente proyecto, se analiza un ambiente de incertidumbre en el cual se tiene tres escenarios techo al 100%, medio al 50% y piso al 30%, con respecto a la utilización de la red.

COSTOS GLOBALES				
TIPO	VALOR TOTAL	TECHO 100%	MEDIO 50%	PISO 30%
TERMINAL	\$ 874,22	\$ 13,66	\$ 27,32	\$ 43,71
PARCIAL	\$ 174,10	\$ 2,72	\$ 5,44	\$ 8,71
GLOBAL	\$ 73,58	\$ 1,15	\$ 0,12	\$ 3,68
TOTAL		\$ 17,53	\$ 32,88	\$ 56,10

Tabla 3.21.- Análisis del costo bajo un ambiente de incertidumbre.

Fuente: Propia del autor.

De la tabla anterior se valida los costos que se debería cargar en el precio que el proveedor de servicios de comunicaciones oferta a los clientes soportados sobre esta red de acceso, el cual en el escenario piso es de \$56.10, cuyo valor es competitivo frente a otros medios de acceso al

suscriptor, considerando que bajo este tipo de redes se ofertará servicios con altos anchos de banda.

3.6 NORMATIVA VIGENTE PARA EL USO DEL ESPACIO URBANÍSTICO EN QUITO

El Ilustre Municipio de Quito, mediante de la ordenanza municipal 00022 norma el uso de la utilización del espacio público para la instalación de redes de servicios a través de una licencia denominada: *“TÍTULO DE LA LICENCIA METROPOLITANA URBANÍSTICA DE UTILIZACIÓN O APROVECHAMIENTO DE ESPACIO PÚBLICO PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE SERVICIO LMU 40.”*

3.6.1 SUJETOS OBLIGADOS A LA OBTENCIÓN DE LA LICENCIA LUM40

En esta ordenanza se establece que están obligados a obtener la licencia LMU40 todos los prestadores de servicio que usen el espacio público para la instalación de redes de servicio dentro de la suscripción del Distrito Metropolitano de Quito, exceptuando aquellas que sean parte del Sistema Nacional Interconectado 138 y 230KV, organismos y órganos competentes del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, y aquellos que extiendan redes para el sistema de semaforización y de video control para la seguridad ciudadana.

3.6.2 TRÁMITE PARA LA OBTENCIÓN DE LA LICENCIA LMU40

Los solicitantes deberán cumplir con las siguientes disposiciones, con la finalidad de obtener la licencia LMU40:

- Entregar el formulario de solicitud a la autoridad administrativa otorgante, en el lugar que el Municipio de Quito habilite para este efecto.
- Que el formulario respectivo cuente con la declaración de veracidad de la información consignada.
- Que se acompañe de la información cartográfica o diagrama digital georeferenciado del proyecto de instalación o ampliación de redes de servicios.
- Que se presente la documentación de representación legal del solicitante, así como el respectivo título habilitante para prestar el servicio sobre la red a instalarse.

3.6.3 VIGENCIA DE LA LMU 40.

En términos generales la LMU40 tiene una vigencia indefinida, sin embargo puede culminarse por varias causas descritas en la ordenanza municipal 00022.

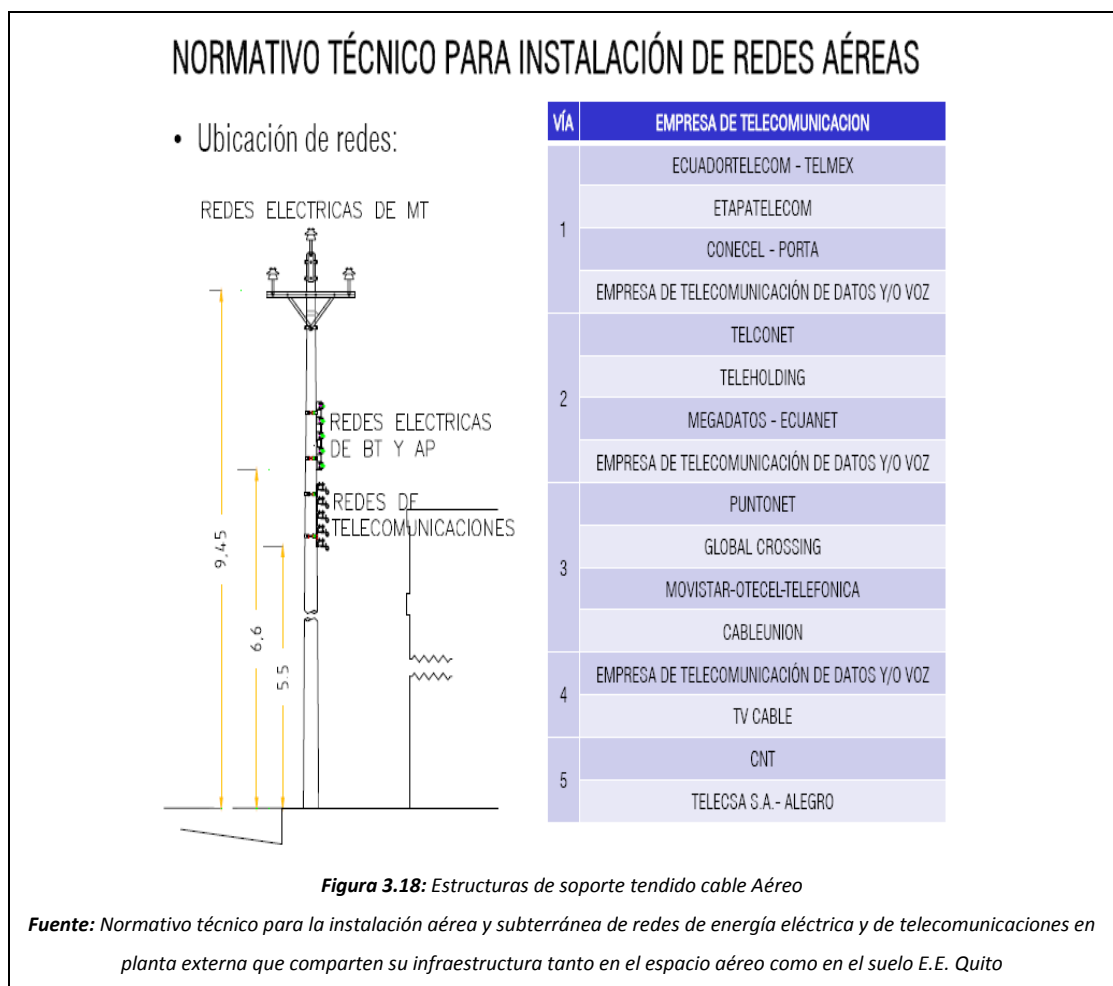
3.6.4 ZONAS DE LA LMU40

La ordenanza delimita cuatro zonas con el objetivo de fijar el costo del licenciamiento, las cuales se listan a continuación:

- *Zonas A (Alta prioridad de desocupación del espacio aéreo).*- son las zonas en las que resulta de alta prioridad trasladar las Redes de Servicio de manera inmediata del espacio público aéreo al espacio público del subsuelo.

- *Zonas B (Alta prioridad de reordenamiento del espacio aéreo).*- son las zonas en las que resulta de alta prioridad el reordenamiento de las Redes de Servicio instaladas en el espacio público aéreo que, por razones técnicas, económicas o de otra índole, no pueden ser trasladadas al subsuelo en el corto y/o mediano plazo.
- *Zonas C (Alta Prioridad Patrimonial y Simbólica).*- son los corredores y otras áreas urbanas que están siendo intervenidos, o van a ser intervenidos de forma inmediata y a corto plazo por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y en los que los Prestadores de Servicios serán llamados a proceder de inmediato con los nuevos tendidos subterráneos o el ordenamiento de las Redes de Servicio, según sea el caso.
- *Zonas E (Para Intervenciones Especiales).*- son las zonas en que se desarrollan aquellos proyectos de instalaciones subterráneas que siendo solicitados por el sector privado han recibido el visto bueno del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito para proceder en los términos y condiciones establecidos en la ordenanza 000222. Se considerarán también en esta categoría las nuevas intervenciones no previstas en el plan de zonificación, dentro del Distrito Metropolitano de Quito, que por petición de parte o decisión municipal, se decida emprender concertadamente.

cumplir para dicho efecto, a continuación se muestra un diagrama explicativo de estas disposiciones.



3.7.2 ETIQUETADO DE LAS REDES

Se establece que todas las redes aéreas deben estar etiquetadas, y que el material para ésta debe ser de acrílico con largo de 12,5 a 14,5 cm, un ancho de 6cm y un espesor de 3mm, en la cual debe constar el nombre de la empresa y un número telefónico de contacto.

3.7.3 NORMAS GENERALES

A continuación se listan algunas normas generales para la instalación de los cables en postes:

- En un poste se puede instalar una caja de dispersión y una fuente de poder, la primera se debe ubicar en el lado externo que da a la calzada y la fuente hacia el lado de la acera.
- Las reservas de cable se deben ubicar en los postes formando una figura 8.
- Los elementos pasivos se instalarán solamente a un lado del poste y se ubicarán a una distancia mínima de 40cm medidos desde el poste y se pueden instalar un máximo de tres elementos, exceptuando las cajas de dispersión.
- Los elementos activos solo se instalarán en un lado del poste a una distancia mínima de 1m y sólo se puede instalar un equipo por poste.
- En los postes que exista la presencia de transformadores eléctricos no se pueden instalar equipos ya sean pasivos o activos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El uso de esta red de acceso permitirá ofertar mas servicios de banda ancha sin la necesidad de realizar ninguna inversión adicional en cuanto a la integración del abonado a la red del proveedor respecta, por lo cual facilita la integración de nuevos productos en el catalogo del operador.

- La principal ventaja de emplear redes ópticas sin duda alguna son las velocidades de transmisión que se pueden alcanzar, lo cual impulsa el desarrollo de las empresas a través de emplear redes de comunicación más eficaces.

- Otra de las ventajas del empleo de las redes ópticas es la calidad superior de las señales, ya que el emplear ventanas de longitud de onda de transmisión para los distintos tipos de tráfico, permite que se emplee modulación por longitud de onda.

- Adicionalmente se abre la posibilidad de que las comunicaciones de los suscriptores sean cada vez mas interactivas, lo cual implica que el tráfico generado por el usuario es cada vez mayor y consecuentemente

se tiene un aumento en los requerimientos de ancho de banda de subida (*Upstream*), y en muchos de los casos hasta se necesitan enlaces simétricos, lo cual es factible implementar bajo las tecnologías de acceso FTTx.

- El hecho de ser un red pasiva disminuye en principio el costo de la red ya que no se requiere energizar los equipos intermedios ni tampoco se requieren bancos de baterías de reserva para eventuales fallas eléctricas; y, de esta manera también se disminuyen los costos de mantenimiento, en comparación de una red que utiliza equipos activos en los nodos de conmutación.

- El empleo de GPON en redes FTTx es muy útil para metrópolis con una gran densidad de penetración de los servicios de comunicaciones en virtud de que se pueden cubrir hasta 20Km con este tipo de redes y que éstas pueden estar controladas por un solo equipo gestor OLT, lo cual facilita las tareas de operación y mantenimiento.

- El empleo de este tipo de redes en el país contribuye a disminuir las brechas tecnológicas con otros países de la región y especialmente con los países de mayor desarrollo en el campo científico y de investigación gracias al acceso a información oportuna y de calidad.

- La penetración de las redes de fibra en la actualidad permite que la implementación de redes ópticas sean cada vez más accesibles en cuanto al costo que éstas implican en el precio que los operadores proveedores de servicio ofertan al consumidor final, esto se lo demostró en el análisis realizado en el capítulo tres del presente documento.

- Se tiene para la presente red de acceso el uso de dos splitters a pesar de que para el caso de Arclad hubiese bastado un solo splitter, esto se justifica en el hecho de que esta red está pensada en la concepción de que las redes ópticas pasivas tienen el objetivo de facilitar la integración de usuarios y esta topología de red facilitar esta labor.

- El integrar infraestructura de contingencia en la red tiene como objetivo garantizar la mayor disponibilidad del servicio prestado por el proveedor del mismo, lo cual es muy útil al momento de las negociaciones con los potenciales clientes a través de la firma de acuerdos y SLAs; y, que por lo tanto se constituye en una ventaja competitiva frente al resto de operadores en el país.

- Es importante la elección de un proveedor de equipos que tenga un reconocimiento en el mercado mundial en virtud de que se tiene la certeza de que dichos equipos ya tienen algún tiempo en operación, por lo cual cuentan con un soporte adecuado en cuanto a la implementación y mantenimiento para equipos y sistemas de gestión; en el caso específico de Huawei es uno de los principales proveedores de equipos para los operadores de servicios de telecomunicaciones a nivel mundial.

- Como se puede ver, el costo que se debe cargar al precio del servicio ofertado por los operadores es inversamente proporcional al número de usuarios que se soporten dentro de la red, por lo cual es importante emprender campañas de masificación ya que como se puede apreciar el costo que se tiene en promedio actualmente no está al alcance para

clientes residenciales, ya que actualmente se puede encontrar en el mercado planes de 1Mbps con tarifas de \$18 libre de impuestos, más sin embargo estos costos si son competitivos para usuarios empresariales.

- Es importante destacar que el emplear fibra óptica permite compartir la misma ductería eléctrica en el interior del edificio, ya que no existe interferencia electromagnética, adicionalmente es ideal ya que la estructura de las instalaciones de la empresa Arclad, constan de un galpón metálico por el cual se ingresa la fibra óptica hacia el cuarto de equipos.

- El costo que implicaría la red con los 64 usuarios inmersos en el análisis realizado en el capítulo tres es de \$17.53; dicho valor es aceptable para servicios de gran ancho de banda como el caso la Empresa Arclad S.A.

- Se debe realizar el cableado de carrete fijo para disminuir el costo, tiempo, molestias en la implementación de los accesos para clientes.

- Es importante la elección de la OLT Huawei MA5600T, ya que el proveedor brinda un soporte local a nivel de Ecuador, y gracias a su gran experiencia en soluciones GPON facilita la implementación de este tipo de redes.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar planes que permitan el soterramiento de cables en el sector, ya que esto contribuyen a la ornamenta de la urbe y adicionalmente mejora las condiciones de alta disponibilidad para los servicios de comunicaciones gracias a que se disminuye el riesgo frente a eventuales cortes de fibra o caídas de postes. Es importante mencionar que el municipio de Quito en la actualidad se encuentra en plena ejecución del proyecto que permitirá el soterramiento de los cables en el sector delimitado por las calles Eloy Alfaro, Naciones Unidas, Seis de Diciembre y Shyris, lo cual lleva a pensar que efectivamente existe una tendencia a tener este tipo de cableado en la ciudad.

- Por facilidad en la instalación de la fibra óptica en los postes de alumbrado eléctrico se recomienda utilizar la técnica de tendido de carrete fijo para los cables auto-soportados elegidos para una posible implementación de la red de acceso diseñada en el presente proyecto de titulación.

- Adicionalmente para el paso de la fibra en el segundo splitter hacia la empresa Arclad S.A. se recomienda utilizar dos cruces tipo americano³⁹ a fin de cuidar de la estética del sector.

³⁹ Cruce Americano.- son las acometidas en las cuales se cambia la trayectoria del cableado de la fibra en medio del vano para evitar trayectorias diagonales.

- Sería importante contar con un estudio de mercado que permita determinar de manera más precisa la demanda de mercado en cuanto a servicios de telecomunicaciones respecta, esto con el fin de determinar las ubicaciones de los elementos de red pasivos de manera estratégica para acortar las distancias de tendido de fibra hacia las acometidas del cliente final.

- Se recomienda el uso de fibras monomodo por su alto desempeño frente a las fibras multimodo, adicionalmente en la relación costo beneficio se justifica su uso ya que esta diferencia no es muy marcada y en cambio se tiene la facilidad de avanzar con técnicas de modulación y servicios, esto con relación a la tendencia de optimizar la transmisión a través de medios ópticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos, Libros y Publicaciones.

- *Lic. Juan Gerardo González López*, Capítulo IV, Tipos de Fibra Óptica
- *Baltazar Rubio Martínez*, INTRODUCCIÓN AL A FIBRA ÓPTICA, Addison-Wesley Iberoamericana, USA.
- *Gerd Keiser*, FTTX CONCEPTS AND APPLICATIONS, PhotonicsComm Solutions.
- *Proyecto BookSprint*, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, Capítulo 3, Diseño de Redes, 2006.
- *TELNET*, Curso de FO Redes Inteligentes, Versión 1.0 junio 2005.
- *César Regalado*, Cerrando la Brecha Digital a Través del Desarrollo de Estrategias de TIC, CNT E.P.
- *Universidad de Navarra*, Anotaciones GPON y EPON, Curso de Acceso Óptico.
- *Boletín de RED IRIS*, Diseño, Despliegue y Utilización de una Red Óptica Metropolitana IP-DWDM, 2003.
- *ADC Telecommunications*, FTTX Architecture Creating a Cost Effective Plug-and-Play, 2006.

- *UTE Technology*, Manual de descripción de UU.CC. GRUPO 33 FIBRA ÓPTICA, versión 0, 2008.
- *Freddy Lemus*, *Costeo de Redes de Telecomunicaciones*, *Escuela Politécnica Nacional*, 2010.
- *Totaltek*, *Fibras Ópticas en las Redes de Acceso*.
- *Lucas Chiesa*, *Tendido de Redes de Fibra Óptica*.
- *Europe Network Infrastructure Committee*, *FTTH Infrastructure Components and Deployment Methods*, España, 2007.
- *Telefónica Móviles Ecuador*, *Capacitación Red Metro Ethernet y Gpon*, 2010.

Direcciones Electrónicas

<http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTXypmxy9y28xEIcsz6GtDug0GHqNIECLERglQQ-NI5UpH26KhBpA>

http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS5Df1io9la-pxs9hMtAod3oRGe6Q3tEWD-hOe_Ti4ZnVY2pfNJKw

http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ5NZmuHY_ZFmtqc0-E-7ePYCvNmd4M0pLTBgsVrn10Bd1qdZ9S

<http://usuarios.multimania.es/practicaig1/cbta22/archivos/103-2.htm>

<http://conocimientosdwdmtechnology.blogspot.com/2010/07/tecnologia-wdm-multiplexacion-por.html>

<http://www.fabila.com/noticia.asp?id=670>

http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/contenido_tema1.htm

<http://usuarios.multimania.es/practicaig1/cbta22/archivos/103-2.htm>

<http://www.centuryman.com.cn/Solution/FTTX.htm>

[http://wikitel.info/wiki/UARedes_PON_GPON_derivados#Procedimiento de en capsulaci.C3.B3n_GEM_28GPON_Encapsulation_Method.29](http://wikitel.info/wiki/UARedes_PON_GPON_derivados#Procedimiento_de_encapsulaci.C3.B3n_GEM_28GPON_Encapsulation_Method.29)

<http://wndw.net/pdf/wndw-es/chapter3-es.pdf>

[http://wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_Instalacion#Comparativa de diferentes tipos de cables](http://wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_Instalacion#Comparativa_de_diferentes_tipos_de_cables)

http://es.made-in-china.com/co_fibreoptic/product_Fiber-Optic-Patch-Panel-Fc-12-Core-Rack-Mounted-Odf_hnghsgngg.html

<http://souq.com/product/7dce130c0e3dbfcde448f0cc60>

<http://www.globaltele.com.ua/eng/products/464/383/>

<http://proisk.com/?path=%2FDB%2FTECHNICAL+MANUAL>

<http://spanish.alibaba.com/product-gs/olt-fhc1102l-equipment-532313847.html>

<http://www.motorola.com/staticfiles/Video-Solutions/Products/Broadband-Access/Optical-Line-Terminals/ONT-Chart/datasheet/Datasheet%20ONT1120GE.pdf>

<http://www.fh-net.cn/en/products/index.php?type=6>

<http://es.scribd.com/doc/7360498/044-Instalacion-de-Cable-de-Fibra-optica-aerea>

