UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Maestría en Telemática

PROTOTIPO DE IMPLEMENTACION DE RED FTTx EN LA CIUDAD DE CUENCA

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de

Magister en Telemática

Autores: **Pablo Astudillo Vásconez**

Félix González Martínez

Director: **Ing. Edgar Pauta Astudillo**

Cuenca, Ecuador

2008

DEDICATORIA

A María, Sebas y Monse, mis amados maestros de lo esencial

Félix

A mi familia, allegados y amigos, con mis más profundos afectos y pensamientos

Pablo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad del Azuay, ETAPA, y muy especialmente a los ingenieros Edgar Pauta Astudillo, Juan Córdova Ochoa y Oswaldo Merchán Manzano por su apoyo en la consecución del presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1

INTRODUCCION……1

1.1 Antecedentes…….. ……1

1.2 Definiciones……..……..…2

1.2.1 Fibra hacia x (FTTx)……...……..2

1.2.2 Fibra al nodo (FTTN)……..……..3

1.2.3 Fibra a la casa ó Fiber to the home (FTTH)……..……..4

1.2.4 Fibra al edificio ó Fiber to the Building (FTTB)……..……..4

1.2.5 Fibra al armario (FTTCab)…… ……..……5

1.2.6 Punto a punto ó Point to Point (P2P)…… ……..6

1.2.7 Anillo o Ring……6

1.2.8 Full Service Access Network (FSAN)……..6

1.2.9 Red Optica Pasiva (Passive Optical Network PON)……..6

1.2.10 Bandeja de distribuición de fibra óptica (ODF)…… ……7

1.2.11 Splitter óptico……7

1.2.12 Empalme de fibra óptica…… ……7

1.2.13 Manga o mufa de empalme… ……..……8

1.2.14 Longitud de onda (lambda)…… ……..……9

1.2.15 Multiplexación por división de longitud de onda…… ..……..9

1.2.16 Escenarios de explotación…… ……..9

1.2.17 Dispositivo activo a nivel de oficina central (OLT)…… ..……10

1.2.18 Dispositivo activo a nivel de suscriptor (ONT)…… ……..……10

1.2.19 Técnica de acceso……11

1.2.20 Multiplexación por división de tiempo (TDM)…… ……..11

1.2.21 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)……12

1.2.22 Protocolos de acceso……13

1.2.23 EP2P……13

1.2.24 APON……14

1.2.25 BPON……14

1.2.26 EPON……15

1.2.27 GPON……15

1.2.28 Comparación de tecnologías PON……15

CAPITULO 2

DISEÑO DE PROTOTIPO DE DESPLIEGUE FTTx……18

2.1 Características de la oficina central……20

2.2 Características de la red óptica pasiva……21

2.3 Características de los enlaces troncales de fibra óptica……22

2.4 Características de la etapa de división / combinación……24

2.5 Características del centro topológico de carga……26

2.6 Características de los enlaces troncales de acceso……27

2.7 Características de las acometidas de fibra óptica……28

2.7.1 Inversión requerida……29

2.7.2 Características del cable de acometida……32

2.8 Equipos activos……34

2.8.1 Inversión referencial en equipos activos……37

2.9 Inversión total en red pasiva y equipos activos……..……..37

2.10 Servicios a implementar……..38

2.11 Análisis económico……40

CAPITULO 3

NORMA BASICA DE CONSTRUCCION CON TECNOLOGIA FTTx

PARA EDIFICACIONES……43

3.1 Normativa básica de construcción para edificaciones……..44

3.1.1 Escenarios……..……..44

3.1.2 Arquitectura……..……..45

3.1.3 Topologías……..……..47

3.1.4 Tipos de fibra……..……..47

3.1.4.1 Cables de fibra ajustada (Tight Buffered cables)……..……49

3.1.4.2 Cables de tubo holgado (Loose tube cables)……..……50

3.1.4.3 Cables tipo cinta (Ribbon cables)……..……51

3.1.4.4 Cables híbridos o compuestos (Hybrid or composite cables)……..……52

3.1.4.5 Cables terminales (breakout cables)……..……52

3.1.5 Elección del tipo de cable para acceso……53

3.1.5.1 Dimensionamiento de demanda presentes y futuros……53

3.1.5.2 Servicios a implementar sobre la red de acceso……..……55

3.1.5.3 Longitud del cable……..……..56

3.1.5.4 Requerimientos mecánicos……..57

3.1.5.5 Terminación y conectorización……..……57

3.1.5.6 Sección del cable……58

3.1.5.7 Condiciones ambientales de trabajo……..58

3.1.5.8 Compatibilidad con sistemas existentes……59

3.1.5.9 Costo……60

3.1.6 Elección de Herrajería……..60

3.1.7 Uniones y empalmes de fibra óptica……..62

3.1.8 Manga o mufa de empalme……65

3.1.9 Caja de terminación……66

3.1.10 Latiguillo o pigtail……..…67

3.1.11 Divisor óptico pasivo (splitter)……69

3.2 Norma básica de construcción con fibra para edificaciones……71

3.2.1 Diseño e inspección……72

3.2.2 Instalación de troncales hacia las aéreas de concentración de clientes…..……73

3.2.3 Instalación de acometidas……73

3.2.3.1 Presupuesto de enlace……75

3.2.3.2 Características del cableado……..…76

3.2.3.3 Mantenimiento de la red óptica pasiva……..…78

CAPITULO 4

MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE RED FTTx……80

4.1 Principios de mantenimiento de red de fibra óptica……..……80

4.1.1 Disponibilidad de equipos de instalación, prueba y mantenimiento……81

4.1.2 Stock adecuado de cable y materiales……83

4.1.3 Personal capacitado y equipado……84

4.1.4 Levantamiento planimétrico pormenorizado……86

4.1.5 Administración de eventos……..…….87

4.2 Administración de la red de fibra óptica……..……...88

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……..…91

ANEXOS……95

GLOSARIO……..125

BIBLIOGRAFÍA……..127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de despliegue FTTN……..……..4

Figura 2: Ejemplo de topología de red PON……..……..11

Figura 3: Esquema de multiplexación TDM……..……12

Figura 4: Acceso múltiple por división de tiempo……..12

Figura 5: Ethernet sobre punto punto……13

Figura 6: Arquitectura de red ATM PON (APON , BPON)…..……14

Figura 7: Arquitectura de red EPON……..……..……15

Figura 8: Arquitectura de red GPON……..……..……16

Figura 9: Escenario de implantación de prototipo FTTx……..19

Figura 10: Diagrama simplificado de tendido de fibra óptica……..……..20

Figura 11: Diagrama simplificado de diseño de la red óptica pasiva…...……22

Figura 12: Diagrama simplificado de etapa de división / combinación……..…..25

Figura 13: Diagrama de despliegue de enlaces troncales de acceso……..27

Figura 14: Cable de acometida tipo flat drop……33

Figura 15: Diagrama simplificado de provisión de servicios……..……..40

Figura 16: Topología típica de red óptica pasiva……..46

Figura 17: Cables de fibra ajustada……..……50

Figura 18: Cables de fibra holgada……..……51

Figura 19: Cables tipo cinta……..51

Figura 20: Cables terminales (breakout cables)……..…52

Figura 21.1 Transmisión en fibra multimodo, índice de refracción fijo.……54

Figura 21.2 Transmisión en fibra multimodo, índice de refracción gradual.....…….54

Figura 21.3 Transmisión en fibra monomodo……..……54

Figura 22: Ventanas de transmisión en fibra óptica……..56

Figura 23: Tendido aéreo de fibra óptica……61

Figura 24: Transición entre tendido aéreo y subterráneo……62

Figura 25.1: Fusionadora de fibra óptica y accesorios……..63

Figura 25.2: Paño impregnado en alcohol isopropil……..63

Figura 25.3: Manguito termocontraible……64

Figura 25.4: Fusionadora de fibra óptica……64

Figura 26: Empalmadora mecánica y accesorios……64

Figura 27.1: Manga de empalme para acceso……..65

Figura 27.2: Accesorio para cierre de manga……65

Figura 27.3: Manga de acceso con divisor óptico pasivo……66

Figura 27.4: Manga de acceso en montaje aéreo……66

Figura 28: Caja de terminación de fibra óptica……..66

Figura 29.1: Conector FC……..68

Figura 29.2: Conector SC……..68

Figura 29.3: Conector ST……..68

Figura 29.4: Conector MU……..68

Figura 29.5: Conector DIN……..68

Figura 29.6: Conector E2000……..68

Figura 30: Pigtail……69

Figura 31.1: Divisor óptico pasivo (splitter) para bastidor……70

Figura 31.2: Divisor óptico pasivo (splitter) para manga de empalme……70

Figura 31.3: Divisor óptico pasivo (splitter) para bandeja de fusión……70

Figura 32: Componentes para presupuesto de enlace……74

Figura 33: Traza típica de OTDR……..……76

Figura 34: Esquema general de cableado para edificaciones……..……...77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de tecnologías PON……17

Tabla 2: Características básicas de la oficina central……21

Tabla 3: Características del enlace troncal principal……23

Tabla 4: Características del enlace troncal de respaldo……..23

Tabla 5: Bandas de operación de splitters planares grado O……25

Tabla 6: Características básicas del centro topológico de carga……..26

Tabla 7: Enlaces troncales de acceso……28

Tabla 8: Requerimientos de inversión para construcción de acometidas……..…30

Tabla 9: Costo de tendido de cable de acometida……..…..31

Tabla 10: Costo de instalación de acometidas……..…..…32

Tabla 11: Características del cable de acometida……..33

Tabla 12: Velocidades binarias para redes GPON según UIT-G.982……..…35

Tabla 13: Parámetros de potencia óptica de equipo OLT……...…..36

Tabla 14: Presupuesto de enlace total……..…..36

Tabla 15: Inversión total en equipos activos……..…….37

Tabla 16: Inversión total (Red óptica pasiva + Elementos activos)……...38

Tabla 17: Inversión total y depreciación……..……..…41

Tabla 18: Consideraciones de demanda y usuarios……..…….42

Tabla 19: Análisis económico……..……...43

Tabla 20: Comparación entre estándares de tipos de cables UIT-T serie G…..…48

Tabla 21: Tipos de cables de fibra óptica……..……...49

Tabla 22: Comparación entre tipo de fibra óptica y ancho de banda…….……54

Tabla 23: Tipos de conectores de fibra óptica y sus aplicaciones……68

Tabla 24: Niveles de pérdidas introducidas por divisores pasivos……...71

Tabla 25: Material de empleo normal en red óptica pasiva……..84

Tabla 26: Listado de herramientas para trabajos en fibra óptica……85

Tabla 27: Documentación para administración de red de fibra óptica……86

Tabla 28: Documentación de eventos en red óptica pasiva……87

Tabla 29: Causas de indisponibilidad externas a red óptica pasiva……87

Tabla 30: Fallas más comunes en red óptica pasiva y sus soluciones……...88

Tabla 31: Procesos a normar para explotación de red óptica pasiva…..……...89

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1

1.1 ENLACES TRONCALES ……..……..96

1.1.1 Presupuesto de enlace……..……97

1.1.2 Inversión requerida……..……..99

1.1.3 Ruta……..……..102

1.2 ENLACES TRONCALES DE ACCESO……..……103

1.2.1 Presupuestos de enlace……..……103

1.2.2 Inversión requerida……..……..104

1.3 PLANO 1.1 y PLANO 1.2……107

ANEXO 2

2.1 LEVANTAMIENTO DE CLIENTES POTENCIALES……108

2.2 PRESUPUESTO DE ENLACE DE ACOMETIDAS……..110

2.3 PRESUPUESTO DE ENLACE TOTAL……...112

2.4 INVERSION TOTAL REQUERIDA EN LA RED OPTICA PASIVA……114

ANEXO 3

3.1 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS ACTIVOS……115

3.1.1 Características del equipo OLT……116

3.1.2 Características de los equipos de usuario (ONT)……117

3.2 Características de los equipos activos (OLT y ONT) en base a Recomendación UIT-T 984.2……120

ANEXO 4

4.1 FORMATO PARA INSPECCION DE FACTIBILIDAD DE
INSTALACION DE ACOMETIDA DE FIBRA OPTICA……122

4.2 FORMATO COMISIONAMIENTO Y PRUEBAS
DE ACOMETIDA DE FIBRA OPTICA……123

4.2 FORMATO PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO
DE ACOMETIDA EN FIBRA OPTICA……124

RESUMEN

El presente trabajo aborda el diseño de un prototipo de implementación de Red FTTx en la ciudad de Cuenca, específicamente para el sector Industrial de la urbe, tomando en cuenta la realidad de la infraestructura de la empresa operadora de Telecomunicaciones ETAPA. La monografía está dividida en cinco capítulos que asimilan los siguientes temas: Introducción y conceptos básicos de redes FTTx, diseño de red y análisis económico, normativa básica de construcción FTTx para edificaciones, Operación y Mantenimiento de Red y finalmente, conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

The present project addresses Design of one prototype of implementation FTTx Network in Cuenca's city, in particular for the Industrial sector; taking into consideration nowadays, the infrastructure company operator Telecommunication ETAPA. This theme is divided into five chapters that focus in the following topics: Introduction and Basic concepts of FTTx networks, network design and economical analysis, Basic policies construction FTTx for buildings, Operation and Maintenance Network and finally, conclusion and recommendations.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

CONTENIDO

El presente capitulo contiene una visión de la creciente necesidad de la población de estar comunicados, aprovechando la diversidad de productos que las tecnologías de la información brindan. La ciudad de Cuenca, está inmersa dentro de este requerimiento, siendo necesario el análisis de la factibilidad de despliegue de redes ópticas pasivas, para suplir la demanda en servicios.

La comprensión de lo que implica un despliegue de red óptica pasiva, se aborda mediante la presentación de los conceptos fundamentales involucrados.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

La evolución del Sector de las Telecomunicaciones a nivel global, ha dinamizado el accionar humano, brindando herramientas tecnológicas que como resultado de la explotación comercial, ha incrementado dramáticamente las posibilidades de comunicación sin miramientos de condición cultural o geográfica dando lugar a fijar en la psique colectiva, el requerimiento de saciar el deseo de estar "conectados", situación restringida únicamente por el factor ingreso económico versus necesidad.

En este contexto, desarrollos tecnológicos como la telefonía móvil, las llamadas redes de Nueva Generación y el Internet han encontrado tierra fértil para su desarrollo y explotación comercial; sin embargo, hilando un poco mas fino, estos desarrollos tecnológicos requieren para su aprovechamiento por parte del usuario final, del sustento de las redes de Transmisión y Acceso, cuyas potencialidades limitan o posibilitan la explotación de los servicios, dependiendo de sus características técnicas. En este sentido, los operadores de Telecomunicaciones han hecho uso de tecnologías diversas que en su mayoría han tendido a mejorar el Backbone de sus redes fortaleciendo sus vínculos de Transmisión; sin embargo, del lado del Acceso se trata de hacer uso intensivo de redes legadas fundamentadas principalmente en cobre, cuya adaptabilidad a la creciente demanda de ancho de banda por parte del cliente es limitada, pese a los esfuerzos técnicos para repotenciarlas, como son la incursión de los sistemas xDSL, sistemas que son la natural evolución de la prestación de servicios de valor agregado para operadores con redes legadas.

Es importante señalar que, las redes de acceso en cobre aún no serán desplazadas, pero paulatinamente cederán puntualmente su lugar a sistemas que contribuyan a eliminar el "cuello de botella" existente entre el prestador de servicios y el cliente, notando que de ambos extremos se cuenta con equipos cuya capacidad de procesamiento es elevada, su costo razonable y con tendencia a la baja. La joya de la corona de los medios de acceso en la actualidad es la fibra

óptica, a pesar que, su introducción en el pasado se ha visto limitada por su costo, mas aún si lo comparamos con el cobre, pero esta situación está cambiando y unida a la madurez del desarrollo de los sistemas activos y pasivos necesarios para su implementación han hecho posible el desarrollo no solo a escala de prototipos sino a nivel de explotación comercial en muchos lugares del orbe.

A la luz de lo expuesto, el advenimiento de los sistemas FTTx (Fiber to the x) constituyen una alternativa válida para enfrentar los requerimientos crecientes de ancho de banda y convergencia de servicios en la ciudad de Cuenca, alternativa que será analizada en este documento mediante la elaboración de un Prototipo de Implementación de FTTx en un sector específico. El análisis abordará las alternativas tecnológicas disponibles y el diseño del prototipo, dictaminando finalmente la conveniencia de su implantación sobre la base de la realidad de la Empresa Publica Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA).

1.2 Definiciones

Para una clara comprensión del presente documento, es necesario definir algunos conceptos que abordan los aspectos relevantes de la red de acceso de fibra óptica.

1.2.1 Fibra hacia x (FTTx)

Fiber to the x (FTTx) se define como la agrupación de varias topologías de redes de acceso, basadas en el uso de fibra óptica que utilizan diferentes protocolos de acceso y que pueden incluir en su estructura, la conversión del medio físico de fibra óptica a otros como el cobre, observándose que su finalidad es la transmisión y recepción de servicios de Telecomunicaciones.

En cuanto al acceso mediante el empleo exclusivo de fibra óptica, el FTTH Council cuya jurisdicción comprende Norte América, Europa y la región Asia – Pacifico, determina las estrictas definiciones de FTTH y FTTB que se perfilan en este documento, observando que organismos como el norteamericano FCC, permiten en la definición de FTTH y FTTB la coexistencia de fibra y cobre.

Las diferentes topologías abordadas por FTTx son: Fibra a la casa (FTTH), Fibra al negocio (FTTB), Fiber to the Curb (FTTC), Fiber to the Node (FTTN), Fiber to the Cabinet (FTTCab).

En cuanto al flujo de información para el acceso en las diferentes variantes de FTTx, se utilizan las tecnologías TDM o TDMA, y para separar los flujos Upstream y downstream se utilizan diferentes longitudes de onda (λ).

1.2.2 Fibra al Nodo (FTTN)

Es definida como una arquitectura, en la cual un enlace es provisto sobre cable de fibra óptica, extendido desde el equipamiento de conmutación del Operador hasta un nodo propiedad del mismo, emplazado en un punto que generalmente tiene alta densidad de potenciales usuarios, el medio físico empleado desde el nodo al usuario final puede abarcar alternativas diferentes a la fibra óptica, como por ejemplo el cobre.

Esta topología es la evolución natural del operador que tiene en primera instancia, un backbone de fibra óptica y que por el desarrollo del mercado, observa el incremento de demanda de ancho de banda localizado dentro de sectores geográficos identificados de su área de prestación de servicios.

La siguiente etapa de despliegue que implica la construcción de la red de acceso de fibra óptica, se dará en esta arquitectura ubicando los equipos terminales de línea (OLT) en estos nodos, fundamentando esto, al constituirse en centros de carga y adicionalmente, por contar con rutas redundantes que mejoran la disponibilidad de los datos provenientes de la oficina central.

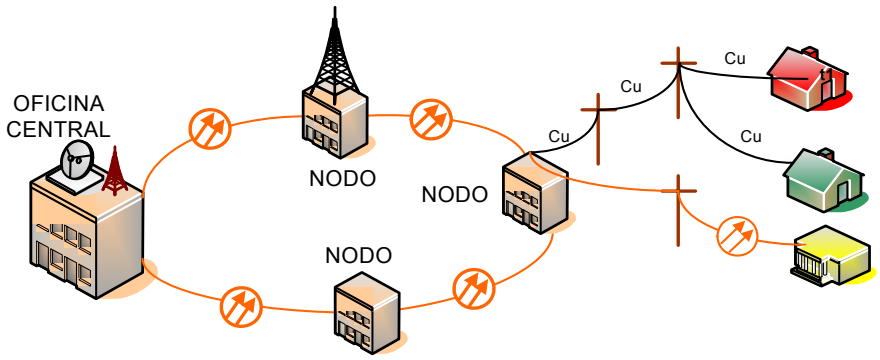


Figura 1: Ejemplo de despliegue FTTN, observándose que para el acceso al cliente se puede usar distintos tipos de medios (Inalámbrico, Cobre, fibra), adicionalmente se observa en el Backbone Topología en anillo para provisión de redundancia a los Nodos.

1.2.3 Fibra a la casa ó Fiber - to - the - Home (FTTH)

Es definida como una arquitectura de Telecomunicaciones, en la cual un enlace es provisto sobre cable de fibra óptica, extendido desde el equipamiento de conmutación del Operador hasta la frontera del espacio de habitación o de oficina.

Este enlace de comunicaciones es provisto, con el propósito de llevar tráfico de Telecomunicaciones a uno o más suscriptores y para uno o más servicios (por ejemplo Acceso a Internet, telefonía y/o Video-Televisión).

Esta definición excluye arquitecturas donde las fibras ópticas terminan en espacio privado, antes de alcanzar el espacio de habitación o de oficina y donde el enlace de acceso continúa para el suscriptor sobre otro medio físico diferente a la fibra (por ejemplo cobre). También se excluye a enlaces donde el cable de fibra óptica termina en espacio público (por ejemplo un gabinete en la calle) y donde el enlace de acceso continúa para el suscriptor en otro medio físico diferente a la fibra.

Se reconoce que organismos como la FCC de Estados Unidos realiza concesiones específicas que difieren de esta definición, pero en sentido estricto, los enlaces que no cumplan lo indicado no son FTTH.

1.2.4 Fibra al Edificio ó Fiber - to - the - Building (FTTB)

Es definida como una arquitectura de Telecomunicaciones, en la cual un enlace es provisto sobre cable de fibra óptica, extendido desde el equipamiento de

conmutación del Operador hasta la frontera de la propiedad privada que incluye la casa o negocio del suscriptor o grupo de suscriptores, pero la fibra óptica termina antes de alcanzar el espacio de habitación u oficina de negocio y donde el enlace de acceso continúa para el suscriptor sobre otro medio de acceso diferente a la fibra óptica (por ejemplo cobre).

La construcción de FTTB es un mecanismo de transición comúnmente usado como medio para brindar el servicio a edificios existentes, en conjunción con implementaciones FTTH (por ejemplo en edificios nuevos). FTTB puede ser convertido en un sistema FTTH, mediante la inclusión de fibra desde el punto de terminación al espacio de habitación o de oficina.

El enlace de comunicación es provisto, con el propósito de proveer trafico de Telecomunicaciones a uno o mas suscriptores y para uno o mas servicios (por ejemplo acceso a Internet, telefonía y /o Video-Televisión).

Esta definición excluye arquitecturas donde el cable de fibra óptica termina en espacio público y donde el enlace de acceso continúa al suscriptor sobre otro medio físico diferente de la fibra óptica (por ejemplo cobre).

Las arquitecturas que son excluidas por esta definición de acuerdo al FTTH Council no son FTTB.

1.2.5 Fibra al Armario (FTTCab)

Es definida como una arquitectura de Telecomunicaciones, en la cual un enlace es provisto sobre cable de fibra óptica, extendido desde el equipamiento de conmutación del Operador hasta un armario de distribución de fibra óptica y donde el enlace de acceso continúa para el suscriptor sobre otro medio de acceso diferente a la fibra óptica (por ejemplo cobre).

1.2.6 Punto a Punto ó Point - to - Point (P2P)

Se habla de esta Topología cuando, en la Planta externa se provee enlaces ópticos entre el equipo de Telecomunicaciones del Operador a un lugar contiguo tal que se brinde trafico dedicado a este lugar. En términos generales, considerando el origen de los enlaces desde la oficina central, esta es una topología en estrella.

1.2.7 Anillo ó Ring

Esta Topología provee una secuencia de enlaces ópticos en un lazo cerrado que, comienza y finaliza en el punto de presencia del Operador y conecta series de mas de una localización, tal que porciones de los enlaces ópticos son compartidos por tráfico desde y hacia distintas localizaciones. Esta topología brinda redundancia en el medio físico para la adquisición de datos por parte del equipamiento activo, minimizando la indisponibilidad del servicio a los usuarios, y normalmente es desplegada en la topología de las redes troncales de transmisiones, siendo su empleo en la red de acceso condicionado por el costo.

1.2.8 Full Service Access Network (FSAN)

Se fundó como un grupo de trabajo integrado por veinte empresas de Telecomunicaciones (Prestadores de Servicios y Proveedores de equipos), cuyo objetivo común es desarrollar redes de acceso que puedan soportar servicios de banda ancha. En sí, este no es un grupo de estandarización, pero sus iniciativas han sido acogidas por otros organismos como la ITU, que en base a estos trabajos, desarrolló el estándar G.983.1 (sistema de acceso óptico de banda ancha basado en PON). Para referencias, se puede visitar la página http:/ www.fsanet.net

1.2.9 Red Óptica Pasiva (Passive Optical Network - PON)

Red Óptica Pasiva, la constituyen las distintas topologías de redes que utilizan como medio físico de transmisión fibra óptica y que está integrada por elementos pasivos en su totalidad, dentro de sus componentes están los cables de fibra óptica de planta exterior, los divisores ópticos, empalmes de fibra del tipo fusión o

mecánicos, distribuidores de fibra óptica, conectores y demás elementos de capa física. La implementación de PON reduce ostensiblemente la necesidad de equipamiento de lado de la Oficina Central del proveedor de servicios.

1.2.10 Bandeja de distribución de fibra óptica (Optical Distribution Frame - ODF)

Son distribuidores de fibra óptica que sirven de terminación de los cables de planta exterior y su cometido es la conexión mediante adaptadores de distintos tipos con otros cables de planta exterior o con equipos activos.

1.2.11 Splitter Óptico

Dispositivo óptico pasivo que se encarga de dividir la señal óptica que ingresa por un hilo de fibra, observándose que por sus características, introduce pérdidas de potencia en la señal óptica. En el caso estándar, cada punto de división implica una pérdida de 3 dB, situación que debe ser considerada en los presupuestos de enlace para asegurar un nivel de potencia adecuado en el equipo de abonado.

1.2.12 Empalme de fibra óptica

Lo constituyen las uniones entre hilos de fibra óptica, para lo cual es preciso minimizar las pérdidas introducidas, utilizándose dos metodologías, la primera denominada empalme mecánico, en el cual la unión entre hilos de fibra se realiza por contacto, utilizando para esto, aditamentos denominados conectores mecánicos que además de asegurar la unión, proveen la necesaria resistencia e inmunidad ante agentes externos. La segunda metodología empleada, la constituyen los empalmes por fusión, en los que se emplea un arco eléctrico controlado mediante el uso de maquinas denominadas fusionadoras. En ambas metodologías es necesaria la preparación previa de los hilos de fibra, consistente en la remoción de los revestimientos y corte de las extremidades, esto guardando a los hilos de la acción de los agentes externos.

En la actualidad, el empleo de uno u otro método está determinado por aspectos económicos y prácticos. Desde el punto de vista económico, la diferencia en el costo de una fusionadora puede alcanzar una relación de diez veces el costo de una máquina de empalme mecánico, y en el sentido práctico, los empalmes mecánicos pese a que han mejorado sustancialmente desde su introducción, aún no han alcanzado el nivel de precisión de las fusionadoras cuyo rango típico en pérdidas de inserción es menor a 0.1 dB mientras en los primeros este valor está típicamente en 0.15 dB.

Una situación adicional para la aplicación de un determinado método de empalme es el tiempo medio utilizado por empalme y las facilidades en campo que se deben tener para la operación, en ambos casos es necesario resguardar al área de trabajo de agentes externos, pero en la alternativa del empalme mecánico, estos condicionamientos son menores, pudiendo con el instrumental apropiado reducir hasta un 50 % del tiempo de intervención comparándolo con una fusión.

1.2.13 Manga o Mufa de empalme

Es un dispositivo que tiene la funcionalidad de constituirse en un habitáculo de los hilos de fibra óptica empalmados, brinda la resistencia mecánica a las uniones de fibra, los resguardan de los agentes externos en medios hostiles como son la intemperie o cámaras subterráneas y tienen la potencialidad de permitir en algunos casos la reintervención en el empalme, esto es la reapertura del mismo para modificar la topología de la red mediante el comisionamiento parcial de hilos hacia otros enlaces, por tanto, normalmente presentan varios orificios para salida de cables que de no utilizarse, son cegados con los aditamentos apropiados que componen el kit de empalme que los acompaña.

Por el tipo de tendido de fibra al que pertenecen, pueden ser clasificadas en aéreas y subterráneas, observándose que las mufas aéreas presentan una configuración y accesorios tales que, permiten su fijación en el cable de acero que normalmente sirve de sustento mecánico al cable de fibra óptica y que en el medio se denomina mensajero. Las mufas subterráneas normalmente están configuradas para prestar facilidad a su fijación en las paredes de las cámaras subterráneas.

Al momento de la elección de una mufa, es necesario establecer la aplicación del tendido de fibra que se pretende concretar, esto sobre la base que la reintervención en un empalme de fibra óptica, genera problemas no solo en los enlaces cursados por los hilos intervenidos, sino también en otros hilos debido a la manipulación y violación de los radios de curvatura al momento de la operación, por tanto, si en la etapa de planificación se prevé la necesidad de reintervención, muy frecuente en redes de acceso y menos frecuente en redes troncales, es necesario utilizar mufas que aseguren la inmunidad de los hilos no reintervenidos mediante su separación con sistemas de múltiples bandejas para empalme y varias salidas para los cables de acceso.

1.2.14 Longitud de onda (lambda λ)

Es una medida de la ventana en el espectro de frecuencias para la cual, la fibra óptica se ha optimizado para la transmisión, está expresada normalmente en nanómetros (nm).

1.2.15 Multiplexación por división de longitud de onda

Un tipo de multiplexación desarrollado para uso en fibra óptica en la cual se modulan los datos en diferentes partes del espectro óptico.

1.2.16 Escenarios de explotación

La planificación en el despliegue de una red de acceso cableada, está determinada por el tipo de escenario de implantación, de manera que si se pretende atacar una zona urbanizada (overbuild en la literatura de habla inglesa), se debe tener en cuenta aspectos como por ejemplo las regulaciones referentes a ornato e impacto visual, la existencia de canalización subterránea y / o las facilidades para construirla, así como también la existencia de postería para tendido aéreo, situaciones que en la etapa operativa tienden a ocasionar demoras en la instalación y posterior mantenimiento de la red, que a la postre ocasiona el incremento del costo operativo.

Un segundo escenario de explotación es el que se podría llamar no construido (green field en la literatura inglesa), y está caracterizado por no poseer infraestructura civil al momento de la planificación, lo que facilita la modelación del acceso, pero a la vez implica la construcción de infraestructura de sustento para la fibra óptica, sea esta aérea o subterránea.

1.2.17 Dispositivo Activo a nivel de oficina central u Optical Line Termination (OLT)

La constituye la terminación de red del lado del proveedor de servicios, ubicada en la Oficina central (Central Office). Este equipo es el encargado de controlar la cabecera de la Red Óptica Pasiva (PON), proveyendo el servicio a los equipos de terminación de red de usuario (ONT u ONU), contempla además la plataforma de Gestión de la red y la creación de los distintos productos ofrecidos a los clientes y las reglas de encaminamiento.

Generalmente sobre una infraestructura monofibra se despliega mediante la OLT servicios de transmisión de datos en 1490nm, la recepción en 1310 nm y el servicio de Video en 1550 nm, modelado como difusión (broadcasting).

1.2.18 Dispositivo Activo a nivel de suscriptor u Optical Network Terminal. (ONT)

La constituye el equipamiento de terminación de red del lado del usuario, presenta los interfaces para la conexión de la red interna del usuario y requiere la correspondiente alimentación de energía.

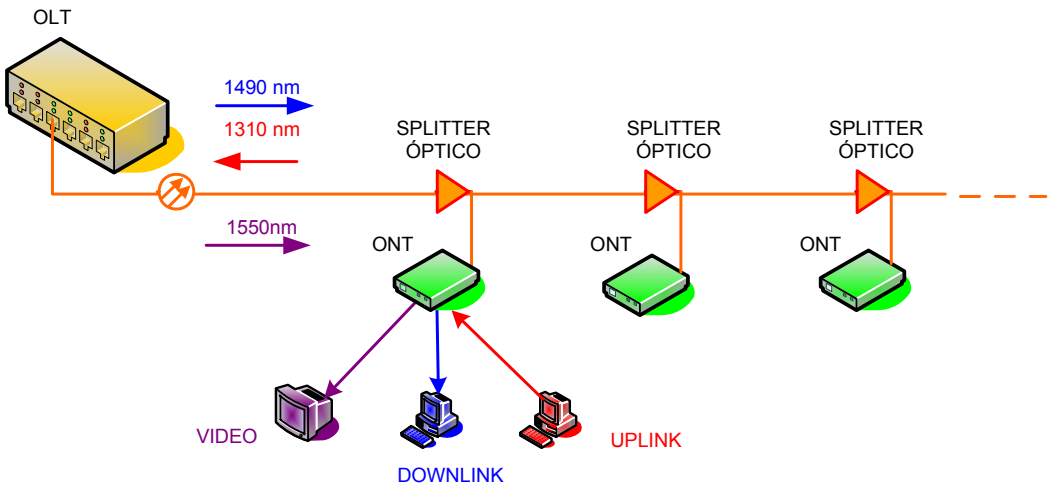


Figura 2: Ejemplo de Topología de Red PON, observándose el OLT instalado en la Oficina Central y los ONT del lado del cliente, adicionalmente se observa el empleo de 3 longitudes de onda para diferenciar Uplink, Downlink y señal de Broadcasting para Video

1.2.19 Técnica de Acceso

Son los métodos utilizados en los sistemas FTTx para la transmisión de múltiples comunicaciones por un canal de transporte único. En la práctica los más empleados en estos sistemas son TDM y TDMA.

1.2.20 Multiplexación por división de tiempo (TDM)

En esta técnica, para un canal de comunicación dado, se transmite la información de n emisores dentro de ranuras de tiempo (time slots), de manera que múltiples emisores comparten un único canal de transmisión y sus mensajes son reconstruidos en el receptor correspondiente.

En la **figura 3** se presenta un esquema del funcionamiento de TDM, observándose que en este sistema, la totalidad de la información esta disponible para cada usuario, sin embargo, estos son los responsables de discriminar dichos datos de manera que, los que no les pertenecen son descartados, así se asegura que no exista posibilidad de intercepción indeseada de información.

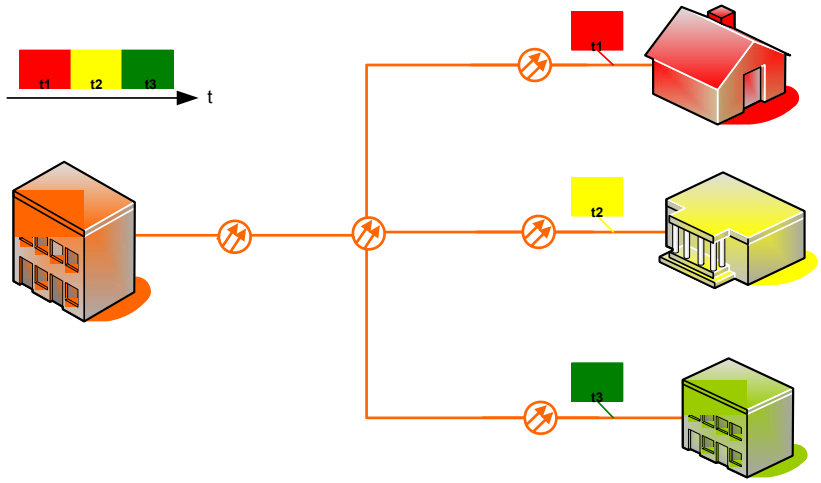


Figura 3: Esquema de Multiplexación por división de tiempo (TDM), un time slot se utiliza para el envío de datos a un usuario específico compartiendo el canal de transmisión común.

1.2.21 Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)

Este método de acceso se fundamenta al igual que el anterior en el empleo de un único canal de transmisión, utilizando un espacio de tiempo para cada comunicación, y se establece entre estos tiempos un intervalo utilizado para la conmutación del dispositivo óptico. En la **figura 4** se observa un esquema del funcionamiento de esta técnica.

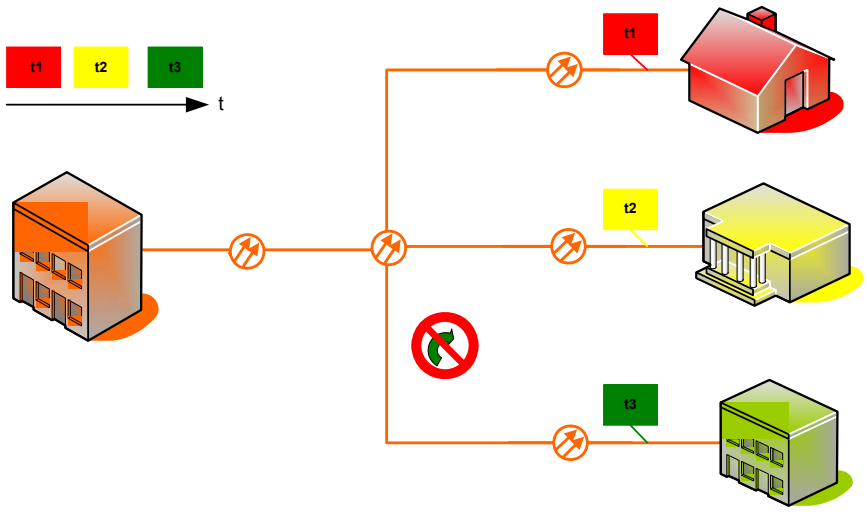


Figura 4: Acceso Múltiple por División de Tiempo

1.2.22 Protocolos de Acceso

Son métodos de comunicación usados por los equipos localizados en los extremos de los caminos ópticos, para asegurar la correcta transmisión y recepción de información sobre el medio óptico. Estos protocolos son definidos en detalle por las organizaciones de estandarización que los han creado y son reconocidos e implementados por los constructores de todo el mundo. Es necesario aclarar que en los sistemas PON los elementos activos están ubicados únicamente en la Oficina Central y en las premisas de usuario, estando vinculados por una red física óptica totalmente pasiva.

Los protocolos de acceso utilizados en la actualidad son: APON, BPON, GPON, EPON, EP2P.

1.2.23 EP2P

Se define como Ethernet sobre Punto a Punto 100baseFX, 100baseLX, 100baseBX, 1000baseLX y 1000baseBX incluidas en el Standard IEEE 802.3ah. Comúnmente es utilizado para la provisión de servicios de gran demanda a nivel de ancho de banda y en usuarios que por su ubicación geográfica están aislados, adicionalmente, en la topología de despliegue FTTx japonesa es la alternativa mas utilizada.

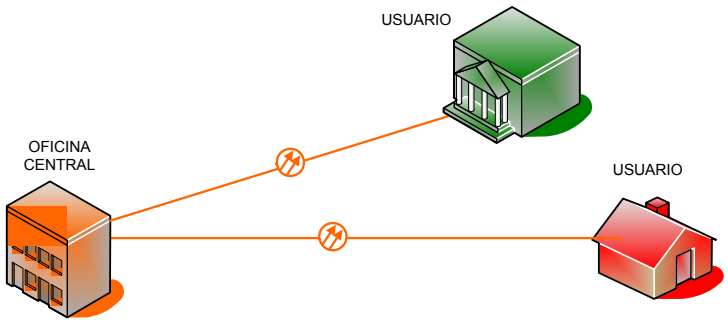


Figura 5: Ethernet sobre punto punto (EP2P)

1.2.24 APON

Definido como ATM PON en el estándar ITU-T G.983, fue el primer estándar que utilizó Redes Ópticas Pasivas, la elección de ATM se dio por la difusión amplia que esta tecnología tiene a escala global y las ventajas que presenta en lo relativo al manejo de Calidad de servicio (QoS).

1.2.25 BPON

Definido como Broadband PON en el estándar ITU-T G.983, es un estándar basado en APON con la inclusión del sistema WDM.

En la **figura 6** se observa la topología general compartida por los sistemas APON y BPON.

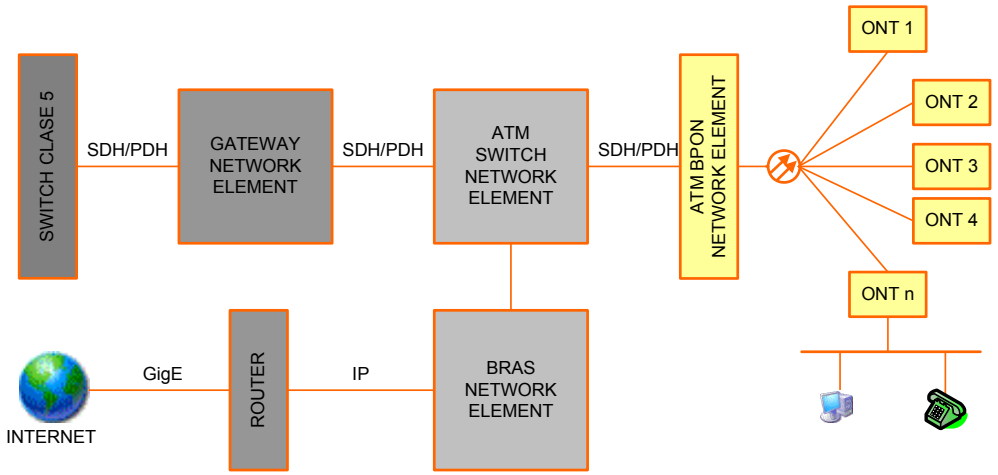


Figura 6: Arquitectura Red ATM PON (APON, BPON)

1.2.26 EPON

Definido como Ethernet PON 1000basePX incluido en el Standard IEEE 802.3ah, y principal tecnología usada en el impulso de EFM (Ethernet in the First Mile), cabe señalar que la expresión Gigabit EPON suele normalmente utilizarse como sinónimo con EPON. En la **figura 7** se muestra el diagrama general de este tipo de Red.

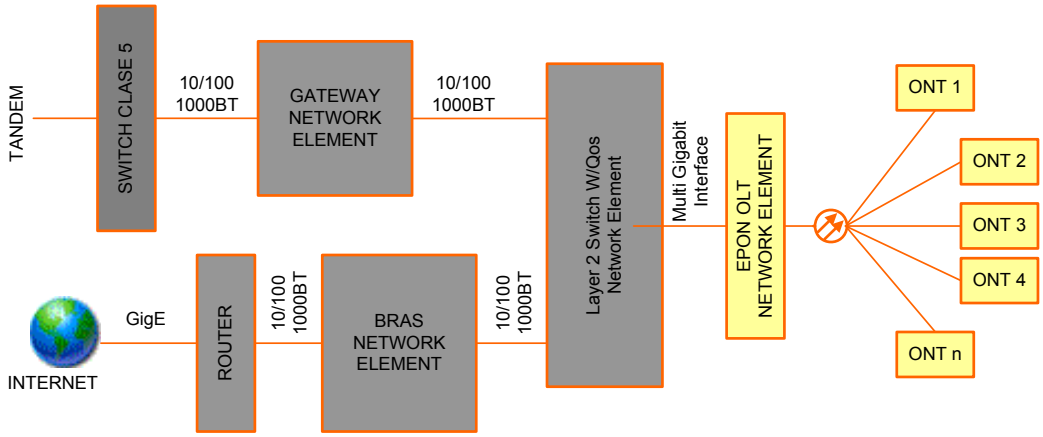


Figura 7: Arquitectura de Red EPON

1.2.27 GPON

Definido como Gigabit PON en el estándar ITU-T G.984. Es la evolución del estándar BPON, utiliza un protocolo basado en IP y es empleado para transmisión de aplicaciones con ancho de banda elevados, agrupa las mejores cualidades de los sistemas BPON y EPON y es el medio ideal para la habilitación del “triple play” con todas sus potencialidades. En la **figura 8** se muestra el esquema general de la red GPON.

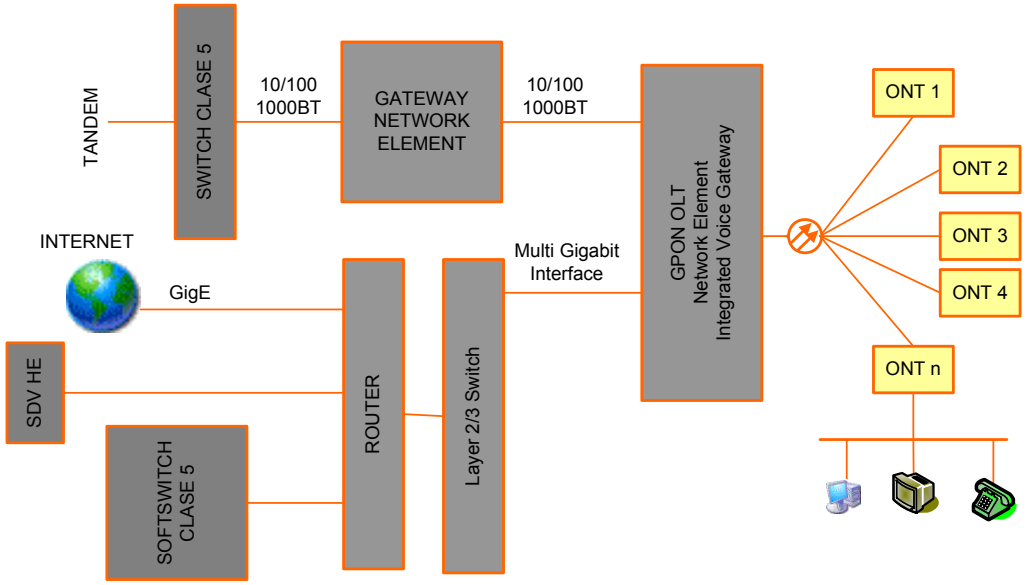


Figura 8: Arquitectura de Red GPON

1.2.28 Comparación de tecnologías PON

La evolución de las tecnologías de acceso en fibra óptica se dio en función de la adaptación del medio físico a las técnicas de transporte imperantes, es así, que inicialmente en base a protocolos como ATM, nacieron los sistemas A-PON y B-PON, los mismos que utilizan las potencialidades de ATM en cuanto tiene que ver al manejo de calidad de servicio y se sustentan a su vez en el transporte sobre SDH / PDH, sin embargo presentan problemas en torno a la granularidad de los interfaces que se pueden brindar a los usuarios finales, por ejemplo, al hacer uso de PDH se limita el acceso a niveles específicos de 2048 Kbps (E1 en el estándar europeo), 1544 Kbps (T1 en la versión norteamericana) o sus múltiplos, estas situaciones fueron corregidas en los estándares que hicieron su aparición posteriormente y se fundamentan en el protocolo Ethernet, el cual pese a no tener en un inicio un adecuado manejo de calidad de servicio, tuvo acogida al presentar gran adaptabilidad a un numero grande de interfaces y velocidades.

En la tabla 1 se plasma la comparación de los protocolos de acceso para fibra óptica de mayor aceptación, observándose que al contrario de lo que se podría pensar, su aparición reciente no significa una mejora sustancial en todos los

aspectos en comparación con los protocolos mas antiguos, pero la lógica de interconexión con otros dispositivos y la velocidad de acceso si ha mejorado grandemente, es así que en las tres tecnologías analizadas, la distancia típica de la red de acceso bordea los 20 Km y el número de abonados por interfaz, no sobrepasa en los sistemas comunes los 64 puertos, esto porque a nivel de la Red Óptica Pasiva, la división de la señal mediante los splitters ocasiona una pérdida acumulativa de potencia en el trayecto desde el interfaz óptico al usuario, limitando la operación de reconstrucción de la señal.

TECNOLOGÍA	ITU-T BPON	IEEE EPON	ITU-T GPON
Velocidad de línea descendente (Mbps)	155.52 o 622.08 o 1244.16	1250	1244.16 o 2488.16
Velocidad de línea canal ascendente (Mbps)	155.52 o 622.08	1250	155.52 o 622.08 o 1244.16 o 2488.32
Codificación de línea	NRZ (+aleatorización)	8b / 10b	NRZ (+ aleatorización)
Usuarios por interfáz óptico	32	16	64
Usuarios por tarjeta de acceso	64	256	128
Alcance tramo de fibra	20 Km	10 Km o 20 Km	20 Km
Protocolo nivel 2	ATM	Ethernet	Ethernet over ATM (GFP) y/o ATM
Soporte tráfico TDM (voz, centralillas)	TDM over ATM	TDMoIP	TDM nativo sobre ATM o TDMoIP
Flujos diferentes de tráfico por sistema PON	256	Depende de LUD/ONUs	4096
Capacidad ascendente para tráfico IP	500 Mbps	< 900 Mbps	1160 Mbps
Gestión y Mantenimiento OA&M	PLOAM + OMCI	Ethernet OAM,SNMP	PLOAM + OMCI
Seguridad en descendente	AES	DES	AES
Estándar	ITU G.983 serie	IEEE 802.3ah	ITU G.984 serie

Tabla 1: Comparación de tecnologías PON

CAPITULO 2

DISEÑO DE PROTOTIPO DE DESPLIEGUE FTTx

El estado actual de las Telecomunicaciones en nuestro país, por un lado afectado por la disminución de la capacidad adquisitiva de la población no resulta alentador para sustentar un despliegue de servicios de alto ancho de banda a nivel general, sin embargo, desde inicios del 2008 se observa la existencia e incremento de demanda distribuida en servicios como provisión de internet, canales de datos punto – punto, iniciativas de entidades públicas en sistemas de vigilancia y control de tráfico, además de la clara percepción de la colectividad de tener tarifas altas frente a otros países de la región y notarse un estancamiento en el desarrollo formal de servicios como la televisión pagada (cable e IPTV).

Ante lo expuesto, tomando en cuenta que el marco político imperante y la presión de amplios sectores por acceder a servicios económicamente sustentables y de calidad, auguran un crecimiento a nivel nacional de iniciativas para provisión de mayores anchos de banda y aseguramiento e incremento de calidad en los productos de telecomunicaciones ofrecidos, el desarrollo de despliegues FTTx no es una consideración que puede ser diferida, es una necesidad impostergable, mas aún, frente a la demanda inicialmente distribuida para esta modalidad de acceso, primeros escenarios a ser intervenidos son aquellas áreas geográficas que presenten demanda de anchos de banda crecientes y topológicamente se encuentren concentrados, para fundamentar el despliegue de sistemas FTTx, mientras la demanda aislada puede ser atendida mediante despliegues P2P.

En conclusión, la modelación de la Red Prototipo FTTx implica el escogitamiento del escenario de implantación que presente condiciones de explotación y retorno de la inversión adecuados para la justificación del proyecto, además de solventar las necesidades de dotación de servicios de Telecomunicaciones, con anchos de banda adecuados e índices de calidad que solventen las expectativas del mercado.

Para el presente trabajo, se realizó un análisis de posibles escenarios de implantación dentro del área de cobertura de ETAPA, observándose que si bien una red óptica pasiva tiene la potencialidad de alcanzar con las debidas consideraciones, distancias entre el equipo activo de oficina central (OLT) y los equipos activos de usuario (ONU) de típicamente 20 km, es cierto también, que por efectos de ordenamiento de la red de planta externa, como por el costo del cable de acceso y las facilidades de mantenimiento posterior, es necesario confinar el área de explotación a superficies adecuadas.

Parque Industrial de la Ciudad de Cuenca

El escenario de implantación escogido es el casco industrial de la ciudad de Cuenca, cuya superficie aproximada es de 77.879,4317 m**2,** con un perímetro de 4118.079 m se encuentra topológicamente constituida por un trazado de calles tipo cuadricula con infraestructura civil consolidada, como ductería y postería, situación que facilita el tiempo de intervención; avocando a la clasificación de escenarios, este constituye el tipo **overbuild.** En la **figura 9** se muestra un bosquejo del Escenario contemplado.

Figura 9: Escenario de implantación de Prototipo FTTx

La Topología de la solución diseñada se muestra en la **figura 10**.

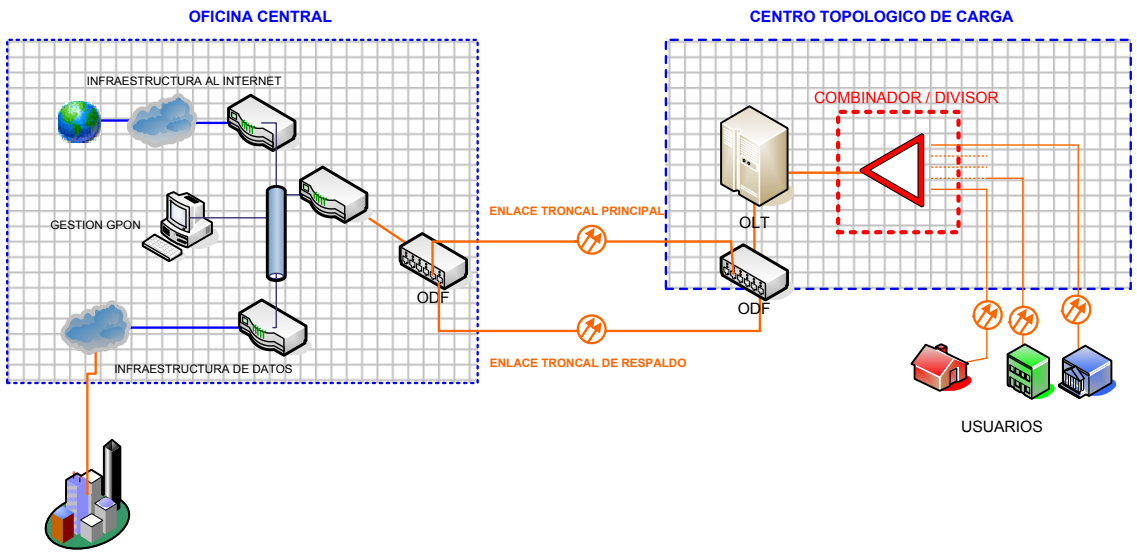


Figura 10: Diagrama simplificado de tendido de fibra óptica entre ubicación del OLT y centro topológico de carga al interior del área de implantación del Prototipo FTTx.

2.1 Características de la Oficina Central

La ubicación de la Oficina Central será la Central Telefónica de Totoracocha, mientras el OLT será ubicado en el nodo denominado Centro Topológico de Carga, adoptándose desde este último sitio una topología de splitter /combiner centralizada, esto es, el splitter será ubicado en un ODF dentro del nodo, y preconectorizado, de manera que se restrinja la necesidad de empalmes por fusión o mecánicos al segmento de la acometida.

Las características de la Oficina Central a tener en cuenta se detallan en la **Tabla 2**.

Característica	Descripción
Infraestructura Civil	Espacio suficiente para permitir el anclaje sólido de un bastidor de 19" x 25 UR preferiblemente al interior de la sala que alberga los demás equipos que conforman la solución para la provisión de los servicios a ofrecer. Accesos a los ductos que alojan las cabeceras de cables de fibra óptica Espacio para montaje de los ODFs necesarios para los enlaces troncales entre la Oficina Central y el centro topológico de carga.
Infraestructura Eléctrica	Flujo eléctrico estable, preferentemente -48VDC; redundancia en acometida al equipo y sistema auxiliar de energía. Provisión adecuada de conexión a tierra.
Vías de cableado	Acceso a vías adecuadas e independientes para el despliegue inicial y proyección de crecimiento de cableado interno (energía, fibra óptica, datos)
Climatización	Provisión de ambiente de trabajo con adecuados niveles de temperatura, preferiblemente se requiere el alojamiento de los equipos en salas con climatizador y/o ventilación forzada.
Protección de agentes externos	Adecuada protección para prevenir degradación por polvo, humedad, y otros agentes externos.
Conexión a equipos de Oficina Central	Facilidades para conexión a equipos encargados de seguridad, provisión de contenidos, acceso a internet, Gestión, Interconexión con redes de terceros, etc.
Seguridad	Nivel de seguridad adecuado para prevenir acceso de personal ajeno a OAM.

Tabla 2: Características básicas de la Oficina Central

Los requerimientos del Centro topológico de carga son similares a los expresados en la **Tabla 2**, observando la necesidad de utilizar los ODFs y sistemas de organización de fibra óptica adecuados para administrar de forma ordenada y estética las conexiones pasivas.

2.2 Características de la Red Óptica Pasiva

En el diseño de la red óptica pasiva, cuyo diagrama simplificado se observa en la **figura 11**, se contemplan 4 etapas diferenciadas:

- Enlaces Troncales de fibra óptica principal y de respaldo
- Etapa de división / combinación
- Enlaces Troncales de fibra óptica de acceso
- Acometidas de fibra óptica

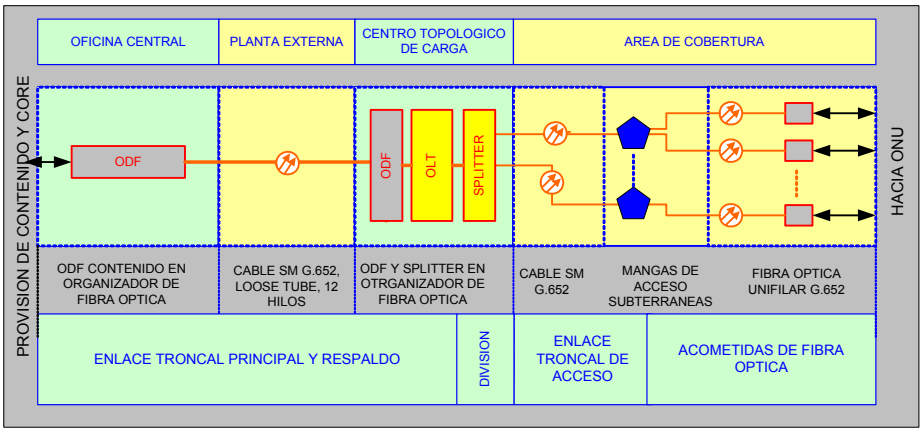


Figura 11: Diagrama simplificado de diseño de la Red óptica pasiva

2.3 Características de los enlaces troncales de fibra óptica

Los denominados enlaces troncales de fibra óptica constituyen el nexo entre la Oficina Central y el Centro Topológico de Carga, para el diseño presente, se considera una topología 1 + 1, es decir, se emplean dos enlaces por vías diferentes para asegurar un nivel adecuado de disponibilidad del servicio.

En las **Tablas 3 y 4** se presentan las características de los enlaces descritos.

Enlace Troncal Principal	
Tramo Oficina Central – Nodo TM	
Tipo de fibra óptica	Single Mode (SM), Standard UIT G.652, loose tube, subterránea, 12 hilos
Número de minitubos	2
Número de hilos / minitubo	6
Longitud enlace	4030 m
Canalización	PVC 110 mm, subducto de 3 vías 40 mm, se ocupa una vía.
Atenuación típica de fibra elegida por Km	0.40 dB / Km para 1310 nm 0.35 dB / Km para 1550 nm
Número de empalmes en tramo	1
Numero de cámaras subterráneas	60

Tramo Nodo TM – Centro Topológico de Carga	
Tipo de fibra óptica	Single Mode (SM), Standard UIT G.652, loose tube, subterranean, 12 hilos
Número de minitubos	2
Número de hilos / minitubo	6
Longitud enlace	2800 m
Canalización	PVC 110 mm, subducto de 3 vías 40 mm, se ocupa una vía.
Atenuación típica de fibra elegida por Km	0.40 dB / Km para 1310 nm 0.35 dB / Km para 1550 nm
Número de empalmes en tramo	0
Numero de cámaras subterráneas	32

Tabla 3: Características del Enlace Troncal Principal, observándose que el nodo TM es un sitio con infraestructura de Telecomunicaciones de ETAPA ubicado en el área de incidencia de la Central Telefónica de Totoracocha, siendo punto intermedio entre la Oficina Central y el Centro Topológico de carga.

Enlace Troncal de Respaldo	
Tramo Oficina Central – Nodo T1	
Tipo de fibra óptica	Single Mode (SM), Standard UIT G.652, loose tube, subterránea, 12 hilos
Número de minitubos	2
Número de hilos / minitubo	6
Longitud enlace	5000 m
Canalización	PVC 110 mm, subducto de 3 vias 40 mm, se ocupa una vía.
Atenuación típica de fibra elegida por Km	0.40 dB / Km para 1310 nm 0.35 dB / Km para 1550 nm
Número de empalmes en tramo	0
Numero de cámaras subterráneas	51
Tramo Nodo T1 – Centro Topológico de Carga	
Tipo de fibra óptica	Single Mode (SM), Standard UIT G.652, loose tube, subterránea, 12 hilos
Número de minitubos	2
Número de hilos / minitubo	6
Longitud enlace	2300 m
Canalización	PVC 110 mm, subducto de 3 vias 40 mm, se ocupa una vía.
Atenuación típica de fibra elegida por Km	0.40 dB / Km para 1310 nm 0.35 dB / Km para 1550 nm
Número de empalmes en tramo	0
Numero de cámaras subterráneas	39

Tabla 4: Características del Enlace Troncal de Respaldo, observándose que el nodo T1 es un sitio con infraestructura de Telecomunicaciones de ETAPA ubicado en el área de incidencia de la Central Telefónica de Totoracocha, siendo punto intermedio entre la Oficina Central y el Centro Topológico de carga.

Es importante señalar que, para los dos enlaces troncales se adoptó el tendido de sendos cables de fibra óptica de 12 hilos, sin embargo, el interfaz óptico del OLT instalado en la Oficina Central requiere un solo hilo de fibra (1 para el enlace principal y uno para el de respaldo) dentro del cual utilizará 3 longitudes de onda de acuerdo a lo indicado en la **figura 2** correspondiente a la sección 1.2 del Capítulo 1. En sentido estricto para el proyecto especifico es suficiente con el despliegue de cables de fibra óptica de 2 hilos para los enlaces troncales, sin embargo, la utilización eficiente de los ductos subterráneos y la posibilidad de brindar más servicios sobre estos enlaces, considerándose incluso la contingencia, de en base a los presupuestos de enlace, tener clientes FTTx cercanos a la Oficina Central; motivan la necesidad de contar con cables de mayor capacidad como los de 12 hilos proyectados, mas aún si consideramos que los costos del cable para tendido subterráneo, accesorios de montaje y su instalación, no difieren en gran medida para las capacidades contempladas.

En el **Anexo 1** se amplía la información referente a los enlaces troncales, considerando los presupuestos de enlace, inversión económica requerida y descripción detallada de rutas.

2.4 Características de la etapa de división / combinación

Esta etapa está caracterizada por el uso de los divisores / combinadores (splitters / combiners) , los cuales receptan el hilo de fibra que proviene de un interfaz óptico del OLT ubicado en la Oficina Central dividiendo la señal para el sentido downstream para entregarla a los usuarios y combinándola para el sentido upstream.

Al emplear una topología de división / combinación íntegramente ubicada en el Centro Topológico de Carga, se obtiene ventajas operativas en la fase de explotación del sistema al disponerse de un punto de prueba del trayecto óptico de cara al cliente a la salida del splitter, además de tener flexibilidad en la asignación del puerto de salida de este elemento hacia un usuario determinado con el consiguiente ahorro de tiempo en la instalación y comisionamiento del enlace. Ante lo expuesto, se optó por utilizar los dispositivos con relación 1:64, adicionalmente,

en base al levantamiento de potenciales clientes en el sector del Parque Industrial de Cuenca, se determinó que su número techo en la actualidad es de 102, se pretende la utilización de 2 splitters con la relación división / combinación indicada. En la **figura 12** se muestra un diagrama de la solución mencionada.

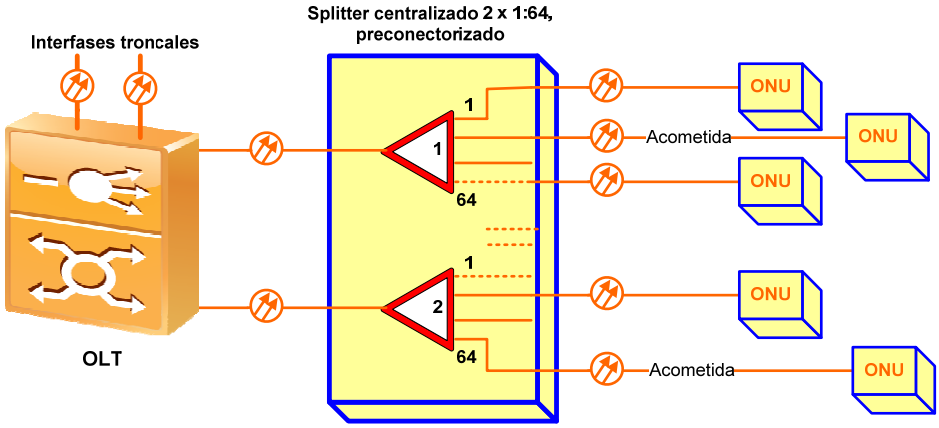


Figura 12: Diagrama simplificado de etapa de división / combinación

Al haberse adoptado en el diseño una topología de división / combinación centralizada, y sobre la base de la utilización de 3 longitudes de onda (1310, 1490 y 1550 nm) para asegurar la distribución de datos y video, se seleccionó 2 splitters con relación 1:64 del tipo preconectorizado (específicamente tipo 4 de tecnología planar y grado O de bajás pérdidas); el tipo seleccionado está apto para trabajar en las bandas O, S, C, L cuya descripción se muestra en la **Tabla 5**. En referencia al tipo de conector a utilizar, se ha adoptado el tipo SC.

Denominación de Banda	Rango de longitud de onda
O	1260 nm - 1360 nm
S	1460 nm - 1530 nm
C	1530 nm - 1565 nm
L	1565 nm - 1625 nm

Tabla 5: Bandas de operación de cumplimiento de splitters planares de grado O.

Los splitters seleccionados, presentan perdidas de inserción de 20 dB en los rangos de 1260 nm – 1360 nm y 1480 nm – 1580 nm, con una uniformidad de 2 dB; como referencia de producto se ha tomado la marca TYCO, con un precio referencial de USD 2427,47.

2.5 Características del centro topológico de carga

La elección del centro topológico al contenerse únicamente equipamiento óptico pasivo, implica que con las debidas precauciones, pueda ser montado al interior de un nodo, en un armario para intemperie, en una cámara subterránea de Telecomunicaciones o incluso en un poste. En el presente diseño, al existir disponibilidad, será montado al interior del nodo.

Una vez delimitada el área a servir, la ubicación del centro topológico de carga se determina en un escenario overbuild por la disposición topológica de la infraestructura de soporte existente (canalización, postería) y por la disponibilidad de espacio y su administración (local propio, arrendado, sujeto a convenio con terceros, etc.) , considerando que el sistema de combinador/divisor centralizado se adoptó para el despliegue del prototipo, debido a la facilidad que presenta en la etapa de operación y mantenimiento, frente a un sistema distribuido en cámaras subterráneas, además de permitir flexibilidad en el reenrutamiento del servicio a lugares ajenos al área de cobertura considerada.

Las características del Centro Topológico de Carga se detallan en la **Tabla 6**

Característica	Descripción
Infraestructura Civil	Espacio suficiente para permitir el anclaje seguro de un rack organizador de fibra óptica con los ODFs necesarios, que además de albergar las cabeceras de fibra óptica de los enlaces comisionados hacia la Oficina Central, contendrán los cables troncales de acceso y los dispositivos combinadores/divisores necesarios (splitters). Acceso a los ductos que albergaran los cables troncales de acceso.
Infraestructura Eléctrica	Flujo eléctrico estable para iluminación y conexión eventual que permitirá durante comisionamiento y mantenimiento la alimentación de equipos como Fusionadora de fibra óptica, OTDR, VFL, OSA, OLS, OLP
Vías de cableado	Instalación de escalerillas que permitan el tendido ordenado de cables de fibra óptica, entre el acceso a ductos y los ODF.
Protección de agentes externos	Adecuada protección para prevenir degradación por polvo, humedad, y otros agentes externos.
Seguridad	Nivel de seguridad adecuado para prevenir acceso de personal ajeno a OAM.

Tabla 6: Características básicas del Centro Topológico de Carga

2.6 Características de los enlaces troncales de acceso

Debido a la extensión del área a servir (aproximadamente 7 hectáreas), y la ubicación no central del Centro Topológico de carga, se contempló la necesidad de contar con enlaces troncales de acceso, definiéndose estos como los segmentos de cable de fibra óptica que partiendo del CTC terminan en mangas de acceso subterráneas en lo que se constituirían centros de carga de clientes, con el objeto que desde esos sitios se desplieguen las acometidas de cable de fibra óptica de acceso posibilitando la limitación de longitud de las mismas a medidas que sean manejables desde el punto de vista operativo, reduciendo tiempos de intervención durante la instalación y mantenimiento. La ubicación de los centros de carga de clientes se pueden observar en el **Plano 1.1** y **Plano 1.2** contenidos en el **Anexo 1.**

En la **figura 13** se presenta el diagrama topológico unifilar del despliegue de los enlaces troncales de acceso.

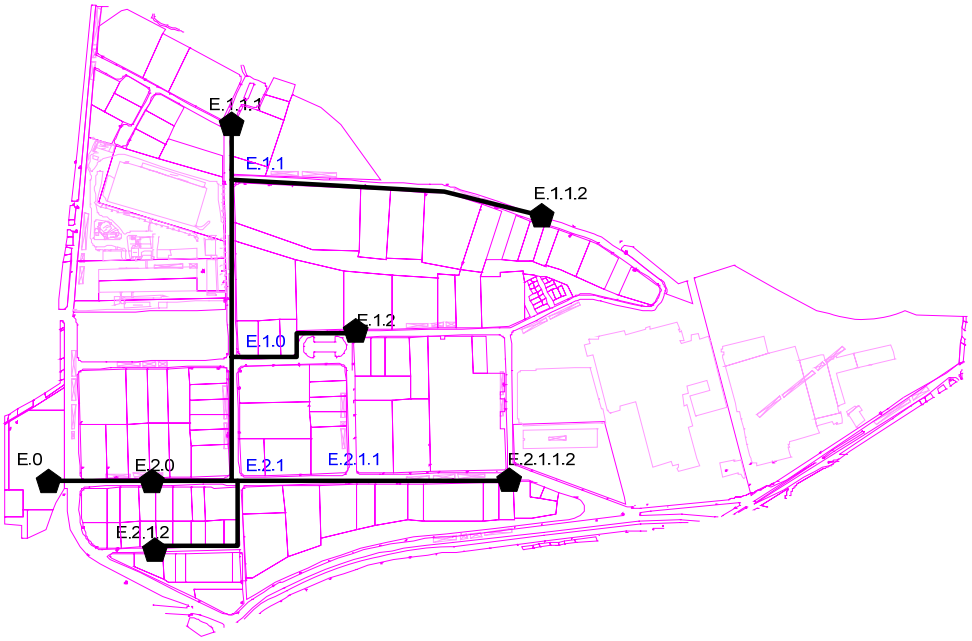


Figura 13: Diagrama de despliegue de enlaces troncales de acceso

TRAMO	LONGITUD (m)	SM48 G.652D	SM24 G.652D	SM12 G.652D
E.0 - E.1.1.1	893		893	
E.0 - E.1.1.2	1314		1314	
E.0 -E.1.2	758	758		
E.0 - E.2.0	153		153	
E.0 - E.2.1.1.2	762		762	
E.0 – E.2.1.2	543			543
TOTAL (m)	**4423**	**758**	**3122**	**543**

Tabla 7: Enlaces troncales de acceso

En la **Tabla 7** se observan los seis enlaces y sus distancias, constituyéndose en la red troncal de acceso, los mismos que nacen del Centro Topológico de Carga (E.0), los sitios indicados en azul, constituyen puntos de paso intermedio, pudiendo ser utilizados mediante el empleo de sangrías (puntos de presencia en los cuales se realiza un corte parcial de hilos de fibra para efectuar derivaciones, de manera que los demás continúan su trayecto de manera homogénea) para no incrementar la atenuación por presencia de empalmes.

En el **Anexo 1** se presentan los presupuestos de enlace e inversión económica necesaria para la construcción de los enlaces troncales de acceso.

2.7 Características de las Acometidas de fibra óptica

Para la determinación de las características de las acometidas de fibra óptica, es preciso considerar que el número techo de demanda corresponde a 102 lotes industriales, en algunos de los cuales se encuentran alojadas varias empresas, existiendo también casos como la Empresa Nutri leche que cuenta con 4 lotes. En la **Tabla 1** del **Anexo 2**, se observa el detalle de las empresas existentes.

La acometida se define como la porción de la red óptica pasiva que partiendo de los puntos de carga de clientes, terminan al interior de las premisas de usuario, e incluye el punto de terminación constituido por la caja de acceso de cliente.

El cable de fibra óptica utilizado debe permitir su conducción por medios diversos, el primer tramo desde los puntos de carga de clientes pueden incluir tendido subterráneo, luego se tendrá una porción aérea y finalmente será conducido hasta el punto de terminación al interior de la infraestructura del cliente, por tanto, el cable constructivamente debe ser robusto y soportar curvaturas sin perder en gran medida las características de transmisión.

El cable utilizado para las acometidas es del tipo UIT – T G.652 D, debido a su desempeño en las ventanas de transmisión de 1310 nm, 1550 nm y 1490 nm; la forma constructiva del cable empleado es plana (flat drop), de dos hilos. Considerando la ubicación de los centros de carga de clientes, se determinó la longitud de las acometidas a cada lote para el cálculo de las cantidades de material a utilizar, obteniéndose el valor de 22, 8 Km de cable.

2.7.1 Inversión requerida

En la etapa de construcción e instalación de las acometidas para clientes, se consideran los siguientes factores:

- Determinación de cantidades de material.
- Determinación de costos de instalación de acometidas.

En el caso de la determinación de las cantidades de material necesarios los requerimientos se establecen en base al levantamiento del área de cobertura y diseño de la topología a su interior.

La determinación de la cantidad de cable necesario, se realizó en base al levantamiento de clientes potenciales plasmado en la **Tabla 1** del **Anexo 2**, considerando las longitudes de cada acometida, observándose que estás fluctúan entre 32 a 650 m, con una media de 224 metros, totalizando 22842 m.

En base a estos datos, observando la disposición de las cámaras subterráneas y postería, se determinó un promedio de cuatro herrajes para tendido aéreo por cada acometida, significando un total de 408.

En cada punto de terminación de cliente se instalará una caja de acceso, totalizando por tanto, 102 las requeridas; adicionalmente se han considerado las cantidades de material menor de empalme y consumibles necesarios para el comisionamiento.

En la **Tabla 8** se aprecian los requerimientos de material y su consecuente costo, para abarcar a todos los clientes del área considerada.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Cable de fibra óptica Flat drop, UIT-T G.652 D, 2 hilos	m	22842	0,8	18273,6
2	Caja de acceso	u	102	12	1224
3	Patch cord G.652 tipo SC	u	102	10	1020
4	Manguito termocontractil	u	102	0,6	61,2
5	Aire comprimido	u	20	20	400
6	Herraje para tendido aéreo	u	500	9	4500
7	Herrajería menor, tubo plástico corrugado, material de limpieza	lote	1	1500	1500
Valor de materiales para acometidas de fibra óptica a clientes (USD)					**26978,80**

Tabla 8: Requerimiento de inversión en materiales para construcción de acometidas

Para la determinación del costo de instalación de las acometidas, existen dos rubros a tener en cuenta:

- Costo fijo: Integrado por ítems no dependientes de la longitud de la acometida, como son: el costo de la conexión ya sea por fusión o mecánica en el punto de carga de clientes, el costo de instalación de la caja de acceso

en la infraestructura del cliente, costos por conceptos de pruebas del enlace y el costo asociado al transporte de personal y materiales. El costo fijo por cliente por instalación de acometida alcanza un valor de USD 23,04.

- Costo variable: dependiente de la cantidad de material, básicamente cable, en función de la distancia al punto de carga de clientes; en base al análisis de costos unitarios se determina que la Empresa incurriría en un costo de USD 0,32 por cada metro de cable de acometida tendido. En la **Tabla 9** se observan estos valores para distintas longitudes dentro del intervalo encontrado en el levantamiento del área de cobertura.

  La longitud de la acometida, determinará el valor de este componente en la tarifa final aplicada al cliente, sin embargo, debido a la topología específica de la red, se encontró que es factible que el componente sea manejado como un valor fijo para todos los clientes, considerando su distancia promedio (224 m); esta simplificación permite contemplar, el retorno de la totalidad de la inversión en la instalación del cable de acometida y asegura el trato igualitario a los clientes.

Ítem	longitud (m)	Costo tendido (USD)	Ítem	longitud (m)	Costo tendido (USD)	Ítem	longitud (m)	Costo tendido (USD)	Ítem	longitud (m)	Costo tendido (USD)
1	30	9,60	9	190	60,80	17	350	112,00	25	510	163,20
2	50	16,00	10	210	67,20	18	370	118,40	26	530	169,60
3	70	22,40	11	230	73,60	19	390	124,80	27	550	176,00
4	90	28,80	12	250	80,00	20	410	131,20	28	570	182,40
5	110	35,20	13	270	86,40	21	430	137,60	29	590	188,80
6	130	41,60	14	290	92,80	22	450	144,00	30	610	195,20
7	150	48,00	15	310	99,20	23	470	150,40	31	630	201,60
8	170	54,40	16	330	105,60	24	490	156,80	32	650	208,00

Tabla 9: Costo del tendido de cable de acometida, considerando un valor de USD 0,32 por metro, en tendido mixto (tramo aéreo y subterráneo).

En función de lo expresado, el valor por instalación a nivel de acometida, tanto individual como total se muestra en la **Tabla 10**.

(a) Considerando el valor individual de longitud de acometida			
Costo fijo (USD)	Longitud (m)	Costo variable (USD)	Costo total por cliente (USD)
23,04	32	10,24	33,28
23,04	224	71,68	94,72
23,04	650	208	231,04
Costo fijo (USD)	Longitud (m)	Costo variable (USD)	Costo total por cobertura (USD)
23,04 x 102=2350,40	22842	22842 x 0,32 =7309,44	9659,84
(b) Considerando un valor promedio de longitud de acometida			
Costo fijo (USD)	Longitud	Costo variable (USD)	Costo total (USD)
23,04	Cualquiera dentro de intervalo 32 – 650 m	71,68	94,72
Costo fijo (USD)	Longitud (m)	Costo variable (USD)	Costo total por cobertura (USD)
23,04 x 102 = 2350,40	224 x 102 = 22848	71,68 x 102=7311,36	9661,76

Tabla 10: Costo de instalación de acometida a niveles de cliente y total. (a) se considera la longitud individual de la acometida. (b) se considera un valor promedio de longitud de acometida.

En el **Anexo 2**, se encuentran los presupuestos de enlace correspondientes a las acometidas, considerando el rango de longitudes observadas en el área de cobertura, adicionalmente, se detallan los presupuestos de enlace del tramo de la red óptica pasiva completa, esto es, desde el Centro Topológico de Carga hasta el punto terminal del cliente, permitiendo de esta manera determinar al detalle las características de los interfaces ópticos requeridos en los equipos activos (OLT y ONU).

2.7.2 Características del cable de acometida.

En la **figura 14** y **Tabla 11** se detallan las características del cable de acometida utilizado, observando que es suficiente con un hilo de fibra óptica, sin embargo, se consideran dos hilos, ante la eventualidad de requerimientos de más de un cliente

por acometida o la implementación posterior de servicios de seguridad o control de tráfico en el área de cobertura, esto sobre la base que la diferencia económica entre cables de uno y dos hilos es mínima.

Figura 14: Cable de acometida, tipo Flat Drop

Características del cable de acometida		
Tipo de fibra óptica	Single Mode (SM), Standard UIT-T G.652 D, tipo Flat Drop, 2 hilos	
Código del cable (tomando como referencia el cable Flat drop marca DRAKA)	**M-DFS-1-JKT-02-BB-002-B3**	
	El código adoptado significa:	
	M	La impresión de la longitud de chaqueta será en metros
	DFS	Corresponde al tipo de fibra, en este caso es la ezDROP/Dielectric
	1JKT	Corresponde a chaqueta simple, esto es sin conductor de cobre 24 AWG para detección de tonos.
	02	Indica que existen 2 fibras por tubo contenedor.
	BB	Indica que es fibra monomodo optimizada para transmisión en ventanas de 1310nm, 1480nm y 1550 nm.
	002	Indica el número total de fibras que tiene el cable.
	B3	Se refiere al valor de la atenuación por unidad de longitud en las tres ventanas consideradas
El cable considerado presenta una sección transversal plana, pudiendo ser utilizado para montaje aéreo al ser auto soportado o en montaje subterráneo dentro de ducto o incluso enterrado directamente. El tipo de cable considerado referencialmente, es provisto comercialmente en bobinas de 400, 900, 3500m o las longitudes diferentes bajo pedidos específicos.		

Tabla 11: Características de cable de acometida, se ha tomado referencialmente el cable Flat Drop de marca DRAKA

2.8 Equipos activos

En referencia a los componentes activos para la provisión de servicios de Telecomunicaciones, es necesario modelar los elementos que corresponden tanto al extremo del Centro Topológico de carga (OLT) y del cliente (ONT), observando que los primeros parámetros a considerar son la potencia de transmisión y sensibilidad de los equipos, de manera que se asegure el establecimiento de conectividad con el presupuesto de enlace de la Red Óptica Pasiva según la siguiente relación:

$$\mathbf{Ptx - Pe > Prx}$$

Donde:

Ptx es la potencia de transmisión del interfaz óptico del OLT medido en dBm.

Pe es la sumatoria de todas las atenuaciones debidas a la red óptica pasiva en dB.

Prx es la potencia mínima que debe recibirse en el módulo óptico del equipo de usuario (ONT) para que se establezca el enlace óptico (en dBm).

Con el presupuesto de enlace total calculado, recurriendo al caso más crítico se tiene:

$$\mathbf{Pe = 23{,}47\ dB}$$

El valor del cálculo de enlace (link budget) determina según la Recomendación UIT –T G.984.2 cuadro 2a (emitida en marzo de 2003) que es de Clase B, significando, que el trayecto óptico está dentro de la gama de atenuación comprendida entre 10 a 25 dB, adicionalmente en la misma tabla se restringe el alcance de la red pasiva a 20 Km y se indica que la relación de división adoptada depende del presupuesto de enlace que asegure la conectividad entre OLT y ONT.

Las velocidades binarias adoptadas para las Redes Ópticas Pasivas con capacidad de gigabits según la Recomendación UIT –T G.984.2 son:

Sentido descendente (Mbit/s)	Sentido ascendente (Mbit/s)
1244,16	155,52
1244,16	622,08
1244,16	1244,16
2488,32	155,52
2488,32	622,08
2488,32	1244,16
2488,32	2488,32

Tabla 12: Velocidades binarias para redes GPON según UIT-T G.982, observando que la velocidad en la línea de transmisión siempre debe ser múltiplo de 8 kHz.

Los rangos de potencia óptica en los interfaces del OLT y ONT dependen de la velocidad binaria establecida por los equipos elegidos y diferenciada por la Clase de Red, sus valores están dados en las tablas 2b a 2g de la Recomendación citada. Para la velocidad binaria de 2488,32 Mbit/s / 1244,16 Mbit/s considerando una Red Clase B los parámetros a nivel de OLT y ONT se muestran en los cuadros 2c correspondiente al sentido descendente (rangos de longitudes de onda de 1260 nm -1360 nm y 1480 nm -1550 nm) y 2f-1, 2f-2 correspondientes al sentido ascendente (rango de longitud de onda 1260 nm – 1360 nm), los datos más relevantes de estos cuadros se muestran en las **Tablas 5, 6 y 7** del **Anexo 3.** Es importante señalar que la velocidad binaria considerada es la más difundida comercialmente en la actualidad, observándose además que la simétrica de 2488,32 Mbit/s / 2488,32 Mbit/s está considerada en la recomendación y se espera su difusión comercial próximamente.

En base a lo expuesto, se han tomado referencialmente, el empleo de equipos OLT y ONT cuyas características se detallan en el **Anexo 3**, resaltando que los parámetros principales de potencia óptica de los equipos involucrados mejoran los valores de la recomendación UIT –T G.984.2 y se resumen en la **Tabla 13**. Adicionalmente, el equipo OLT considerado está integrado por un chasis, con la posibilidad de inserción de tarjetas con interfaz GPON y de otros servicios, como P2P y VDSL, constituyéndose en una plataforma robusta a nivel de acceso óptico, sin embargo para efectos del presente análisis, se ha estimado que estará dotado de dos tarjetas GPON, cada una con dos interfaces ópticos.

Equipo	Unidad	Valor
OLT	Potencia media inyectada (MIN)	+ 0,5 dBm
OLT	Potencia media inyectada (MAX)	+ 5 dBm
OLT	Sensibilidad mínima	-27 dBm
OLT	Sobrecarga mínima	-8 dBm
ONT	Potencia media inyectada (MIN)	+ 1.5 dBm
ONT	Potencia media inyectada (MAX)	+ 5 dBm
ONT	Sensibilidad mínima	-28 dBm
ONT	Sobrecarga mínima	-8 dBm

Tabla 13: Valores de potencia óptica de transmisión y recepción de equipos OLT, ONT Huawei pertenecientes a plataforma MA5680T.

En base a la sumatoria de todas las atenuaciones debidas a la red óptica pasiva y los valores de potencia óptica de transmisión y recepción de equipos OLT, ONT elegidos, se realiza la comprobación del presupuesto de enlace total, que básicamente contempla la compatibilidad de las etapas activas y pasivas para el establecimiento de los enlaces que sustentaran la provisión de servicios. En la **Tabla 14** se encuentran los resultados de la comprobación del presupuesto total de enlace, observándose la idoneidad de la plataforma MA5680T para su aplicación sobre la Red Óptica Pasiva diseñada al tenerse que el valor de potencia en los receptores del OLT en el sentido ascendente, y del receptor del ONT en el sentido descendente, son superiores a la sensibilidad de los mismos, asegurándose de esta manera la provisión del servicio.

Sentido descendente						
Pm(MIN) (dBm)	**Pm(MAX) (dBm)**	**Pe (dB)**	**Pm(MIN) - Pe**	**Pm(MAX) - Pe**	**Sensibilidad ONT (dBm)**	**Sobrecarga mínima (dBm)**
+0,5	+5	-23,47	-22,97	-18,47	-28	-8
Sentido ascendente						
Pm(MIN) (dBm)	**Pm(MAX) (dBm)**	**Pe (dB)**	**Pm(MIN) – Pe**	**Pm(MAX) - Pe**	**Sensibilidad ONT (dBm)**	**Sobrecarga mínima (dBm)**
+1,5	+5	-23,47	-21,97	-18,47	-28	-8

Tabla 14: Presupuesto de enlace total, considerando elementos activos, donde Pm(MIN) es la potencia media inyectada mínima, Pm(MAX) es la potencia media inyectada máxima, Pe es el presupuesto de enlace pasivo, esto es la sumatoria de las atenuaciones debido a fibra óptica, conectores, uniones, patch cords, etc.

2.8.1 Inversión Referencial en equipos activos

La cotización de los elementos activos con precios locales es compleja en vista que las implementaciones a nivel nacional son escasas, en su mayoría están en fase de planificación con equipos de distintos fabricantes que al pugnar por el ingreso al mercado manifiestan los precios en función de muchos factores, sin embargo, de manera referencial se presentan en la **Tabla 15** para la plataforma considerada, observando que se presentan dos tipos de ONT, que difieren por la inclusión de dos interfaces para telefonía.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Equipo OLT equipado con dos tarjetas GPON, energía 1+1, tarjetas de control 1+1, 2488,32 Mbit/s / 1244,16 Mbit/s, Software de gestión.	u	1	25000	25.000,00
2	Equipo ONT , 1 interfaz GPON, 1 Ethernet 10/100 Base-T	u	40	300	12.000,00
3	Equipo ONT , 4 interfaz GPON, 1 Ethernet 10/100 Base-T, 2 POTS	u	62	300	21.700
Valor de equipos activos para despliegue de Red GPON (USD)					**58.700,00**

Tabla 15: Inversión total requerida en equipos activos para cubrir 100 % de usuarios considerados.

2.9 Inversión total en Red Pasiva y equipos activos

Una vez definidos los costos a nivel de equipos activos, en la **Tabla 16** se encuentra el detalle de la inversión necesaria para el proyecto total.

Se han considerado los rubros que intervienen para la inversión total en equipos activos y pasivos, tomando un despliegue total y un despliegue para el 50 % de los clientes, en este caso se observa que los costos no corresponden a la mitad en todos los rubros, esto debido a la topología considerada.

Ítem	Descripción de Rubros de Red Óptica Pasiva	Despliegue 100% (USD) 102 clientes	Despliegue 50%(USD) 51 clientes
1	Enlace Troncal Principal	10934,98	0
2	Enlace Troncal de Respaldo	11785,96	11785,96
3	Enlace Troncal de Acceso (cable de 48 hilos)	5504,24	5504,24
4	Enlace Troncal de Acceso (cable de 24 hilos)	17159,09	12330,76
5	Enlace Troncal de Acceso (cable de 12 hilos)	3500,72	0
6	Materiales de Acometidas	26978,80	13489,4
7	Instalación de Acometidas	9661,76	4830,88
8	Splitters	4850,94	4850,94
9	Equipo activo OLT	25000,00	25000,00
10	Equipos activos de usuario ONU	33700,00	15000,00
Inversión total (Red Óptica Pasiva + Elementos activos)		**149076,50**	**92792,1749**
Inversión total requerida por cliente		**1461,53**	**1819,45**
Porcentaje de participación en equipos activos		**39,38**	**43,11**
Porcentaje de participación en Red Óptica Pasiva		**60,62**	**56,89**

Tabla 16: Inversión total (Red Óptica Pasiva + Elementos activos).

2.10 Servicios a implementar

La explotación de una Red Óptica Pasiva posibilita la dotación de múltiples servicios de telecomunicaciones, limitados por el sistema activo a implementar, que en el caso de la alternativa GPON, permite una ocupación total de recursos con una asignación de hasta 40 Mbps por cliente, valor que consiente cubrir un amplio espectro de productos como son: telefonía, provisión de internet, red de datos, distribución de video. Adicionalmente, es necesario indicar que en la actualidad, razonando el tema de precios finales de servicios disponibles, la ocupación total de recursos de red no se alcanza para nuestro medio, por lo que el valor de 40 Mbps por cliente es el tope mínimo, siendo el máximo limitado por el interfaz de usuario disponible en el equipo ONT, el cual típicamente es del tipo 10/100-Base T y/o 10/100/1000-Base T.

Ante lo expuesto, se considera la explotación de la red mediante la dotación inicial de tres servicios: telefonía fija, provisión de internet y red de datos local, observando que para las plataformas que brindan este servicio en la actualidad, la

cantidad de usuarios pensada en el proyecto (102), no repercute en la necesidad de realizar inversión adicional para su ejecución. En cuanto a la penetración de estos servicios, en la **Tabla 19**, al final del capítulo, se presenta la evolución de la demanda en un período de análisis de 15 años para el área de cobertura considerada.

En lo referente a la demanda de los clientes, se plantea que en telefonía, un usuario comercial tipo, tiene un consumo telefónico promedio de 22 USD mensual en la actualidad, significando un tiempo promedio de ocupación sobre 400 minutos, en cuanto a telefonía local. La pensión básica mensual está en 9,99 USD, mientras la inscripción al servicio se valora en 120 USD.

Auscultando el acceso a Internet, el producto más difundido en el sector comercial es el 256 kbps con una tarifa mensual dependiente de las sub clasificaciones comerciales, fluctuando entre 29,16 a 191,04 USD (el valor piso se aplica para el plan Familia Net con concentración 1 a 10, mientras el valor techo se aplica para el plan denominado Corporativo de primer nivel con concentración 1 a 1), el valor por suscripción es de 40,17 USD y el equipo de usuario se valora en 51,60 USD. Adicionalmente se observa que las tarifas de Banda Ancha presentan una tendencia a su disminución acelerada.

Para la dotación de enlaces de red de datos, la tarifa promediada para los distintos valores de ancho de banda asignados es 350 USD, considerando un valor promedio por suscripción de 175 USD y un valor de arrendamiento del equipo de usuario de 23,15 USD.

En la **figura 15**, se muestra el diagrama para la provisión de servicios enfocada en el proyecto, donde se ha incluido la dotación de video, servicio que la Empresa en la actualidad no brinda, sin embargo, apreciando la tendencia generalizada, se prevé su implementación futura, observando que el servicio de distribución de video abarca además de la televisión, productos como: Video vigilancia, video conferencia, video interactivo, plataformas de aprendizaje electrónico y otros que pueden captar la atención de los usuarios industriales.

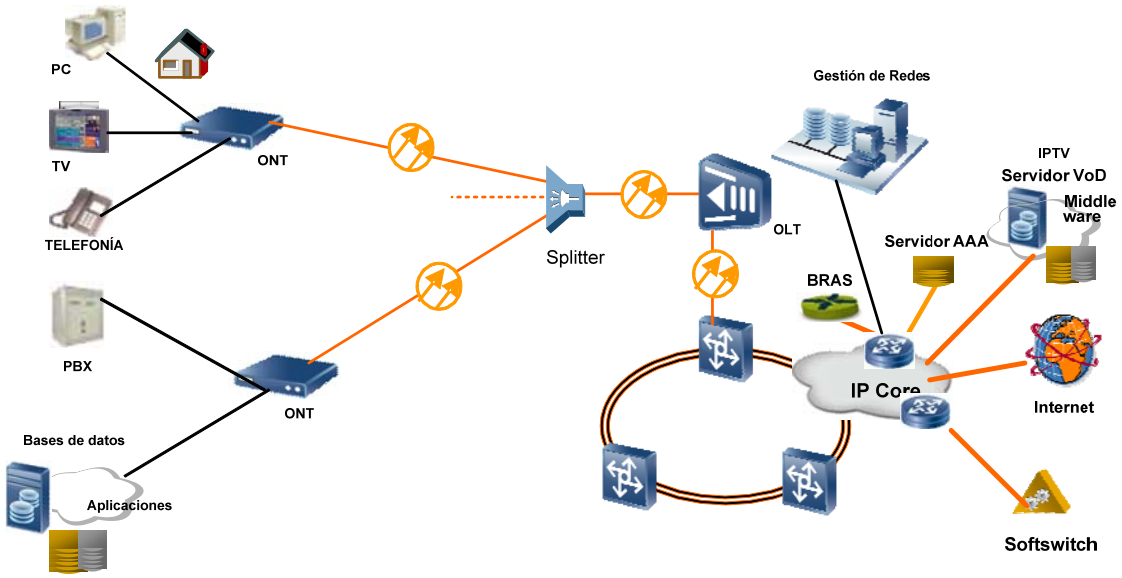


Figura 15: Diagrama Simplificado de provisión de servicios.

2.11 Análisis Económico

Para la evaluación económica del Prototipo de despliegue de una Red FTTx para el sector Industrial de la ciudad de Cuenca, adoptando la tecnología GPON, se adoptó el análisis de los siguientes indicadores:

WACC (Costo Medio Ponderado de Capital, o Weighted Average Cost of Capital)
VAN (Valor Actual Neto)
TIR (Tasa Interna de Retorno)

Los recursos contados en la inversión y la depreciación vinculada a cada uno de ellos, se detalla en la **Tabla 17**, observando que como período de análisis para el proyecto se tomaron los 15 años en que se establecen la depreciación de los elementos pasivos.

INVERSION	VALOR (USD)	DEPRECIACION (años)
Enlace Troncal Principal	10.934,98	15
Enlace Troncal de Respaldo	11.785,96	15
Enlace Troncal de Acceso (cable de 48 hilos)	5.504,24	15
Enlace Troncal de Acceso (cable de 24 hilos)	17.159,09	15
Enlace Troncal de Acceso (cable de 12 hilos)	3.500,72	15
Materiales de Acometidas	26.978,80	15
Instalación de Acometidas	9.661,76	15
Adecuación civil de Instalaciones	2.040,16	15
Splitters	4.850,94	15
Equipo activo OLT	25.000,00	8
Equipos activos de usuario ONT	33.700,00	5

Tabla 17: Inversión total (Red Óptica Pasiva + Elementos activos) y depreciación.

La depreciación de los elementos activos es acelerada en comparación con los componentes de la Red Óptica Pasiva; por tanto, en el período de análisis se consideran para el caso de los equipos de usuario (ONT), dos inversiones adicionales por realizar al año 5 y 10, mientras para el equipo OLT es necesario realizar una nueva inversión para su reemplazo en el año 8.

Los Gastos Administrativos y Operativos se establecieron en un valor del 10% de la inversión total a realizar, conservándose constante en cada año del periodo establecido.

Para el Arriendo de Capacidad de Transmisión, consistente en el valor anual por el servicio de suscripción al Internet en la capacidad necesaria para abastecer la demanda del servicio de Banda Ancha, se consideró que cada usuario tendrá acceso inicial a 512 Kbps con una concentración de 1 a 10, es decir que se efectuará la reutilización del acceso a Internet en función de la demanda con un máximo de 10 usuarios compartiendo el canal de acceso al mismo tiempo. Adicionalmente, se considera que el costo del Arriendo de Capacidad de Transmisión no permanece constante en el período de análisis, sufriendo una reducción cada tres años en un 2,78% del valor inicial, mientras la demanda del

servicio posibilitará el incremento de capacidad entregada a los usuarios, situación que se prevé efectuar al año 3 y 10, ofreciendo el servicio de 1024 kbps y 2048 kbps respectivamente.

Sobre la base de la provisión de los servicios de Telecomunicaciones correspondientes a Telefonía, Internet y Red de datos local, en la **Tabla 18**, se observan los datos de número de usuarios inicial, comportamientos de la demanda y tarifas considerados.

SERVICIOS A IMPLEMENTAR	TARIFA MENSUAL PROMEDIO	REDUCCION ANUAL DE TARIFA	NUMERO INICIAL DE USUARIOS	NUMERO FINAL DE USUARIOS	INCREMENTO DE DEMANDA ANUAL
TELEFONÍA*	25	2%	45	277	15%
BANDA ANCHA**	50	8%	30	104	10%
RED DE DATOS***	200	5%	10	35	5%

* Se considera usuarios de categoría C, con un consumo mensual promedio de 400 minutos por mes
** Se considera usuarios con plan de 512 K, concentración 1:10
*** Se considera usuarios con capacidad de 2 Mbps, con terminación local en Cuenca.

Tabla 18: Consideraciones de demanda y usuarios para análisis económico.

Para efectos del análisis económico se consideró una inflación anual del 4 %.

En la **Tabla 19** se observa el análisis de costos del proyecto para el período de 15 años, apreciándose que el índice denominado WACC alcanza un valor de 13,46%, mientras el VAN es de 89.848 USD y el TIR con un 13,03%; ante los resultados obtenidos, se contempla que la implementación considerada en el proyecto es factible. Una situación interesante del análisis presentado, es la determinación que entre los servicios ofrecidos, el que mayor rédito económico brinda es la transmisión de datos, pese a ser el que menor número de usuarios presenta.

La cristalización del proyecto es una necesidad para el mejoramiento de los servicios brindados al sector Industrial de la ciudad, observándose que es rentable y existe la capacidad técnica en la empresa ETAPA para materializarlo; considerando además la introducción de otros operadores de telecomunicaciones en el cantón, el diferimiento del proyecto va en detrimento de la Empresa y la colectividad.

ANALISIS DE COSTOS PARA PROTOTIPO DE DESPLIEGUE FTTx PARA SECTOR INDUSTRIAL DE CUENCA

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Número de Usuarios															
Telefonía	0	45	52	60	68	79	91	104	120	138	158	182	209	241	277
Banda Ancha	0	30	33	36	40	44	48	53	58	64	71	78	86	94	104
Red de datos	0	10	11	12	13	15	16	18	19	21	24	26	29	31	35
Comportamiento de Tarifas															
Tarifa Telefonía		25,00	24,50	24,01	23,53	23,06	22,60	22,15	21,70	21,27	20,84	20,43	20,02	19,62	19,23
Tarifa Banda Ancha		50,00	46,00	42,32	38,93	35,82	32,95	30,32	27,89	25,66	23,61	21,72	19,98	18,38	16,91
Tarifa Red de Datos		200,00	190,00	180,50	171,48	162,90	154,76	147,02	139,67	132,68	126,05	119,75	113,76	108,07	102,67
Ingresos															
Consumo telefónico promedio comercial	-	13.500,00	15.214,50	17.146,74	19.324,38	21.778,57	24.544,45	27.661,60	31.174,62	35.133,80	39.595,79	44.624,46	50.291,76	56.678,81	63.877,02
Banda ancha (Disminucion de tarifas anual 6%	-	18.000,00	18.216,00	18.434,59	18.655,81	18.879,68	19.106,23	19.335,51	19.567,53	19.802,34	20.039,97	20.280,45	20.523,82	20.770,10	21.019,34
Red de datos	-	24.000,00	25.080,00	26.208,60	27.387,99	28.620,45	29.908,37	31.254,24	32.660,68	34.130,41	35.666,28	37.271,27	38.948,47	40.701,15	42.532,71
Valor residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
TOTAL	**-**	**55.500,00**	**58.510,50**	**61.789,93**	**65.368,17**	**69.278,70**	**73.559,05**	**78.251,35**	**83.402,84**	**89.066,56**	**95.302,05**	**102.176,17**	**109.764,05**	**118.150,07**	**127.429,08**
Costos															
OPEX	**19.911,65**	**27.086,55**	**32.366,42**	**33.046,62**	**34.082,62**	**35.222,22**	**36.092,74**	**37.433,35**	**38.908,02**	**57.354,04**	**60.820,78**	**64.634,19**	**68.828,95**	**71.950,34**	**76.876,71**
Publicidad		2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00	2.775,00
Gestión de Red	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00	4.800,00
Gastos Administrativos, Operación	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65	15.111,65
Arriendo de Capacidad de Trasnmision	-	4.399,90	9.679,77	10.359,97	11.395,97	12.535,57	13.406,09	14.746,70	16.221,37	34.667,39	38.134,13	41.947,54	46.142,30	49.263,69	54.190,06
Depreciacion	-	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10	16.026,10
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA -	19.911,65	28.413,45	26.144,08	28.743,31	31.285,55	34.056,48	37.466,31	40.818,00	44.494,82	31.712,52	34.481,27	37.541,98	40.935,11	46.199,74	50.552,37
EBIT -	19.911,65	12.387,35	10.117,98	12.717,21	15.259,45	18.030,38	21.440,21	24.791,90	28.468,72	15.686,42	18.455,17	21.515,88	24.909,01	30.173,64	34.526,27
Utilidad Neta Contable -	19.911,65	12.387,35	10.117,98	12.717,21	15.259,45	18.030,38	21.440,21	24.791,90	28.468,72	15.686,42	18.455,17	21.515,88	24.909,01	30.173,64	34.526,27
CAPEX															
Red pasiva + equipos + Infraestructura	151.116,50				33.700,00			25.000,00		33.700,00					
Free Cash Flow -	171.028,15	28.413,45	26.144,08	28.743,31	- 2.414,45	34.056,48	37.466,31	15.818,00	44.494,82	- 1.987,48	34.481,27	37.541,98	40.935,11	46.199,74	50.552,37

WACC	**13,46%**
VAN	**$ 89.848**
TIR	**13,03%**

CAPITULO 3

NORMA BÁSICA DE CONSTRUCCIÓN CON TECNOLOGÍA FTTx PARA EDIFICACIONES

3.1 Escenarios
3.2 Norma Básica de Construcción para edificaciones

Normativa Básica de Construcción para edificaciones

3.1 Escenarios

Los escenarios de implantación de sistemas FTTx pueden clasificarse de distintas formas, sin embargo la mas ampliamente aceptada es la determinada por las facilidades que se presentan para el diseño y construcción de la planta externa e interior en fibra óptica, considerando dos posibilidades: en primera instancia está el escenario denominado **"Greenfield"** caracterizado por sitios en los cuales no existe edificaciones al momento del diseño, de manera que se puede planificar a libertad el despliegue. Un segundo escenario denominado **"Brownfield"** considera el despliegue en zonas construidas por lo que es necesario adaptarse a la topología del terreno e infraestructura de soporte (canalizaciones, postería, regulaciones de ornato, etc.) siendo el despliegue arduo, este segundo escenario es el que frecuentemente se encuentra en la implantación de FTTx.

En el despliegue en el escenario Greenfield es necesario dimensionar adecuadamente los recursos de canalización, cuartos o gabinetes de telecomunicaciones, postería, acometidas, de manera que se evite al máximo la acción destructiva que implica la reintervención en la infraestructura civil.

La Red Pasiva se considera todo el trayecto existente entre los interfaces ópticos de los equipos activos (OLT y ONT), en éste no se encuentran presentes elementos que hagan cambios de señales eléctricas a ópticas y viceversa (incluyen elementos como ODF, splitters, mangas, Bandejas de conexión, cable de Fibra Óptica,

conectores, etc., aspectos concernientes a la Planta Externa en Fibra). Otro punto valioso a manejarse en los sistemas telemáticos, concierne a la parte de la implementación de redundancia en éstos; es decir, la dotación de caminos alternos con transporte de señales simultaneas ya sean estos virtuales y/o físicos al servicio a proveer a un usuario, nodo, terminal, etc., un ejemplo de tales sistemas a nivel físico es la topología en anillo, muy empleado en las redes troncales de fibra óptica, posibilitando el desvío de tráfico o servicio, al presentarse el corte o daño de la fibra.

En escenarios Brownfield es inevitable la modificación de infraestructura, al momento de la instalación de acometidas en fibra óptica, dichas modificaciones deben minimizarse, sin embargo, es preciso procurar, la independencia con otras redes como las de energía, gas, agua, de manera que se eviten interacciones perjudiciales entre si.

En cuanto a la clasificación de escenarios en función del tipo de clientes (sean estos residenciales, comerciales, industriales, urbanos, rurales, etc.), en lo relativo a la red pasiva no cabe esta división (que en cierta manera si se la manejan en redes de cobre), debido a que las precauciones a nivel tanto constructivo como operativo no difieren, exceptuando las modificaciones topológicas por dotación de redundancia a clientes considerados críticos.

3.1.2 Arquitectura

Los despliegues FTTx se constituyen en dos etapas, la parte activa que engloba el equipamiento de lado del operador denominado OLT (Optical Line Termination) y el equipamiento del lado del usuario denominado ONT (Optical Network Termination), sustentados tecnológicamente en la aplicación de un determinado protocolo de acceso, que puede ser ATM (Asynchronus Transmisión Mode) en el caso de los despliegues A-PON, B-PON y G-PON, adicionalmente, se utiliza Ethernet para E-PON y G-PON. La presencia de G-PON en los dos tipos de protocolos de acceso se debe a que G-PON toma de ATM y de Ethernet sus características, potencializando el manejo de calidad de servicio de ATM y la flexibilidad del protocolo Ethernet en cuanto a granularidad en interfaces, significando esto que

para un mismo interfaz físico, se dispone de posibilidades de configuración de un gran rango de velocidades entregadas al vínculo de transmisión, obteniendo elevada flexibilidad en la dotación y creación de servicios, situación que no se presenta en otros protocolos.

La segunda etapa de una red FTTx la constituye la PON o Red Óptica Pasiva, constituida por el cableado de Planta Exterior en fibra óptica, las terminaciones de cable pueden utilizar bandejas de fibra óptica, mismas que se han estandarizado por el número de puertos coincidente con el número de hilos en un cable de fibra, adicionalmente tenemos las mufas o mangas, las cuales albergan las uniones entre hilos de fibra que pueden ser efectuados por dos métodos, la fusión y el empalme mecánico. Otro elemento fundamental en las PON son los splitters pasivos, estos permiten la división de la señal óptica en varias salidas, en la practica se construyen de 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, observándose que la división de la señal implica una pérdida de potencia óptica de las salidas, en referencia a la entrada, por tanto, este dato tiene que ser tomado en cuenta para el cálculo del presupuesto de enlace.

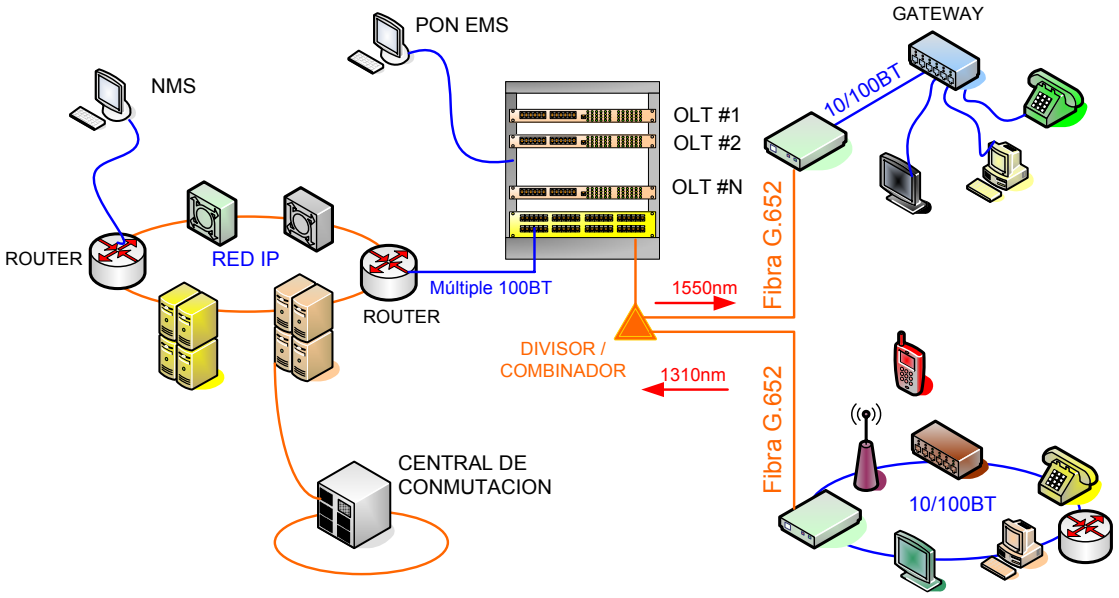


Figura 16: Topología típica de Red Óptica Pasiva

3.1.3 Topologías

La topología de despliegue de la red PON se planifica en base al escenario específico de implantación, sin embargo, se puede observar que existen dos filosofías, la primera imperante en sitios en los cuales la demanda de ancho de banda se incrementa rápidamente, debido a requerimientos propios de los servicios a brindar y adicionalmente se han establecido acuerdos de calidad de servicio (SLA) estrictos. Casos como estos se observan en países como Japón, donde se utiliza intensivamente alternativas de conexión Punto a Punto (P2P), directamente desde la Oficina Central al usuario. Estos escenarios conducen al uso de la topología en estrella minimizando el uso de splitters.

La segunda tendencia es el empleo de splitters en la planta exterior, de manera que los usuarios se ven limitados en su crecimiento de ancho de banda en función del presupuesto de enlace, en este sistema normalmente se brinda a cada cliente un mínimo de 20 Mbps. La topología utilizada en este tipo de despliegue es en árbol.

La topología en anillo es utilizada comúnmente para brindar redundancia física a nivel del Backbone de transporte, y marginalmente en las redes de acceso, reservándose su empleo para el caso de clientes críticos.

3.1.4 Tipo de fibra

El hilo de fibra óptica es construido en cumplimiento de diferentes estándares normados por organismos como la Unión Internacional de Telecomunicaciones, y abarcan las características físico - químicas en lo relativo a sus potencialidades de transmisión, posteriormente, las diferentes configuraciones de protección mecánica adicionada a los hilos, pasan a conformar el denominado cable de planta exterior de fibra óptica, adicionalmente, el escenario de implantación determina requerimientos respecto al cable relativo a factores como la temperatura de operación, retardo a la flama, no emisión de vapores tóxicos ante incendios, tendido aéreo y/o subterráneo y otras situaciones.

En la **Tabla 20** se puede observar un resumen de las principales características de las fibras ópticas en concordancia con los estándares de la UIT mas difundidos.

PARAMETRO DE COMPARACION	Fibra Monomodo Standard UIT – T G.652	Fibra SM Dispersión Shift UIT – T G:653	Fibra SM de mínima Atenuación UIT – T G.654	Fibra Non Zero Dispersión Shift UIT – T G.655
Longitud de onda de corte	1.18 a 1.27 µm			1.26 µm
Diámetro del campo modal	9.3 µm (tolerancia 10%)	8 µm (tolerancia 10%)		8.4 µm (tolerancia 0.5 µm)
Diámetro del revestimiento	1.25 µm (tolerancia 3 µm)	1.25 µm (tolerancia 3µm)	1.25 µm (tolerancia 3 µm)	1.25 µm (tolerancia 1 µm)
Recubrimiento de Silicona Coating	245 µm (tolerancia 10 µm)	245 µm (tolerancia 10 µm)	245 µm (tolerancia 10 µm)	
Error de circularidad del revestimiento	2%	2%	2 %	
Error de concentricidad del campo modal	1 µm	1 µm	1 µm	
Atenuación a 1310 nm	de 0.4 a 1 dB/Km	Inferior a 1dB/km		
Atenuación a 1550 nm	de 0.25 a 0.5 dB/Km	Inferior a 0.25 a 0.5 dB/km	Inferior a 0.15 a 0.25 dB/km	De 0.22 a 0.30 dB/km
Dispersión cromática 1285 – 13330 nm	3.5 ps/km. Nm			
Dispersión cromática 1270 – 1340 nm	6 ps/km.nm			
Dispersión cromática en 1550	20 ps/km.nm	3.5 ps/km.nm	20 ps/km.nm	
Zona de dispersión no nula				Desde 1540 a 1560 nm

Tabla 20: Comparación entre estándares mas difundidos de UIT – T serie G

La forma constructiva de los cables de fibra óptica contempla dos principios, el primero es la necesidad de proveer la protección mecánica robusta a los hilos de fibra óptica, de manera que su manipulación no ocasione deterioro de las características de transmisión, el segundo principio es la adaptabilidad a las condiciones de instalación, de manera que se establece un compromiso constructivo entre la robustez mecánica y las facilidades de instalación que a la postre determinarán el escenario de implantación de los diferentes tipos de cables.

Existen un sinnúmero de variantes constructivas de cables de planta exterior de fibra óptica, observándose la pugna entre constructores para proveer productos al

amparo de la conciliación entre factores de índole económico, calidad, adaptabilidad a escenarios de despliegue, tiempo de instalación, facilidad a conectorización, etc., sin embargo, podemos indicar que en la actualidad el conjunto de variantes de cables se ve englobado por los cinco tipos listados a continuación:

Denominación	Terminología Inglesa
Cables de fibra ajustada	Tight Buffered cable
Cables de tubo holgado	Loose tube cables
Cables tipo cinta	Ribbon cables
Cables Híbridos o compuestos	Hybrid or composite cables
Cables terminales	Breakout cables

Tabla 21: Tipos de cables Fibras Ópticas

3.1.4.1 Cables de fibra ajustada (Tight Buffered Cables)

Este tipo se utiliza cuando se requiere flexibilidad y facilidad en la terminación del cable, está mejor adaptado para su despliegue en planta interna, debido a las distancias cortas y anguladas que existe en estos ambientes, además suelen constructivamente ser aptos para la conectorización directa pudiendo prescindir del empleo de bandejas de terminación (ODF).

Constructivamente, están diseñados como se observa en la **figura 17,** destacándose que el hilo de fibra óptica, con su recubrimiento protectivo de un material plástico (acrilato), se encuentra firmemente confinado en una capa de Kevlar (material de gran resistencia mecánica patentado por Dupont), y recubierto de una chaqueta de PVC.

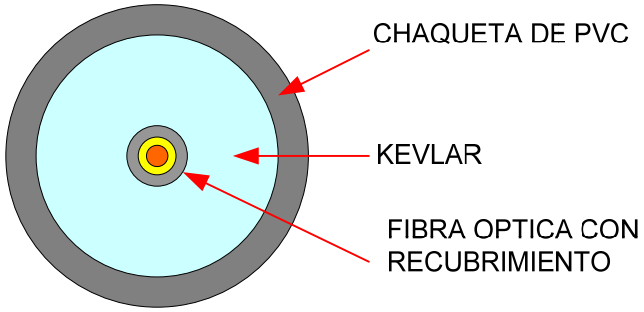


Figura 17: Cables de fibra ajustada (Tight Buffered cables)

3.1.4.2 Cables de tubo holgado (Loose tube cables)

Su empleo intensivo se da en las redes de planta exterior donde las bajas atenuaciones y capacidad de soportar estrés longitudinal son factores fundamentales. En este tipo de construcción varios hilos de fibra con su correspondiente cubierta de acrilato son canalizados en el mismo tubo de sección reducida, pero a la vez de diámetro suficiente para permitir cierta holgura de los hilos, adicionalmente estos tubos suelen estar rellenos de un gel que impide el ingreso de agua. Cada uno de los tubos descritos conteniendo un número de fibras que puede variar entre dos a seis, son dispuestos de forma helicoidal alrededor de un cordón central de material con excelentes prestaciones mecánicas, y el conjunto cohesionado dentro de una chaqueta interior de PVC y rodeado por una región de kevlar limitando con el exterior mediante la chaqueta exterior de PVC. Existen versiones de estos cables que incluyen una chaqueta interior de aluminio corrugado para incrementar las prestaciones de seguridad mecánica.

La forma constructiva de tubo holgado hace posible que externamente se observe un diámetro común a cables con diferente número de hilos de fibra óptica. En la **figura 18** se observa la construcción típica de estos cables.

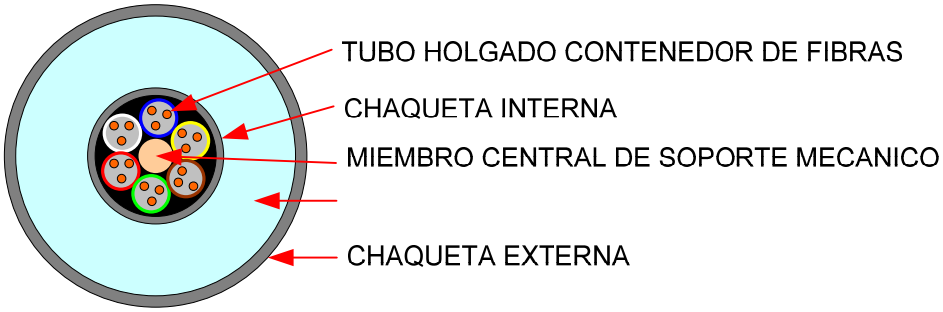


Figura 18: Cables de fibra holgada (Loose Tube cables)

3.1.4.3 Cables tipo cinta (Ribbon cables)

Un cable tipo Ribbon consiste en sobre 12 fibras con su correspondiente cubierta de acrilato dispuestas en un arreglo tipo matriz, de manera que se puede obtener cables de gran capacidad en número de hilos en una sección reducida, estas fibra pueden ser terminadas mediante conectores mecánicos o para fusión prearmados, de manera que se puede ahorrar tiempo en su comisionamiento.

En la **figura 19** se observa un esquema de construcción típico de este tipo de cable.

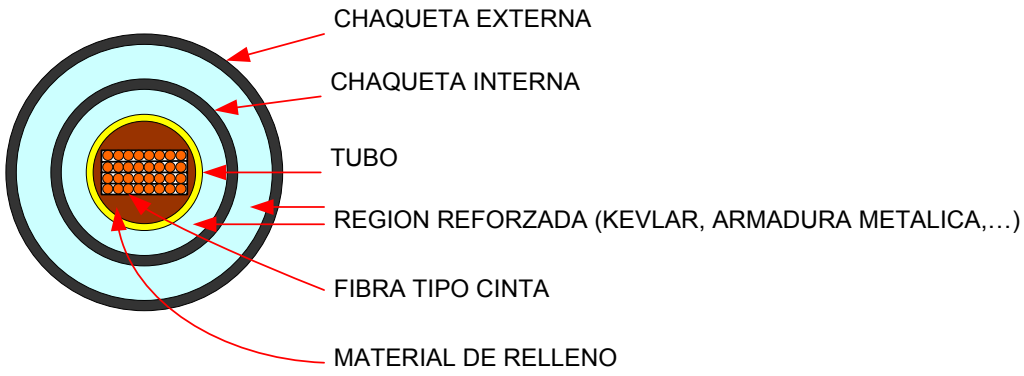


Figura 19: Cables tipo cinta (Ribbon cables)

3.1.4.4 Cables Híbridos o compuestos (Hybrid or composite cables)

El empleo del nombre “cables híbridos o compuestos” genera confusión, debido a que comúnmente se consideran dentro de este tipo dos modos constructivos, el primero abarca los cables que además de albergar hilos de fibra óptica, contienen también hilos de cobre para fines varios, y el segundo tipo constructivo se refiere a cables de fibra óptica que llevan dentro de sí una parte de hilos de fibra multimodo en convivencia con hilos monomodo.

Los términos Híbrido y compuesto suelen ser usados como sinónimos generando confusión, sin embargo lo correcto es denominar como cables compuestos a los integrados por fibra y cobre, mientras Híbridos son los que albergan dos tipos de fibra óptica en su interior.

3.1.4.5 Cables terminales (Breakout cables)

El concepto de estos cables es contar con multiples hilos de fibra óptica con chaqueta individual, dispuestos alrededor de un miembro de material para proveer resistencia mecánica al conjunto y una chaqueta de PVC para cada subgrupo que integran el cable. La finalidad de este tipo constructivo es la potencialidad de facilitar la conectorización de cada hilo, sea por fusión a unión mecánica de manera que el extremo pueda ser conectado directamente al equipo usuario, son cables robustos y utilizados generalmente para cableado interior.

En la **figura 20** se observa la grafica de la sección de este tipo de cable.

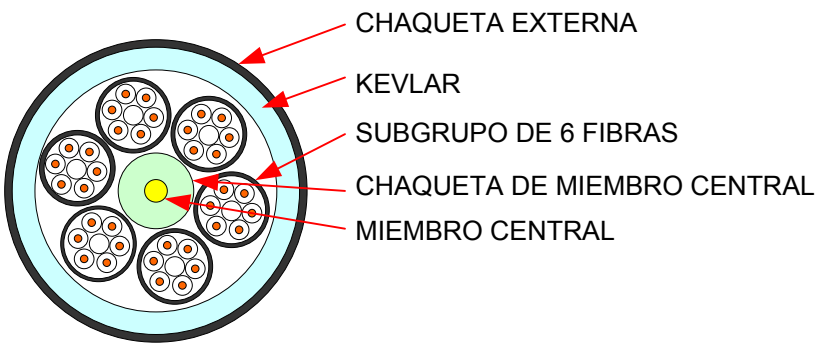


Figura 20: Cables terminales (Breakout cables)

3.1.5 Elección del tipo de cable para acceso

La elección del tipo de cable de fibra óptica para acceso es determinada por los siguientes factores:

- Dimensionamiento de demanda presentes y futuros.
- Servicios a implementar sobre la red de acceso.
- Longitud del cable
- Requerimientos mecánicos
- Terminación y conectorización
- Sección del cable
- Condiciones ambientales de trabajo
- Compatibilidad con sistemas existentes.
- Costo.

3.1.5.1 Dimensionamiento de demanda presentes y futuros

Al realizar la etapa de planificación del despliegue de una red de fibra óptica, es importante tener en cuenta que la vida útil plena de la red pasiva de fibra óptica, entendiéndose esto como el período temporal en que existe certeza que la degradación inherente a las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales no afectarán a la aplicación que se de a los cables y demás elementos de la red pasiva, entendiéndose que se han guardando las buenas prácticas en el comisionamiento y explotación de esta, fluctúa alrededor de un promedio de 20 años. Siendo necesario indicar que con el debido mantenimiento preventivo y predictivo se puede alargar este período.

En función de lo expuesto, considerando la demanda de servicios, es necesario dimensionar adecuadamente el número de hilos de los cables de fibra óptica de planta exterior de acuerdo a la topología de despliegue elegida, sobre todo en los tramos existentes entre la Oficina Central y los puntos primarios de distribución, considerando además que los protocolos de acceso disponibles en la actualidad

posibilitan tener velocidades superiores a 40 Mbps por usuario final acorde con los limites de niveles de potencia y distancias de los despliegues.

Adicionalmente, en función del tipo de cable de fibra escogido y la ventana de transmisión utilizada, se tiene en forma práctica límites del ancho de banda transitado por el medio físico, situación expresada en la **Tabla 22**

Tipo de fibra	**Diámetro** Core/cladding	**Coeficiente de atenuación (dB/Km)**			**Ancho de banda (MHz-Km)**
		Ventana de trabajo a 850 nm	**Ventana de trabajo a 1300 nm**	**Ventana de trabajo a 1550 nm**	
Multimodo /plástica	1 mm	1 dB/m	@665nm		Bajo
Multimodo/Índice escalonado	200/240	6			50@850nm
Multimodo/Índice gradual	50/125	3	1		600@1300nm
	62.5/125	3	1		500@1300nm
	85/125	3	1		500@1300nm
	100/140	3	1		300@1300nm
Monomodo	8-9/125		0.5	0.3	Alto

Tabla 22: Comparación entre tipo de fibra óptica y ancho de banda

En la **figura 21** se muestra los diagramas de la forma de transmisión de las ondas de luz dentro de los hilos de fibra óptica para los tipos de fibra abordados en la tabla 22.

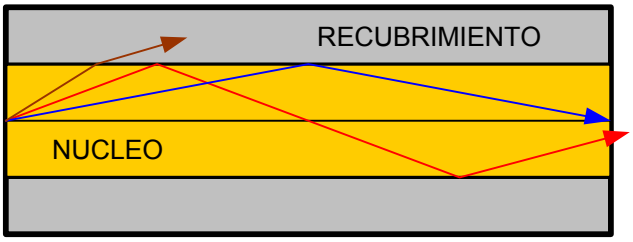


Figura 21.1: Transmisión en fibra Multimodo con índice de refracción fijo, tanto para el núcleo (Core), como para el recubrimiento (cladding); observándose que el índice de refracción del núcleo es mayor que el correspondiente índice del recubrimiento.

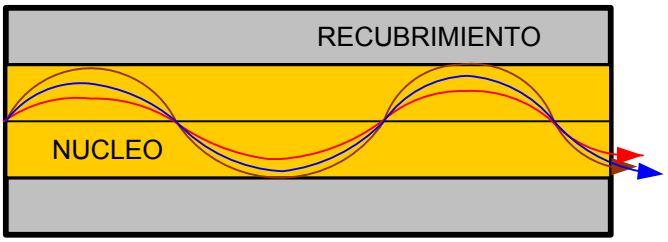


Figura 21.2: Transmisión en fibra Multimodo con índice de refracción Gradual; en este tipo de fibra, el índice de refracción del núcleo decrece a medida que se incrementa su radio, y el valor del índice respectivo del revestimiento es constante, permitiendo que el transito de la onda se realice de manera suave.

En general la fibra multimodo está reservada para aplicaciones de ancho de banda limitados y trayectos cortos (short haul), y económicamente su costo es menor que el de la fibra monomodo.

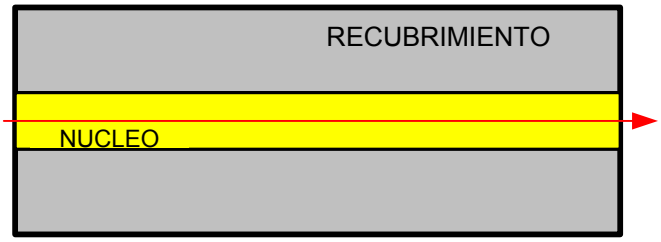


Figura 21.3: Transmisión en fibra Monomodo; en este tipo de fibra al igual que las anteriores el índice de refracción es mayor en el núcleo que en el revestimiento, y el diámetro del núcleo es menor que para el tipo multimodo (típicamente 9 µ, frente a 50 o 62 µ de la fibra del tipo multimodo).

3.1.5.2 Servicios a implementar sobre la red de acceso

En los protocolos de acceso existentes en la actualidad para redes ópticas pasivas, fundamentalmente se utilizan tres ventanas de transmisión (850 nm, 1300nm y 1550 nm), estas ventanas se han optimizado para brindar individualmente o en conjunto diversos servicios, y esta adecuación debe verse reflejada en la construcción del cable de fibra óptica, por tanto, el planificador de red, debe elegir el cable apropiado. En el caso de un sistema de distribución de servicios en un ambiente corporativo o privado sin proyección a la adición de nuevos servicios, se puede reducir la inversión económica utilizando fibra optimizada para transmisión en una o dos ventanas, mientras un Operador de Telecomunicaciones no se puede dar ese lujo, debido a la natural evolución de servicios que gobierna su accionar.

El medio óptico sufre dos factores limitantes que determinan los limites de las ventanas de transmisión, estos son la dispersión y la absorción (scattering and absortion), en el caso de la dispersión este factor se da al colisionar la luz en los átomos del medio físico y ser dispersada sobrepasando los ángulos adecuados para la transmisión, ocasionándose su direccionamiento incluso en el sentido inverso al de transmisión (backscattering); la absorción se da en cambio por las características del medio físico que al absorber la luz, la convierten en calor en las moléculas del material. Los dos fenómenos indicados, tienen incidencia discreta en el espectro óptico como se observa en la **figura 22**.

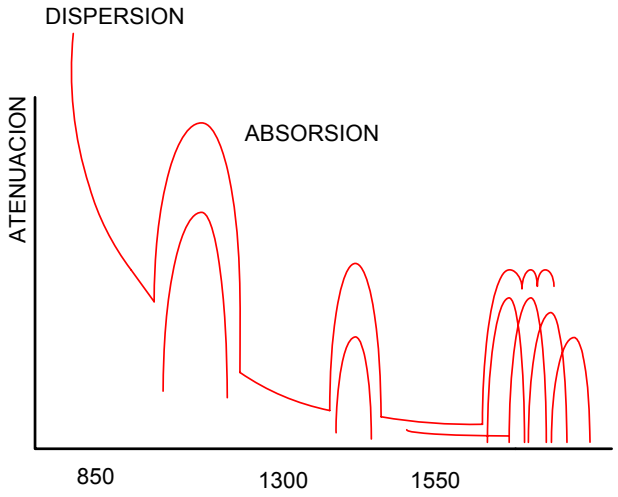


Figura 22: Ventanas de transmisión en fibra óptica y fenómenos de absorción y dispersión; se verifica comportamiento discreto de afección a la transmisión, situación que limita las ventanas adoptadas en la práctica.

3.1.5.3 Longitud del cable

Una vez que el planificador ha dimensionado la demanda y tiene claro los servicios a implementar sobre la red óptica pasiva, es necesario recurrir al relevamiento en terreno y/o mediante planos de los tramos y distancias de cable entre equipos activos, divisores pasivos y centros de despliegue a nivel de usuarios, para una vez levantados estos datos, prever las longitudes de cable en las bobinas y/u otro tipo de embalajes requeridos para el material. La labor de determinación del número de bobinas, sus longitudes y codificación para su despliegue específico ahorra la inversión en elementos como mangas de empalme, consumibles para fusión o conectorización e incluso en algunos casos ODFs, además de dimensionar adecuadamente la robustez de los carretes, situación importante para salvaguardar el deterioro de los cables durante su transporte e instalación.

3.1.5.4 Requerimientos mecánicos

Es importante que una vez establecidas en la planta exterior las distancias entre postes consecutivos para el tendido aéreo, o distancias entre cámaras contiguas para el tendido subterráneo en los diferentes tramos, partiendo en lo posible de la hipótesis menos favorable que implicaría la máxima distancia en los casos mencionados, se establezca las condiciones de tensión mecánica, curvaturas, torsión, carga de viento, arrastre, autosoporte, etc. a las que se verá sometido el cable durante su instalación y explotación, de manera que estas sean homogenizadas para todo el tramo en la elección del cable.

En las labores de manipulación del cable de fibra óptica es importante respetar dos criterios:

- Nunca someter a tracción a los hilos de fibra, para esto el cable dispone del elemento de tracción central, y en el caso de los destinados al montaje aéreo se tiene el soporte del cable de acero comúnmente denominado como mensajero, adicionalmente, en el caso de los cables auto soportados la tracción puede ser resistida por el cable integro.

- Nunca permitir curvaturas pronunciadas, lazos de diámetro reducido o torsión transversal del cable.

Para no contravenir estos criterios, como buena practica, en el caso de los cables para acceso, la tensión aplicada no puede exceder nunca 300 libras, además el radio de curvatura mínimo no debe ser menor que 10 veces el diámetro exterior cuando no está bajo tensión, y 20 veces este diámetro cuando está bajo tensión.

3.1.5.5 Terminación y conectorización

La terminación y conectorización del cable es un factor a tener en cuenta al decidir el tipo usado, y tiene incidencia directa en el ahorro de tiempo en el comisionamiento de enlaces, sin embargo, en cables aptos para instalación de kits

de terminación mecánica es indispensable tener en cuenta que el nivel de pérdidas y el precio suelen ser elevados (cable tipo breakout), por tanto, corresponde al planificador evaluar la factibilidad de su empleo.

3.1.5.6 Sección del cable

La sección exterior del cable elegido juega un papel importante sobre todo en los tramos multicables, como por ejemplo en el cableado vertical de la instalación interior de edificaciones, donde el recurso ducto debe ser aprovechado de manera eficiente para permitir crecimiento futuro y además comúnmente existe la convivencia con otras redes cableadas como las de energía, servicios de telecomunicaciones de competidores y redes de datos. Este factor toma interés sobre todo en escenarios tipo brownfield.

3.1.5.7 Condiciones ambientales de trabajo

Los escenarios de implantación de las redes pasivas ópticas son múltiples, por ende, sus requerimientos diversos en cuanto a características solicitadas a los materiales que conforman el cable para asegurar un mínimo impacto ambiental, y prevenir que la interacción con productos químicos no degraden al cable ni pongan en peligro otros sistemas o constituyan un medio idóneo para la propagación de fuego presentando alta toxicidad ante su presencia. Además, existen retos que tienen que enfrentar los cables en su paso por el mundo subterráneo, como son la presencia de roedores, y en ambientes urbanos no consolidados en cuanto a obras de infraestructura existe siempre el riesgo que la intervención destructiva que requieren las obras civiles ocasionen roturas y estrés a los hilos de fibra.

En fin, múltiples son los factores que pueden degradar la calidad de los enlaces cableados de la red óptica pasiva, y su combate implica la identificación de los inherentes a cada escenario de implantación, como mecanismos de modelado de los requerimientos del cable, como por ejemplo:

- Retardo a la propagación de fuego
- Temperatura de trabajo elevada
- Resistencia mecánica a carga elevada de viento
- Resistencia a contacto con productos químicos abrasivos
- Resistencia a la acción de roedores
- Resistencia a niveles de humedad altos
- Resistencia a exposición solar
- No desprendimiento de vapores tóxicos ante presencia de fuego

Como se observa en el listado anterior, los factores que nos ocupan establecen requerimientos fundamentalmente sobre la forma constructiva de la chaqueta y miembro de tracción del cable, y su inclusión en las demandas del planificador implica el incremento de costos, por tanto, si bien es cierto que es deseable poseer una red a prueba de todo, también hay que establecer un claro compromiso entre la seguridad y el costo, para lo cual es recomendable abastecerse de la cantidad suficiente de cable para diversas prestaciones en función del análisis de los escenarios de implantación y utilizarlos de manera eficiente.

3.1.5.8 Compatibilidad con sistemas existentes.

En la planificación del despliegue se debe prever la potencialidad de la inclusión de nuevos servicios sobre la red óptica pasiva, pero también es real la imperiosa necesidad de preservar el nivel adecuado de interoperabilidad con sistemas legados, por tanto, hay que prevenir la mezcla indiscriminada de tipos de cables a nivel de sus características de transmisión, debido a que esto repercute sobre el nivel de pérdidas de los presupuestos de enlace.

Ante lo expuesto, el planificador debe analizar las características de su red óptica pasiva actual y prever que el cable a adquirir no contribuya al incremento de pérdidas en el presupuesto de enlace, situación que incide sobre la distancia a alcanzar y sobre perturbaciones en las señales a transmitir.

3.1.5.9 Costo.

A la hora de la elección del cable, la inclusión de cada uno de los factores tratados, contribuye a incrementar el costo del mismo, sin embargo, la robustez constructiva asegura una disminución de requerimientos en mantenimiento correctivo y preventivo de la red óptica pasiva, y por ende menores tiempos de indisponibilidad de los sistemas, situación a tener muy en cuenta cuando comparamos el medio físico óptico frente a otras alternativas de transmisión de menores prestaciones como el cobre e incluso el medio inalámbrico.

3.1.6 Elección de herrajería

Para el encaminamiento del cable de fibra óptica, tanto en la planta externa como interna, es necesario utilizar accesorios denominados herrajería, que constituyen el sustento mecánico y aseguran la explotación de la red de manera eficiente minimizando los requerimientos de mantenimiento correctivo. A la hora de la elección de estos accesorios, es importante recordar que al cable de fibra óptica no es posible someterlo a tensiones longitudinales elevadas, a compresión, torsión, abrasión ni ángulos de curvatura reducidos, por tanto, la herrajería debe asegurar simplicidad durante el montaje de manera que se evite la manipulación inadecuada del cable y capacidad de mantener en el tiempo las condiciones mecánicas aptas para la red.

En la alternativa de tendido aéreo, existe herrajería básicamente de retensión y de paso; la herrajería de retensión es utilizada para el soporte del cable de planta exterior al inicio y final del enlace y/o de tramos del tendido donde existen cambios de ángulo respecto a la ubicación de la postería, además de tramos de postería longitudinal sin cambio de dirección extensos, donde es necesario realizar una suerte de aliviadero de tensión mecánica, este tipo de herrajería además de tener resistencia mecánica alta a la tracción, debe guardar en su diseño características que posibiliten acomodar el cable de manera que no se violen diámetros de curvatura mínimos o se aplique torción transversal.

En el caso de la herrajería de paso, esta debe estar diseñada para proporcionar el sustento mecánico evitando curvaturas, su empleo se da al interior de trayectos de postería longitudinal sin cambio de ángulo, básicamente este tipo de herrajería soportará el peso del cable y sus movimientos producto del viento y otros agentes externos.

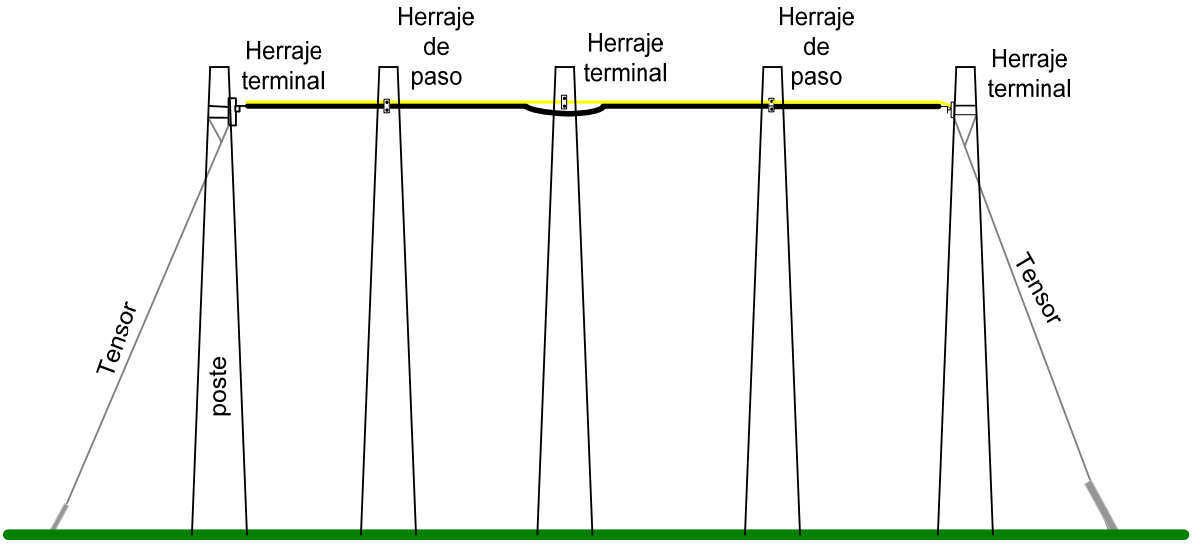


Figura 23: Tendido aéreo, se observa herrajería de retensión y paso.

Para el tendido subterráneo, es importante que en las paredes de las cámaras de telecomunicaciones se fije el cable mediante herrajería que provea el sustento mecánico adecuado, además de ser fácilmente removidas al momento del mantenimiento correctivo y recuperación de reservas de cable (tracción longitudinal del cable para asegurar longitud adecuada para empalmes en cámaras contiguas al corte o stress severo de la fibra que motiva el mantenimiento); el tipo de herrajería adecuado para este requerimiento lo constituyen los tacos de expansión y correas plásticas que son fijados mediante un orificio taladrado en la pared de la cámara, y no presentan dificultad mayor al momento de retirarlos o reemplazarlos.

En cuanto a las vías o ductos subterráneos utilizados para el despliegue del cable de fibra óptica, es necesario ante su degradación motivada por deslizamiento de material de relleno o intervención de maquinaria, la utilización de poliducto de PVC para contener el medio óptico, adoptándose por ejemplo en una vía subterránea de 110 mm de diámetro el montaje de poliducto de 3 vías (cada una de aproximadamente 40 mm de diámetro), lo que por un lado permite la subdivisión de

la vía principal en tres independientes, optimizando el empleo de la canalización y adicionalmente brindando una robusta protección a la fibra óptica. Adicionalmente, en los extremos de cada tramo de vía subterránea es preciso montar tapones que impidan el ingreso de agua desde las cámaras subterráneas y posean accesorios desmontables para permitir el paso de los cables sin someterlos a stress.

Para el tendido de fibra es importante realizar de manera adecuada las transiciones de tendido aéreo a subterráneo, para lo cual es imprescindible utilizar herrajería de protección para el cable, consistente en canaletas metálicas preformadas para protección de golpes, cortes, stress mecánico y vandalismo en el segmento de tendido vertical de las transiciones indicadas; las canaletas preformadas son sujetadas al poste o fachada mediante cinta de acero o pernos.

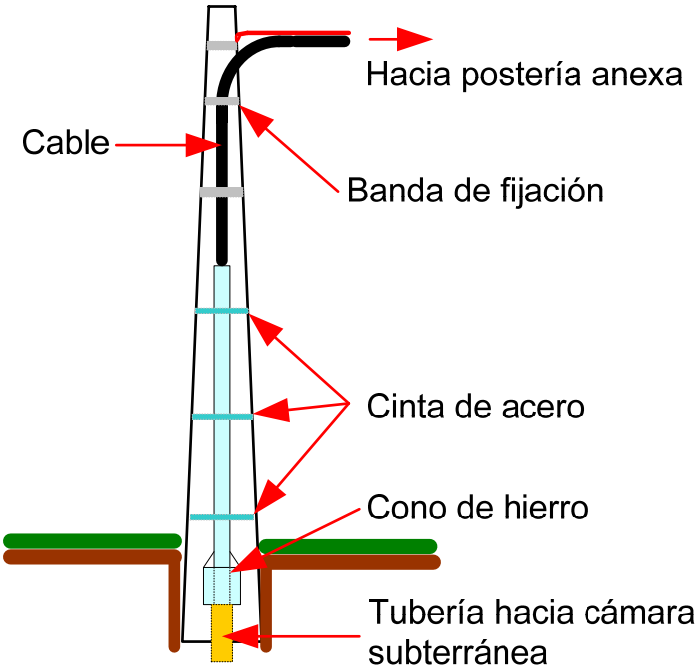


Figura 24: Transición entre tendido aéreo y subterráneo.

3.1.7 Uniones y Empalmes de fibra óptica

El cable de fibra óptica es provisto en bobinas de diferente longitud, determinada esta por factores de tipo comercial, constructivo y de facilidad de transporte, por tanto, es prácticamente insalvable prescindir del empleo de empalmes en la red

óptica pasiva; estas uniones introducen pérdidas en el presupuesto de enlace, y que por ser aditivas en todo su trayecto deben ser minimizadas utilizando técnicas y equipos adecuados en su realización.

Existen dos tipos de uniones del medio óptico: la fusión y la conectorización. En el primer caso se emplean equipos denominados fusionadoras, los mismos que mediante un sistema electro-óptico, realizan la alineación de los hilos de fibra a unir, diagnostican las características del corte de los extremos, su ángulo y limpieza, para una vez calificados estos, proceder a emitir un arco eléctrico controlado que une los hilos; posteriormente, el mismo equipo evalúa la fusión mediante una medición de las perdidas introducidas por esta operación. Las fusionadoras son equipos costosos, requieren energía eléctrica o baterías con autonomía temporal limitada para su funcionamiento, además de requerir condiciones de mantenimiento exigentes, y el tiempo promedio del procesamiento por hilo con las tareas de preparación y corte son superiores a 5 minutos dependiendo en gran parte de la pericia del operador, sin embargo, presentan al momento la mejor opción en cuanto a la introducción de pérdidas, lográndose tener valores típicos entre 0 a 0,1 dB.

Para asegurar un buen empalme en el método de fusión se deben emplear los materiales consumibles adecuados, guardando estricto control de la limpieza y ausencia de polvo y otros agentes externos contaminantes en el ambiente de trabajo, en la **figura 25** se observa una fusionadora y los consumibles necesarios.

Figura 25.1: Fusionadora Fujikura FSM-50S, accesorios para limpieza de fibra óptica

Figura 25.2: Paño impregnado en alcohol isopropil

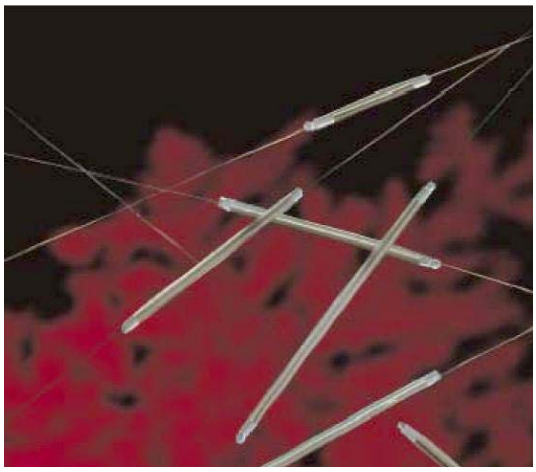


Figura 25.3: Manguito termocontraible para brindar protección mecánica a hilo de fibra

Figura 25.4: Fusionadora FSM-50S

El segundo método de unión de fibra óptica consiste en el empleo de conectores mecánicos montados mediante empalmadoras mecánicas sin la necesidad de energía eléctrica, pero siguiendo una secuencia de operaciones larga y tediosa a la hora de unir cables de gran cantidad de hilos; esta técnica introduce pérdidas mayores que la fusión, variando típicamente entre 0.1 a 0,2 dB para un operador con experiencia, observándose además que en los nuevos modelos de maquinas mecánicas se han reducido los tiempos de intervención por hilo a un promedio de 5 minutos. Normalmente, debido a las menores prestaciones frente a la fusión pero también menores requerimientos de consumibles (se requiere elementos de limpieza y conector mecánico), se emplea este método como paliativo temporal previo a la fusión en las redes troncales y se usa intensivamente en las redes de acceso considerando que las máquinas y accesorios tienen un costo muy inferior frente a las fusionadoras.

Figura 26: Empalmadora mecánica 3M y accesorios.

3.1.8 Manga o Mufa de empalme

Para el caso de las redes de acceso ópticas, las mangas empleadas deben tener la flexibilidad de permitir el empate de cables para tramos de red troncal, como para la distribución de fibras empleadas en acometidas a nivel de edificios o clientes individuales, a mas de albergar en su interior a los divisores ópticos pasivos (splitters), todo esto permitiendo la reapertura para la operación y la independencia de los hilos de fibra mediante la inclusión de varias bandejas de fusión, de manera que se minimicen los problemas de indisponibilidad de servicios en los hilos no intervenidos.

Generalmente en su construcción este tipo de mangas disponen de una o dos entradas para cable troncal, cuyos hilos de fibra son distribuidos en diferentes bandejas de fusión, estando estas diseñadas para el manejo de hasta 12 uniones en el caso de empleo de cable tipo loose tube, y teniendo la variante constructiva de capacidad de 1 a 4 uniones para el caso de clientes individuales. Las salidas para cable de acceso varían en número, y pueden ser hasta 16 en la manga estándar, obteniéndose la inmunidad a los agentes externos en las entradas y salidas de cable mediante el empleo de tapones termocontraibles que son adicionados mediante herramientas de flama.

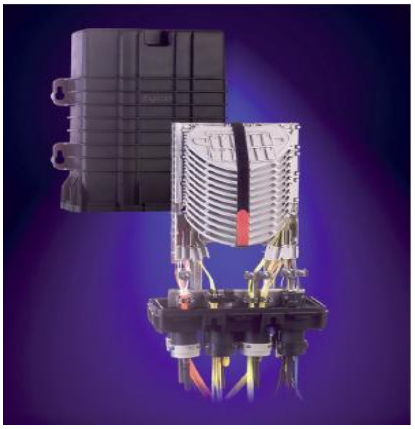


Figura 27.1: Manga de empalme para acceso

Figura 27.2: Accesorio de cierre para Ingreso y salida de cable.

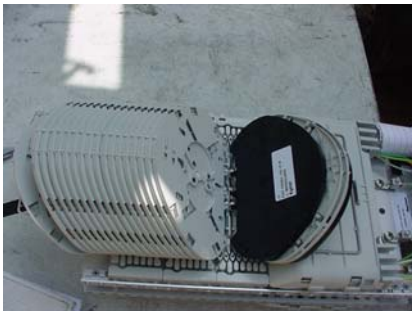


Figura 27.3: Manga de acceso albergando Divisor óptico pasivo (splitter)

Figura 27.4: Manga de acceso en montaje aéreo.

3.1.9 Caja de terminación

La caja de terminación o también denominada roseta de fibra óptica, es el dispositivo encargado de proveer de seguridad mecánica y evitar el efecto de agentes externos al final del cable de fibra óptica en las premisas de usuario y/o en las acometidas múltiples en salas o gabinetes de Telecomunicaciones de edificios, este elemento está constituido por una carcaza metálica o plástica que alberga en su interior la punta de fibra óptica conectorizada a los respectivos latiguillos o pigtails mediante unión mecánica o fusión, además de los respectivos adaptadores para la conexión de los equipos activos. La caja de terminación debe estar provista de los elementos de anclaje adecuados que permitan su fijación en pared o en bastidores de equipos, además de proporcionar la comodidad adecuada para optimizar el tiempo de instalación y evitar degradación de los elementos que contiene.

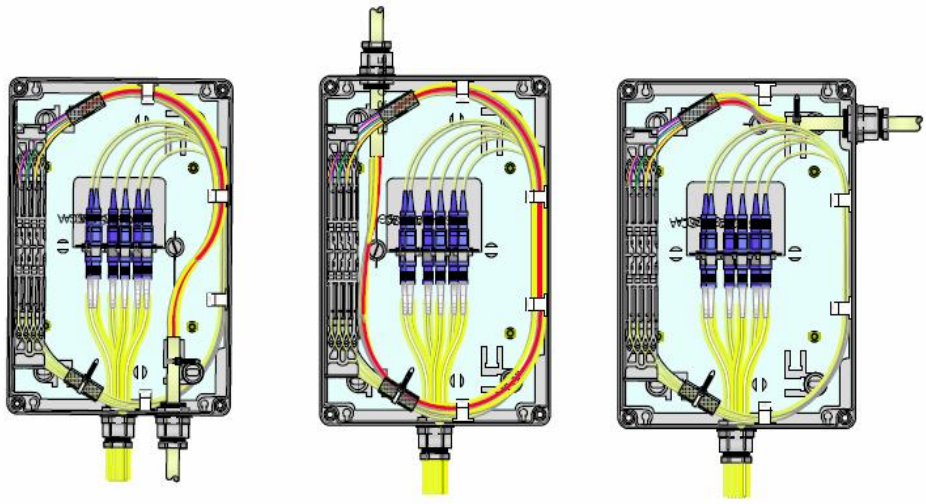


Figura 28: Caja de terminación de fibra óptica a nivel de suscriptor; como se observa, la caja debe poseer flexibilidad en la ubicación de entradas de cables para adaptarse al medio de instalación.

3.1.10 Latiguillo o pigtail

Está constituido por una longitud variable de fibra óptica con su respectiva chaqueta y terminado por unión mecánica en uno de sus extremos, en un conector, que puede ser de varios tipos, según la aplicación final. El latiguillo es unido a cada hilo del cable de fibra óptica mediante fusión o conectorización mecánica.

Los elementos utilizados en la construcción del latiguillo, estos son el hilo de fibra y el conector, en conjunto presentan parámetros ópticos específicos que lo caracterizan, estos son:

- Perdidas de inserción (dB)
- Perdidas de retorno (dB)

La pérdida de inserción es la determinada por la oposición natural que presenta el medio físico al paso de la señal de luz (en este caso el latiguillo), se mide en decibelios (dB) y como regla general debe ser mínima.

La pérdida de retorno al igual que la de inserción es medida en decibelios y se da en virtud de la señal interferente producto de la reflexión del haz de luz en la terminación del medio físico (para el caso del latiguillo en contacto entre el conector y el módulo óptico del equipo activo a conectar), observándose que el tipo de pulido o acabado del conector tiene incidencia sobre su valor característico, el cual debe ser elevado en un latiguillo de buena calidad.

En la **Tabla 23** se observan los tipos de conectores existentes en el mercado y su uso.

Conectores de fibra óptica para aplicaciones de Datos y Telecomunicaciones	
Datos (Se usa en su mayoría tipo multimodo)	**Telecomunicaciones** (en su mayoría tipo monomodo)
SMA (no usado en la actualidad)	**Bicónico** (no usado actualmente)
ST (de uso muy difundido)	**D4** (no usado actualmente)
SC (muy usado en sistemas nuevos)	**FC/PC** (ampliamente difundido)
FDDI (duplex)	**SC** (uso en crecimiento)
ESCON (duplex)	**ST** (en versión monomodo)
MT-RJ (duplex)	**LC** (uso en crecimiento)
Volition (duplex)	**MU** (uso en crecimiento)
Opti-Jack (duplex)	

Tabla 23: Tipos de conectores para fibra óptica y sus aplicaciones

En la **figura 29** se observan los tipos de conectores de empleo mas difundido en nuestro medio.

Figura 29.1: Conector FC

Figura 29.2: Conector SC

Figura 29.3: Conector ST

Figura 29.4: Conector MU

Figura 29.5: Conector DIN

Figura 29.6: Conector E2000

En la **figura 30** se puede apreciar un pigtail:

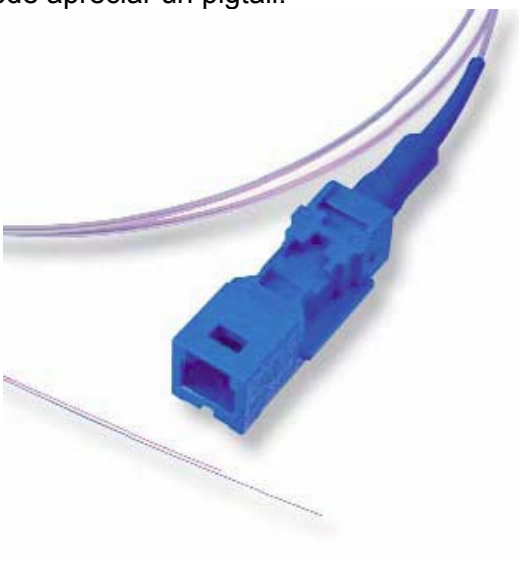


Figura 30: Pigtail o latiguillo

3.1.11 Divisor Óptico Pasivo (splitter)

El divisor óptico pasivo o splitter es un dispositivo que mediante el ingreso de una señal óptica por un hilo de fibra a su entrada, la reproduce en sus n salidas sufriendo una reducción sensible de potencia óptica, cuyo valor depende de la relación de división adoptada.

Constructivamente, existen varios tipos que encajan según las necesidades y su ubicación en la red óptica pasiva, observándose que pueden acondicionarse dentro de la oficina central en bastidores, teniendo tanto a su ingreso como a sus salidas preconectorizados adaptadores ópticos de cualquiera de los tipos disponibles en el mercado. En la **figura 31.1** se muestra un splitter para bastidor. Existen también otros modos constructivos adaptables a manga de empalme, o incluso a ODF como los mostrados en las **figuras 31.2, 31.3**.

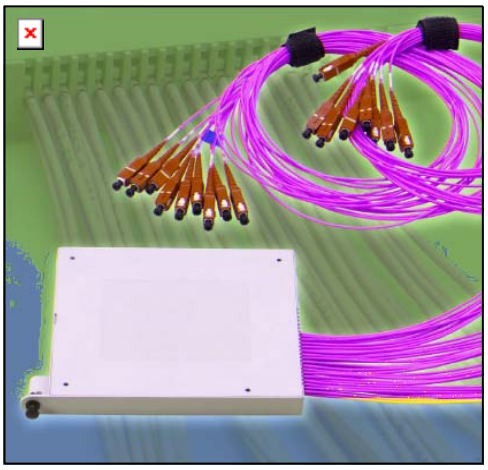


Figura 31.1: Divisor óptico pasivo para montaje en bastidor de 1:16 con conector tipo SC.

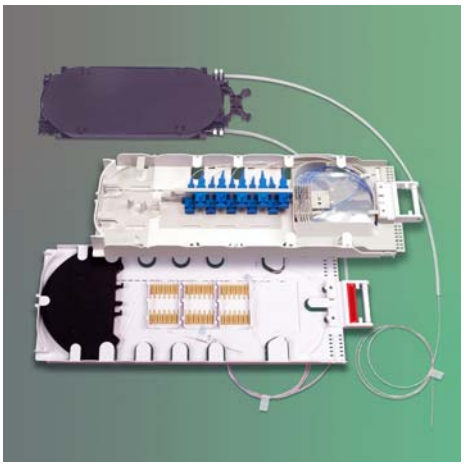


Figura 31.2 Divisores ópticos pasivos ara montaje en manga de empalme (TYCO)

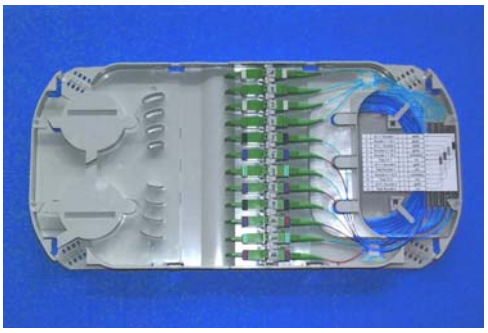


Figura 31.3 Divisor óptico pasivo para montaje en Bandeja de fusión de ODF.

En lo referente a la configuración del número de divisiones de la señal óptica, en concordancia con los protocolos de acceso utilizados en la actualidad, así como también por las técnicas constructivas empleadas, se tienen en el mercado divisores ópticos pasivos del tipo 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, donde la primera cifra indica el número de entradas y la segunda el número de salidas.

Al elegir el divisor óptico pasivo es importante tener en cuenta las pérdidas introducidas en la señal óptica por su inclusión, para no afectar de manera ostensible al presupuesto de enlace, además del paso transparente de señales ópticas transmitidas en las ventanas que requieran los equipos ópticos activos y finalmente su adaptabilidad al tipo específico de fibra utilizada en la red de acceso.

En la **Tabla 24** se muestran los niveles de pérdidas introducidas por diferentes configuraciones de splitters de la marca TYCO.

Relación de división (entrada/salida del dispositivo)	**Ventanas de trabajo de 1260-1360 y 1480-1580 nm**		**Ventanas de trabajo de 1260-1360 y 1460-1625 nm**	
	Máxima pérdida de inserción (dB)	**Uniformidad** (dB)	**Máxima pérdida de inserción** (dB)	**Uniformidad** (dB)
1:2 ó 2:2	3.7	0.7	4.1	1.1
1:3	5.8	1.0	6.4	1.6
1:4 ó 2:4	7.3	1.2	8.1	2.1
1:5	8.4	1.4	9.3	2.3
1:6 ó 2:6	9.3	1.5	10.3	2.6
1:7	10.0	1.6	11.1	2.8
1:8 ó 2:8	10.8	1.7	12.0	2.9
1:12 ó 2:12	12.8	2.0	14.2	3.5
1:16 ó 2:16	14.0	2.3	15.6	4.0
1:24 ó 2:24	16.0	2.6	17.8	4.4
1:32 ó 2:32	18.0	2.8	20.0	4.8

Tabla 24: Niveles de pérdidas típicas introducidas por diferentes tipos de divisores ópticos pasivos

3.2 Norma Básica de Construcción con fibra para edificaciones

El despliegue de fibra óptica para el acceso implica la consideración de varias etapas, que para efectos de ordenamiento del presente documento se han dividido en:

- Diseño e Inspección
- Instalación de troncales hacia las áreas de concentración de clientes
- Instalación de acometidas
- Mantenimiento de la red óptica pasiva.

Cabe destacar que cada proveedor de servicios adopta consideraciones especificas sobre las etapas indicadas, basados fundamentalmente en sus realidades y necesidades, sin embargo, el organismo EIA/TIA 568 Commitee tiene a disposición el “Comercial Building Wiring standard”, documento que establece los lineamientos a considerar en referencia al despliegue físico de la red de acceso de fibra óptica.

3.2.1 Diseño e Inspección

Cada proveedor de servicios internamente se ve avocado tarde o temprano a la opción de ofrecer una red de acceso en fibra óptica al incrementarse las demandas en ancho de banda, suscripción de SLAs (Acuerdos de calidad de servicio – Service Level Agrement), ordenamiento de capacidades en transmisión, etc.; estos gatillos que excitan el despliegue indicado, no deben confundirse con la ilusión del mercado, esto es, la creencia popular basada en la escasa información por parte de los usuarios que el mero echo de contar con una acometida de fibra óptica mejorará ostensiblemente el servicio recibido, esta creencia y el consiguiente despliegue por esta causa conducirá al irremediable fracaso del producto, por tanto, hay que tener el panorama claro en el sentido de los requerimientos no solo de la red óptica pasiva, sino además, es necesario considerar la inversión en equipamiento activo y aprovisionamiento de ancho de banda contratado hacia el Internet, de manera que el compromiso técnico económico entre estos actores asegure una explotación sustentable del servicio con una opción de crecimiento adecuada.

Dentro de esta visión, es importante conocer los escenarios de despliegue en base a la superposición de datos como levantamientos cartográficos, relevamientos de topologías de las redes existentes y sus capacidades, incluyendo el conocimiento de ubicaciones y cantidades de recursos de sustento como canalización y postería.

Una inspección adecuada del potencial escenario de despliegue motivará la correcta determinación de las cantidades de cable y los tipos requeridos, ODFs, mangas de empalme, divisores ópticos pasivos, cajas de distribución a nivel de usuario y demás accesorios de la red óptica pasiva proyectada, puntos tratados en la sección 3.1.4 a 3.1.11.

3.2.2 Instalación de troncales hacia las áreas de concentración de clientes

Con el conocimiento de la topología del backbone de fibra óptica y la ubicación de las áreas de despliegue de la red de acceso se puede modelar la instalación de las troncales de fibra óptica que nacen en el punto del backbone mas cercano y terminan en los puntos de concentración de usuarios que presenten las condiciones adecuadas para la seguridad de las instalaciones. En este aspecto es importante tomar en cuenta las capacidades y tecnologías del backbone en el punto de inicio de las troncales de acceso para modelar el protocolo de acceso que mejor se adapte a la realidad de la Empresa y proporcione una posibilidad real de crecimiento, para lo cual varios autores proponen la regla empírica de los cinco años, esto es, la determinación de la demanda a ese plazo en el futuro y su contraste con la capacidad actual para con estos datos determinar la necesidad de inversión en equipamiento activo, su actualización o incluso reemplazo.

En lo que compete al medio físico, en este punto es importante realizar un análisis detenido del tipo de cable a utilizar (tratado en la sección 3.1.4), en función de un levantamiento pormenorizado del medio de sustento del cable (aéreo o subterráneo), condiciones ambientales, agentes externos como por ejemplo la falta de infraestructura civil en el recorrido, lo que seguramente motivará la constante intervención de maquinaria pesada con el consiguiente peligro para los enlaces.

3.2.3 Instalación de acometidas

En lo concerniente a la instalación de acometidas, si bien un sistema FTTx soporta la transmisión típica sobre 20 Km, es necesario limitar esta longitud ante la necesidad de contar con el ordenamiento adecuado de la red y el aprovechamiento del recurso de sustento aéreo o subterráneo, además, en la práctica es necesario realizar un análisis del denominado presupuesto de enlace (Link Budget) que considera las pérdidas aditivas de cada elemento de la red y establece el alcance práctico.

En el siguiente diagrama se tiene una explicación gráfica:

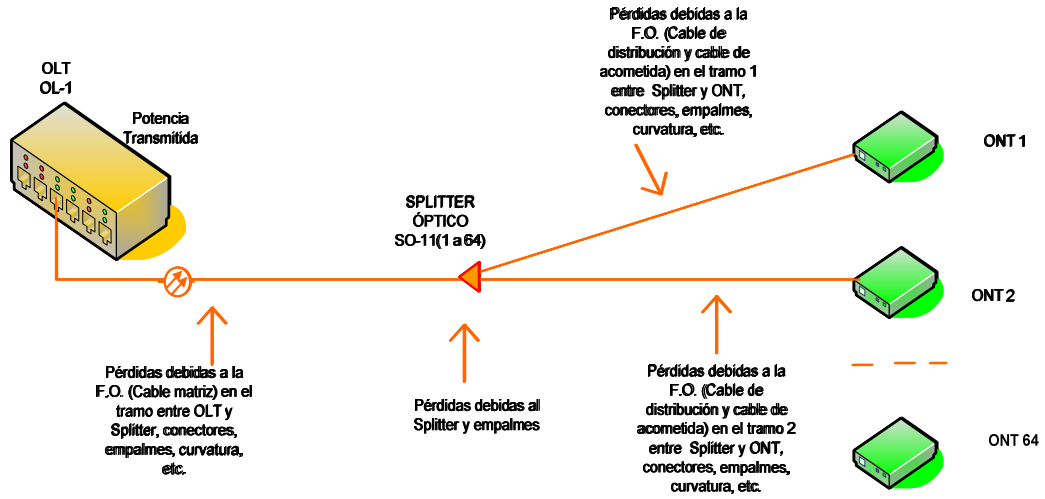


Figura 32: Componentes y descripción para el Presupuesto de Enlace

3.2.3.1 Presupuesto de enlace

Para una correcta operación de un enlace de fibra óptica se debe contar con un adecuado margen de pérdidas, de modo que la sumatoria de las perdidas de potencia en el medio físico debe ser menor que la que toleran los equipos de transmisión, para dicho análisis se cuenta con los datos entregados por el fabricante de cada uno de los componentes a utilizar, estos son:

- Atenuación por unidad de longitud (dB/Km) del cable de fibra óptica.
- Longitud de cable utilizada en el enlace específico (Km).
- Tipo de fibra (monomodo, multimodo, Standard específico)
- Longitud de onda de trabajo (850, 1300, 1550 nm, etc.).
- Perdida típica por conector
- Número de conectores incluyendo los correspondientes a patch cord, pigtails, adaptadores de ODFs.
- Perdidas típicas en las uniones mecánicas o empalmes por fusión
- Número de uniones mecánicas o empalmes.
- Perdidas en splitters

Una vez obtenidos estos datos para el enlace en estudio, se procede a la sumatoria de las contribuciones individuales de cada elemento, obteniendo un valor en dB, el mismo que debe ser contrastado con los datos de los equipos activos:

- Potencia de emisión del equipo transmisor
- Umbral de potencia de recepción
- Longitud de onda de trabajo de los equipos activos.
- Rango dinámico del equipo (diferencia entre valor de potencia de transmisión y valor de umbral de potencia de recepción o sensibilidad).

El contraste se realiza de tal forma que si restada la sumatoria total de perdidas, a la potencia entregada por el transmisor, el valor resultante es mayor que la sensibilidad se tendrá el establecimiento exitoso del enlace, siendo recomendable una banda de guarda para prever la natural degradación del medio.

Para el procedimiento de cálculo descrito, se utilizan los datos proporcionados por los fabricantes de los elementos constitutivos de la red óptica pasiva, sin embargo, es recomendable que luego de montado un enlace, antes de su comisionamiento se realicen mediciones para determinar los valores reales, de manera que el registro pormenorizado de cada elemento de red constituya un soporte para la etapa de explotación y mantenimiento.

En la práctica un método eficaz para comprobar el presupuesto de enlace es el empleo de un equipo denominado OTDR (Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo), el mismo que basa su funcionamiento en la emisión de una señal de luz de una longitud de onda y un ancho de pulso graduable, obteniéndose el análisis del trayecto en función a la medición de las reflexiones de esta señal. Como entradas para este proceso se debe indicar al instrumento el tipo de fibra bajo prueba, especificando su índice de refracción y extremar la limpieza en el conector óptico de contacto. Es importante conocer que al inicio de la traza (resultado gráfico de la prueba) se tiene una sección de incertidumbre denominada zona muerta, la misma que puede ser levantada si entre el enlace a medir y el instrumento, se intercala

una bobina de lanzamiento, que no es más que una longitud conocida de un hilo de fibra óptica (típicamente 2km) conectorizada a sus extremos.

En la **figura 33** se observa una traza típica en la que se observa los denominados eventos ópticos que son las variaciones en la curva o traza por encontrarse en una posición determinada por el instrumento alteraciones a la homogeneidad del medio físico, esto debido a la presencia de empalmes, estrés de la fibra, conectores, roturas o final de fibra. Con esta técnica se facilita grandemente la localización y lal consiguiente reparación de averías.

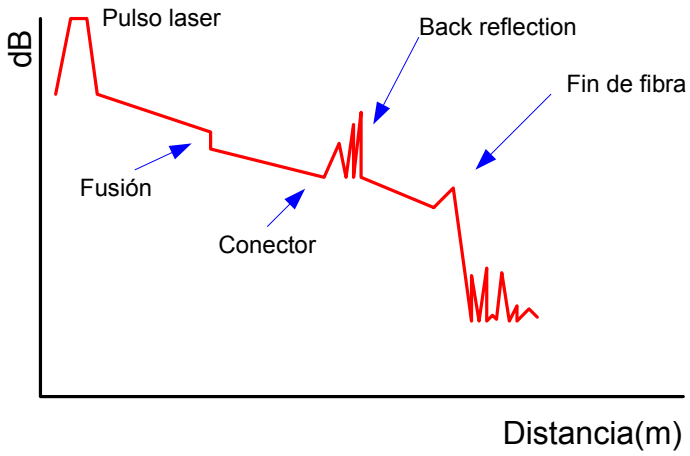


Figura 33: Traza típica de OTDR con alusión a eventos ópticos

3.2.3.2 Características del Cableado

En cuanto al tipo de cable empleado en las acometidas de fibra óptica, es importante que este presente características que faciliten el tendido minimizando el tiempo de instalación, pero sin efectuar concesiones a sus características mecánicas, para este fin, normalmente se utilizan cables de entre 2 y 12 hilos del tipo ADSS (autosoportados), capaces de ser utilizados indistintamente en medios subterráneos o aéreos, observándose además que se ha popularizado para el acceso el Standard UIT G.652 potencializado para trabajo en las ventanas de transmisión de 1310, 1480 y 1550nm, de modo que se pueda sustentar la transmisión de datos y video sin inconvenientes.

En lo que respecta al tendido del cable, el standard EIA/TIA 568 Commercial Building Wiring establece la topología jerárquica estrella (árbol) para el backbone comprendido entre el equipo activo en la oficina central y el cuarto o gabinete de Telecomunicaciones ubicado en las edificaciones o en la acera, considerando una longitud máxima de 2000 metros para este tramo, con la posibilidad de inserción de un gabinete de distribución intermedio. Para el cableado horizontal en cambio, el documento indicado establece una topología de estrella simple.

La transición entre el cableado vertical y horizontal en edificaciones es realizada en cajas de terminación u ODFs, dependiendo del número de equipos clientes a conectar directamente con fibra óptica, pudiendo realizar las uniones mediante fusión, conectorización mecánica o mediante dos ODFs para dar flexibilidad al movimiento, creación o supresión de clientes y como mecanismo de provisión de puntos de prueba y mantenimiento. En la **figura 34**, se observa una perspectiva de cableado al interior de una edificación.

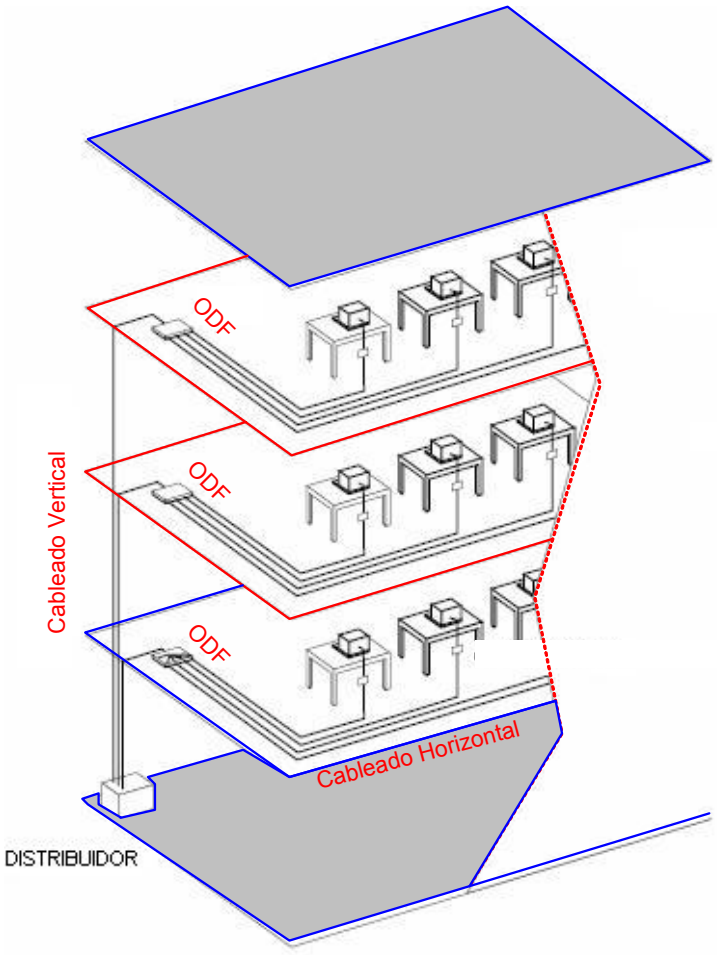


Figura 34: Esquema general de cableado Vertical y horizontal en edificaciones.

En referencia a las vías de sustento del cable de fibra óptica dentro de las edificaciones, es conveniente que estas no sean compartidas con otros tipos de redes cableadas como las eléctricas, o redes de agua potable o distribución de gas, por los efectos mutuamente adversos que puede ocasionar el contacto entre materiales diversos o los inconvenientes de indisponibilidad ocasionados por la intervención en esas redes.

Un factor a tener en cuenta en el despliegue interior del cableado de fibra óptica es que bajo ningún concepto se debe ocasionar estrés por tracción, ni torción transversal, menos aún establecer curvas pronunciadas en los cables, por tanto, para evitar estos inconvenientes, es necesario utilizar elementos de soporte auxiliar como escalerillas, canaletas plásticas con adaptadores para las intersecciones, de manera que no se den doblajes en ángulo recto. Adicionalmente es recomendable el etiquetado de los cables con un indicativo del enlace, su inicio y su destino, de manera que se facilite la identificación para el mantenimiento y se tenga la precaución del caso ante la manipulación.

3.2.3.3 Mantenimiento de la red óptica pasiva

El diseño e implementación de una red óptica pasiva guardando los lineamientos indicados en las secciones que preceden, asegura la optimización de recursos humanos y materiales durante la etapa de explotación de la red y minimizan las intervenciones correctivas, de manera que se puede afirmar el echo que las prisas y parches en los proyectos contribuyen en desmedro propio tanto del servicio como de la imagen de la Empresa.

Para asegurar un adecuado mantenimiento de la red es necesario contar con el instrumental y material adecuado, siendo el mínimo requerido el detallado a continuación:

- Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)
- Fusionadora de fibras ópticas y consumibles en cantidad adecuada.
- Maquina de empalmes mecánicos y consumibles en cantidad apropiada.
- Fuente de luz de potencia constante y vatímetro óptico.
- Lápiz óptico emisor de luz visible.

- Microscopio de inspección para conectores con adaptadores de varios tipos.
- Stock adecuado de transiciones de distinto tipo (FC – SC, FC – LC, SC – LC, SC-ST, ST-FC, etc.)
- Stock adecuado de patch cords de distinto tipo (en conector y estándar) y variadas longitudes (FC-FC, FC-SC, FC-LC, etc.)
- Stock adecuado de pigtails de distinto tipo (en conector y estándar).
- Stock de cable de fibra óptica de distinto tipo
- Bobinas de lanzamiento para pruebas en zona muerta de OTDR y simulaciones.
- Atenuador óptico variable y atenuadores fijos.
- Stock adecuado de ODFs y cajas terminales.
- Stock de materiales de limpieza (aire comprimido, alcohol, paños impregnados en alcohol, cotonetes, etc.).

En lo referente a los equipos de medición y prueba, es conveniente llevar un registro actualizado de las fechas de calibración, las que deben darse en los períodos recomendados por los fabricantes (normalmente con periodicidad anual o bianual); adicionalmente, se debe proporcionar el mantenimiento preventivo y limpieza de las partes de los equipos periódicamente.

La red pasiva está sujeta a la acción de agentes externos que degradan las características de sus diferentes elementos, esta acción por lo general no es instantánea, por tanto, es conveniente realizar pruebas periódicas de reflectometrías y niveles de atenuación, al menos por muestreo en varios hilos de cada cable y guardar las trazas para comparación con las anteriores y así poder determinar la degradación del medio en función del tiempo.

Previo a la realización de pruebas en los distintos elementos de red es necesario tener una dotación adecuada de materiales consumibles para limpieza, y generar el habito de emplearlos a conciencia, esto, debido a que los elementos ópticos son especialmente sensibles al polvo y otros contaminantes, ocasionando que la desviación en los datos medidos sea elevada al no tomar las medidas de limpieza adecuadas.

CAPITULO 4

MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE RED FTTx

El diseño e implementación de una red óptica pasiva guardando los lineamientos indicados en las secciones que preceden, asegura la optimización de recursos humanos y materiales durante la etapa de explotación de la red y minimizan las intervenciones correctivas, de manera que se puede afirmar el hecho que las prisas y parches en los proyectos contribuyen en desmedro propio tanto del servicio como de la imagen de la Empresa.

4.1 Principios de mantenimiento de Red de fibra óptica

Los procesos de fabricación de los cables de fibra óptica modernos permiten obtener productos cuya vida útil sobrepasa holgadamente los veinte años, en este sentido, una vez elegido el cable apropiado y junto a un diseño que contemple escenarios de operación no agresivos, es factible conservar los parámetros ópticos de manera que aseguren la eficiencia de la red y la adecuada prestación y escalamiento de servicios.

El plan de mantenimiento de una red óptica pasiva debe contemplar al menos los siguientes puntos:

- Disponibilidad de equipos de instalación, prueba y mantenimiento.
- Stock adecuado de cable y materiales
- Personal capacitado y equipado
- Levantamiento planimétrico pormenorizado
- Administración de eventos

4.1.1 Disponibilidad de equipos de instalación, prueba y mantenimiento.

El set de equipos requerido para la explotación eficaz de una red óptica pasiva, debería contemplar los siguientes elementos:

- **Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)**, siendo importante que el alcance del mismo se dé en función de la red a administrar, observando también que para el caso de longitudes menores es necesario considerar la denominada zona muerta, de manera que de requerirse mediciones cortas se utilice los aditamentos adecuados.

- **Bobinas de lanzamiento**, que básicamente consisten en una longitud conocida de fibra óptica con sus parámetros ópticos perfectamente determinados, de manera que se puedan realizar simulaciones de enlaces y de esta manera probar equipos activos y solventar las mediciones en los primeros metros o extensiones cortas de cables dentro de la zona muerta de un OTDR.

- **Fusionadora y/o empalmadora mecánica,** observando que lo ideal es poseer los dos equipos; es importante contar con los accesorios adecuados, sobre todo a nivel de la cortadora de fibra, siendo aconsejable que esta cuente con un sistema de reemplazo de cuchillas, además para el caso de la fusionadora es indispensable que al momento de la adquisición se contemple la dotación de al menos dos pares de electrodos para reemplazo.

- **Emisor óptico de potencia constante para varias longitudes de onda y medidor de potencia óptica (OLS y OLP)**, siendo estos equipos indispensables para el mantenimiento de la red óptica y el comisionamiento de enlaces, su construcción debe ser robusta y tener la posibilidad de conectarse a la red eléctrica y presentar la autonomía proporcionada por baterías.

- **Fuente emisora de luz visible (VLF)**, es una herramienta útil al momento de realizar la identificación de hilos de fibra y determinación de interrupciones en el trayecto óptico, es importante que el equipo cuente con la posibilidad de intercambiar adaptadores de varios tipos y/o contar con un set de transiciones adecuado.

- **Microscopio** de inspección para conectores con adaptadores de varios tipos, debiendo asegurarse el stock adecuado de transiciones de distinto tipo (FC – SC, FC – LC, SC – LC, SC-ST, ST-FC, etc.).

- **Atenuador óptico variable y atenuadores fijos**, muy importantes al momento de probar enlaces y sensibilidad de equipos receptores.

- **Analizador de espectros óptico (OSA)**, es una herramienta fundamental para la determinación de parámetros ópticos al utilizar sistemas WDM.

- **Stock adecuado de patch cords para pruebas**, con distinto tipo (en conector y estándar) y variadas longitudes (FC-FC, FC-SC, FC-LC, etc.), observando que los patch cords tienen en general un número típico de conexiones durante su vida útil, por tanto es prudente siempre revisar los parámetros ópticos de los mismos para no cometer errores en las mediciones.

- **Kit de comunicación por fibra óptica**, conformado por dos teléfonos ópticos manos libres, de manera que se solvente la comunicación entre los puntos extremos de un enlace; estos equipos cobran importancia ante la falta de cobertura de redes celulares o sistemas PTT en puntos de enlaces sobre todo en la etapa de instalación.

Para el caso de los equipos activos, es necesario realizar una revisión constante y tener en stock repuestos y accesorios de mantenimiento específicos, de acuerdo a

las recomendaciones de los fabricantes, adicionalmente, es preciso al adquirirlos solicitar los certificados de calibración, período de calibración en tiempo o número de intervenciones e información de centros de certificación para procesar el mantenimiento preventivo y/o correctivo necesario.

Algo importante al momento de elegir equipos activos, es la verificación de que estos no estén descontinuados y que los proveedores puedan asegurar el mantenimiento y provisión de partes durante un período de al menos 5 años.

4.1.2 Stock adecuado de cable y materiales

En la etapa de diseño de los enlaces de fibra óptica, se proyectan las cantidades de cable de los distintos tipos requeridos, contemplando las reservas necesarias a ubicar de acuerdo a la topología especifica de las redes, sin embargo, en la fase de explotación ocurren eventos que obligan a la modificación de recorridos y readecuación de redes, por tanto, más allá de las proyecciones de crecimiento, es adecuado contar con las reservas en Bodega de una cantidad apropiada de cable, cantidad que debe estar correctamente identificada y precautelada de agentes externos como humedad, polvo, sol, etc. Para todos los suministros necesarios, considerando las proyecciones de crecimiento, se deben establecer en los planes de adquisición periódicos para mantenimiento de la red óptica pasiva.

En la **Tabla 25** se presenta un listado de las partes de uso corriente para el cumplimiento de un programa de mantenimiento adecuado.

Ítem	Descripción
	Fibra óptica
1	Reserva de cable de fibra óptica de cada tipo empleado
2	Patch cords con diferentes adaptadores
3	Pig tails con diferentes adaptadores
	Material de conexión
4	ODF de diferente capacidad
5	Divisor / Combinador (splitters con relación de división adecuada 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64)
6	Cajas de acceso para clientes
7	Adaptadores ópticos para ODFs
8	Aire comprimido
	Material de empalme
9	Mangos termo contráctiles para fusionadora
10	Mangas o mufas de empalme de diferente capacidad
11	Conectores mecánicos
12	Paños impregnados en alcohol isopropil
13	Limpiador de cables (removedor de gel)
	Material menor
14	Cinta helicoidal
15	Pernos para anclaje, tuercas, tornillos
16	Correas plásticas de varios tamaños
17	Cinta aislante
18	Etiquetas para identificación
	Material para tendido de cables
19	Canaleta plástica de diferentes tamaños
20	Poliducto
21	Tapones para ducto
22	Herrajería para tendido aéreo.
23	Ducto plástico corrugado

Tabla 25: Material de empleo normal en Red Óptica Pasiva

4.1.3 Personal capacitado y equipado

Para una adecuada labor en la red óptica pasiva, es conveniente que los grupos de trabajo se integren en parejas para las labores de comisionamiento de ODFs, empalmes, operación de equipos; cada pareja debe ser dotada de un set adecuado

de herramientas y equipo de protección. En la **Tabla 26** se observa el listado de herramientas mínimo recomendado.

Ítem	Descripción
1	Herramienta menor (Alicates, destornilladores, taladro, brocas, cizalla, limas, cautín, ponchadoras, cuchillas, linternas, juego de llaves, flexómetro, etc.)
2	Equipo de protección (guantes, gafas de protección, cinturones anti lumbago, botiquín básico)
3	Herramienta de prueba y comunicación (seguidor de tonos, multímetro, etiquetadora, radios PTT)
4	Formatos de inspección, instalación y mantenimiento

Tabla 26: Listado de herramientas

En cuanto a la capacitación, el personal de operación de fibra óptica de preferencia debe ser reclutado entre los grupos de trabajo de Planta Externa, de manera que tengan experiencia en labores de instalación de cables en modalidad aérea y subterránea, además del indispensable conocimiento de interacción con clientes.

La capacitación formal del personal debe abordar al menos:

- Principios teóricos de Fibra óptica y transmisión sobre este medio, familiarización con elementos de la Red óptica pasiva.

- Familiarización con realidad topológica de la empresa y conocimiento de manipulación de cartografía impresa y digital.

- Manejo y protección de equipo de medición y pruebas (OTDR, OLS, OLP, OSA, VLF, Atenuador variable, bobinas de lanzamiento, equipo de comunicación).

- Preparación de cables para empalmes.

- Utilización de Fusionadora y empalmadora mecánica.

- Utilización de terminales de clientes.

- Manejo de procesos y emisión de reportes de Inspección, instalación, pruebas, mantenimiento preventivo y correctivo).

4.1.4 Levantamiento planimétrico pormenorizado

Para una adecuada explotación de la Red Óptica Pasiva, así como para la determinación pormenorizada de la distribución de activos de la empresa se debe contar con documentación detallada de la red, sus componentes y localización (de ser posible georeferenciados), siendo necesario considerar los parámetros que se incluyen en la **Tabla 27**.

Ítem	Descripción
1	Ubicación de Nodos
2	Ubicación de empalmes y derivaciones
3	Rutas de tramos de cable tendidos
4	Rutas de tendido aéreo (postes)
5	Características de cámaras subterráneas
6	Ubicación de transiciones de tendido subterráneo a aéreo
7	Vías de ductos utilizados por tramos
8	Ubicación y longitud de reservas
9	Características de acometidas, ODFs, cajas terminales
10	Utilización de hilos en rutas establecidas
11	Identificación de tráfico de sistemas activos cursados
12	Datos de pruebas de comisionamiento de enlaces (reflectometrías, mediciones de potencia)
13	Histórico de eventos de mantenimiento correctivo y su ubicación
14	Datos de conexiones de paso para enlaces
15	Tipos de cables y parámetros ópticos por rutas

Tabla 27: Documentación necesaria para Administración de Red de Fibra Óptica.

La red pasiva está sujeta a la acción de agentes externos que degradan las características de sus diferentes elementos, esta acción por lo general no es instantánea, por tanto, es conveniente realizar pruebas periódicas de reflectometrías y niveles de atenuación, al menos por muestreo en varios hilos de cada cable y guardar las trazas para comparación con las anteriores y así poder determinar la degradación del medio en función del tiempo.

4.1.5 Administración de Eventos

Un evento de red es cualquier situación que causa una modificación en la red óptica pasiva y es susceptible de impactar directamente al tráfico cursado u ocasionar la degradación progresiva de un segmento de ésta. Todo evento de red debe ser documentado, siendo necesario levantar la información que se indica en la **Tabla 29**.

Ítem	Descripción
1	Fecha y hora de ocurrencia
2	Ubicación exacta de ocurrencia
3	Causa primaria (diagnóstico)
4	Servicio impactado y/o servicios vulnerables ante no remediación
5	Acción efectuada (pruebas, intervenciones)
6	Recursos utilizados para intervención
7	Fecha y hora de finalización
8	Modificaciones topológicas efectuadas

Tabla 28: Documentación de eventos en Red Óptica Pasiva.

Al constituirse la red de fibra óptica como el vínculo entre equipos activos, es necesario poder aislar la causa de la indisponibilidad de servicios de manera que se puedan levantar los eventos en el menor tiempo posible, para esto, es necesario que previo a la intervención se revise lo siguiente:

Ítem	Descripción
1	Falla de energía que afecte a uno o más de los equipos activos en el enlace indisponible
2	Intervención programada o emergente en sistemas de energía, infraestructura civil, gestión de red, provisión de contenido.
3	Falla o daño electrónico en uno o más equipos activos en el enlace indisponible
4	Desconexión de puertos en ODFs, interfaces o energía en equipos activos
5	Falla o daño en interfaces ópticos de equipos activos (medir potencias de emisión y recepción)
6	Presencia de señal de recepción emitida por equipo remoto, en caso de existencia de la señal, compararla con valor normal.

Tabla 29: Causas de indisponibilidad externas a Red Óptica Pasiva.

Una vez constatados la no presencia de uno o varios de los ítems descritos, es necesario realizar la revisión de presencia de señal de recepción emitida por el equipo remoto, es prudente comparar estos resultados con los rangos de funcionamiento normales, determinándose ante el hallazgo de degradación o ausencia de señal la necesidad de iniciar un análisis más profundo, utilizando equipamiento como OTDR, OLS, OLP, VFL, etc., para ubicar el evento e intervenir en la capa física.

A continuación se muestra en la **Tabla 30** algunos problemas típicos encontrados en las redes de fibra óptica, su diagnóstico y remediación.

Falla	Causa	Equipo	Acción sugerida
Conector malo	Suciedad o daño	Microscopio	Limpieza / cambio de conector
Pigtail malo	Fibra estresada, doblada	Lápiz óptico	Desdoblar fibra
Atenuación localizada	Fibra estresada, doblada	OTDR	Desdoblar fibra
Incremento de atenuación distribuida	Cable defectuoso o mal instalado	OTDR	Reducir estrés o reemplazar cable
Perdidas en empalme	Mal empalme o estrés en manga	OTDR, Lápiz óptico	Abrir manga y acomodar fibra / rehacer empalme

Tabla 30: Fallas más comunes en Red óptica pasiva y sus soluciones

4.2 Administración de la Red de Fibra Óptica.

La administración eficiente de una Red Óptica Pasiva debe encaminarse a explotar de manera racional los recursos y topología de red existente, realizar una adecuada programación de crecimiento en función de los planes empresariales y demanda del mercado, interactuar activamente con las aéreas encargadas de la Planificación, Infraestructura Civil, Comercialización y Atención al Cliente, procurar el stock apropiado para asegurar los objetivos empresariales y mantener documentación actualizada de la infraestructura, eventos e insumos.

Desde el punto de explotación y crecimiento, es necesario la definición, levantamiento y mejoramiento de procesos, cuyo cumplimiento debe supervisarse sobre la base de contar con herramientas que agiliten la labor y no incidan en un incremento innecesario de trámites o información inútil. En función de lo expuesto, los procesos normados que se requieren se presentan en la **Tabla 31**:

Ítem	Descripción
1	Proceso de homologación de materiales e insumos
2	Proceso de Comisionamiento y pruebas de aceptación de enlaces
3	Proceso de Intervención ante eventos en red óptica pasiva
4	Proceso de Inspección para establecimiento de acometidas a clientes
5	Proceso de instalación y activación de clientes
6	Proceso de actualización y mantenimiento de cartografía
7	Proceso de Adquisiciones programadas y emergentes
8	Proceso de manejo de información histórica de datos a nivel de red e insumos
9	Proceso de calibración de equipos, reemplazo de herramientas

Tabla 31: Procesos a normar para explotación de red óptica pasiva.

En referencia a la gestión de clientes, rutas y elementos de red, existen en el mercado soluciones muy completas, sin embargo la inversión necesaria es elevada, un ejemplo de estas plataformas la constituye la denominada OMNS (Optical Management Network System), la misma que mediante un software centralizado permite el monitoreo en línea de una red óptica pasiva basando su principio de funcionamiento en el empleo de equipos que realizan reflectometrías periódicas a los hilos de fibra óptica sin importar que sea obscura o iluminada, los datos adquiridos por las reflectometrías son almacenados en una base de datos robusta, y un software registra las desviaciones frente a valores anteriores disparando avisos de severidad configurable de acuerdo a lo requerido por los administradores de red, estos sistemas implican la necesidad de un levantamiento pormenorizado de los elementos y topología de la red que incluye su georeferenciamiento, de manera que en un entorno gráfico se desplieguen las rutas dentro del área de cobertura. La decisión de la inclusión de este tipo de sistemas depende de los objetivos empresariales y la inversión requerida, siendo lo ideal que en el aspecto operativo se extremen los cuidados con la actualización de datos y se tome en cuenta los requerimientos de estas plataformas de manera que cuando se tenga un crecimiento que justifique la inversión, se pueda minimizar el tiempo de instalación del sistema.

En el aspecto de mercado, es conveniente que el área encargada de la Comercialización de servicios de Telecomunicaciones realimente a la etapa técnica y de planificación con la información de ubicación de clientes potenciales, estudios

de demanda, índices de reclamos, campañas comerciales y requerimientos de nuevos planes y servicios para afrontar sin dilaciones los retos que impone el mercado y realimentar a las etapas de Infraestructura Civil y Adquisiciones de manera eficaz.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el mercado actual se verifica la existencia de equipos carrier class, cuyas potencialidades combinan la dotación de redes Punto – Multipunto como las GPON, además de disponer de alternativas Punto – Punto e incluso soluciones de ultima milla en cobre utilizando xDSL, todo esto, soportado por una sola plataforma, situación que pone de manifiesto por un lado la convivencia de tecnologías de distintas generaciones, así como también, el hecho que no existen al momento redes de acceso perfectas, sin embargo la tendencia es clara, y más tarde o temprano los prestadores de servicios de Telecomunicaciones en el Ecuador incursionarán en la implantación de Redes Ópticas Pasivas, mediante una receta típica como es desplegar en primera instancia estas redes en nichos de mercado cuya topología y retorno de la inversión sean atractivos, para en los siguientes pasos incrementar su universo de aplicación considerando factores de índole social. El despliegue de una Red Óptica Pasiva brinda la posibilidad de suministrar todos los servicios de Telecomunicaciones en boga (voz, datos, video), observando que la limitación en el ancho de banda proporcionado, está restringido por el sistema activo seleccionado, que en el caso del presente documento es del tipo GPON, el mismo que permite compartir 2,5 Gbps correspondientes al sentido descendente (dirección del OLT a las ONT), pudiéndose en el sentido ascendente (en dirección de una ONT al OLT) disponerse de hasta 1,25 Gbps, esto sobre la base de un cálculo de enlace que permite con el empleo de fibra óptica G.652 D un alcance práctico de hasta 20 Km; alcance que debido a consideraciones prácticas como las necesidades de ordenamiento de la red, márgenes de seguridad en los presupuestos de enlace, pérdidas de inserción en la etapa de división y distancia diferencial existente entre las ONT más cercana y la más alejada al OLT, motivan que el alcance real deba ser restringido, típicamente al orden de los 10 Km.

Las Redes Ópticas Pasivas no son desarrollos nuevos, han recorrido ya pasos importantes desembocando en productos maduros, aptos para el aprovisionamiento de servicios en grandes poblaciones, sin embargo, a la hora de la elección de los equipamientos de Oficina Central y de usuario, es importante hacer hincapié en la

necesidad de observar la interoperabilidad de los modelos y marcas seleccionadas con los de otros proveedores, para no entrar en una cadena de dependencias y restricciones ocasionadas por una falta de análisis. Otro factor importante a tener en cuenta al escoger los equipos es el cumplimiento de las recomendaciones de la UIT-T, específicamente las G.984.1, G.984.2, G.984.3 y G.984.4.
En la etapa de comisionamiento y pruebas del sistema elegido es fundamental no dejarse llevar por la emoción del rápido despliegue, por tanto, se deben realizar todas las pruebas en la parte operativa, Gestión de Red y Capacitación de personal, de manera que las indisponibilidades se reduzcan al mínimo y se puedan desarrollar procesos empresariales solventes para las etapas de inspecciones de factibilidad, instalación, pruebas de aceptación y mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Para el mantenimiento de la red en la fase de explotación, se deben dimensionar adecuadamente los recursos necesarios, tanto materiales como humanos y asegurar un stock de consumibles sobre la base del conocimiento que pese a la difusión creciente de las redes de fibra óptica, aún se puede considerar a estos como material especializado y por tanto, sujetos a pocas fuentes de provisión local.
En referencia a la inversión necesaria para el despliegue, en función del incremento en el número de clientes servidos, se tendrá una mejora en la eficiencia de los recursos económicos, sin embargo, en la actualidad, pese a que en el Ecuador se observa un incremento en la demanda de ancho de banda, el efecto de los precios altos a nivel de usuario determina que en inicio, en sectores como el residencial se analice de manera pormenorizada la incursión de redes ópticas pasivas por las dificultades de un retorno de inversión que sustente su desarrollo. En los últimos tres años se ha palpado la reducción de los costos de acceso a Internet, motor fundamental del desarrollo de las Telecomunicaciones, pero esta tendencia no ha sido reflejada de manera fiel hacia las tarifas de los clientes.

En el caso específico de Cuenca, la empresa ETAPA al ser el operador incumbente, desarrolló una sólida posición en el mercado, la misma que se ve afectada por el ingreso de otros operadores en el medio, observando que si bien el producto fundamental continúa siendo la telefonía fija, respaldada por la penetración del servicio y tarifas reducidas, en los servicios de valor agregado y portadores, se observa una competencia no despreciable, por tanto, la re

potenciación de redes legadas para provisión de servicios son una alternativa natural desarrollada por la Empresa, pero es necesario consolidarse en el mercado de los servicios de provisión de Internet, transmisión de datos y en el futuro en la distribución de televisión pagada, mas aún, al observar en el análisis económico del presente documento la importancia en los ingresos del proyecto que tienen la red de datos y el acceso a Internet.

Cabe acotar que, es tiempo de pensar que en los diseños y construcciones de redes para los sectores de alto crecimiento, urbanizaciones, edificios, etc. es fundamental pensar en el cambio de mentalidad y prácticas, pasando del cobre, a aplicaciones con Redes de Fibras Ópticas, tomándose en cuenta que los costos referentes al mantenimiento tanto preventivo como correctivo y vida útil mejoran sustancialmente frente a los que se tienen hoy en día en las redes de acceso por par trenzado y con la gran capacidad que puede manejar una fibra óptica. Un factor adicional a favor del empleo de la fibra óptica frente al cobre es la situación específica de ETAPA como poseedora de una red de canalización subterránea robusta, desplegada para sustentar el paso de redes de cobre, que demandan secciones de ductos considerables, por tanto, el reemplazo sistematizado por cables de fibra permitirá el incremento de capacidades de transmisión y la simultánea optimización del empleo de la canalización, ahorrando a la Empresa la inversión en infraestructura civil.

A futuro se podrá aprovechar de mejor manera a las redes metropolitanas y de backbone, que en estos momentos se encuentran subutilizadas, manteniéndose el cuello de botella en la parte hacia el usuario, con estos cambios ganan los usuarios, las operadoras, las empresas de contenido y por supuesto toda esa masa inmensa de redes computarizadas que podrán ser mejor utilizadas, sacando sus mejores frutos en estas.

Cuenca se ha destacado entre muchas cosas por la calidad alta en la provisión de servicios, y en este contexto se han desarrollado muchas iniciativas para mejorar el nivel de vida de sus ciudadanos, por tanto, un excitador adicional de la necesidad de no dilatar los despliegues de redes de acceso ópticas es precisamente la posibilidad de incrementar la cartera de servicios como seguridad, control, gestión de tráfico vial, acceso a contenidos culturales, y demás servicios que demandan el

empleo de redes de datos con capacidades elevadas que no pueden ser satisfechas del todo con la red de cobre.

El diseño efectuado para el sector Industrial de Cuenca, objeto del presente trabajo, puede ser generalizado para otros sectores de la ciudad con pequeñas modificaciones, de manera que la obtención de un modelo único posibilitará la aplicación de tarifas independientes de la topología y permitirá obtener mejoras en los precios al adquirir los componentes en cantidades mayores.

ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO 1

1.1 ENLACES TRONCALES

En la **figura 1** se observa la topología considerada en la materialización del enlace troncal, el mismo que presenta redundancia 1+1. Tanto para el caso del enlace principal como el de respaldo, existen rutas ya construidas que nacen en la oficina central y llegan respectivamente a los nodos TM y T1, requiriéndose la construcción de los tramos que unen los nodos indicados con el Centro Topológico de Carga, donde residirán tanto el OLT como un sistema de Splitters centralizado.

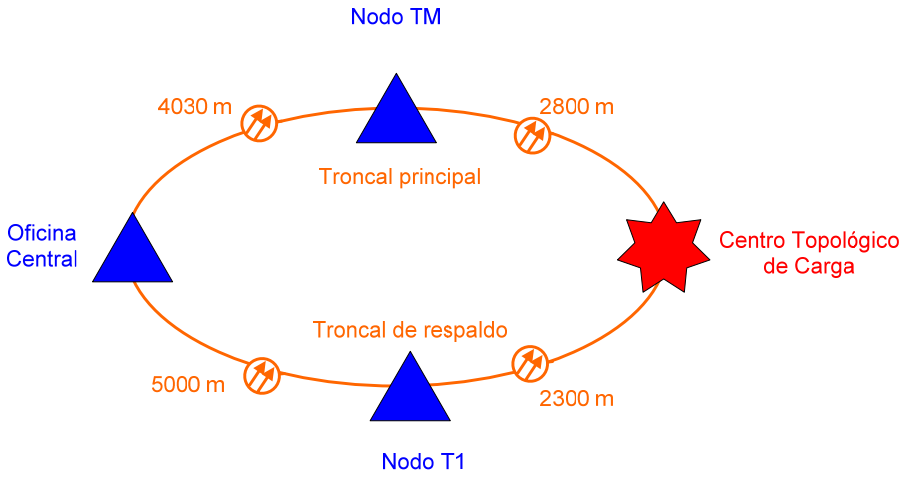


Figura 1: Diagrama simplificado de diseño de la Red óptica pasiva

El tipo de fibra óptica empleado en los enlaces, así como su longitud se encuentra en las **Tablas 3 y 4** del capítulo 2. Es importante señalar que el tendido es en su totalidad subterráneo, utilizando una de las tres vías provista por poliducto de 40 mm de sección, que a su vez está contenido en una vía de tubo de PVC de 110 mm, para el paso en cada cámara se protegerá el cable con manguera plástica corrugada de 32 mm de sección, debidamente etiquetada con el código del enlace, y en los puntos de reserva se anclará esta al techo de la cámara usando correas plásticas y tacos de expansión.

1.1.1 Presupuesto de enlace

Para efectos de la elección de las interfaces ópticas a requerirse del lado de la Oficina Central y del Centro Topológico de Carga, es necesario el cálculo del presupuesto de enlace, el mismo que se realizó en base a los parámetros para cables de fibra óptica standard UIT-T G.652 D, observándose que en la práctica, los fabricantes por lo general mejoran el standard.

En la **Tabla 1** se observan tanto los datos de los distintos tramos que conforman la red troncal principal y de respaldo, como los valores de presupuesto de enlace para las ventanas de 1310nm y 1550 nm, determinándose de su análisis que los interfaces ópticos requeridos para los equipos activos son del tipo corto alcance, y dado que en este trayecto no se requiere el manejo de varias longitudes de onda, pueden ser escogidos para una lambda específica de 1310 ó 1550 nm.

Parámetro	Troncal principal – Tramo Oficina Central a Nodo TM	Troncal principal – Tramo Nodo TM a Centro Topológico de Carga	Troncal de Respaldo – Tramo Oficina Central a Nodo T1	Troncal de Respaldo – Tramo Nodo T1 a Centro Topológico de Carga
Tipo de fibra óptica	Monomodo	Monomodo	Monomodo	Monomodo
Modalidad de tendido	Subterráneo	Subterráneo	Subterráneo	Subterráneo
Configuración del cable	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)
Standard	ITU – G.652	ITU – G.652	ITU – G.652	ITU – G.652
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1310	1310	1310	1310
Atenuación típica por kilómetro (Db)	0,4	0,4	0,4	0,4
Longitud total del tramo a tender (m)	4030	2800	5000	2300
Pérdida de inserción típica por fusión (Db)	0,1	0,1	0,1	0,1
Número de fusiones en tramo tendido	2	2	2	2
Número de conectores en tramo	2	2	2	2
Pérdida de inserción típica por conector (dB)	0,25	0,25	0,25	0,25
Presupuesto de enlace en el tramo	2,312	1,82	2,7	1,62
Presupuesto de enlace en troncal total 1310 nm (dB)	4,132		4,32	
Presupuesto de enlace en troncal total 1310 nm (dB)*	7,132		7,32	
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1550	1550	1550	1550
Atenuación típica por kilómetro (Db)	0,35	0,35	0,35	0,35
Presupuesto de enlace en el tramo	2,1105	1,68	2,45	1,505
Presupuesto de enlace en troncal total 1550 nm (dB)	3,7905		3,955	
Presupuesto de enlace en troncal total 1550 nm (dB)*	6,7905		6,955	

*Se incluye el efecto de atenuación debido a patch cords intermedios (unión entre rutas dentro de cada troncal) y los patch cords terminales (entre puertos de ODFs e interfaces ópticos en equipos activos en Oficina Central y CTC)

Tabla 1: Presupuesto de enlace de Troncales principal y respaldo

1.1.2 Inversión requerida

En base a la realidad de la empresa ETAPA, para la consecución de las troncales, es necesario indicar que un porcentaje alto de la infraestructura necesaria está construida, por tanto, si bien en la **Tabla 2** se indica el costo total en infraestructura requerida, es necesario puntualizar que la inversión para el proyecto (también indicada) es menor.

Ítem	Rubros Red Troncal	Precio unitario *	Unidad	Cantidad	Infraestructura total	Infraestructura específica	Infraestructura existente	Infraestructura a construir
1	Costo canalización subterránea 2 vias 110 mm	19,00	m	2755,20	52348,80	8724,80	52348,80	
2	Costo de poliducto de 3 vias	1,40	m	2755,20	3857,28	1285,76	3857,28	
3	Costo de construcción de cámara subterránea	500,00	u	32,00	16000,00	1600,00	16000,00	
4	Costo de identificación por cámara	1,88	u	32,00	60,16	60,16		60,16
5	Paso de guías – alambre galvanizado	0,13	m	2828,00	367,64	367,64		367,64
6	Costo de tendido de poliducto – 3 vías	0,67	m	2755,20	1845,98	615,33		1845,98
7	Costo de tendido de poliducto – 1 vía	0,62	m		0,00			0,00
8	Costo de tendido de cable de fibra óptica	0,32	m	2800,00	896,00	896,00		896,00
9	Colocación de acoples y tapones en poliducto	3,43	u	64,00	219,52	219,52		219,52
10	Costo de ODF de 24 puertos (incluye pigtails, adaptadores, kit de montaje)	460,00	u	2,00	920,00	920,00		920,00
11	Costo de montaje de ODF 24 fibras	80,00	u	2,00	160,00	160,00		160,00
12	Costo patch cords	8,00	u	8,00	64,00	64,00		64,00
13	Costo cable fibra óptica SM24 G.652	2,17	m	2800,00	6076,00	6076,00		6076,00
14	Etiquetado de cables	1,88	u	34,00	63,92	63,92		63,92
15	Colocación de consola – portaconsola en cámaras telefónicas	5,93	u	32,00	189,76	189,76		189,76
16	Pruebas de Reflectometría y potencia de enlace por hilo	3,00	u	24,00	72,00	72,00		72,00
	Valor Total de Infraestructura necesaria para Troncal Principal				**83141,06**			
	Valor Infraestructura específica requerida para Troncal Principal					**21314,89**		
	Valor de Infraestructura existente coincidente con requerimiento de Troncal Principal						**72206,08**	
	Valor de Inversión específica requerida para Troncal Principal							**10934,98**

***** Precios unitarios y de mercado vigentes en primer semestre de 2008

Tabla 2: Requerimiento de Inversión de enlace de Troncal Principal (tramo Oficina Central a Nodo TM)

En la **Tabla 2**, se observa el valor de la infraestructura a construir necesaria para la materialización del enlace troncal principal (USD 10934,98), observando, que esta constituye el 13,15 % de la inversión total que se requeriría si la Empresa no contara con el despliegue actual en recursos de red subterráneos, situación que obligaría al empleo de rutas aéreas, con la consiguiente dependencia del poseedor de la postería que para nuestro caso es la empresa suministradora de fluido eléctrico. Adicionalmente, se observa que el rubro de mayor relevancia en el costo de la solución es la infraestructura civil con una participación del 86,84 %, mientras la inversión específica por el enlace de fibra óptica alcanza el 10,92 % del valor de la Inversión total.

En la **Tabla 3**, se presentan los requerimientos relativos al enlace Troncal de Respaldo, cuya inversión en construcción es de USD 11785,96, constituyéndose en el 14,24 % del valor de la infraestructura total requerida. El rubro de mayor participación es igual que en el caso anterior el componente civil con 85,75 %, frente a 11,51 % de la inversión concerniente al enlace de fibra óptica.

Ítem	Rubros Red Troncal	Precio unitario *	Unidad	Cantidad	Infraestructura total	Infraestructura específica	Infraestructura existente	Infraestructura a construir
1	Costo canalización subterránea 2 vías 110 mm	19,00	m	2228,6	42343,40	7057,23	42343,40	
2	Costo de poliducto de 3 vías	1,40	m	2228,6	3120,04	1040,01	3120,04	
3	Costo de construcción de cámara subterránea	500,00	u	51	25500,00	1416,67	25500,00	
4	Costo de identificación por cámara	1,88	u	51	95,88	95,88		95,88
5	Paso de guía – alambre galvanizado	0,13	m	2323	301,99	301,99		301,99
6	Costo de tendido de poliducto – 3 vías	0,67	m	2228,6	1493,16	497,72		1493,16
7	Costo de tendido de cable de fibra óptica	0,32	m	2300	736,00	736,00		736,00
8	Colocación de acoples y tapones en poliducto	3,43	u	102	349,86	349,86		349,86
9	Costo de ODF de 24 puertos (incluye pigtails, adaptadores, kit de montaje)	460,00	u	2	920,00	920,00		920,00
10	Costo de bastidor de 40 ru (19” x 210 m)	1100,00	u	2	2200,00	2200,00		2200,00
11	Costo de montaje de ODF 24 fibras	80,00	u	2	160,00	160,00		160,00
12	Costo patch cords	8,00	u	8	64,00			64,00
13	Costo cable fibra óptica SM24 G.652	2,17	m	2300	4991,00	4991,00		4991,00
14	Etiquetado de cables	1,88	u	53	99,64	99,64		99,64
15	Colocación de consola – portaconsola en cámaras telefónicas	5,93	u	51	302,43	302,43		302,43
16	Pruebas de Reflectometría y potencia de enlace por hilo	3,00	u	24	72,00	72,00		72,00
	Valor Total de Infraestructura necesaria para Troncal Principal				**82749,40**			
	Valor Infraestructura específica requerida para Troncal Principal					**20240,43**		
	Valor de Infraestructura existente coincidente con requerimiento de Troncal Principal						**70963,44**	
	Valor de Inversión específica requerida para Troncal Principal							**11785,96**

***** Precios unitarios y de mercado vigentes en primer semestre de 2008

Tabla 3: Requerimiento de Inversión de enlace de Troncal de Respaldo (tramo Oficina Central a Nodo T1)

Pese a haberse considerado la construcción del enlace troncal con redundancia 1 + 1 en fibra óptica, es factible que en la primera etapa del proyecto se construya el enlace principal, dejándose la ruta de respaldo para una segunda etapa cuya programación se puede situar temporalmente de acuerdo al retorno de la inversión que se dé en la etapa de explotación de los servicios a comercializar.

1.1.3 Ruta

En los **Planos 1.1 y 1.2** se pueden observar las rutas troncales principal y de respaldo, observándose que no se presentan las rutas existentes desde los nodos proyectados T1 y TM hacia la Oficina Central, sin embargo, pese a la omisión, los datos de esas rutas son considerados en lo concerniente a los recursos necesarios para el proyecto, sin afectar al presente documento.

1.2 ENLACES TRONCALES DE ACCESO

1.2.1 Presupuestos de enlace

En la **Tabla 4** se detallan los presupuestos de enlace para los seis tramos de las troncales de acceso.

Parámetro	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.1.1.1	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.1.1.2	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.1.2
Tipo de fibra óptica	Monomodo 24 hilos	Monomodo 24 hilos	Monomodo 48 hilos
Modalidad de tendido	Subterráneo	Subterráneo	Subterráneo
Configuración del cable	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)
Standard	ITU - G.652	ITU - G.652	ITU - G.652
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1310	1310	1310
Atenuación típica por kilómetro (dB)	0,4	0,4	0,4
Longitud total del tramo a tender (m)	893	1314	758
Pérdida de inserción típica por fusión (dB)	0,1	0,1	0,1
Número de fusiones en tramo tendido	2	2	2
Número de conectores en tramo	2	2	2
Pérdida de inserción típica por conector (dB)	0,25	0,25	0,25
Presupuesto de enlace en el tramo en 1310 nm	1,06	1,23	1,00
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1550	1550	1550
Atenuación típica por kilómetro (dB)	0,35	0,35	0,35
Presupuesto de enlace en el tramo en 1550 nm	1,01	1,16	0,97

Parámetro	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.2.0	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.2.1.1.2	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.2.1.2
Tipo de fibra óptica	Monomodo 24 hilos	Monomodo 24 hilos	Monomodo 12 hilos
Modalidad de tendido	Subterráneo	Subterráneo	Subterráneo
Configuración del cable	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)
Standard	ITU - G.652	ITU - G.652	ITU - G.652
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1310	1310	1310
Atenuación típica por kilómetro (dB)	0,4	0,4	0,4
Longitud total del tramo a tender (m)	153	762	543
Pérdida de inserción típica por fusión (dB)	0,1	0,1	0,1
Número de fusiones en tramo tendido	2	2	2
Número de conectores en tramo	2	2	2
Pérdida de inserción típica por conector (dB)	0,25	0,25	0,25
Presupuesto de enlace en el tramo en 1310 nm	0,76	1,00	0,92
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1550	1550	1550
Atenuación típica por kilómetro (dB)	0,35	0,35	0,35
Presupuesto de enlace en el tramo en 1550 nm	0,75	0,97	0,89

Tabla 4: Presupuesto de enlace de Troncales de acceso

1.2.2 Inversión requerida

En las **Tablas 5, 6 y 7** se detallan los costos referentes a la construcción de los enlaces troncales de acceso, para cuyo cálculo se agruparon las cantidades de cable G.652 D de acuerdo al número de hilos (48, 24, 12); el tendido considerado es íntegramente subterráneo, utilizando ductos y cámaras telefónicas existentes.

Ítem	Rubros Red Troncal	Precio unitario *	Unidad	Cantidad	Infraestructura total	Infraestructura específica	Infraestructura existente	Infraestructura a construir
1	Costo canalización subterránea 2 vías 110 mm	19,00	m	742,60	14109,40	2351,57	14109,40	
2	Costo de poliducto de 3 vías	1,40	m	742,60	1039,64	1039,64	1039,64	
3	Costo de construcción de cámara subterránea	500,00	u	11,00	5500,00	550,00	5500,00	
4	Costo de identificación por cámara	1,88	u	11,00	20,68	20,68		20,68
5	Paso de guía - alambre galvanizado	0,13	m	765,58	99,53	99,53		99,53
6	Costo de tendido de poliducto - 3 vías	0,67	m	742,60	497,54	165,85		497,54
8	Costo de tendido de cable de fibra óptica	0,32	m	758,00	242,56	242,56		242,56
9	Colocación de acoples y tapones en poliducto	3,43	u	22,00	75,46	75,46		75,46
10	Costo de manga de acceso	900,00	u	1,00	900,00	900,00		900,00
10	Costo de ODF de 24 puertos (incluye pigtails, adaptadores, kit de montaje)	460,00	u	2,00	920,00	920,00		920,00
11	Costo de montaje de ODF 24 fibras	80,00	u	2,00	160,00	160,00		160,00
12	Costo patch cords	8,00	u	48,00	384,00	384,00		384,00
13	Costo cable fibra óptica SM48 G.652	2,60	m	758,00	1970,80	1970,80		1970,80
14	Etiquetado de cables	1,88	u	13,00	24,44	24,44		24,44
15	Colocación de consola - portaconsola en cámaras telefónicas	5,93	u	11,00	65,23	65,23		65,23
16	Pruebas de Reflectometría y potencia de enlace por hilo	3,00	u	48,00	144,00	144,00		144,00
	Valor Total de Infraestructura necesaria para Troncal Principal				**26153,28**			
	Valor Infraestructura específica requerida para Troncal Principal					**9113,75**		
	Valor de Infraestructura existente coincidente con requerimiento de Troncal Principal						**20649,04**	
	Valor de Inversión específica requerida para Troncal Principal							**5504,24**

***** Precios unitarios y de mercado vigentes en primer semestre de 2008

Tabla 5: Requerimiento de Inversión de enlace de Troncal de acceso (cable de 48 hilos)

Ítem	Rubros Red Troncal	Precio unitario *	Unidad	Cantidad	Infraestructura total	Infraestructura específica	Infraestructura existente	Infraestructura a construir
1	Costo canalización subterránea 2 vías 110 mm	19,00	m	3098,20	58865,80	9810,97	58865,80	
2	Costo de poliducto de 3 vías	1,40	m	3098,20	4337,48	4337,48	4337,48	
3	Costo de construcción de cámara subterránea	500,00	u	17,00	8500,00	850,00	8500,00	
4	Costo de identificación por cámara	1,88	u	17,00	31,96	31,96		31,96
5	Paso de guía - alambre galvanizado	0,13	m	3153,22	409,92	409,92		409,92
6	Costo de tendido de poliducto - 3 vías	0,67	m	3098,20	2075,79	691,93		2075,79
8	Costo de tendido de cable de fibra óptica	0,32	m	3122,00	999,04	999,04		999,04
9	Colocación de acoples y tapones en poliducto	3,43	u	34,00	116,62	116,62		116,62
10	Costo de manga de acceso	900,00	u	4,00	3600,00	3600,00		3600,00
10	Costo de ODF de 24 puertos (incluye pigtails, adaptadores, kit de montaje)	460,00	u	4,00	1840,00	1840,00		1840,00
11	Costo de montaje de ODF 24 fibras	80,00	u	2,00	160,00	160,00		160,00
12	Costo patch cords	8,00	u	96,00	768,00	768,00		768,00
13	Costo cable fibra óptica SM48 G.652	2,17	m	3122,00	6774,74	6774,74		6774,74
14	Etiquetado de cables	1,88	u	19,00	35,72	35,72		35,72
15	Colocación de consola - portaconsola en cámaras telefónicas	5,93	u	10,00	59,30	59,30		59,30
16	Pruebas de Reflectometría y potencia de enlace por hilo	3,00	u	48,00	144,00	144,00		144,00
	Valor Total de Infraestructura necesaria para Troncal Principal				**88718,37**			
	Valor Infraestructura específica requerida para Troncal Principal					**30629,68**		
	Valor de Infraestructura existente coincidente con requerimiento de Troncal Principal						**71703,28**	
	Valor de Inversión específica requerida para Troncal Principal							**17015,09**

***** Precios unitarios y de mercado vigentes en primer semestre de 2008

Tabla 6: Requerimiento de Inversión de enlace de Troncal de acceso (cable de 24 hilos)

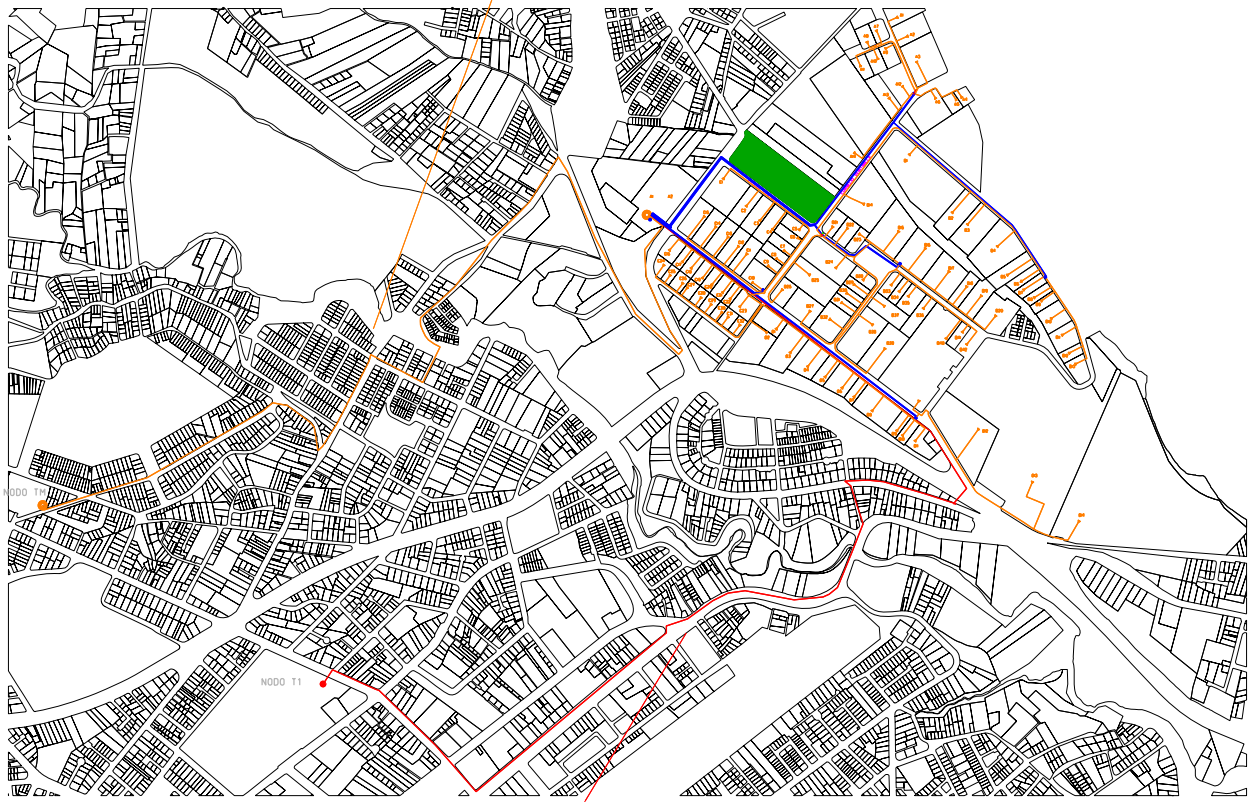
Ítem	Rubros Red Troncal	Precio unitario *	Unidad	Cantidad	Infraestructura total	Infraestructura específica	Infraestructura existente	Infraestructura a construir
1	Costo canalización subterránea 2 vías 110 mm	19,00	m	540,20	10263,80	1710,63	10263,80	
2	Costo de poliducto de 3 vías	1,40	m	540,20	756,28	252,09	756,28	
3	Costo de construcción de cámara subterránea	500,00	u	2,00	1000,00	100,00	1000,00	
4	Costo de identificación por cámara	1,88	u	2,00	3,76	3,76		3,76
5	Paso de guía - alambre galvanizado	0,13	m	548,43	71,30	71,30		71,30
6	Costo de tendido de poliducto - 3 vías	0,67	m	540,20	361,93	120,64		361,93
8	Costo de tendido de cable de fibra óptica	0,32	m	543,00	173,76	173,76		173,76
9	Colocación de acoples y tapones en poliducto	3,43	u	4,00	13,72	13,72		13,72
10	Costo de manga de acceso	900,00	u	1,00	690,00	690,00		690,00
10	Costo de ODF de 12 puertos (incluye pigtails, adaptadores, kit de montaje)	460,00	u	1,00	460,00	460,00		460,00
11	Costo de montaje de ODF 12 fibras	40,00	u	1,00	40,00	40,00		40,00
12	Costo patch cords	8,00	u	96,00	768,00	768,00		768,00
13	Costo cable fibra óptica SM12 G.652	1,60	m	543,00	868,80	868,80		868,80
14	Etiquetado de cables	1,88	u	4,00	7,52	7,52		7,52
15	Colocación de consola - portaconsola en cámaras telefónicas	5,93	u	1,00	5,93	5,93		5,93
16	Pruebas de Reflectometría y potencia de enlace por hilo	3,00	u	12,00	36,00	36,00		36,00
	Valor Total de Infraestructura necesaria para Troncal Principal				**15520,80**			
	Valor Infraestructura específica requerida para Troncal Principal					**5322,16**		
	Valor de Infraestructura existente coincidente con requerimiento de Troncal Principal						**12020,08**	
	Valor de Inversión específica requerida para Troncal Principal							**3500,72**

***** Precios unitarios y de mercado vigentes en primer semestre de 2008

Tabla 7: Requerimiento de Inversión de enlace de Troncal de acceso (cable de 12 hilos)

PLANOS

ENLACE TRONCAL PRINCIPAL



ENLACE TRONCAL RESPALDO

DISENO DE UN PROTOTIPO DE DESPLIEGUE FTTx PARA EL SECTOR INDUSTRIAL

DICIEMBRE 2008	PLANO 1.1	PROTOTIPO FTTX
MAESTRIA TELEMATICA		Pablo Astudillo Vasconez Felix Gonzalez Martinez
UNIVERSIDAD DEL AZUAY		CUENCA-ECUADOR

F:\PLANO 1_1.dgn 19/12/2008 14:00:12

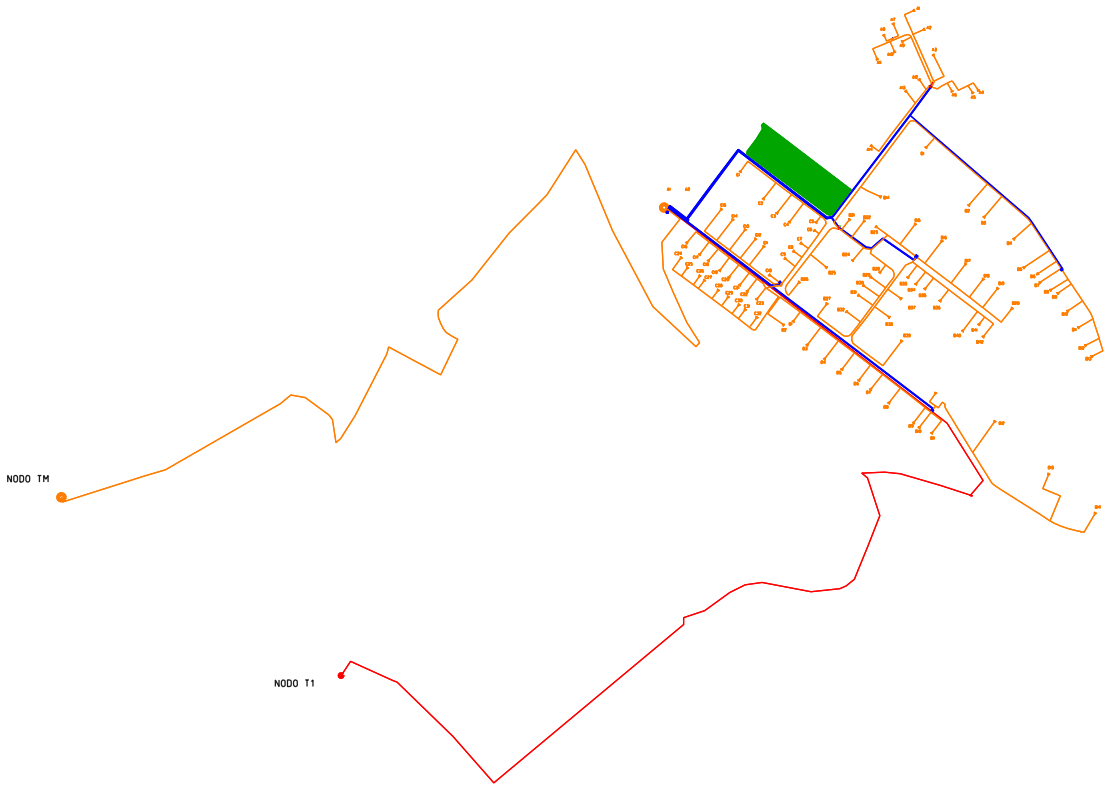


DIAGRAMA UNIFILAR DE IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO FTTx PARA EL SECTOR INDUSTRIAL DE CUENCA

DICIEMBRE 2008	PLANO 1.2	PROTOTIPO FTTX
MAESTRIA TELEMATICA		Pablo Astudillo Vasconez Felix Gonzalez Martinez
UNIVERSIDAD DEL AZUAY		CUENCA-ECUADOR

F:\PLANO 1_1.dgn 19/12/2008 13:54:54

ANEXO 2

ANEXO 2

2.1 LEVANTAMIENTO DE CLIENTES POTENCIALES

CLIENTE POTENCIAL	CLIENTE	SUBSECTOR	Centro de carga de clientes	LONGITUD ACOMETIDA (m)
1	No identificado	A1	E.1.1.1	204
2	PARMALAT	A2	E.1.1.1	165
3	PARMALAT	A3	E.1.1.1	101
4	Pinturas VHP	A4	E.1.1.1	143
5	SUMESA	A5	E.1.1.1	121
6	Elaborados de carne S.A	A6	E.1.1.1	66
7	Cresval (envases plásticos)	A7	E.1.1.1	221
8	No identificado, nave sin letreros, bodegas	A8	E.1.1.1	206
9	No identificado, nave sin letreros, bodegas	A9	E.1.1.1	151
10	No identificado, nave sin letreros, bodegas	A10	E.1.1.1	201
11	No identificado, nave sin letreros, bodegas	A11	E.1.1.1	252
12	Parmalat	A12	E.1.1.1	44
13	No identificado, nave sin letreros, bodegas	A13	E.1.1.1	99
14	Cartopel	A14	E.1.1.1	212
15	Inserkota Cia. Ltda	B1	E.1.1.2	446
16	Sintecuero S.A	B2	E.1.1.2	319
17	La Europea	B3	E.1.1.2	278
18	MZ Muebles, Keramikos, Korchak Montenegro Cia. Ltda y Casa Comercial Almeida Cia. Ltda	B4	E.1.1.2	169
19	Hormicreto Cia. Ltda	B5	E.1.1.2	118
20	Balanceados el Rancho	B6	E.1.1.2	71
21	National Sales Cia. Ltda	B7	E.1.1.2	59
22	Pingüino	B8	E.1.1.2	75
23	Deposito Industrial	B9	E.1.1.2	77
24	Fabrica Orellana	B10	E.1.1.2	128
25	C3 Cia. Ltda	B11	E.1.1.2	171
26	Muebleria Diseño Confort	B12	E.1.1.2	217
27	Autoparts Japones S.A	B13	E.1.1.2	240
28	Plastivac	B14	E.1.2	394
29	Colineal	B15	E.1.2	100
30	Cerámica y Porcelana Monte Turi	B16	E.1.2	89
31	Cuenca Bottling Co.	B17	E.1.2	154
32	Carrocerías Olímpica	B18	E.1.2	205
33	AGA	B19	E.1.2	247
34	Mopalex Cia. Ltda (Nilo)	B20	E.1.2	290
35	Adheplast S.A	B21	E.1.2	241
36	Nutri Leche	B22	E.1.2	235
37	Nutri Leche	B23	E.1.2	114
38	Nutri Leche	B24	E.1.2	183
39	Nutri Leche	B25	E.1.2	362
40	Nave 202, varias industrias.	B26	E.1.2	447
41	No identificado	B27	E.1.2	513
42	Comercializadora JCEV	B28	E.1.2	203
43	Isollanta	B29	E.1.2	294
44	Intense, CICLA, Pelicano	B30	E.1.2	301
5	No identificado	B31	E.1.2	325

CLIENTE POTENCIAL	CLIENTE	SUBSECTOR	Centro de carga de clientes	LONGITUD ACOMETIDA (m)
46	Levapan	B32	E.1.2	381
47	Vidrart Cia. Ltda	B33	E.1.2	55
48	Dispegui Cia. Ltda	B34	E.1.2	80
49	Pastificio Tomebamba (2-91)	B35	E.1.2	108
50	No identificada	B36	E.1.2	144
51	No identificada	B37	E.1.2	126
52	Colineal	B38	E.1.2	196
53	Varias empresas	B39	E.1.2	367
54	Adheplast S.A (2-29)	B40	E.1.2	244
55	Talleres Fausto Mata	B41	E.1.2	235
56	Talleres Fausto Mata	B42	E.1.2	278
57	Grupo Ortíz	C1	E.2.0	70
58	Grupo Ortíz	C2	E.2.0	70
59	Lafabril	C3	E.2.0	430
60	Metal mecánica NN	C4	E.2.0	362
61	Nutri Leche	C5	E.2.0	317
62	No identificado	C6	E.2.0	285
63	Mundiplast	C7	E.2.0	207
64	Constructora Inmocayas	C8	E.2.0	158
65	Caucho industrial LRP	C9	E.2.0	121
66	Fibro Acero	C10	E.2.0	104
67	No identificado	C11	E.2.0	80
68	Grupo Ortíz	C12	E.2.0	32
69	Proarmetal	C13	E.2.0	130
70	Laboratorios Gil	C14	E.2.0	156
71	Platería Narváez	C15	E.2.0	204
72	Centro de Distribución PRONACA	C16	E.2.0	232
73	Sin identificación	C17	E.2.0	266
74	Empresa maderera no identificada	C18	E.2.0	265
75	La Italiana	C19	E.2.0	232
76	CHI-VIT	C20	E.2.0	201
77	KR	C21	E.2.0	170
78	Aktuell mobell S.A	C22	E.2.0	146
79	Destilería Zhumir	C23	E.2.0	111
80	Durallanta (Renovado en Frío)	C24	E.2.0	92
81	Sin identificación	C25	E.2.0	66
82	Sin identificación	C26	E.2.0	418
83	La Italiana	C27	E.2.0	401
84	Centro de Bordados Cuenca	C28	E.2.0	367
85	Señal X	C29	E.2.0	347
86	Deposito de Material (Desconocido)	C30	E.2.0	300
87	J.C.C	C31	E.2.0	281
88	J.C.C	C32	E.2.0	256
89	Fortaflex Colchones el Cisne	D1	E.2.1.1.2	405
90	No identificada	D2	E.2.1.1.2	532

CLIENTE POTENCIAL	CLIENTE	SUBSECTOR	Centro de carga de clientes	LONGITUD ACOMETIDA (m)
91	Adapaustro y 14 empresas pequeñas	D3	E.2.1.1.2	370
92	Surpacific - Aguas las Rocas	D4	E.2.1.1.2	316
93	Radiadores Lupi	D5	E.2.1.1.2	273
94	Fibro Acero (Ecogas) S.A	D6	E.2.1.1.2	220
95	Colineal (Exedentes)	D7	E.2.1.1.2	187
96	Colineal (Exedentes)	D8	E.2.1.1.2	132
97	Molinos Imperial (Taller de Torno)	D9	E.2.1.1.2	72
98	Molinos Imperial	D10	E.2.1.1.2	60
99	Distribuciones de Victor Moscoso e Hijos	D11	E.2.1.1.2	73
100	SECAP	D12	E.2.1.1.2	590
101	Cerámica Graiman	D13	E.2.1.1.2	620
102	Compañía Ecuatoriana del Caucho	D14	E.2.1.1.2	650

Tabla 1: Levantamiento de clientes potenciales en área de cobertura

2.2 Presupuesto de enlace de Acometidas

El presupuesto de enlace para el tramo de distribución considerado desde el punto de carga de clientes hasta el punto de terminación de cliente se despliega en la **Tabla 2**, para el cálculo, debido a la variada longitud de las acometidas, se tomó como referencia los valores máximo, promedio y mínimo.

Pese a que los sistemas xPON requieren el empleo de un solo hilo de fibra óptica, el cable seleccionado es de dos hilos, para considerar el establecimiento de acometidas a naves industriales con más de un negocio, o ante el requerimiento de otro tipo de aplicaciones independientes de la distribución de servicios por parte de la Empresa, aplicaciones como seguridad, señalización de tránsito, alquiler a otros operadores, etc.

Los valores resultantes de los presupuestos de enlace son bajos (máximo 0,96 dB), sin embargo, en la práctica, debido a la necesidad de múltiples amoldamientos del cable a la infraestructura de los clientes, situaciones que implican radios de curvatura reducidos y stress del medio óptico, es necesario que al valor calculado se le afecte por un factor que en términos prácticos se establece en 1,30, de esta manera, se tiene

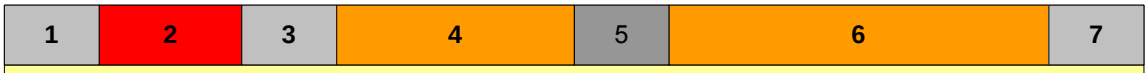
que el presupuesto de enlace para el tramo de máxima longitud tiene un techo de 1,25 dB.

Parámetro	Acometida de longitud máxima	Acometida de longitud promedio	Acometida de longitud mínima
Tipo de fibra óptica	Monomodo 2 hilos	Monomodo 2 hilos	Monomodo 2 hilos
Modalidad de tendido	mixto	mixto	mixto
Configuración del cable	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)	Loose tube (tubo holgado)
Standard	ITU - G.652	ITU - G.652	ITU - G.652
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1310	1310	1310
Atenuación típica por kilómetro (dB)	0,4	0,4	0,4
Longitud total del tramo a tender (m)	650	224	32
Pérdida de inserción típica por fusión (dB)	0,1	0,1	0,1
Número de fusiones en tramo tendido	2	2	2
Número de conectores en tramo	2	2	2
Pérdida de inserción típica por conector (dB)	0,25	0,25	0,25
Presupuesto de enlace en el tramo en 1310 nm	0,96	0,79	0,71
Presupuesto de enlace en el tramo en 1310 nm x 1.30	1,25	1,03	0,93
Longitud de onda (λ) en nanómetros (nm)	1550	1550	1550
Atenuación típica por kilómetro (dB)	0,35	0,35	0,35
Presupuesto de enlace en el tramo en 1550 nm	0,93	0,78	0,71
Presupuesto de enlace en el tramo en 1550 nm x 1,30	1,21	1,01	0,92

Tabla 2: Presupuesto de enlace de acometidas a clientes.

2.3 Presupuesto de enlace total

El presupuesto de enlace total hace referencia al valor de pérdidas acumulativas establecido en los distintos tramos de la red pasiva a los extremos de los interfaces ópticos de los equipos activos (OLT del lado del Centro topológico de carga y ONT del lado del cliente). En la **figura 1** se observan los elementos que intervienen en el cálculo mencionado. En la **Tabla 3** se encuentra el cálculo, tomando en cuenta los valores máximos de las acometidas, para cada enlace troncal de acceso.



1. Atenuación de **patch cord** existente entre interfaz óptico de salida de OLT y entrada de spliter con relación 1:64
2. Atenuación debida a **spliter** con relación 1:64 en rango de 1260 nm – 1360 nm y 1480 nm – 1580 nm.
3. Atenuación producida por **patch cord** existente entre puerto de salida de spliter y puerto de entrada de ODF de Red Troncal de Acceso.
4. Atenuación debida a **Red Troncal de Acceso**.
5. Atenuación debida a **fusión o conexión mecánica** entre Red Troncal de Acceso y Acometida (llevada a efecto en la manga de acceso).
6. Atenuación producida por la **Acometida** (se considera la longitud máxima).
7. Atenuación debida a **patch cord** entre acometida e interfáz óptico en ONT.

Figura 1: Elementos de la Red óptica pasiva que intervienen en cálculo de presupuesto de enlace total.

Parámetro	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.1.1.1 (dB)	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.1.1.2 (dB)	Troncal acceso - Tramo E.0 a E.1.2 (dB)
Troncal de acceso, 1310 nm	1,06	1,23	1,00
Troncal de acceso, 1550 nm	1,01	1,16	0,97
Acometida máxima, 1310 nm	1,25	1,25	1,25
Acometida máxima, 1550 nm	1,21	1,21	1,21
Patch cord (unión entre interfaz OLT y ODF de troncal de acceso)	1,00	1,00	1,00
Atenuación introducida por splitter con relación 1:64 en rangos de 1260 – 1360nm y 1480 – 1580nm	20	20	20
Presupuesto de enlace total, 1310 nm	23,31	23,47	23,25
Presupuesto de enlace total , 1550 nm	23,22	23,37	23,17
Parámetro	**Troncal acceso - Tramo E.0 a E.2.0 (dB)**	**Troncal acceso - Tramo E.0 a E.2.1.1.2 (dB)**	**Troncal acceso - Tramo E.0 a E.2.1.2 (dB)**
Troncal de acceso, 1310 nm	0,76	1,00	0,92
Troncal de acceso, 1550 nm	0,75	0,97	0,89
Acometida máxima, 1310 nm	1,25	1,25	1,25
Acometida máxima, 1550 nm	1,21	1,21	1,21
Patch cord (unión entre interfaz OLT y ODF de troncal de acceso)	1,00	1,00	1,00
Atenuación introducida por splitter con relación 1:64 en rangos de 1260 – 1360nm y 1480 – 1580nm	20	20	20
Presupuesto de enlace total, 1310 nm	23,01	23,25	23,17
Presupuesto de enlace total , 1550 nm	22,96	23,17	23,10

Tabla 3: Presupuesto de enlace total de la red óptica pasiva contemplando los segmentos de Red Troncal de Acceso, etapa de splitters y acometidas de longitud máxima.

2.4 Inversión total requerida en la Red Óptica Pasiva

La inversión total correspondiente a la red óptica pasiva (excluyendo el costo de los equipos a montar en el Centro Topológico de carga y del lado del cliente) considerando una implementación de la totalidad y del 50 % del prototipo se presenta en la **Tabla 4.**

Ítem	**Descripción de Rubros de Red Óptica Pasiva**	Despliegue 100% (USD)	Despliegue 50%(USD)
1	Enlace Troncal Principal	10934,98	0,00
2	Enlace Troncal de Respaldo	11785,96	11785,96
3	Enlace Troncal de Acceso (cable de 48 hilos)	5504,24	5504,24
4	Enlace Troncal de Acceso (cable de 24 hilos)	17159,09	12330,76
5	Enlace Troncal de Acceso (cable de 12 hilos)	3500,72	0,00
6	Materiales de Acometidas	26978,80	13489,40
7	Instalación de Acometidas	9661,76	4830,88
8	Splitters	4850,94	4850,94
Inversión total requerida para Red Óptica Pasiva		**90376,50**	**52792,1749**
Inversión total requerida por cliente (total de acometidas 102)		**886,04**	**1035,14**

Tabla 4: Inversión total requerida correspondiente a la Red Óptica Pasiva (se excluye costo de equipos).

ANEXO 3

ANEXO 3

3.1 Características de los Equipos Activos

En referencia al equipamiento activo que sustenta los servicios de Telecomunicaciones distribuidos por la Red Óptica Pasiva, es necesario para su elección tener en cuenta los parámetros de elección citados en la **Tabla 1**.

Ítem	OLT	ONT	Descripción
1	x	x	Velocidad binaria (Sentido descendente / ascendente) respetando UIT-T G.984
2	x	x	Relación de división de splitter soportada
3	x	x	Potencia media inyectada MIN (expresado en dBm y respetando UIT-T G.984.2)
4	x	x	Potencia media inyectada MAX (expresado en dBm y respetando UIT-T G.984.2)
5	x	x	Sensibilidad mínima (expresado en dBm y respetando UIT-T G.984.2)
6	x	x	Sobrecarga Mínima (expresado en dBm y respetando UIT-T G.984.2)
7	x	x	Clase de Red óptica pasiva a servir (UIT-T G.984.2)
8	x	x	Distancia diferencial (expresada en Km)
9	x	x	Consumo de energía a plena carga (W)
10	x	x	Dimensiones (para modelar espacio requerido para su montaje)
11	x		Tipo de interfaz óptico hacia oficina central
12	x		Interfaz óptico hacia splitter
13		x	Interfaz óptico hacia ONT
14		x	Interfaces ópticos y/o eléctricos hacia cliente
15	x	x	Tipo de Gestión (SNMP, GUI, esquema de licenciamiento, Gestión de eventos y reportes)
16	x		Redundancia en fuentes de energía y tarjetas de control
17	x	x	Actualización de software remoto y sin corte de servicio
18	x		Capacidad en tarjetas de acceso óptico
19		x	Interoperabilidad completa con OLT de otros fabricantes
20	x		Provisión de repuestos por un período de al menos 5 años

3.1.1 Características del equipo OLT

En la elección del OLT es imprescindible considerar alternativas robustas desde el punto de vista de aprovisionamiento de energía, redundancia en control, interfaces, sincronismo y variedad de tarjetas de acceso soportadas, por lo que se optó por la plataforma de servicios de acceso en fibra óptica modelo MA5680T fabricada por la empresa Huawei.

El equipo considerado presenta una estructura de control y energía redundante, así como la posibilidad de varios servicios a nivel de acceso de fibra óptica, como son GPON, P2P y E1; en el plano de control presenta un backplane con una capacidad de procesamiento de 1 Terabit y de 10 Gbit a nivel de cada tarjeta de acceso. Totalmente equipado tiene la posibilidad de contar con 64 puertos GPON, 256 puertos P2P del tipo Fast Ethernet y 256 E1.

Un factor importante a considerar es la interoperabilidad del MA5680T con ONTs de diferentes fabricantes, habiéndose comprobado esta característica con marcas como: Lambda, Siemens, Terawave, Fujitsu, Cambridge en septiembre de 2006 en las pruebas coordinadas por FSAN, sin embargo las pruebas fueron replicadas en junio de 2007 ampliándose la interoperabilidad con ONT de otros fabricantes.

En la **figura 1** y **Tabla 2**, se muestran las características del equipo considerado.

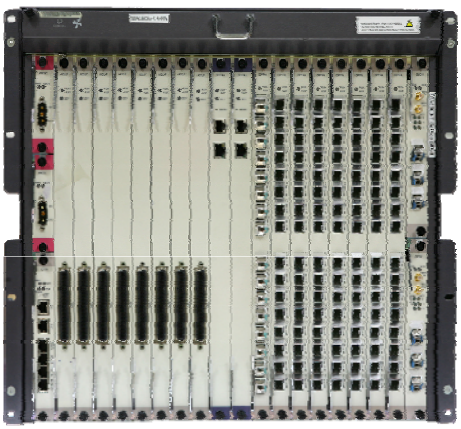


Figura 1: OLT Huawei MA5680T

Ítem	Descripción
Voltaje de Trabajo DC	Voltaje: -48/-70V. Extremos: -38.4V a -72V
Rango de Velocidades por puerto GPON	Velocidad de downstream hasta 2.488 Gbps y velocidad de upstream hasta 1.244 Gbps
Número de puertos GPON permitidas por unas sola tarjeta	2/4
Consumo de Potencia a Máxima Carga	Menor a 1500 W
Dimensiones	19" x 21"
Distancia Máxima	20 Km.
Relación del Spliter	1:64
Distribución del Ancho de Banda	Soporta una Asignación de Ancho Dinámica (DBA) con granularidad de 64Kbps
Marca	Huawei
Modelo	MA5680T
Tarjetas de Control	2 (redundantes)
Gestión	SNMP, GUI , se gestionan los ONT interoperables
Capacidad en tarjetas de servicio	16
Capacidad GPON	64 puertos de 64 usuarios (total 4096 usuarios)
Capacidad P2P FE Mbps	256
Capacidad en E1	256
Potencia media inyectada (MIN)	+ 0,5 dBm
Potencia media inyectada (MAX)	+ 5 dBm
Sensibilidad mínima	-27 dBm
Sobrecarga mínima	-8 dBm

Tabla 2: Características de OLT MA5680T

3.1.2 Características de los equipos de usuario (ONT)

Dependiendo de los servicios a brindar, existe una amplia variedad de equipos de usuario, observando que para el presente análisis se ha recurrido a la cartera de productos ONT de la empresa Huawei, sin embargo, al existir la tendencia y requerimiento de FSAN y la UIT, los fabricantes en general, han realizado pruebas de interoperabilidad con OLT de distinto origen, por lo que a la hora de la elección es importante tener este punto en consideración.

El equipo ONT básico HG810 alberga dos interfaces, el primero, a nivel óptico se comunica con el OLT, teniendo la posibilidad de ser provisto en varios tipos de conector (FC, LC, SC, etc.), siendo el más difundido el tipo SC, en cuanto al interfaz de abonado este equipo contiene un puerto eléctrico Ethernet 10/100. En la **figura 2** y **Tabla 3** se detallan las características del equipo indicado.

Figura 2: ONT Huawei HG810

Ítem	Descripción
Estándar	Cumple con el estándar GPON ITU-T G.984
Velocidad de transferencia de Datos	Velocidad de downstream hasta 2.488 Gbps y velocidad de upstream hasta 1.244 Gbps
Interfases Externas	WAN: Una Interfaz GPON LAN: Un interfaz 10/100 Base-T
Consumo de Potencia	Menor a 6 W
Temperatura de Operación	10 a 50ºC
Humedad no Condensada	5 a 95%
Dimensiones (LxWxH)	212mm x 163mm x 45mm
Peso Neto	Menor a 0.5 Kg.
Leds Indicadores	POWER, LINK, AUTH, LAN
Marca	Huawei
Modelo	HG810
Potencia media inyectada (MIN)	+ 1.5 dBm
Potencia media inyectada (MAX)	+ 5 dBm
Sensibilidad mínima	-28 dBm
Sobrecarga mínima	-8 dBm

Tabla 3: Características de la ONT Huawei modelo HG810, equipada con un interfaz óptico GPON y un interfaz eléctrico RJ-45 10/100 Base-T

Además del equipo HG810, en el portafolio de Huawei se encuentran otros equipos a nivel GPON, P2P y VDSL compatibles con la plataforma MA5680T, algunos de los cuales se presentan en la tabla, observando que para el caso de los equipos GPON la variación sustancial es en el número y tipo de interfaces de usuario, en la **Tabla 4** se observan los modelos y características principales.

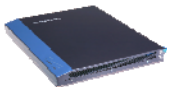
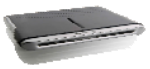
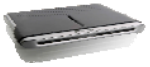
Sistema	Descripción	Gráfico
ONT GPON HG850	4 Puertos 10/100 Base-T 2 Puertos POTS GPON OMCI	
ONT GPON OT925	1 Puerto 10/100/1000 Base-T 4 Puertos 10/100 Base-T 4 Puertos E1/T1	
ONT GPON HG863	4 Puertos 1000 Base-T RF (opcional) GPON OMCI	
ONT GPON HG866	Router 4 Puertos 1000 Base-T 2 Puertos POTS RF (Opcional) WiFi (Opcional) GPON OMCI	
P2P ONT ETX102	1 Socket FE 4 Puertos 10/100 Base-T	
TERMINAL VDSL2 HG510V	Puerto VDSL2 4 Puertos 10/100 Base-T Incluye función de ruteo	
TERMINAL VDSL2 HG510Vi	Puerto VDSL2 (ISDN) 4 Puertos 10/100 Base-T Incluye función de ruteo	
TERMINAL VDSL2 HG520V	Puerto VDSL2 4 Puertos 10/100 Base-T 1 Puerto USB	

Tabla 4: Equipos de usuario marca Huawei compatibles con OLT MA5680T

3.2 Características de los equipos activos (OLT y ONT) en base a Recomendación UIT-T G.984.2

Receptor OLT							
Elemento	**Unidad**	**Fibra única**			**Fibra doble**		
Máxima reflectancia de equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que –20			menor que –20		
Tasa de errores en los bits	–	menor que 10^{-10}			menor que 10^{-10}		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	–24	–28	–29	–24	–28	–29
Sobrecarga mínima	dBm	–3	–7	–8	–3	–7	–8
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	–	NA			NA		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		

Tabla 5: Parámetros de la interfaz óptica a 1244 Mbit/s en sentido ascendente tomado del cuadro 2f-l correspondiente a la norma UIT-T G.984.2 (marzo de 2003).

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
Transmisor ONU							
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	–2	–2	+2	–2	–2	+2
Potencia media inyectada MÁX	dBm	+3	+3	+7	+3	+3	+7
Receptor OLT							
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	–23	–28	–29	–23	–28	–29
Sobrecarga mínima	dBm	–8	–13	–14	–8	–13	–14
NOTA 1 – En este cuadro se indican únicamente los parámetros del cuadro 2f-1 que se modifican por la aplicación del mecanismo de nivelación de potencia en el transmisor ONU, concretamente las potencias inyectadas del transmisor ONU y la sensibilidad y sobrecarga del receptor OLT. Los demás parámetros y notas son idénticos a los del cuadro 2f-1.							

Tabla 6: Parámetros de la interfaz óptica a 1244 Mbit/s en sentido ascendente tomado del cuadro 2f-l correspondiente a la norma UIT-T G.984.2 (marzo de 2003), se diferencia de la tabla 5 al utilizar un mecanismo de nivelación de potencia en el transmisor ONU.

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
Transmisor OLT							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	2488,32			2488,32		
Longitud de onda de trabajo	nm	1480-1500			1260-1360		
Código de línea	–	NRZ seudoaleatorizado			NRZ seudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 2			Figura 2		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	NA			NA		
Mínima ORL de ODN en O_{lu} y O_{ld} (Notas 1 y 2)	dB	mayor que 32			mayor que 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	0	+5	+3	0	+5	+3
Potencia media inyectada MÁX	dBm	+4	+9	+7	+4	+9	+7
Potencia óptica inyectada sin entrada en el transmisor	dBm	NA			NA		
Relación de extinción	dB	mayor que 10			mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	mayor que –15			mayor que –15		
Si el láser es MLM – Máxima anchura eficaz	nm	NA			NA		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB (Nota 3)	nm	1			1		
Si el láser es SLM – Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
Receptor ONU							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que –20			menor que –20		
Tasa de errores en los bits	–	menor que 10^{-10}			menor que 10^{-10}		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	–21	–21	–28	–21	–21	–28
Sobrecarga mínima	dBm	–1	–1	–8	–1	–1	–8
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	–	Figura 5			Figura 5		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		

Tabla 7: Parámetros de la interfaz óptica a 2488 Mbit/s en sentido descendente tomado del cuadro 2c correspondiente a la norma UIT-T G.984.2 (marzo de 2003).

ANEXO 4

4.1 FORMATO PARA INSPECCION DE FACTIBILIDAD
INSTALACION DE ACOMETIDA EN FIBRA OPTICA

Número de orden:
Fecha:
Cliente potencial:
Dirección (adjuntar croquis):
Teléfono:
Responsable:

Servicios requeridos Telefónía: _____ Internet: _____ Datos: _____

Nodo de acceso: _____

Distancia Nodo -Cliente (Levantamiento cartográfico) _____

Tipo de tendido: Aéreo (m): _____ Subterráneo (m): _____

Se requieren trabajos en Infraestructura civil (indicar):

Salida a poste (u): _____ Canalización (m): _____ Pasamuros (u): _____

Suministro de energía eléctrica:

Toma 110 VAC: _____ Toma 220VAC: _____ Toma 48 VDC: _____

Dispone de sistema de respaldo de energía. _____

Distancia de cable desde toma a ubicación final de ONT: _____

Ubicación de equipo terminal:

Dispone de lugar adecuado para montaje: _____

Requiere montaje en pared: _____

Adjuntar diagrama esquemático de solución, contemplando nodo, red pasiva, empalmes, distancias

Observaciones

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____ _____
Firma Responsable Firma de cliente potencial

4.2 FORMATO PARA COMISIONAMIENTO Y PRUEBAS DE ACOMETIDA EN FIBRA OPTICA

Número de orden:
Fecha:
Cliente : Número de contrato:
Dirección (adjuntar croquis):
Teléfono:
Responsable:

Fecha de Instalación y Comisionamiento:

Servicios comisionados Telefónía: Internet: Datos:

Resultado de mediciones:

Prueba	**Potencia (dBm)**			**Reflectometría***
	1310 nm	**1490 nm**	**1550 nm**	**(metros)**
Comisionamiento:				

* La reflectometría se realizará desde puerto óptico asignado para el splitter con equipo activo desconenctado

Observaciones:

Materiales empleados y pruebas efectuadas:

Firma Responsable

Firma de cliente

4.3 FORMATO PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO
DE ACOMETIDA EN FIBRA OPTICA

Número de orden:
Fecha:
Cliente : Número de contrato:
Dirección (adjuntar croquis):
Teléfono:
Responsable:

Fecha de evento:
Número de ticket de reclamo:
Número de evento del cliente:
Causa (consignada con cliente y call center)

Resultados de revisión:

Alimentación de energía eléctrica de ONT: Buen estado _____ Falla _____
Cableado de datos entre ONT y Equipo Usuario: Buen estado _____ Falla _____
Luces panel frontal de equipo (presenta alarma): _____
Ajuste de conector de fibra óptica a ONT : Buen estado _____ Falla _____
Inspección visual de fibra óptica entre caja terminal y ONT: _____

Comparación de parámetros ópticos con datos en comisionamiento:

Prueba	**Potencia (dBm)**			**Reflectometría***
	1310 nm	**1490 nm**	**1550 nm**	**(metros)**
Comisionamiento:				
Mantenimiento:				

* La reflectometría se realizará desde puerto óptico asignado para el splitter con equipo activo desconenctado

Diagnóstico y observaciones:

Materiales empleados y pruebas efectuadas:

Firma Responsable

Firma de cliente

GLOSARIO

APON: Red óptica pasiva que utiliza ATM

BPON: Broadband PON

CO: Oficina Central, es un Nodo de telecomunicaciones en el cual se establecen las conexiones entra la o las redes de acceso y el core.

EPON: Ethernet PON

ETAPA: Empresa Publica Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca.

FSAN: Full Service Access Network

GPON: Gigabit PON

OAM: Operación Administración y Mantenimiento

ODF: Optical distribution frame, Bandeja de conexión de fibra óptica.

OLP: Optical Laser Power meter, medidor de potencia óptica, equipo medidor de potencia óptica.

OLS: Optical Laser Source, fuente emisora de laser, equipo que emite en una longitud de onda determinada una potencia óptica constante.

OLT: Optical Line Terminal, equipo activo de Oficina central.

OSA: Optical Spectrum Analizer

OTDR: Optical Time Domain Reflectometer, Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo, equipo utilizado para el análisis del trayecto óptico en hilos de fibra óptica, presentando valores de atenuación y comportamiento del cable ante una determinada longitud de onda.

P2P: Punto a punto

PON: Passive optical network, Red optica pasiva

POTS: Plain Old Telephone Service

SM: Single Mode, Monomodo

TDM: Time Domain Multiplexing, Multiplexación en el dominio del tiempo

TDMA: Time Domain Multiplaxing Access, Acceso multiple por division de tiempo

TIR: Tasa Interna de Retorno

UIT: Unión Internacional de telecomunicaciones

VAN: Valor Actual Neto

VFL: Visible Fault Localizator, Localizador visual de fallas, equipo emisor de luz en espectro visible, utilizado para pruebas de continuadad en hilos de fibra óptica.

WACC: Costo Medio Ponderado de Capital, o Weighted Average Cost of Capital

BIBLIOGRAFIA

ADC Telecommunications	The Book on FTTX, From Design to Deployment: A practical guide to FTTX infrastructure. 2005
ANDERSON Duwayne R , JOHNSON Larry, Bell Florian	Troubleshooting Optical Fiber Networks. Elsevier Academic Press. 2004
CHINLON Lin	Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-home, Systems Technologies and Deployment Estrategies. John Wiley & Sons Ltd. 2006.
CORREA John	Redes PON FTTx. Tyco Electronics. 2007
ELLIOT Barry, GILMORE Mike	Fibre Optic Cabling, second edition. Newness. 2002
FTTH Council	Definitions of Terms. 2006
FARMER Jim, RAY Leonard	Fiber to the home – Overview and Technical Tutorial. FTTH Council. 2003
GREEN Paul E	Fiber to the Home White paper. 2003
GREEN Paul E	Fiber to the Home, The new Empowerment. Wiley Interscience. 2006
HAYES Jim	Fiber Optics Technician's Manual, 2nd Edition. Thomson Learning. [s.a]
IEC	Optical Access. The international engineering consortium. 2006

KARTALOPOULUS Stamatios	Next Generation Intelligent Optical Networks. From Access to Backbone. Springer Science+Business Media. 2008
KRAMER Glen	Ethernet Passive Optical networks. McGraw-Hill Professional Enginnering. 2005
KUNIGONIS Michael	FTTH Explained: Delivering efficient customer bandwith and enhanced services. Cornig Cable Systems. [s.a]
VACA John	Optical Networking, Best Practices Handbook. Wiley Interscience. 2007
UIT-T	UIT-T G.984.1. Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2006
UIT-T	UIT-T G.984.2. Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2006
UIT-T	UIT-T G.652. Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2006