

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED FTTH EN UN CAMPUS
UNIVERSITARIO Y UNA VIVIENDA RESIDENCIAL”**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que
presenta el bachiller:

Arturo Osvaldo Ojeda Sotomayor

ASESOR: Ing. Marco Mayorga Montoya

Lima, mayo del 2009

RESUMEN

El presente trabajo consta de tres capítulos: “Marco Teórico”, “Diseño de una red FTTH en un Campus Universitario y una Vivienda Residencial” y “Análisis Económico de la Factibilidad de redes FTTH vs. redes de cobre ADSL”.

El primer capítulo abarca un estudio de las tecnologías involucradas en el despliegue de una red FTTH, de las cuales se destaca el empleo de las Redes Óptica Pasivas como solución económica y eficaz ante el problema del acceso de banda ancha en la última milla. Posteriormente, se detalla la descripción de sus estándares: APON, BPON, GPON, EPON y GEPON, como también los tipos de instalación y los servicios que pueden ofrecer esta tecnología.

En el segundo capítulo se realiza el diseño de la red FTTH en dos escenarios: un campus universitario y una vivienda residencial, donde se detalla para cada uno las principales consideraciones técnicas a aplicar en su diseño, según las normas vigentes que regulan su implementación.

El tercer capítulo consta de un análisis de la propuesta planteada a través del árbol de problemas y el árbol de objetivos como medio para justificar su desarrollo y posterior implementación. A continuación, se plantea la propuesta económica de la red para cada tipo de medio a utilizar en su implementación: fibra óptica (red FTTH) y cobre (red ADSL). Posteriormente, se realiza un estudio de mercado del servicio Triple Play a través de una encuesta a la comunidad universitaria de la Pontificia Universidad Católica del Perú para estimar el precio que el público estaría dispuesto a pagar por el servicio. Finalmente, para determinar la viabilidad del proyecto se lleva a cabo el análisis de los factores económicos a través de los criterios de evaluación de proyectos.

Las conclusiones obtenidas al final de la propuesta reflejan la importancia que tiene este proyecto para la sociedad y la alta rentabilidad para las operadoras de telecomunicaciones que apuesten por esta tecnología, razones por las cuales hacen de esta propuesta una opción viable para su implementación en un futuro no muy lejano.





INDICE

Índice	iv
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
Lista de acrónimos	xii
Introducción	14
Capítulo 1 Marco Teórico	16
1.1 Redes de Fibra Óptica	17
1.2 Clasificación de arquitecturas de redes de fibra óptica	17
1.2.1 Arquitecturas de red FTTH	19
1.2.1.1 Mapa conceptual FTTH	20
1.2.2 Arquitecturas de redes activas y pasivas	21
1.3 Redes Ópticas Pasivas (PON)	22
1.3.1 Características de las redes PON	23
1.3.2 Estructura y funcionamiento de las redes PON	23
1.3.3 Estándares XPON	25
1.3.3.1 APON	25
1.3.3.2 BPON	26
1.3.3.3 GPON	26
1.3.3.4 EPON	27
1.3.3.5 GEPON	28
1.4 Instalación de la red FTTH	29
1.4.1 Instalaciones en el terreno	29
1.4.2 Instalaciones aéreas	30
1.5 Servicios FTTH	31
1.5.1 Triple-play	32
Capítulo 2 Diseño de una Red FTTH en un Campus Universitario y en una Vivienda Residencial.....	33

2.1	Descripción de los escenarios propuestos para el diseño de la red FTTH.....	34
2.2	Descripción Técnica del escenario: Campus universitario.....	35
2.2.1	Descripción de la aplicación, requerimientos de ancho de banda, y tipo de tecnología a utilizar.....	35
2.2.2	Planteamiento de alternativas y definición de la solución técnica para cada escenario	37
2.2.3	Determinación y descripción de la ruta; tipos de tendido efectuado en cada tramo; y ubicación de las cajas de empalme	39
2.2.4	Cálculos de atenuación y ancho de banda de la fibra óptica....	42
2.2.5	Método de Terminación de cables en el campus universitario .	51
2.2.5.1	Topología de red.....	51
2.2.5.2	Interconexión de equipos y terminación de red.....	51
2.3	Descripción Técnica del escenario: Vivienda residencial.....	54
2.3.1	Descripción de la aplicación, requerimientos de ancho de banda, y tipo de tecnología a utilizar.....	54
2.3.2	Planteamiento de alternativas y definición de la solución técnica para cada escenario	55
2.3.3	Determinación y descripción de la ruta; tipos de tendido Efectuado en cada tramo; y ubicación de las cajas de empalme.....	58
2.3.4	Cálculos de atenuación y ancho de banda de la fibra óptica....	60
2.3.5	Método de Terminación de cables en la vivienda residencial...	66
2.3.5.1	Topología de red.....	66
2.3.5.2	Interconexión de equipos y terminación de red.....	67
2.4	Equipamiento en el diseño de la red FTTH.....	69
2.5	Descripción técnica de la instalación de la red de acceso.....	72
2.5.1	Técnicas de instalación	72
2.5.1.1	Técnica de instalación aérea	72
2.5.1.2	Normas aplicadas para el tendido de cables en instalación aérea	76

2.5.1.3	Técnica de instalación subterránea en ductos.....	76
2.5.1.4	Normas aplicadas para el tendido de cables en instalación subterránea en ductos.....	77
2.5.2	Descripción técnica de la implementación de ductos y cámaras.....	78
2.5.3	Empalmes.....	79
2.5.3.1	Método de empalme.....	79
2.5.3.2	Normas aplicadas.....	80
2.5.4	Protocolo de medición de enlaces ópticos.....	81
2.5.4.1	Descripción de los equipos utilizados y su funcionamiento en pruebas de calidad de enlaces de fibra óptica.....	81
2.5.4.2	Normas aplicadas.....	82
2.6	Normas Legales.....	84
2.6.1	Normativa para redes e instalaciones de comunicaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.....	84
2.6.2	Trámites en obras públicas ante la municipalidad.....	84
Capítulo 3	Análisis Económico de la Factibilidad de Redes FTTH vs Redes de Cobre ADSL.....	85
3.1	Análisis de la propuesta a través del árbol de problemas y el árbol de objetivos.....	86
3.1.1	Árbol de problemas: De causas y efectos.....	86
3.1.2	Árbol de objetivos: De medios y fines.....	88
3.2	Propuesta económica de la red FTTH y de la red de cobre ADSL....	90
3.2.1	Fabricante, modelo, cantidad y precio de cada uno de los materiales a utilizar para el despliegue del servicio con tecnología FTTH.....	90
3.2.2	Fabricante, modelo, cantidad y precio de cada uno de los materiales a utilizar para el despliegue del servicio con tecnología ADSL basada en cobre.....	94
3.3	Muestreo mediante encuestas de la captación del servicio.....	98

3.4 Factibilidad de la propuesta a través de los criterios de evaluación de proyectos.....	100
CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	107



LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
FIGURA 1-1: ARQUITECTURA RED FTTX	18
FIGURA 1-2: ARQUITECTURA RED PASIVA Y/O ACTIVA	18
FIGURA 1-3: MAPA CONCEPTUAL FTTH	20
FIGURA 1-4: RED PTP	21
FIGURA 1-5: RED PON.....	22
FIGURA 2-1: RECORRIDOS DISPONIBLES DEL ESCENARIO.....	38
FIGURA 2-2: COMPONENTES DE LA RED FTTH DEL PRIMER ESCENARIO.....	43
FIGURA 2-3: TOPOLOGÍA DE RED DEL PRIMER ESCENARIO	51
FIGURA 2-4: TERMINACIÓN DE RED DEL PRIMER ESCENARIO	52
FIGURA 2-5: GABINETE DE TELECOMUNICACIONES	53
FIGURA 2-6: RECORRIDOS DISPONIBLES DEL ESCENARIO.....	56
FIGURA 2-7: COMPONENTES DE LA RED FTTH DEL SEGUNDO ESCENARIO.....	60
FIGURA 2-8: TOPOLOGÍA DE RED DEL SEGUNDO ESCENARIO	66
FIGURA 2-9: TERMINACIÓN DE RED DEL SEGUNDO ESCENARIO	68
FIGURA 2-10: MÉTODOS DE INSTALACIÓN MANUAL.....	72
FIGURA 2-11: INSTALACIÓN DE FERRETERÍA DE SUSPENSIÓN.....	73
FIGURA 2-12: INSTALACIÓN DE FERRETERÍA DE ANCLAJE.....	74
FIGURA 2-13: INSTALACIÓN DE FERRETERÍA DE RETENIDA	75
FIGURA 2-14: MÉTODO DE INSTALACIÓN POR TRACCIÓN MANUAL INTERMEDIA	77
FIGURA 3-1: ÁRBOL DE PROBLEMAS: DE CAUSAS Y EFECTOS	86
FIGURA 3-2: ÁRBOL DE OBJETIVOS: DE MEDIOS Y FINES	88

LISTA DE TABLAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
TABLA 1-1: RESUMEN DE LOS ESTÁNDARES XPON	28
TABLA 2-1: ALTERNATIVAS DE RUTA.....	39
TABLA 2-2: CRITERIOS DE DECISIÓN DE LA RUTA.....	39
TABLA 2-3: DETALLE DEL TENDIDO DE LA RUTA ESCOGIDA	40
TABLA 2-4: UBICACIÓN DE LAS CAJAS DE EMPALME	40
TABLA 2-5: LONGITUD DETALLADA DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA.....	41
TABLA 2-6: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO	42
TABLA 2-7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TARJETA OLT Y ONU.....	42
TABLA 2-8: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA	45
TABLA 2-9: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA.....	45
TABLA 2-10: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA	46
TABLA 2-11: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO.....	46
TABLA 2-12: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA PUCP.....	46
TABLA 2-13: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD.....	46
TABLA 2-14: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE.....	47
TABLA 2-15: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA	47
TABLA 2-16: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA.....	48
TABLA 2-17: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA PUCP.....	48
TABLA 2-18: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO.....	48
TABLA 2-19: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA	48
TABLA 2-20: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD.....	49
TABLA 2-21: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE.....	49
TABLA 2-22: RUTA PROPUESTA.....	58
TABLA 2-23: DETALLE DEL TENDIDO DE LA RUTA PROPUESTA	58
TABLA 2-24: UBICACIÓN DE LAS CAJAS DE EMPALME	58
TABLA 2-25: LONGITUD DETALLADA DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA.....	59

TABLA 2-26: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA	61
TABLA 2-27: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA	61
TABLA 2-28: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA	61
TABLA 2-29: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO	62
TABLA 2-30: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA VIVIENDA RESIDENCIAL	62
TABLA 2-31: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD	62
TABLA 2-32: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE	62
TABLA 2-33: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA	63
TABLA 2-34: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA	63
TABLA 2-35: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA VIVENDA RESIDENCIAL	63
TABLA 2-36: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO	64
TABLA 2-37: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA	64
TABLA 2-38: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD	64
TABLA 2-39: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE	64
TABLA 2-40: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	80
TABLA 2-41: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	80
TABLA 2-42: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LAS CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS	80
TABLA 2-43: CUADRO DE LAS ORGANIZACIONES ESTÁNDAR Y SUS FUNCIONES	83
TABLA 3-1: PRESUPUESTO DE LA RED FTTH	92
TABLA 3-2: PRESUPUESTO DE LA RED ADSL BASADA EN COBRE	95
TABLA 3-3: INVERSIÓN PARA LA EXPANSIÓN DEL SERVICIO RESIDENCIAL	101
TABLA 3-4: CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS PARA UN PERIODO DE 5 AÑOS	102
TABLA 3-5: ANÁLISIS MENSUAL DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN EN EL SEGUNDO AÑO	103

TABLA 3-6: ANÁLISIS MENSUAL DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN EN EL SEGUNDO AÑO CON EL 50% DE CLIENTES	103
--	-----



LISTA DE ACRÓNIMOS

ADSL	Asynchronous Digital Subscriber Line
ADSS	All Dielectric Self Supporting
ANSI	American National Standards Institute
APON	ATM Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Ratio
BPON	Broadband Passive Optical Network
CATV	Community Antenna Television
CEI	Comisión Eléctrica Internacional
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DSL	Digital Subscriber Line
EFM	Ethernet First Mile
EPON	Ethernet Passive Optical Network
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FSAN	Full Service Access Network
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber to the Curb
FTTH	Fiber to the Home
FTTN	Fiber to the Node
GEPON	Gigabit Ethernet Passive Optical Network
GFP	General Framing Procedure
GPON	Gigabit capable Passive Optical Network
HDTV	High Definition Television
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTV	Internet Protocol Television
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OAM	Operación, Administración y Mantenimiento
ODF	Optical Distribution Frame
OLT	Optical Line Terminal

ONU	Optical Network Unit
OPM	Optical Power Meter
OSI	Open System Interconnection
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer
PLOAM	Physical Layer Operation, Administration and Management
PON	Passive optical Network
PTP	Point To Point
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDTV	Standard Definition Television
SNMP	Simple Network Management Protocol
STB	Set Top Box
TDM	Time Division Multiple
TDMA	Time Division Multiple Access
TIA/EIA	Telecommunication Industries Association/Electronic Industries Association
TIR	Tasa Interna de Retorno
TROBA	Terminal de Red Óptica de Banda Ancha
VAN	Valor Actual Neto
VDSL	Very high data rate Digital Subscriber Line
VOD	Video On Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPL	Virtual Private Line
VPON	Video Passive Optical Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
ONU	Optical Network Unit

INTRODUCCION

En los últimos años se ha experimentado un gran desarrollo en el mercado de las telecomunicaciones debido a dos grandes factores: el incremento de competitividad entre empresas de telecomunicaciones y la aparición de nuevos servicios de banda ancha. Como resultado de estos dos factores se observa la necesidad de mejores redes de telecomunicaciones con capacidad de ofrecer un mayor ancho de banda a un menor costo.

La demanda cada vez mayor de los usuarios de un mayor ancho de banda ha hecho replantear las estrategias de los operadores de telecomunicaciones, comenzando así una carrera por el incremento de la velocidad de sus líneas. Frente a esta carrera entre operadores por brindar la mayor velocidad al mejor precio, se optó por utilizar tecnologías que compriman la información cada vez más para ocupar el menor ancho de banda. Dentro de estas tecnologías que explotan el bucle de abonado de cobre está ADSL; sin embargo, ADSL cuenta con una limitación técnica importante, el cual es que el máximo ancho de banda que puede ofrecer no puede superar los 8 Mbps en uplink y los 4 Mbps en downlink. Además, estos valores disminuyen drásticamente a medida que el usuario se aleja de la central. Posteriormente se crearon otras tecnologías más avanzadas que permitían mayores velocidades como ADSL2 (hasta 11 Mbps); ADSL2+ (hasta 24 Mbps); VDSL (hasta 52 Mbps); VDSL2 (hasta 100 Mbps).

Sin embargo, aunque estas tecnologías aportan un aumento en el ancho de banda ofrecido a los usuarios, las limitaciones de distancia a la central, que disminuyen el ancho de banda, siguen presentes. Es a este problema al que se le denominó "Problema de la última milla".

En la actualidad este problema de la última milla se ve reflejado en el acceso a internet, porque para esto ya no sólo son necesarios los elementos de hardware y software convencionales, sino también una gran dosis de paciencia.

Las velocidades actuales disponibles tanto para voz, datos y video dentro del mundo del internet son relativamente bajas. Esto se debe principalmente a que las líneas telefónicas, el medio utilizado por la mayoría de usuarios para conectarse a Internet, no fueron creadas para transportar vídeos, datos y otras aplicaciones que viajan por la red.

Un solución a este problema fue: en vez de seguir comprimiendo la información mediante tecnologías complejas que hacen a los equipos que las implementan cada vez más costosos, cambiar de medio de transmisión; es decir, no utilizar más el cobre en la última milla, y reemplazarla por fibra óptica. A este mecanismo de reemplazar el cobre por fibra en la última milla se le conoce como FTTH, que engloba varios términos dentro de los cuales el principal es FTTH o fibra hasta el hogar (del inglés *Fiber To The Home*).

Entre las arquitecturas FTTH cabe resaltar la arquitectura PON, que es una arquitectura pasiva que permite emplear elementos que no requieren de una alimentación externa como en el caso de los splitters ópticos. Además que permite abarcar distancias de hasta 20km desde la central hasta el abonado; permite un mayor ancho de banda, debido al empleo de la fibra óptica; incrementa la calidad de servicio por la característica de la fibra óptica de ser inmune a las interferencias electromagnéticas. Asimismo existen varias tecnologías PON como APON, BPON, GPON, EPON y GEPON, de las cuales las que se usan actualmente son EPON y GEPON por sus características de ser compatibles con la tecnología Ethernet.

Capítulo 1
Marco Teórico



1.1 Redes de Fibra Óptica

Las redes de fibra óptica son utilizadas como una alternativa de solución ante el problema de la última milla debido a las propiedades que posee la fibra óptica como medio de transmisión. Entre las principales propiedades de este medio de transmisión, se encuentra: un gran ancho de banda flexible capaz de ofrecer a los usuarios velocidades en el orden de los Gbps; mejora en la calidad de la señal debido a la inmunidad frente a las interferencias electromagnéticas; dimensiones más reducidas en el peso y tamaño de cada hilo de fibra óptica; y su compatibilidad con la tecnología digital.

El acceso de los abonados a este medio en diversas topologías es lo que se conoce como FTTX, donde un caso específico es FTTH o fibra hasta el hogar, en el que se reemplaza el cobre de la última milla por fibra óptica para llegar desde la central hasta el abonado con un único medio.

Por lo tanto son cada vez más las empresas que optan por utilizar las redes de fibra óptica, y aunque su precio no es todavía muy asequible para el público en general, existen países que ya la están implementando bajo el nombre de FTTH como es el caso de EEUU, Japón, Francia, España, Holanda, Inglaterra, Alemania, Corea del Sur, Chile. Cabe resaltar que es Corea del Sur, quien lleva la vanguardia en la implementación de esta tecnología.

1.2 Clasificación de arquitecturas de redes de fibra óptica

Las arquitecturas de redes de fibra óptica pueden clasificarse según su cercanía al domicilio, o según el empleo de elementos activos y/o pasivos en la misma.

La primera clasificación hace referencia al medio de transporte en el acceso a la última milla pudiendo ser éste, cobre, fibra óptica, o ambos; mientras que la segunda clasificación hace referencia a los elementos que conforman la red pudiendo ser estos últimos, elementos activos o pasivos.

- a. Por la cercanía del tramo de fibra al domicilio del abonado: Arquitecturas de red FTTX.

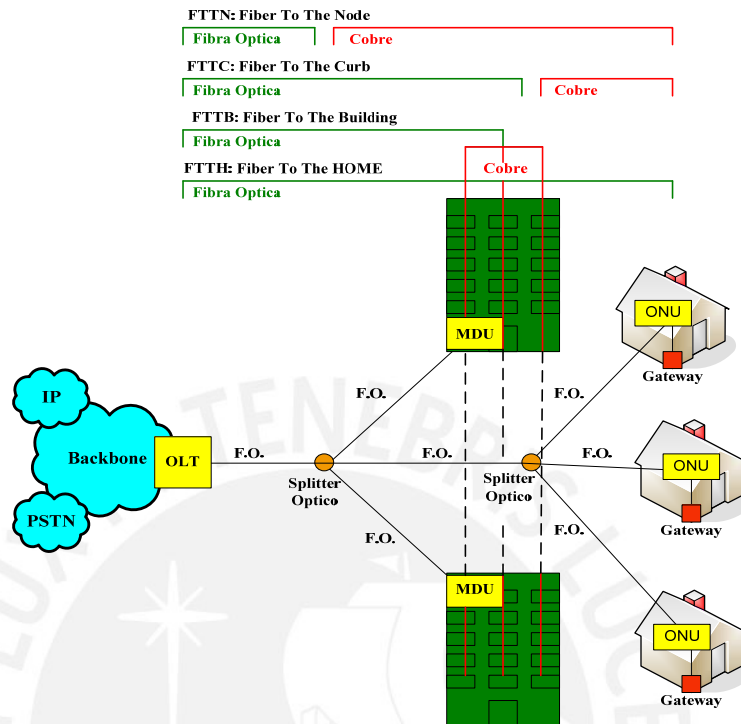


FIGURA 1-1: ARQUITECTURA RED FTTX

Fuente: "Autor" [1]

- b. Por el uso de elementos activos y/o pasivos: Arquitecturas de red activas y pasivas.

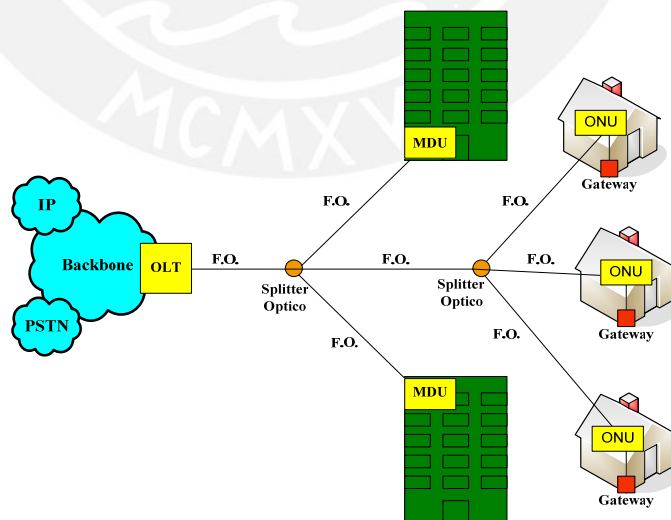


FIGURA 1-2: ARQUITECTURA RED PASIVA Y/O ACTIVA

Fuente: "Autor" [1]

1.2.1 Arquitecturas de red FTTX

Se conoce como redes FTTX a aquellas redes de fibra óptica que forman una topología distinta dependiendo del punto de terminación de la red; es así como para abarcar todos los nombres de las distintas tipologías se utiliza el denominador común FTTX, donde la X simboliza los distintos puntos de terminación de la red, lo que da lugar a los distintos nombres de estas topologías.

Existen básicamente cuatro tipos distintos de arquitecturas:

- **FTTH: Fibra To The Home o Fibra hasta la casa.**
En este tipo de red se emplea fibra óptica desde la central hasta el usuario final, con el fin de reducir los cuellos de botella que son generalmente ocasionados por el empleo de cobre en la última milla.
- **FTTB: Fiber To The Building o Fibra hasta el edificio.**
En este tipo de red, de manera semejante al caso anterior, realiza todo el recorrido de la misma en base a fibra óptica, con excepción de que la fibra sólo llega hasta el exterior del edificio; la red interna del edificio es una red de cobre con el cual se reparte la señal a cada departamento o dependencia del edificio. Estos tipos de redes por poseer ambos medios de transmisión, tanto fibra óptica como cobre, se le conoce como redes híbridas.
- **FTTC: Fiber To The Curb o Fibra hasta la manzana.**
Al igual como en el caso anterior, esta red también posee ambos medios de transmisión, por lo cual también es una red híbrida. Con la única diferencia que la red de fibra óptica llega hasta la manzana, lugar donde se distribuye la señal a cada hogar a través de cobre.
- **FTTN: Fiber To The Node o Fibra hasta el nodo.**
Se trata del mismo caso que los dos anteriores, pero la red de fibra óptica llega hasta el nodo de distribución, que puede ser un splitter óptico; a partir de este punto el resto de la red hacia cada uno de los usuarios finales se realiza mediante cobre.

1.2.1.1 Mapa conceptual FTTH

En el siguiente cuadro se observa una descripción detallada de la tecnología FTTH.

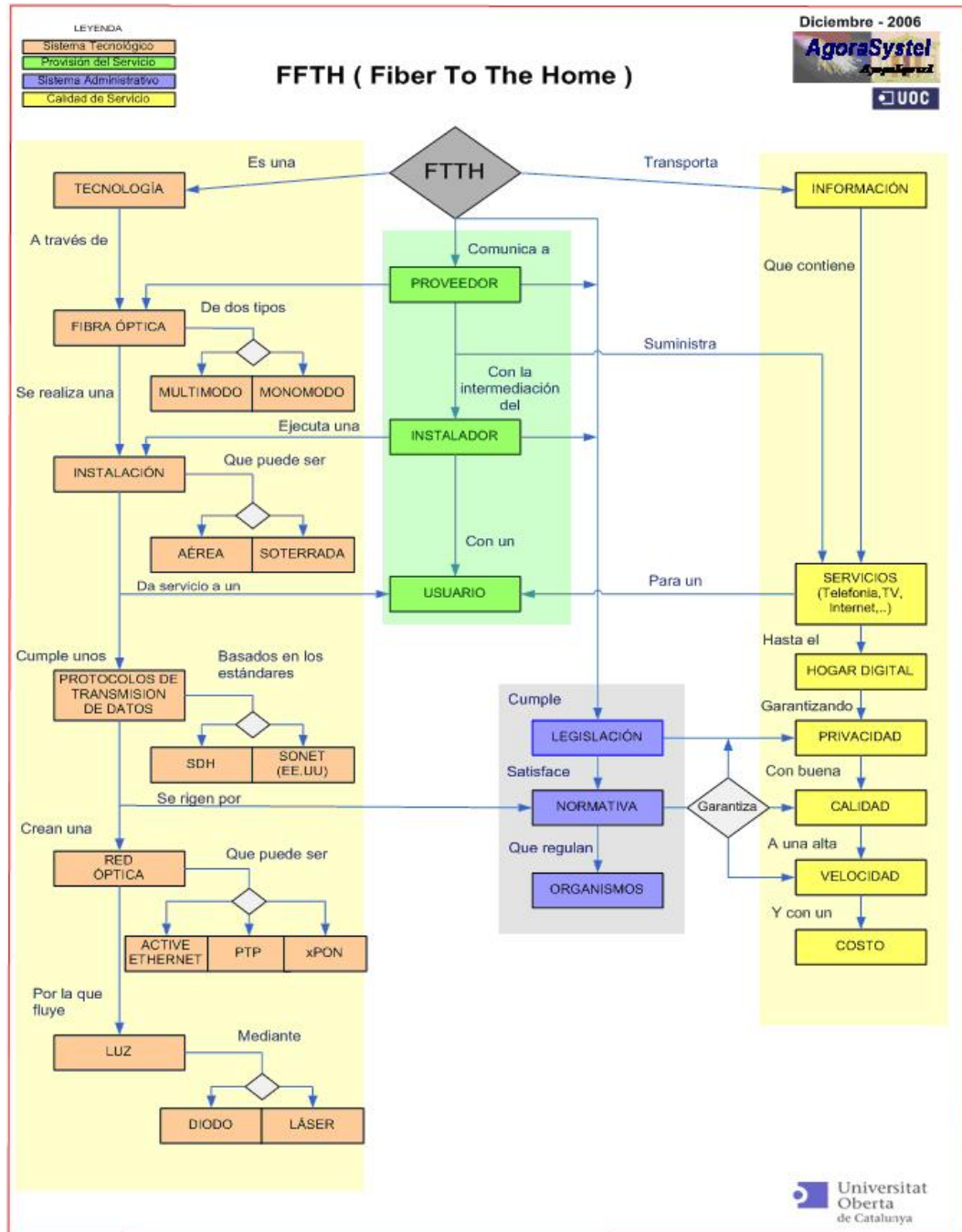


FIGURA 1-3: MAPA CONCEPTUAL FTTH

Fuente: "Universidad Oberta de Catalunya." [2]

1.2.2 Arquitecturas de redes activas y pasivas

Se tienen dos principales arquitecturas para los sistemas de acceso a la red de fibra óptica: arquitecturas activas (ver Figura 1-4) y arquitecturas pasivas (ver Figura 1-5).

La diferencia entre estas dos arquitecturas se encuentra en que las arquitecturas pasivas multiplexan el ancho de banda disponible de una única fibra proveniente del proveedor y lo reparte entre todos los usuarios, según cómo se haya gestionado previamente la asignación de ancho de banda a cada usuario; mientras que en las arquitecturas activas el ancho de banda disponible es dedicado por fibra y por usuario dando como resultado un costo más elevado para este tipo de accesos.

Las redes activas más difundidas en las aplicaciones de fibra óptica son las redes PTP (del inglés *Point To Point*). Estas redes son líneas de acceso dedicado que utilizan fibra óptica como medio de transporte para la interconexión de nodos. Las ventajas de este tipo de redes consisten en que todo el ancho de banda es dedicado y exclusivo para cada usuario; garantizan una gran fiabilidad en la transmisión de datos; y brindan una comunicación bidireccional full-dúplex. Sin embargo, su gran inconveniente es su elevado precio.

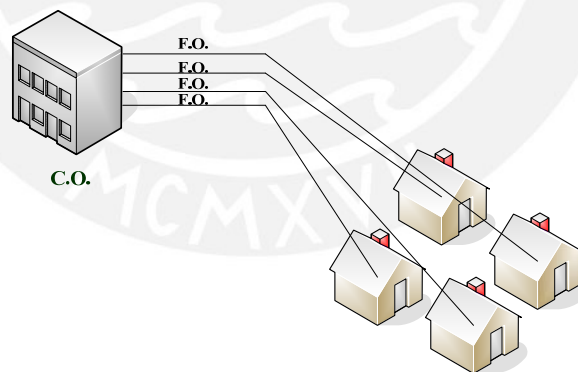


FIGURA 1-4: RED PTP

Fuente: "Autor" [1]

Mientras que las redes pasivas más difundidas en la actualidad son redes PON (del inglés *Passive Optical Network*). El tema de las redes PON será detallado en el subcapítulo siguiente (ver subcapítulo 1.3).

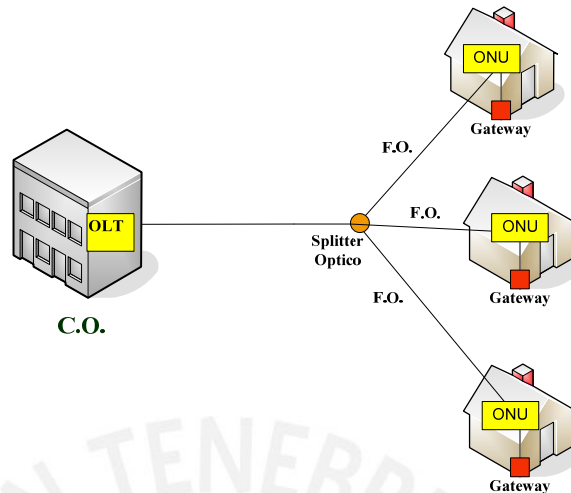


FIGURA 1-5: RED PON

Fuente: "Autor" [1]

1.3 Redes Ópticas Pasivas (PON)

Las redes PON (del inglés *Passive Optical Network*) o redes ópticas pasivas son redes de fibra óptica que no utilizan componentes activos en el despliegue de la red; por el contrario, utilizan componentes pasivos que no necesitan de una alimentación externa como es el caso del splitter óptico pasivo, el cual es el elemento principal en una red de fibra óptica pasiva que nos permite guiar el tráfico de la red en una topología árbol-rama. Este último nos brinda una ventaja frente a los despliegues de red basados en conectividad punto a punto como son el caso de las redes PTP y ASE.

Para la creación de las redes PON se tomó como modelo a las redes de CATV o televisión por cable. Las redes CATV son redes híbridas cuyo backbone está compuesto por fibra óptica y que se divide por splitters ópticos hasta un determinado punto de la red, lugar en el cuál termina la red backbone y la señal es convertida por conversores electroópticos en señal eléctrica, y luego es repartida al usuario final a través de splitters eléctricos y cable coaxial. Las redes PON toman como base la red CATV, donde reemplazan el tramo de cable coaxial por fibra óptica y los splitters eléctricos por splitters ópticos; y habilitan un canal de retorno para poder establecer una comunicación bidireccional entre la central y el abonado, lo que constituye la base para los servicios de internet, telefonía y televisión interactiva.

1.3.1 Características de las redes PON

- Permiten incrementar la cobertura de la red hasta los 20km desde la central, lo cual es una ventaja sobre otras tecnologías sobre cobre como DSL que sólo cubre hasta 5.5 km.
- Ofrecen mayor ancho de banda por usuario, debido a la naturaleza propia de la fibra óptica en comparación con las redes basadas en cobre.
- Minimiza el despliegue de la fibra óptica en el bucle local por utilizar una topología de árbol-rama, lo cual simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo.
- Mejora la calidad de servicio y mantenimiento de la red al emplear una arquitectura simplificada punto-multipunto.
- Permite incrementar el ancho de banda superponiendo longitudes de onda adicionales.

1.3.2 Estructura y funcionamiento de las redes PON

Una red óptica pasiva está formada básicamente por tres componentes:

- Un módulo OLT (del inglés *Optical Line Terminal*) o Terminal óptico de línea que se ubica en la central.
- Un splitter óptico.
- Varios ONUs (del inglés *Optical Network Unit*) o Unidad óptica de red que se ubica en el domicilio del abonado.

Todas las transmisiones de una red PON se realizan entre la unidad OLT, que se encuentra en el nodo óptico o central; y la ONU, localizada en el domicilio del abonado. Generalmente la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red.

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

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

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

Además de utilizar la técnica WDM, las redes PON también emplean la técnica TDMA (del inglés *Time Division Multiple Access*) o Acceso múltiple por división de tiempo; la cual permite que en distintos intervalos temporales (slots time) determinados por el controlador OLT, los equipos ONU puedan enviar información en canal uplink. De manera similar la unidad OLT utiliza la técnica TDM para enviar en diferentes slots temporales información en canal 'downlink', la cual será recibida de manera selectiva por los equipos ONUs.

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

1.3.3 Estándares XPON

Los estándares XPON son las distintas maneras de implementar una red PON dependiendo de las tecnologías utilizadas; es así que para abarcar los nombres de las distintas tecnologías PON se utiliza el denominador común XPON.

Los estándares XPON se dividen en: APON, BPON, GPON, EPON y GEPON.

Además, existe un esquema de trabajo que se utilizó, previo a la convergencia de servicios, en el transporte de video en 'downstream' para la televisión analógica al que se le denominó VPON.

1.3.3.1 APON

APON, ATM PON. Primer estándar de red óptica pasiva creado por la FSAN (Full Service Access Network) y especificada en la recomendación ITU-T G.983; este estándar permite la transmisión de información desde un nodo óptico a un número definido de usuarios utilizando la tecnología ATM y su protocolo de nivel 2.

La FSAN (del inglés *Full Service Access Network*) comenzó con la unión de siete operadores de telecomunicaciones, cuyo objetivo era unificar especificaciones para el acceso en banda ancha a los hogares, aprovechando las posibilidades de las redes PON. Actualmente la FSAN agrupa a más de 30 fabricantes de equipamiento.

Las características de esta tecnología están descritas por un canal 'downlink', cuyas tramas están formadas por ráfagas de celdas ATM estándar de 53 bytes a las que se le añaden un identificador de tres bytes que identifican el equipo ONU generador de la ráfaga; y un canal 'uplink', cuyas tramas se construye a partir de 54 celdas ATM donde se intercalan dos celdas PLOAM (del inglés *Physical Layer Operation, Administration and Management*), y en las que se introduce información de los destinatarios de cada celda e información de operación y mantenimiento de la red.

La máxima tasa soportada en canal 'uplink' y 'downlink', suponiendo una única unidad ONU, es de 155Mbps simétricos. Este ancho de banda se reparte en función del número de usuarios asignado al nodo óptico (número de ONUs).

Esta tecnología posee además de las interfaces en ATM nativo, interfaces del tipo TDM y Ethernet, mediante la emulación de ambos tipos de señales.

Aunque APON provee el conjunto más rico y exhaustivo de características OAM (Operación, Administración y Mantenimiento), la interconexión de los equipos de cabecera APON OLT con las redes de transporte se realiza a nivel SDH/ATM, lo cual implica una infraestructura de mayor costo que corresponda a esta tecnología.

1.3.3.2 BPON

BPON, Broadband PON. Estándar creado por la FSAN como reemplazo de la APON, y especificado en la recomendación ITU-T G.983. Este nuevo estándar aporta como principal característica la multiplexación por longitud de onda o WDM, incrementando de esta manera el ancho de banda; razón por la cual se le otorgó el nombre de Broadband PON. Además, BPON brinda la posibilidad de dar soporte a otros estándares de banda ancha, incluyendo Ethernet, distribución de video, VPL (Virtual Private Line), etc.

La recomendación original define una red simétrica de un ancho de banda total de 155 Mbps, tanto en canal 'downlink' como 'uplink'. Esta especificación fue posteriormente modificada (en el año 2001) para permitir configuraciones asimétricas de 622 Mbps y 155 Mbps en canal 'downlink' y 'uplink', respectivamente; y configuraciones simétricas de 622 Mbps.

1.3.3.3 GPON

Frente a las nuevas necesidades por un incremento del ancho de banda y el balanceo del tipo de tráfico exclusivamente hacia tráfico IP, se desarrolló una nueva especificación que se apoyaba en el estándar BPON, el cual era altamente ineficiente para el transporte de tráfico IP. A este protocolo que satisfacía las nuevas demandas se le denominó GPON (Gigabit PON), especificada en la recomendación ITU-T G.984.

GPON es un estándar muy potente pero a la vez muy complejo de implementar que utilizaba un procedimiento de encapsulación denominado GFP (General Framing Procedure) que aumentaba la eficiencia de la arquitectura, permitiendo mezclar tramas ATM de tamaño variable y hacerlas converger con IP.

Esta nueva recomendación fue aprobada en los años 2003 y 2004 por la ITU-T en la recomendación ITU-T G.984, cuyas enmiendas G.984.1, G.984.2 y G.984.3 se detallan a continuación.

G.984.1: Describe las características generales de un sistema PON capaz de transmitir en ATM: su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de transferencia de la señal, protección, velocidades independientes de protección y seguridad.

G.984.2: Describe una red flexible de acceso en fibra óptica capaz de soportar los requisitos de banda ancha de los servicios a empresas y usuarios residenciales.

G.984.3: Describe la red de distribución óptica, el plano de longitud de onda y los principios de diseño de la red de servicio integral.

Dentro de las ventajas que ofrecen GPON respecto a sus predecesores se tiene las siguientes características:

- Soporte global multiservicio, el cual incluye servicios de voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay, entre otros.
- Tasas de transferencia simétricas de 622Mbps y 1.25Gbps; y asimétricas de 2.5Gbps en downlink y 1.25 en uplink.
- Seguridad a nivel de protocolo de encriptación, debido a la naturaleza multicast del protocolo.

1.3.3.4 EPON

EPON (Ethernet PON) trabaja bajo el estándar IEEE 802.3ah, el cual define el estudio de EFM (Ethernet in the First Mile) o Acceso a la última milla. La principal característica de esta nueva arquitectura es que transporta tráfico nativo de red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM, visto en las tecnologías PON anteriores. Además, usa el estándar 8b/10b para codificación de línea y sigue las recomendaciones del estándar 802.3, Ethernet, como el acceso full-duplex al medio.

El principal atractivo que presenta esta tecnología es su evidente optimización para el tráfico IP frente a la ineficiencia de las alternativas basadas en ATM.

Dentro de sus ventajas cabe resaltar: el ahorro a los operadores de los complejos y costosos elementos ATM y SDH, simplificando las redes y abaratando los costos de implementación a los abonados; y la asignación de calidad de servicio en canal ‘uplink’ y ‘downlink’ al mismo tiempo que codifica todas las comunicaciones mediante el algoritmo DES.

A continuación se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los estándares dominantes.

	IEEE EPON	ITU-T GPON	ITU-T BPON
Velocidad de línea descendente (Mbps)	1250	1244.16 o 2488.16	155.52 or 622.08 or 1244.16
Velocidad de línea canal ascendente (Mbps)	1250	155.52 o 622.08 o 1244.16 o 2488.32	155.52 o 622.08
Codificación de línea	8b/10b	NRZ (+ aleatorización)	NRZ (+ aleatorización)
Direccionamiento por nodo (mín)	16	64	32
Direccionamiento por nodo (max)	256	128	64
Alcance tramo de fibra	10 Km ó 20 Km	20 Km	20 Km
Protocolo nivel 2	Ethernet	Ethernet over ATM (GFP) y/o ATM	ATM
Soporte tráfico TDM (voz, centralitas)	TDMoIP	TDM nativo sobre ATM o TMDolP	TDM over ATM
Flujos diferentes de tráficos por sistema PON	Depende de LLID /ONUs	4096	256
Capacidad ascendente para tráfico IP	< 900Mbps	1160 Mbps	500Mbps
Gestión y Mantenimiento OA&M	Ethernet OAM, SNMP	PL OAM + OMCI	PL OAM + OMCI
Seguridad en descendente	DES	AES	AES

TABLA 1-1: RESUMEN DE LOS ESTÁNDARES XPON

Fuente: “Telnet-Ri” [3]

1.3.3.5 GEPON

GEPON (Gigabit Ethernet PON) es el próximo estándar que la IEEE se encuentra desarrollando. Este estándar se basó en inicialmente en EPON, bajo el estándar 802.3 ah; y actualmente trabaja bajo el estándar 802.3 ae, Ethernet a 10 Gbit/s, que utiliza la

tecnología 10GbE para multiplicar en un factor 10 el ancho de banda EPON. Además, este nuevo estándar tenderá hacia la convergencia con el estándar GPON.

1.4 Instalación de la red FTTH

Para las instalaciones de fibra óptica existen tres métodos que son los más utilizados, de los cuales cada uno de estos métodos posee sus ventajas y desventajas respecto de los otros; sin embargo son escogidos en función consideraciones económicas, derechos de paso, características de la red, estética y cuidado del entorno, entre otras. Estos tres métodos son:

- Directamente enterrado
- Subterránea con ductos
- Instalación aérea

Estos métodos se pueden clasificar como:

- Instalaciones en el terreno: Métodos que enrutan el cableado por el subsuelo. Pertenecen a este grupo:
 - Directamente enterrado
 - Subterránea con ductos
- Instalaciones aéreas: Métodos que enrutan el cableado por encima del nivel del suelo mediante postes. Pertenecen a este grupo:
 - Instalación aérea

1.4.1 Instalaciones en el terreno

En la instalación directamente enterrada es necesaria maquinaria pesada para la excavación de una zanja, donde el cable de fibra es introducido directamente sin ninguna protección; otra posibilidad es que se inserte el cable de fibra a medida que se valla realizando la excavación de la zanja, para lo cual será necesario maquinaria especializada.

En la instalación subterránea con ductos se requiere la colocación previa de ductos que conducirá uno o varios cables entre cámaras subterráneas, sean estas cámaras de paso o de registro. Para realizar este tipo de instalación se requiere previamente esparcir sobre la superficie de la fibra óptica un lubricante compatible con la misma, con el fin de reducir la fricción con el ducto. Posteriormente, se procede al empleo de un mecanismo de introducción del cable dentro del ducto, pudiendo ser éste del tipo manual o a través de un dispositivo mecánico. Además, se requerirá de un instrumento de medida de tensión para verificar que no se sobrepase la fuerza máxima permisible sobre la fibra óptica al momento del tendido.

Las cámaras subterráneas sirven como puntos de acceso para la manipulación de la fibra en un tendido subterráneo; estas pueden ser tan grandes como para la entrada de una persona facilitando el tendido subterráneo de la fibra e instalación de los ductos; o tan solo para la entrada de los brazos permitiendo la manipulación de las fibras a la entrada de los edificios.

1.4.2 Instalaciones aéreas

La instalación de cable aérea se realiza sobre postes y torres, los cuales permiten el tendido sobre el nivel del terreno. El método más común es el devanado con mensajero de acero, que consta de un cable metálico guía entre los postes o torres que servirá de soporte duradero para el cable de fibra óptica, el cual se sujeta al mensajero mediante el entrelazado con otro cable. Sin embargo, este método no se utiliza cuando se tiene una compartición de infraestructura aérea: postes, con otras empresas; donde el peso del cable juega un rol importante para los postes que los soportan.

Para este caso, es recomendable realizar una instalación simple mediante el empleo de un cable ADSS (del inglés All Dielectric Self Supporting). Este es un cable totalmente dieléctrico que lleva integrado en el mismo cable tanto las fibras ópticas, como el mensajero dieléctrico; por lo tanto, es el ideal para este tipo de instalaciones donde el peso del cable se reduciría, y debido a su naturaleza totalmente dieléctrica del cable evita posibles interferencias con los cables de luz en caso de compartición de infraestructura aérea con las empresas eléctricas.

1.5 Servicios FTTH

La utilización de redes con tecnología FTTH ofrece diversas mejoras de los servicios actuales respecto a otros métodos de acceso ofertados. Estas mejoras van relacionadas con el aumento de la velocidad de transferencia de datos, lo que convierte a esta tecnología en la de mayor calidad e interés para el abonado.

Entre las mejoras de los servicios ofrecidos cabe resaltar:

- La posibilidad de abrir el acceso a diferentes proveedores de servicios de Internet simultáneamente.
- Una excelente relación calidad-precio en vídeo por IP, HDTV (del inglés *High Definition TV*).
- VOD (del inglés *Video On Demand*).
- Alta calidad de portadoras de voz.
- Alta velocidad de acceso de banda ancha.
- Domótica.

Los servicios ofrecidos en FTTH son los correspondientes a un servicio de telecomunicaciones de abonado de banda ancha, y se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Servicios de voz : En esta categoría pertenecen servicios como Telefonía IP y VoIP.
- Servicios de video: En esta categoría pertenecen servicios como Video-conferencia, Domótica, IPTV.
- Servicios de datos : En esta categoría pertenecen servicios como gestión y control de instalaciones de Domótica, aplicaciones de investigación en tiempo real, entre otros.

1.5.1 Triple-play

Triple-play se define como el conjunto de servicios integrados por una misma red de Telefonía, Televisión e Internet. Básicamente es la comercialización de los servicios telefónicos, junto con los de banda ancha y televisión interactiva. Triple-play posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en el momento idóneo y con una buena calidad.

Dentro de los servicios ofrecidos por Triple-play es el IPTV (Televisión IP) la que despierta un mayor interés, por ser la que requiere de una mayor amplitud en el canal de comunicación. Los estándares que corresponde a esta tecnología son SDTV (Televisión Estándar) y HDTV (Televisión de Alta Definición), ambos televisión digital interactiva; sin embargo, HDTV presenta una calidad de video superior.

La velocidad requerida para un solo canal de televisión HDTV en el formato de compresión de video MPEG2 es de 19,2 Mbps; a éste último habría que añadir los diferentes canales de audio envolvente y subtítulos más otras facilidades. También existen otros formatos de compresión para la transmisión de HDTV como los basados en el estándar MPEG4, que es el estándar utilizado en la mayoría de decodificadores digitales, y permiten niveles de compresión superiores, cuya velocidad requerida por canal de televisión HDTV es de 10 Mbps; sin embargo, los equipos procesadores de esta señal son considerablemente más caros en la actualidad que los del estándar MPEG2, ya que estos últimos llevan varios años en el mercado.

A pesar de los últimos adelantos en tecnología en cuanto a televisión digital se refiere, la mayoría de televisores en los países de tercer mundo e incluso en algunos países de primer mundo son analógicos. Por lo tanto se observa la importancia de un dispositivo capaz de decodificar la señal digital en analógica. A este dispositivo se le conoce como STB (del inglés *Set Top Box*), y es básicamente un decodificador de TV que se encarga de la recepción y decodificación de la señal de televisión digital, para luego ser mostrada en una televisión analógica. Su funcionamiento consiste en recibir una señal digital en alguno de los estándares, como: cable, satélite, televisión digital terrestre o IPTV; para luego comprobar que se tenga permiso para ver esta señal, demodularla, y enviarla al televisor analógico. Además nos brinda todos los servicios de la televisión digital, como: televisión interactiva; televisión de alta definición, aunque la calidad es inferior al que se observa en un televisor digital; entre otros servicios.

Capítulo 2
***Diseño de una Red FTTH en un Campus
Universitario y en una Vivienda Residencial***



2.1 Descripción de los escenarios propuestos para el diseño de la red FTTH

Se propone el despliegue de una red FTTH (del inglés *Fiber To The Home*) para dos posibles escenarios: un campus universitario y una vivienda residencial. Para lo cual, en el caso del campus universitario se considera como escenario principal el edificio Mc Gregor, ubicado en la entrada principal de la Pontificia Universidad Católica del Perú con dirección en Avenida Universitaria N° 1801, San Miguel; y coordenadas: S 12°04'07.23", O 77°04'42.93". Se considera dicha medida, con el fin de centralizar el servicio suministrado por esta tecnología a un área específica y éste servicio pueda ser utilizado de manera eficiente por la comunidad universitaria. El edificio Mc Gregor cuenta actualmente con 10 laboratorios con acceso a internet distribuido de la siguiente manera:

1er Piso: Ningún laboratorio.

2do Piso: Aula 221 (25 PCs), Aula 222 (25 PCs) y Aula 223 (40 PCs).

3er Piso: Aula 321 (40 PCs) y Aula 322 (40 PCs).

4to Piso: Aula 421 (40 PCs) y Aula 422 (40 PCs).

5to Piso: Aula 521 (25 PCs), Aula 522 (25 PCs) y Aula 523 (40 PCs).

Se plantea la implementación de esta tecnología en las 25 computadoras pertenecientes al Aula 221, con el fin de proveer a esta nueva infraestructura de los servicios de telefonía e internet de banda ancha a alta velocidad dando la posibilidad del empleo de nuevas aplicaciones en tiempo real de e-learning.

Para el escenario de una vivienda residencial se propone el domicilio ubicado en Avenida Universitaria 1351, Cercado de Lima; y con coordenadas: S 12°03'26.56", O 77°04'46.58". Donde se proveerá del servicio triple-play (televisión digital interactiva, telefonía e internet de banda ancha) dirigidos a un ambiente doméstico o de red SOHO (*del inglés, Small Office, Home Office*).

Para cada uno de los escenarios planteados se efectuará el diseño de la red FTTH tomando como proveedor de los servicios anteriormente descritos a la empresa de telecomunicaciones Telmex, cuya TROBA (Terminal de Red Óptica de Banda Ancha)

más cercana a ambos escenarios se encuentra ubicada en la dirección Avenida Universitaria 2185, San Miguel, y con coordenadas: S 12°04'43.56", O 77°05'03.41".

2.2 Descripción Técnica del escenario: Campus universitario.

2.2.1 Descripción de la aplicación, requerimientos de ancho de banda, y tipo de tecnología a utilizar.

Para este escenario se plantean los servicios de e-learning mediante videoconferencias, aplicación que permitirá a la universidad mejorar sus servicios de enseñanza que involucren educación a distancia. Las ventajas de este servicio constan en el ahorro de tiempo y dinero tanto para el traslado de un docente desde su lugar de residencia hasta nuestra casa de estudios, como también el traslado de nuestros alumnos hasta la localidad donde se impartiría el dictado del curso. Por lo tanto, este esquema sería bastante útil para los casos de maestrías o carreras universitarias con la modalidad de doble titulación, con lo cual se brindaría la posibilidad de contar con las ventajas de una clase convencional mediante la asistencia a clase de manera virtual y en tiempo real, pero sin correr con los gastos extraordinarios de pasajes de avión, viáticos, costos de mantenimiento, alojamiento, entre otros, tanto para el alumno como para el docente.

La segunda aplicación que se propone para este escenario es la telefonía mediante VoIP. Este servicio nos brindará un ahorro significativo en gastos de telefonía convencional a través de una tarifa plana que representa el uso de la transmisión de voz por medio de la red de datos. Para el escenario propuesto se considera la instalación de un teléfono IP por aula.

Los requerimientos de velocidad para el servicio de videoconferencia son en 'downstream' 3 Mbps por sesión y en 'upstream' 3 Mbps por sesión. Y para el servicio de telefonía con VoIP son requeridos en 'downstream' 512 Kbps y en 'upstream' 96 Kbps, por llamada. Además se considerará una velocidad simétrica de 256 Kbps para la transferencia de datos.

Por lo tanto, los requerimientos totales de velocidad corresponden a 3.256 Mbps en 'downstream' y 3.256 Mbps en 'upstream' por computadora (correspondiente a

videoconferencia más transferencia de datos), más 512 Kbps en 'downstream' y 96 Kbps en 'upstream' por teléfono (IP o analógico). Con lo cual se requiere un total de 81.912 Mbps en 'downstream' y 81.496 Mbps en 'upstream'. Considerando el empleo de la tecnología EPON para nuestra aplicación, ésta emplea la codificación de línea 8b/10b que con un requerimiento de velocidad de 81.912/81.496 Mbps ('downstream'/'upstream'), corresponde a un requerimiento real de 102.39/101.87 Mbps ('downstream'/'upstream') después de la codificación. Para simplificar la conversión de la velocidad requerida en ancho de banda, se asume que 1 bps = 1 Hz; por lo tanto, se requerirá de un ancho de banda total de 102.39/101.87 MHz ('downstream'/'upstream').

La tecnología a utilizar para proveer este servicio es EPON, debido a su gran eficiencia en el transporte de tráfico Ethernet por ser una tecnología basada en el estándar IEEE 802.3. Por lo tanto esta tecnología se encuentra optimizada para el transporte de paquetes de longitud variable; mientras que otras tecnologías basadas en ATM como GPON, tiene que segmentar el tráfico IP en tamaños de 48 bytes para la carga útil de información, más 5 bytes correspondientes a la información de segmentación de cabecera; formando tramas fijas de 53 bytes. Lo cual complica el proceso de transporte de tráfico IP y añade latencia.

Por otra parte, EPON proporciona una velocidad de transmisión de 1.25 Gbps, de los cuales 250 Mbps son utilizados en la codificación de línea 8b/10b obteniendo un ancho de banda efectivo de 1 GHz (se asume que 1 bps = 1 Hz). Aunque se tenga una reducción en el ancho de banda debido a la codificación 8b/10b, esta codificación permite obtener una mayor exactitud y fidelidad en la conversión electroóptica, lo que permite tener electrónica de sincronismo mucho más simplificada en el receptor.

Además, nos proporciona mayor seguridad al utilizar mecanismos DES para la encriptación de canales ascendentes y descendentes; como también el empleo de sistemas de gestión Ethernet sobre SNMP, lo que permite poder integrarse con soluciones ya disponibles en el operador, como HPOpenView o similares.

2.2.2 Planteamiento de alternativas y definición de la solución técnica para cada escenario

Para este escenario se tienen dos posibles rutas, las cuales se implementarán mediante instalación aérea haciendo uso de la compartición de infraestructura con los postes de luz, hasta la entrada de la universidad. A partir de este punto la instalación se realizará haciendo uso de una infraestructura propia.

Primera ruta:

Empieza en el grifo Primax donde se encuentra una instalación aislada dentro del mismo grifo destinada al alojamiento de la TROBA (Terminal de Red Óptica de Banda Ancha). El tendido aéreo se extiende a lo largo de la calle Merced Gallagher de Parks, a espaldas del grifo Primax, hasta el cruce con la avenida universitaria. Luego desciende por la avenida Universitaria hasta la altura de la cuadra 6 de la calle Camino del Inca, donde posteriormente retomará el recorrido por la avenida Universitaria hasta llegar a un splitter óptico; en este punto, un grupo de fibras se derivarán a la Pontificia Universidad Católica del Perú y otro grupo continuarán su recorrido hacia el segundo escenario (ver Figura 2-1, ruta color celeste).

Segunda ruta:

Empieza en el grifo Primax donde se encuentra una instalación aislada dentro del mismo grifo destinada al alojamiento de la TROBA (Terminal de Red Óptica de Banda Ancha). El tendido aéreo se extiende a lo largo de la avenida Riva Agüero, cruzando la avenida La Marina, con dirección a la Pontificia Universidad Católica del Perú, hasta el cruce con la avenida La Mar. Luego el tendido de fibra óptica continúa por la avenida Universitaria hasta llegar a un splitter óptico; en este punto, un grupo de fibras se derivarán a la Pontificia Universidad Católica del Perú y otro grupo continuarán su recorrido hacia el segundo escenario (ver Figura 2-1, ruta color azul).

Recorridos disponibles:

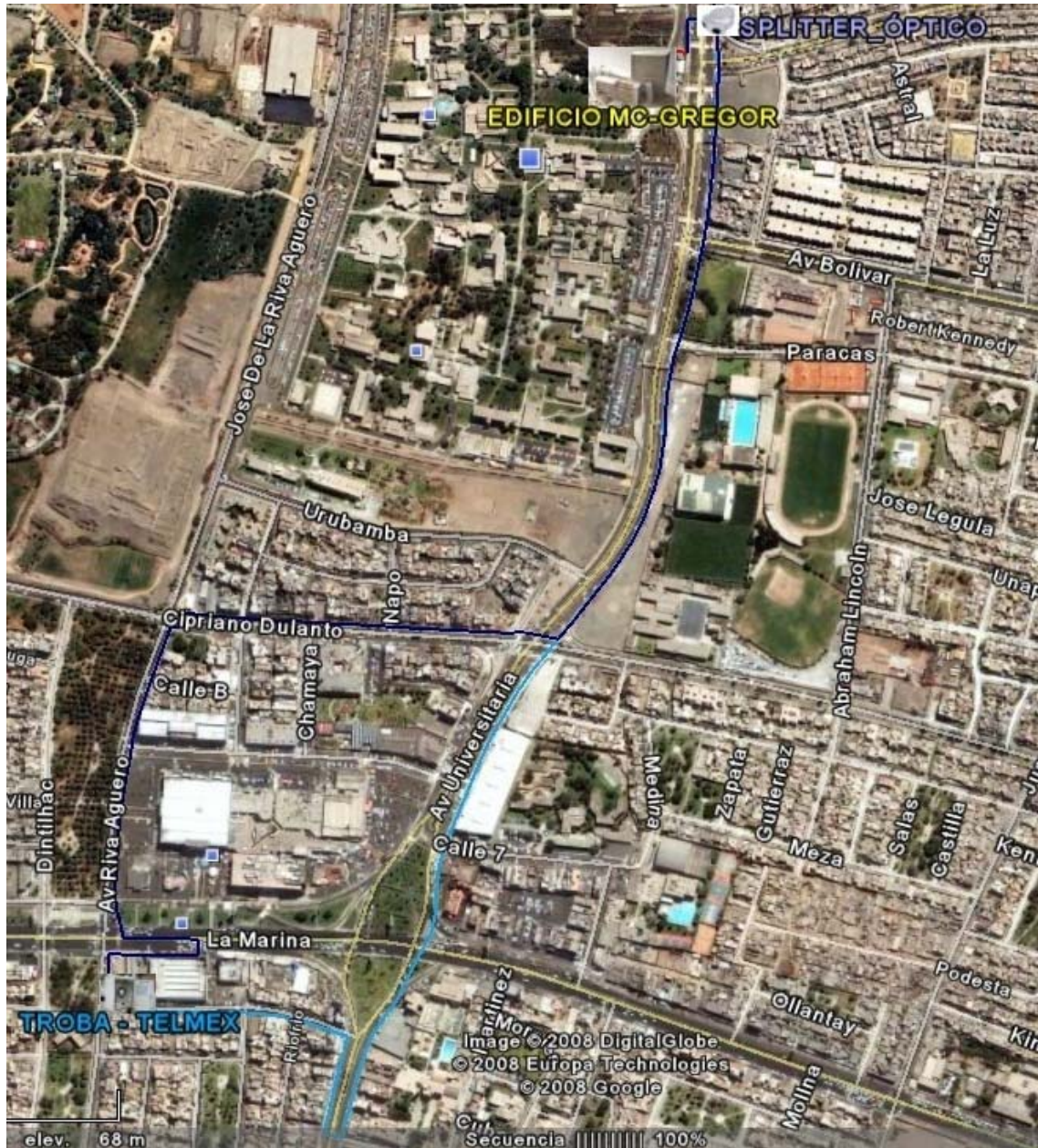


FIGURA 2-1: RECORRIDOS DISPONIBLES DEL PRIMER ESCENARIO

Fuente: "Autor" [1]

Leyenda

- Primera ruta (Tendido aéreo) : Tendido delineado con color celeste.
- Segunda ruta (Tendido aéreo) : Tendido delineado con color azul.
- Tendido subterráneo con ductos: Tendido delineado de color rojo al interior del campus universitario.

2.2.3 Determinación y descripción de la ruta; tipos de tendido efectuado en cada tramo; y ubicación de las cajas de empalme.

A continuación se detalla en las Tablas 2-1, 2-2, 2-3 y 2-4, la selección y descripción de la ruta propuesta para el tendido de fibra óptica en el primer escenario. La Tabla 2-1 presenta dos alternativas de ruta, las cuales parten de la TROBA hasta el edificio Mc Gregor, ubicado en la PUCP. La Tabla 2-2 detalla los criterios de decisión empleados para escoger entre las dos rutas anteriormente mencionadas. La Tabla 2-3 describe la ruta escogida en términos de tendido aéreo y subterráneo, donde se detalla el dimensionamiento de cámaras y postes para cada tipo de tendido. La Tabla 2-4 muestra la ubicación de las cajas de empalme de la ruta escogida.

Alternativas de ruta

Rutas	Color de delineado
Ruta 1	Celeste
Ruta 2	Azul

TABLA 2-1: ALTERNATIVAS DE RUTA

Fuente: "Autor" [1]

Criterios de decisión de la ruta del enlace TROBA (Telmex) – Mac Gregor (PUCP)

Rutas	Criterios de Decisión			
	Longitud total (aproximada)	Cantidad de curvas críticas	Cantidad de cajas de empalmes requeridas	Ruta escogida
Ruta 1	2,07 Km	7	3	Sí
Ruta 2	2,14 Km	12	3	No

TABLA 2-2: CRITERIOS DE DECISIÓN DE LA RUTA

Fuente: "Autor" [1]

Detalle del tendido de la ruta escogida en planta externa: Dimensionamiento de postes y cámaras para el tendido aéreo y subterráneo

Cálculos de tendido de la ruta escogida			
Tendido Aereo	Distancia (aproximada)	Cantidad Postes (Teorico) Criterio: 40 mts entre postes	Cantidad Postes (Real aprox.) Criterio: 70 mts entre postes
	1,98 Km	50	59
Tendido Subterráneo	Distancia (aproximada)	Cantidad Cámaras de Registro (Teorico) Criterio: 300 mts entre cámaras	Cantidad Cámaras de Registro (Real aprox.) Criterio: 300 mts entre cámaras
	0,09 Km	2	2

TABLA 2-3: DETALLE DEL TENDIDO DE LA RUTA ESCOGIDA

Fuente: "Autor" [1]

Ubicación de las cajas de empalme:

Rutas	Cajas de empalme
Ruta 1.kmz	Caja de empalme en la unión del tendido aéreo con el subterráneo
	Casete de empalme al interior de cada repartidor óptico (ODF)

TABLA 2-4: UBICACIÓN DE LAS CAJAS DE EMPALME

Fuente: "Autor" [1]

Longitud detallada del tendido:

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA LONGITUD TOTAL DE LA FIBRA ÓPTICA		
	Longitudes	Logitudes Parciales
PLANTA INTERNA: TROBA (Interior) - TROBA (ODF)		
Longitud del cable de fibra óptica al interior de la TROBA	0.010 Km	
Tipo de cable : Cable estructura apretada ignifugo KV, 4 fibras (K: Kevlar; V: PVC)		
Longitud		0.010 Km
PLANTA EXTERNA: TROBA (ODF) - Mc Gregor (ODF)		
Longitud extra del tendido vertical subida al poste (desde el nivel del piso)	0.009 Km	
Longitud del cable de fibra óptica TROBA (ODF) - PUCP (Caja de empalme, Tendido Subterráneo)	1.980 Km	
Longitud extra del tendido de reserva en el tendido aéreas (Criterio: 50mts de fibra óptica por cada kilómetro)	1.98 Km x 50 mts/Km = 0.099 Km	
Longitud extra del tendido por pandeo de la fibra óptica (Criterio: 1% de la long total del tendido aéreo del cable de fibra óptica)	1 % (2.088 Km) = 0.021 Km	
Longitud de fibra enrollada al interior de la caja de empalme para el tendido subterráneo	0.001 Km	
Tipo de cable : Cable ADSS KP monotubo, 4 fibras (K: Kevlar; P: Politiлено)		
Longitud		2.110 Km
Longitud de fibra enrollada al interior de la caja de empalme para el tendido subterráneo	0.001 Km	
Longitud extra del tendido vertical bajada del poste (nivel del piso)	0.009 Km	
Longitud extra por la profundidad de cámara de registro (bajada y subida)	2 x 0.001 Km = 0.002 Km	
Longitud extra del tendido de reserva en el tendido subterráneas (Criterio: 10mts de fibra óptica por cada cámara)	2 x 0.010 Km = 0.020 Km	
Longitud del cable de fibra óptica PUCP (Caja de empalme, Tendido Subterráneo) - Mc Gregor (ODF)	0.090 Km	
Tipo de cable : Cable estructura holgada PKES monotubo, 4 fibras (P: Politiлено; K: Kevlar; ES: Acero copolímero corrugado)		
Longitud total		0.122 Km
PLANTA INTERNA: Mc Gregor (ODF) - Mc Gregor (Interior)		
Longitud del cable de fibra óptica al interior del edificio Mc Gregor	0.030 Km	
Tipo de cable : Cable esgtrutura apretada ignifugo KV, 4 fibras (K: Kevlar; V: PVC)		
Longitud total	0.030 Km	0.030 Km
LONGITUD TOTAL		2.272 Km

TABLA 2-5: LONGITUD DETALLADA DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA

Fuente: "Autor" [1]

2.2.4 Cálculos de atenuación y ancho de banda de la fibra óptica

Para los cálculos de atenuación y ancho de banda se considera el empleo de una fibra óptica monomodo G.652.A (convencional) para las aplicaciones CWDM planteadas en el subcapítulo 2.2.1, debido a que las longitudes de onda empleadas son 1310 y 1490, y ambas se encuentran ubicadas en la banda O (1260nm a 1360nm) y S (1460nm a 1530nm), respectivamente. Por lo tanto, no se encuentran afectadas por el pico de agua ubicado en la banda E (1360nm a 1460nm); y no es necesario el empleo de fibras G.652.C (Low Water Peak) o fibras G.652.D (Zero Water Peak).

A continuación se muestra en la Tabla 2-6 las especificaciones técnicas de la fibra óptica monomodo, según los diferentes estándares de la ITU-T; y en la Tabla 2-7 se muestra las especificaciones técnicas de las tarjetas OLT y ONU utilizadas para la transmisión y recepción de datos.

CARACTERÍSTICAS	FIBRA DE DISPERSION NORMAL (G652)		FIBRA DE DISPERSION DESPLAZADA (G653)		FIBRA DE ATENUAC. OPTIMIZADA (G654)	FIBRA DE DISPERSION DESPLAZADA NO NULA (G655)
	$\lambda=1.31\mu\text{m}$	$\lambda=1.55\mu\text{m}$	$\lambda=1.31\mu\text{m}$	$\lambda=1.55\mu\text{m}$	$\lambda=1.55\mu\text{m}$	$\lambda=1.55\mu\text{m}$
Coefficiente de Atenuación (dB/Km)	< 0.5 Mín.: 0.3~0.4	< 0.4 Mín.: 0.17~0.25	< 0.55	< 0.35 Mín.: 0.19~0.25	< 0.22 Mín.: 0.15~0.19	< 0.35 Mín.: 0.19~0.25
Máximo Coeficiente de Dispersión Cromática [Ps/nm.Km]	3.5(1288~1339nm) 5.3(1270~1360nm)	20	En estudio	< 3.5 (1525~1575 nm)	< 20	< 6

TABLA 2-6: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO

Fuente: "Comunicaciones Ópticas" [4]

	OLT	ONU
Tipo	CWDM (Monofibra)	CWDM (Monofibra)
Longitud de onda (nm)	Tx: 1490	Tx: 1310
	Rx: 1310	Rx: 1490
$\Delta\lambda$ (nm)	2.5	2.5
Tipo de Fibra	SMF	SMF
Tamaño del núcleo (Micrometros)	9 ó 10	9 ó 10

TABLA 2-7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TARJETA OLT Y ONU (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

	OLT	ONU
Distancia del cable (Km)	20	20
Potencia Transmisión (dBm)	Máx: 2	Máx: -8
	Mín : 0	Mín : -28
Potencia Recepción (dBm)	Máx: 2	Máx: -8
	Mín : 0	Mín : -28

TABLA 2-7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TARJETA OLT Y ONU (PARTE B)

Fuente: "Autor" [1]

• Cálculos de Atenuación

Con el fin de esquematizar los cálculos de atenuación que se realizarán posteriormente se muestra a continuación en la Figura 2-2 los elementos que conforman la ruta escogida para el primer escenario.

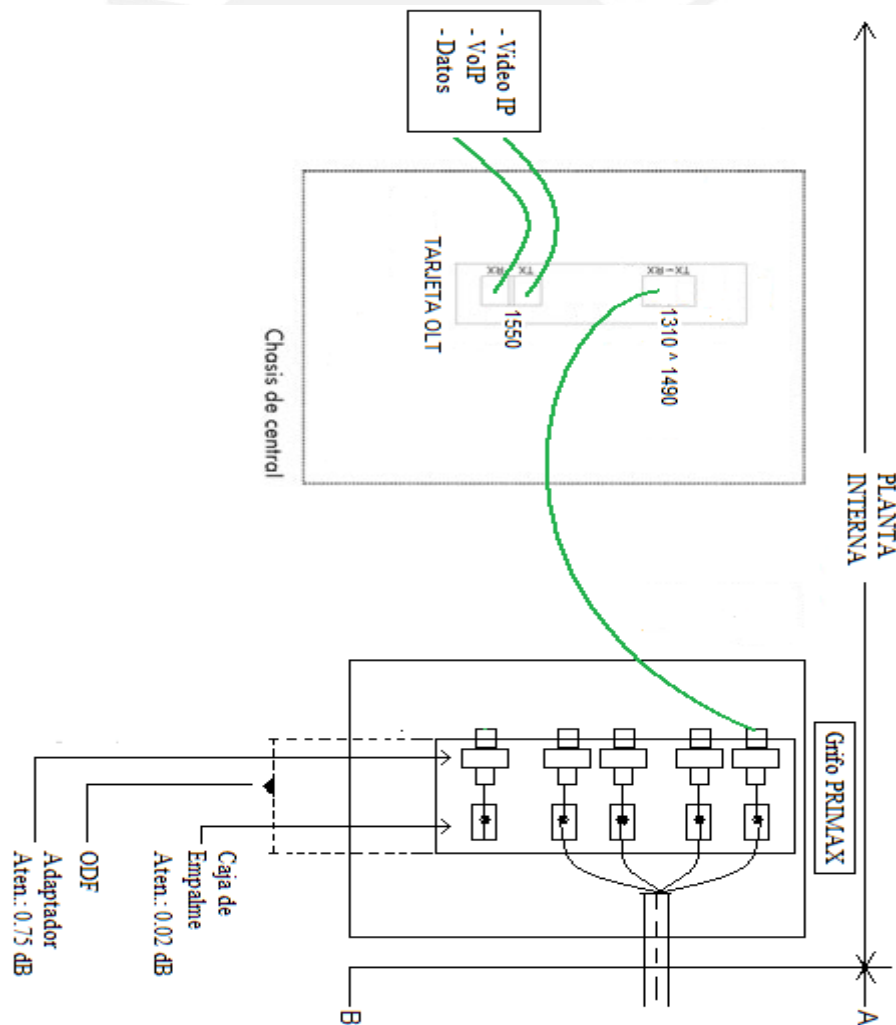


FIGURA 2-2: COMPONENTES DE LA RED FTTH DEL PRIMER ESCENARIO (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

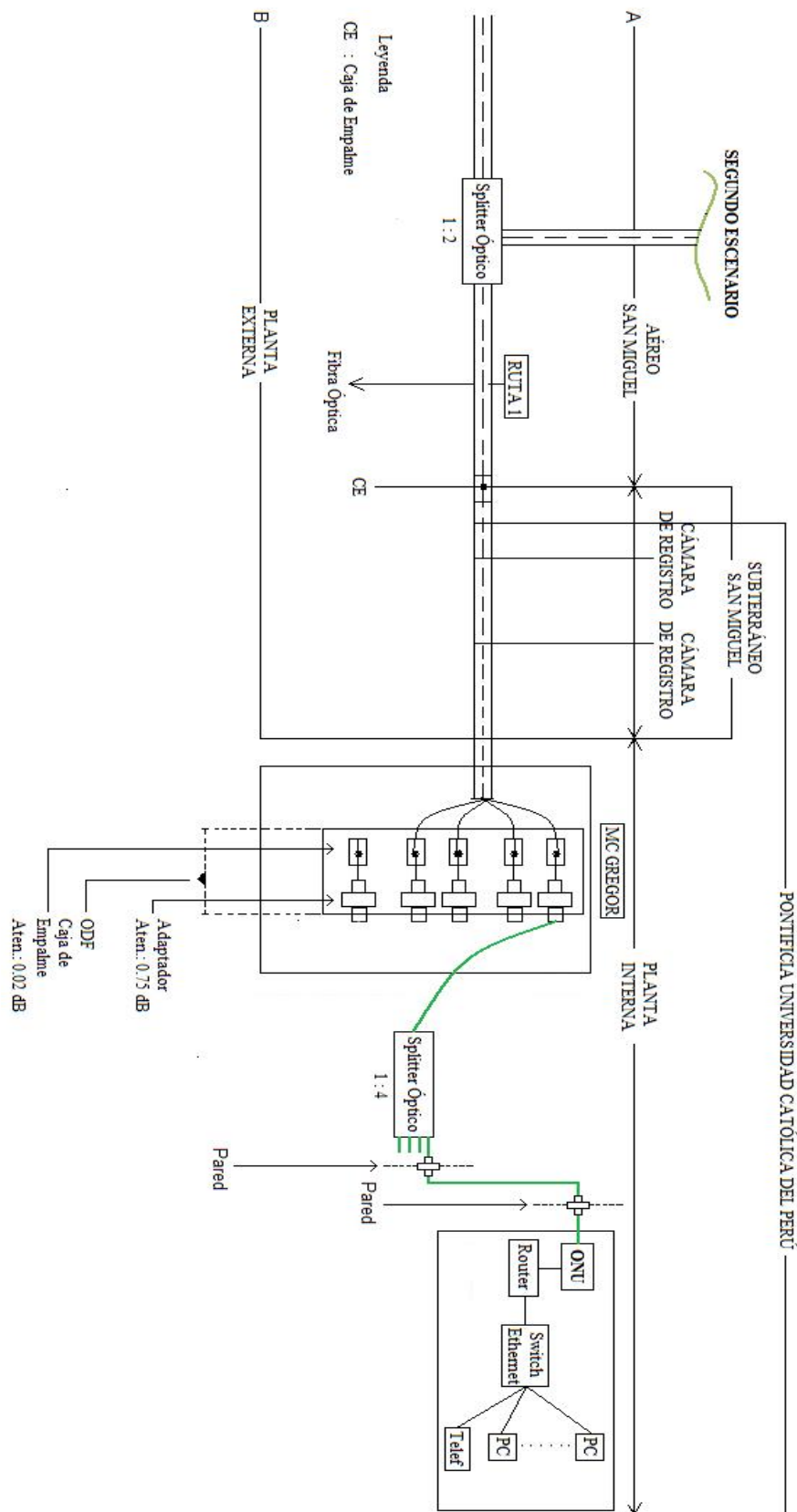


FIGURA 2-2: COMPONENTES DE LA RED FTTH DEL PRIMER ESCENARIO (PARTE B)

Fuente: "Autor" [1]

Se procede a realizar los cálculos de atenuación para cada longitud de onda en el que trabaja WDM.

A continuación para la longitud de onda de 1490 nm se muestran las Tablas 2-8 y 2-9 que corresponden a las atenuaciones máximas y mínimas permisibles, respectivamente. Las Tablas 2-10, 2-11, 2-12 y 2-13 corresponden a las atenuaciones del enlace en la TROBA, en el trayecto, en la PUCP y la atenuación considerada por el criterio de margen de seguridad, respectivamente; y la sumatoria de estas atenuaciones parciales da como resultado la atenuación total del enlace. La Tabla 2-14 comprueba la viabilidad del enlace tomando como principal medida que la atenuación total del enlace se encuentre entre los máximos y mínimos permisibles mencionados anteriormente.

- Para $\lambda = 1490$ nm:

Transmisor: OLT

Receptor : ONU

ATENUACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PERMISIBLES DEL SISTEMA

Potencia óptica mínima del transmisor (dBm)	0
Sensibilidad óptica mínima del receptor (dBm)	-28
Atenuación máxima del sistema (dBm)	28

TABLA 2-8: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

Potencia óptica máxima del transmisor (dBm)	2
Sensibilidad óptica máxima del receptor (dBm)	-8
Atenuación mínima del sistema (dBm)	10

TABLA 2-9: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

ATENUACIÓN DEL ENLACE

Atenuación por multiplexor óptico CWDM del OLT (dB)	3.00
Atenuación por el adaptador en el ODF (dB)	0.75
Atenuación por el empalme en el ODF (dB)	0.20
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	3.95

TABLA 2-10: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación de la fibra óptica (dB)	: 1.15
Longitud total de la fibra óptica (Km)	: 2.30
Longitud de onda de operación (nm)	1310
Coefficiente de atenuación para fibra G.652 (dB/Km)	: 0.50
Atenuación por empalme en la transición aéreo-subterráneo (dB)	: 0.20
Atenuación por el Splitter Óptico 1:2 75/25 (dB)*	: 6.60
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	: 7.95

* La ruta correspondiente al primer escenario toma el primer puerto de 75 % de atenuación.

TABLA 2-11: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación por el empalme en el ODF (dB)	0.20
Atenuación por el adaptador en el ODF (dB)	0.75
Atenuación por el Splitter Óptico 1:4 (dB)	7.70
Adaptador óptico SC de pared (dB)	0.75
Adaptador óptico SC de pared (dB)	0.75
Atenuación por multiplexor óptico CWDM del ONU (dB)	3.00
Atenuación total del enlace en la PUCP (dB)	13.15

TABLA 2-12: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA PUCP

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación extra considerada como margen de seguridad (dB)	3.00
---	-------------

TABLA 2-13: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD

Fuente: "Autor" [1]

VIABILIDAD DEL ENLACE

Atenuación máxima permisible del sistema (dB)	: 28
Atenuación mínima permisible del sistema (dB)	: 10
Atenuación total del enlace (dB)	: 27.36
Atenuación total del enlace en la PUCP (dB)	: 13.15
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	: 7.26
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	: 3.95
Atenuación extra por margen de seguridad (dB)	: 3.00
Resultado:	10 dB < 27.36 dB < 28 dB

TABLA 2-14: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE

Fuente: "Autor" [1]

De manera similar como se procedió con los cálculos de atenuación para la longitud de onda de 1490 nm, se procede con los cálculos respectivos para la longitud de onda de 1310 nm. Por lo tanto, las Tablas 2-15 y 2-16 muestran las atenuaciones máximas y mínimas, respectivamente; la atenuación del enlace está formado por la sumatoria de las atenuaciones parciales de las Tablas 2-17, 2-18, 2-19 y 2-20; y la Tabla 2-21 confirma la viabilidad del enlace tomando como principal consideración que la atenuación del enlace se encuentre entre las atenuaciones máximas y mínimas permisibles.

- Para $\lambda = 1310$ nm:

Transmisor: ONU

Receptor : OLT

ATENUACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PERMISIBLES DEL SISTEMA

Potencia óptica mínima del transmisor (dBm)	0
Sensitividad óptica mínima del receptor (dBm)	-28
Atenuación máxima del sistema (dBm)	28

TABLA 2-15: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

Potencia óptica máxima del transmisor (dBm)	2
Sensitividad óptica máxima del receptor (dBm)	-8
Atenuación mínima del sistema (dBm)	10

TABLA 2-16: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

ATENUACIÓN DEL ENLACE

Atenuación por multiplexor óptico CWDM del ONU (dB)	3.00
Adaptador óptico SC de pared (dB)	0.75
Adaptador óptico SC de pared (dB)	0.75
Atenuación por el Splitter Óptico 1:4 (dB)	7.70
Atenuación por el adaptador en el ODF (dB)	0.75
Atenuación por el empalme en el ODF (dB)	0.20
Atenuación total del enlace en la PUCP (dB)	13.15

TABLA 2-17: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA PUCP

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación de la fibra óptica (dB)	: 1.15
Longitud total de la fibra óptica (Km)	: 2.30
Longitud de onda de operación (nm)	1310
Coefficiente de atenuación para fibra G.652 (dB/Km)	: 0.50
Atenuación por empalme en la transición aéreo-subterráneo (dB)	: 0.20
Atenuación por el Splitter Óptico 1:2 75/25 (dB) *	: 6.60
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	: 7.95

* La ruta correspondiente al primer escenario toma el primer puerto de 75% de atenuación.

TABLA 2-18: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación por el empalme en el ODF (dB)	0.20
Atenuación por el adaptador en el ODF (dB)	0.75
Atenuación por multiplexor óptico CWDM del OLT (dB)	3.00
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	3.95

TABLA 2-19: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación extra considerada como margen de seguridad (dB)	3.00
--	------

TABLA 2-20: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD

Fuente: "Autor" [1]

VIABILIDAD DEL ENLACE

Atenuación máxima permisible del sistema (dB)	: 28	
Atenuación mínima permisible del sistema (dB)	: 10	
Atenuación total del enlace (dB)	: 28.05	
Atenuación total del enlace en la PUCP (dB)	: 13.15	
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	: 7.95	
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	: 3.95	
Atenuación extra por margen de seguridad (dB)	: 3.00	
Resultado:	10 dB < 28.05 dB < 28 dB	

TABLA 2-21: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE

Fuente: "Autor" [1]

Los resultados obtenidos en Tabla 2-14 muestran que la atenuación del enlace se encontrará dentro de los límites máximos y mínimos permisibles del sistema; con lo cual se consigue que la potencia óptica recibida en el receptor no sea demasiado potente como para saturarlo, ni demasiado pequeña como para evitar que la señal original sea recuperada. Aunque los resultados obtenidos en la Tabla 2-21 no cumplen con el límite máximo permisible del sistema, el margen por el cual sobrepasa este límite es un valor mínimo correspondiente a 0.05 dB y tomando en cuenta que se asume un margen de seguridad de 3 dB, se puede considerar a un valor de atenuación del enlace de 28.05 dB como dentro de los límites máximos y mínimos permisibles del sistema.

Además, se considera el empleo de un splitter óptico 1:4 al interior del campus universitario como previsión de una expansión futura conforme se incremente la demanda por el servicio.

- **Cálculos de Ancho de banda**

El escenario planteado para este enlace se encuentra en el aula 221, ubicada en el edificio Mc Gregor, con una capacidad de 25 computadoras. La aplicación que se proveerá consta de video conferencia, internet de banda ancha y telefonía con VoIP. Por lo tanto, según los requerimientos de ancho de banda especificados en el subcapítulo 2.2.1, se requerirá un ancho de banda simétrico de 100 MHz.

Se proceden a realizar los cálculos de ancho de banda para cada longitud de onda empleada de la tecnología CWDM.

- Para $\lambda = 1490 \text{ nm}$:

$$G_o = \frac{D_o \times \Delta\lambda \times L}{2.35} = \frac{20 \text{ P}_2/\text{nm.Km} \times 2.5 \text{ nm} \times 2.3 \text{ Km}}{2.35} = 48.93 \text{ P}_2$$

$$\Delta f = \frac{0.187}{G_o} = \frac{0.187}{48.93 \times 10^{-12}} = 3.82 \text{ Ghz}$$

El ancho de banda que permite el enlace de fibra óptica en una longitud de 2.3 Km es de hasta 3.82 GHz; mientras que el sistema transmite un ancho de banda de 1.25 GHz (Tecnología Gigabit Ethernet); y el requerimiento de ancho de banda en 'downstream' es de 100 Mhz. Por lo tanto, el ancho de banda disponible para el primer escenario cumple con el requerimiento de un aula equipada 25 computadoras.

- Para $\lambda = 1310 \text{ nm}$:

$$G_o = \frac{D_o \times \Delta\lambda \times L}{2.35} = \frac{5.3 \text{ P}_2/\text{nm.Km} \times 2.5 \text{ nm} \times 2.3 \text{ Km}}{2.35} = 12.96 \text{ P}_2$$

$$\Delta f = \frac{0.187}{G_o} = \frac{0.187}{12.96 \times 10^{-12}} = 14.42 \text{ Ghz}$$

El ancho de banda que permite el enlace de fibra óptica en una longitud de 2.3 Km es de hasta 14.42 GHz, mientras que el sistema transmite un ancho de banda de 1.25 GHz (Tecnología Gigabit Ethernet), y el requerimiento de ancho de banda en 'upstream' es de 100 Mhz. Por lo tanto, el ancho de banda disponible para el primer escenario cumple con el requerimiento de un aula equipada 25 computadoras.

2.2.5 Método de Terminación de cables en el campus universitario

La terminación de cables en el campus universitario se realizará a través del método de empalme con 'pigtail' en la unidad de repartición óptica ubicada en el edificio Mc Gregor; y los conectores empleados serán tipo SC-PC debido principalmente a su compatibilidad con la mayoría de equipos y por su calidad en el pulido.

2.2.5.1 Topología de red

La siguiente figura (Figura 2-3) muestra un esquema general de la topología de la red planteada para el primer escenario.

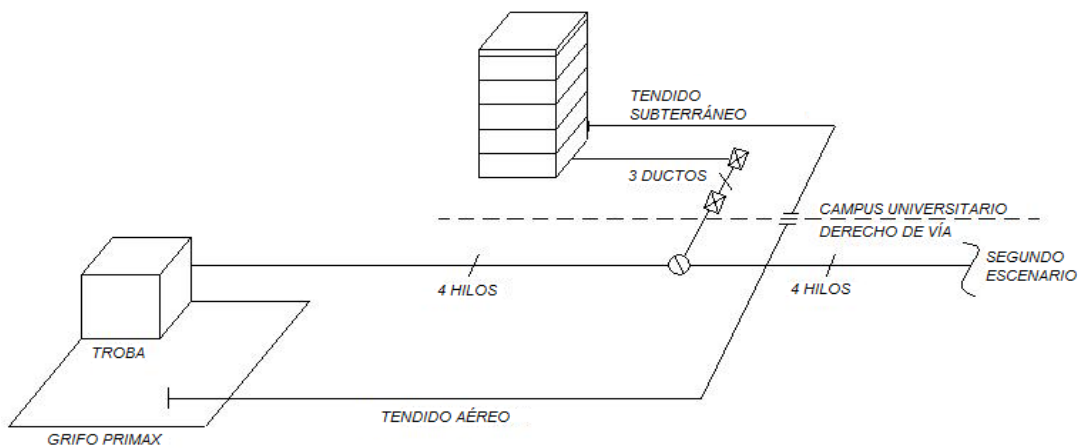


FIGURA 2-3: TOPOLOGÍA DE RED DEL PRIMER ESCENARIO

Fuente: "Autor" [1]

2.2.5.2 Interconexión de equipos y terminación de red

La figura que se observa a continuación (Figura 2-4) describe la terminación de red e interconexión de los equipos tanto en la TROBA como en el edificio Mc Gregor (PUCP). Los equipos pertenecientes a la TROBA consisten en un chasis modular, el cual contiene un módulo de gestión SNMP encargado de administrar las tarjetas modulares OLT; una tarjeta modular OLT que sirve de transmisor y receptor para la señal proveniente de la TROBA; una computadora que provee la interfaz de usuario con el módulo de gestión SNMP; y un repartidor óptico que actúa como punto de terminación de red entre el usuario y el operador. Los dispositivos ubicados en el cuarto de equipos del edificio Mc Gregor están conformados por un repartidor óptico; un splitter óptico 1:4 para prever la expansión futura del servicio hasta 4 aulas; una Unidad de Red Óptica, mejor conocida como ONU (del inglés *Optical Network Unid*), la

cual se encarga de la transmisión y recepción de datos, y la conversión de la señal al unir dos medios físicos distintos: fibra óptica y cobre; un router alámbrico para encaminar la señal IP; y un switch para repartir el ancho de banda disponible entre el teléfono IP y las 25 computadoras del Aula 221 del edificio Mc Gregor. La descripción de las características de cada uno de los equipos mencionados se encuentra en el subcapítulo 2.4.

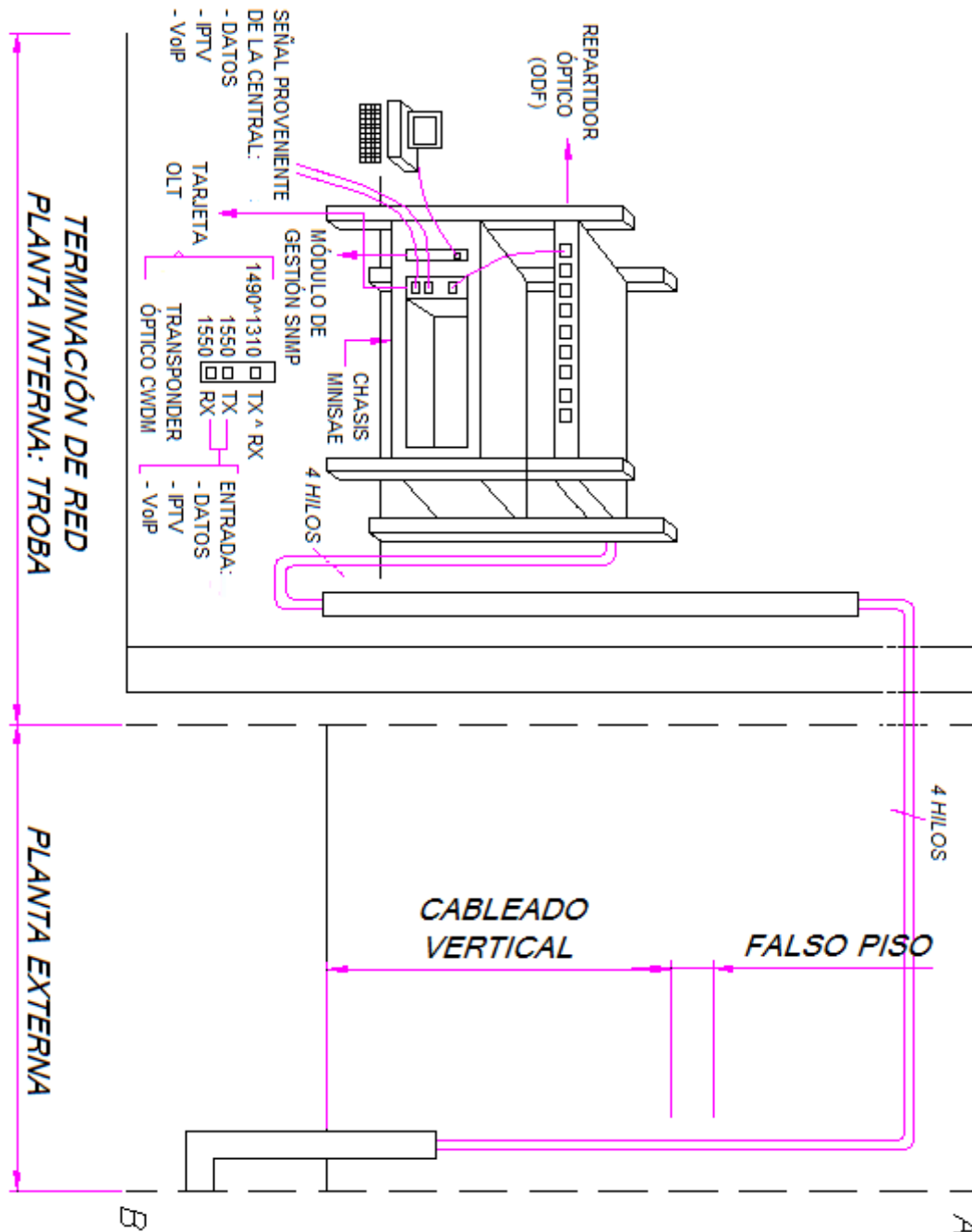


FIGURA 2-4: TERMINACIÓN DE RED DEL PRIMER ESCENARIO (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

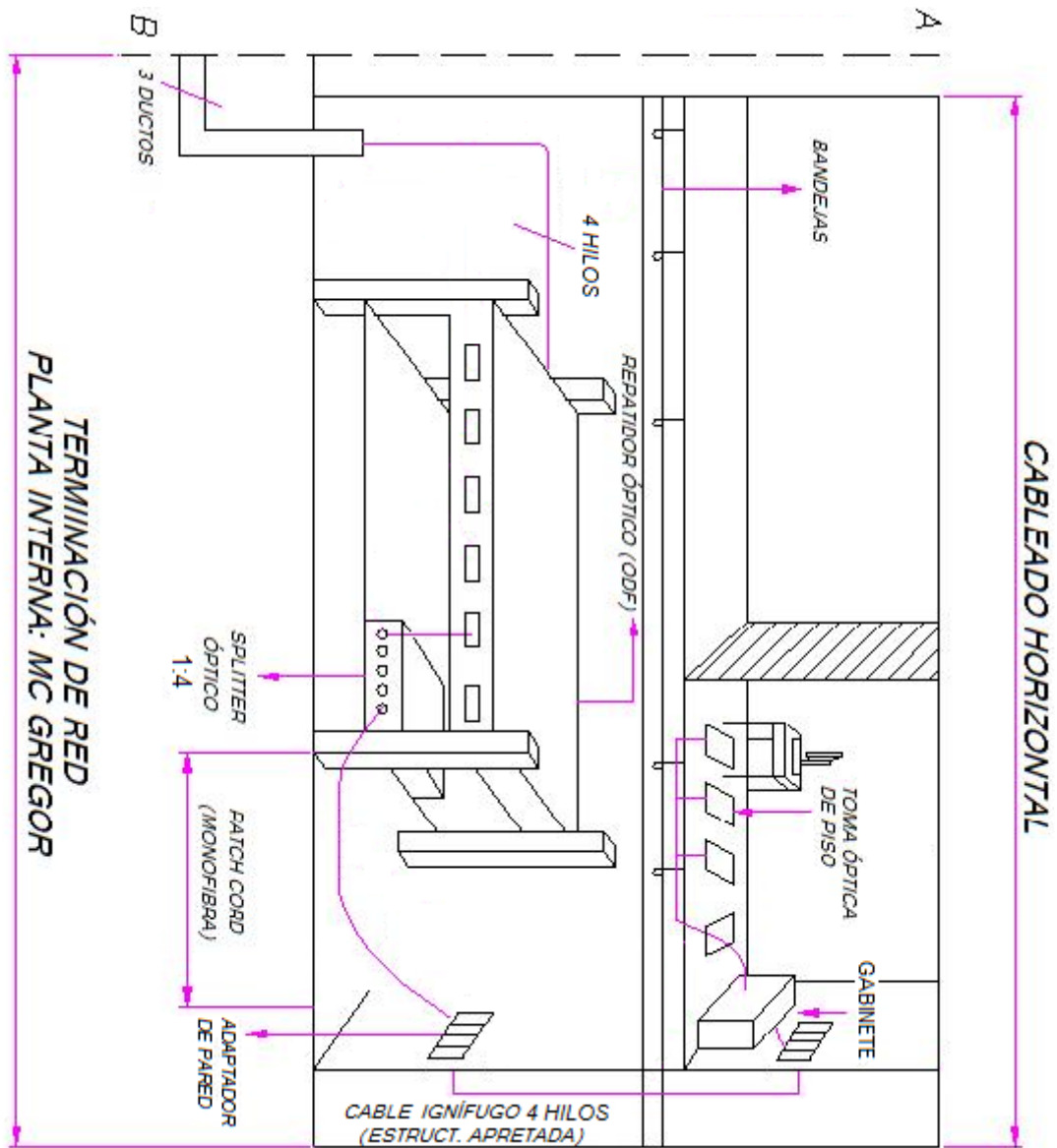


FIGURA 2-4: TERMINACIÓN DE RED DEL PRIMER ESCENARIO (PARTE B)

Fuente: "Autor" [1]

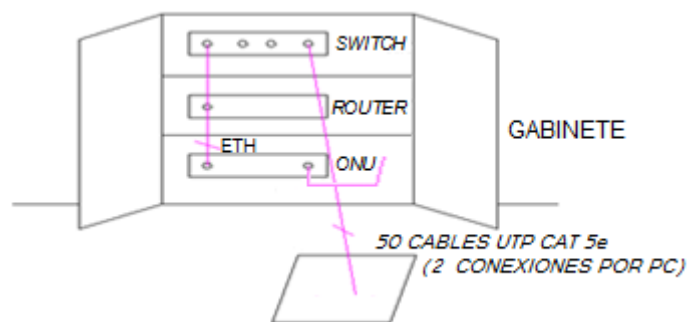


FIGURA 2-5: GABINETE DE TELECOMUNICACIONES

Fuente: "Autor" [1]

2.3 Descripción Técnica del escenario: Vivienda residencial.

2.3.1. Descripción de la aplicación, requerimientos de ancho de banda, y tipo de tecnología a utilizar.

Para este escenario se plantean los servicios de triple-play, que constan de tres servicios: telefonía mediante VoIP, internet de banda ancha y televisión digital interactiva. Estos servicios convergen sobre redes de tecnología IP debido a la mejora en la calidad de servicio, lo que permite la transmisión de cualquier tipo de dato (voz, multimedia) sobre esta tecnología.

Para la mayoría de operadores resulta conveniente migrar a este nuevo esquema de trabajo, porque se requiere del mantenimiento de una única infraestructura para los tres servicios, y se reducen los costes de operación asociados.

Por lo tanto, la tendencia es hacia la convergencia de servicios mediante una única plataforma; que acompañado de la tecnología de transporte adecuada, FTTH, proporciona el ancho de banda óptimo para el transporte de servicios de última generación.

Los requerimientos de ancho de banda para el servicio de televisión digital interactiva: HDTV, son en 'downstream' 8 MHz por canal y en 'upstream' 0.4 MHz por canal. Para efectos de la aplicación planteada se consideran un máximo de 2 televisores digitales por domicilio; lo que resulta en un ancho de banda total de 16 MHz en 'downstream' y 0.8 MHzs en 'upstream' por canal. Por lo tanto, asumiendo una equivalencia de 1 bps = 1 Hz, se requerirá de una equivalencia de 16/0.8 Mbps ('downstream'/'upstream').

Para el servicio de telefonía con VoIP son requeridos en 'downstream' 0.512 Mbps y en 'upstream' 0.096 Mbps por llamada. Para efectos de la aplicación planteada se considera un teléfono analógico con acceso a router VoIP, por domicilio.

Para el servicio de internet de banda ancha se propone una velocidad de 3.5/3 Mb/s ('downstream'/'upstream'), en caso de utilizar en simultáneo los tres servicios considerando el máximo de 2 televisores digitales para el caso de HDTV.

Para efectos de la aplicación planteada este ancho de banda se repartirá entre las computadoras que requiera el usuario; a excepción de que se solicite, por parte del usuario, un aumento de la velocidad del servicio.

Los requerimientos totales de velocidad por los servicios ofrecidos corresponden a 20/4 Mbps ('downstream'/'upstream'), que se traduce en una velocidad de 25/5 Mbps ('downstream'/'upstream'), según la codificación de línea 8b/10b utilizada. Por lo tanto, asumiendo una equivalencia de 1 bps = 1 Hz, se requerirá de un ancho de banda total de 25/5 MHz ('downstream'/'upstream').

La tecnología a utilizar para proveer este servicio es el mismo propuesto para el primer escenario (campus universitario) por las mismas razones expuestas en el subcapítulo 2.21.

2.3.2 Planteamiento de alternativas y definición de la solución técnica para cada escenario

Para este escenario se tienen las dos alternativas de ruta presentadas en el primer escenario hasta el cruce de la avenida Universitaria con la avenida Cipriano Dulanto. A partir de este punto se continuará por una misma ruta siguiendo la avenida Universitaria hasta la altura de la cuadra 13 de la misma avenida; altura próxima a la entrada principal de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (ver Figura 2-6; primera ruta trazada de color celeste, segunda ruta trazada de color celeste).

El recorrido por esta ruta considera un tramo subterráneo al pasar por debajo del puente, donde se instalará una cámara de paso a cada lado de la berma.

Se considera como la distancia de la ruta escogida para el segundo escenario, al recorrido comprendido entre el splitter óptico, ubicado frente a la Pontificia Universidad Católica del Perú, y la vivienda residencial.

Recorridos disponibles:

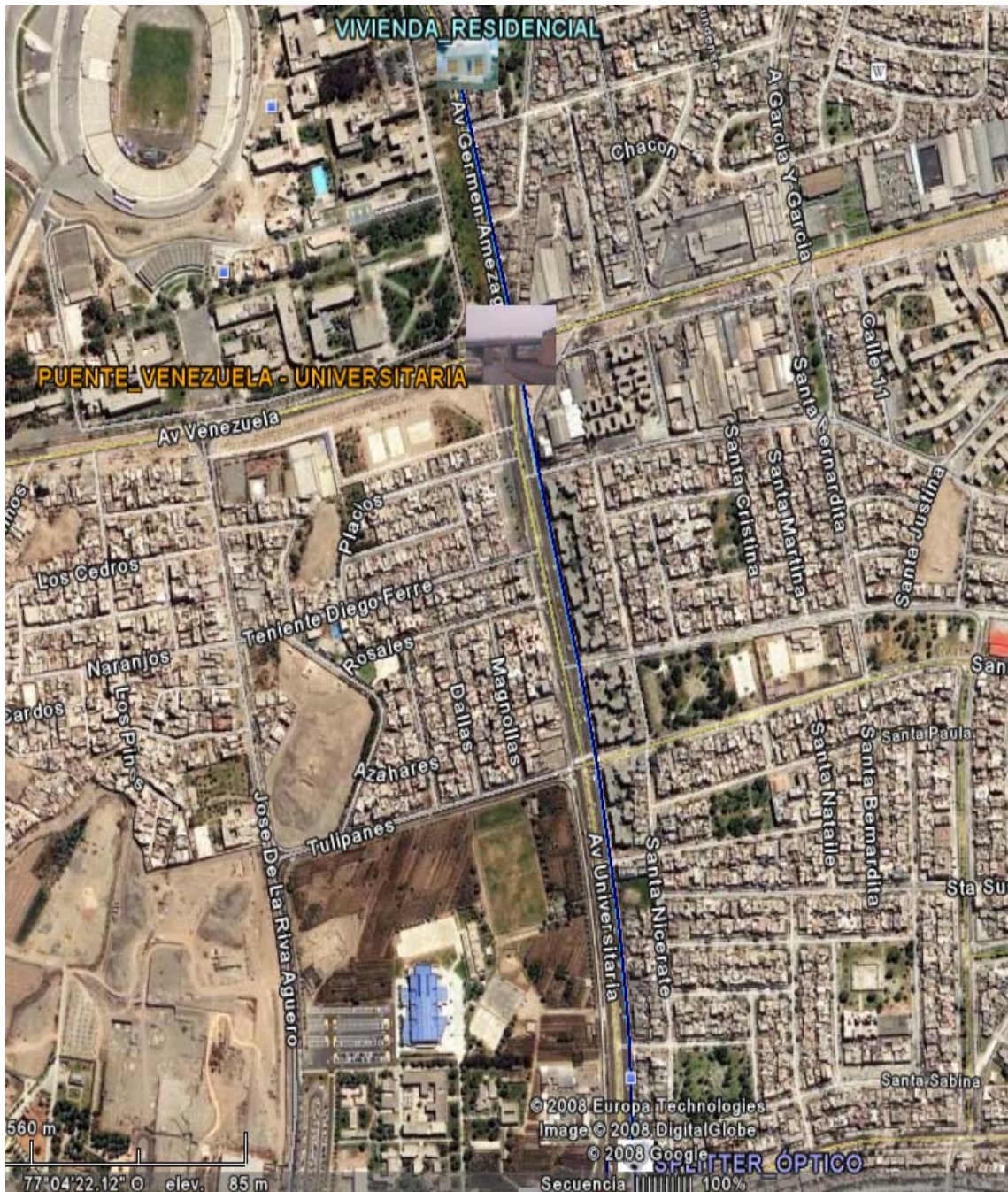


FIGURA 2-6: RECORRIDOS DISPONIBLES DEL SEGUNDO ESCENARIO (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

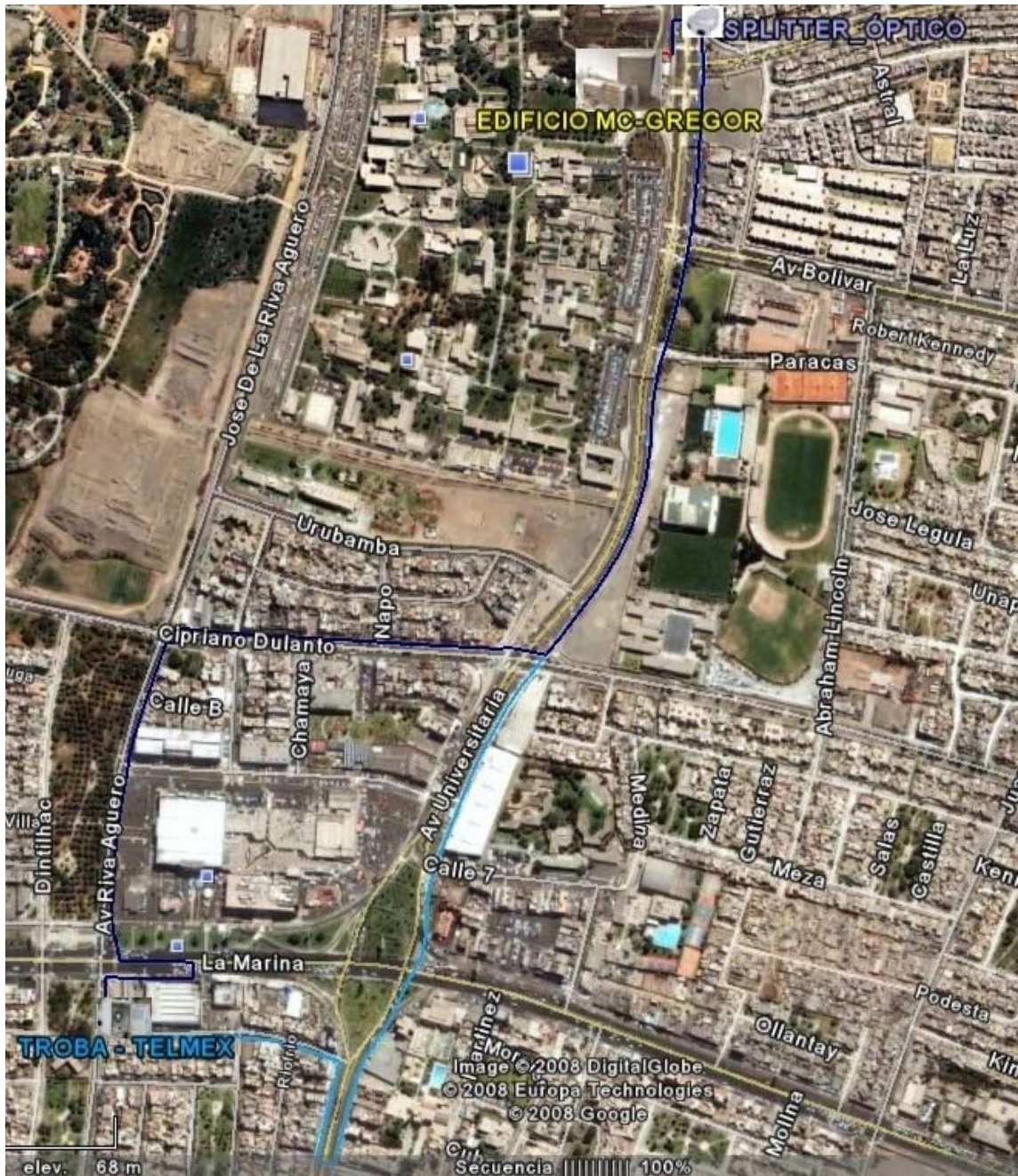


FIGURA 2-6: RECORRIDOS DISPONIBLES DEL ESCENARIO (PARTE B)

Fuente: "Autor" [1]

Leyenda

Primera ruta (Tendido aéreo) : Tendido delineado con color celeste.

Segunda ruta (Tendido aéreo) : Tendido delineado con color azul.

Tendido subterráneo con ductos: Tendido delineado de color rojo al interior del campus universitario.

2.3.3 Determinación y descripción de la ruta; tipos de tendido efectuado en cada tramo; y ubicación de las cajas de empalme.

En el segundo escenario se tiene una única ruta disponible para el recorrido comprendido entre el splitter óptico y la vivienda residencial. Esta ruta es única para este recorrido por ser una línea recta entre el punto de origen y destino. A continuación se muestra en la Tabla 2-22, la ruta propuesta; en la Tabla 2-23, la descripción de la ruta propuesta en términos de tendido aéreo y subterráneo; y en la Tabla 2-24, la ubicación de las cajas de empalme de la ruta propuesta.

Ruta propuesta:

Rutas	Color de delineado
Ruta 1	Celeste / Azul

TABLA 2-22: RUTA PROPUESTA

Fuente: "Autor" [1]

Detalle del tendido de la ruta escogida en planta externa: Dimensionamiento de postes y cámaras para el tendido aéreo y subterráneo

Cálculos de tendido de la ruta escogida			
Tendido Aereo	Distancia (aproximada)	Cantidad Postes (Teorico) Criterio: 40 mts entre postes	Cantidad Postes (Real aprox.) Criterio: 70 mts entre postes
	1,21 Km	31	36
Tendido Subterráneo	Distancia (aproximada)	Cantidad Cámaras de Registro (Teorico) Criterio: 300 mts entre cámaras	Cantidad Cámaras de Registro (Real aprox.) Criterio: 300 mts entre cámaras
	0,01 Km	2	2

TABLA 2-23: DETALLE DEL TENDIDO DE LA RUTA PROPUESTA

Fuente: "Autor" [1]

Ubicación de las cajas de empalme:

Rutas	Cajas de empalme
Ruta 1	Caja de empalme en la unión del tendido aéreo con el subterráneo
	Caja de empalme en la unión del tendido subterráneo con el aéreo

TABLA 2-24: UBICACIÓN DE LAS CAJAS DE EMPALME

Fuente: "Autor" [1]

Longitud detallada del tendido:

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA LONGITUD TOTAL DE LA FIBRA ÓPTICA		
	Longitudes	Longitudes Parciales
PLANTA EXTERNA: Splitter Óptico - Vivienda residencial		
Longitud del cable de fibra óptica splitter óptico - puente Venezuela (Caja de empalme, Tendido Subterráneo)	0.88 Km	
Longitud extra del tendido de reserva en el tendido aéreo (Criterio: 50mts de fibra óptica por cada kilómetro)	0.88 Km x 50 mts/Km = 0.044 Km	
Longitud extra del tendido por pandeo de la fibra óptica (Criterio: 1% de la long total del tendido aéreo del cable de fibra óptica)	1 % (0.88 Km) = 0.009 Km	
Longitud de fibra enrollada al interior de la caja de empalme para el tendido subterráneo	0.001 Km	
Tipo de cable : Cable ADSS KP monotubo, 4 fibras (K: Kevlar; P: Politiлено)		
Longitud total		0.934 Km
Longitud de fibra enrollada al interior de la caja de empalme para el tendido subterráneo	0.001 Km	
Longitud extra del tendido vertical bajada del poste (nivel del piso)	0.009 Km	
Longitud extra por la profundidad de cámara de registro (bajada)	0.001 Km	
Longitud extra del tendido de reserva en el tendido subterráneo (Criterio: 10mts de fibra óptica por cada cámara)	2 x 0.010 Km = 0.020 Km	
Longitud del cable de fibra óptica subterráneo bajo el puente Venezuela (Entre cámaras de registro)	0.010 Km	
Longitud extra por la profundidad de cámara de registro (subida)	0.001 Km	
Longitud extra del tendido vertical subida al poste (desde el nivel del piso)	0.009 Km	
Longitud de fibra enrollada al interior de la caja de empalme para el tendido subterráneo	0.001 Km	
Tipo de cable : Cable estructura holgada PKESP monotubo, 4 fibras (P: Politiлено; K: Kevlar; ES: Acero copolimero corrugado)		
Longitud total		0.052 Km
Longitud de fibra enrollada al interior de la caja de empalme para el tendido subterráneo	0.001 Km	
Longitud del cable de fibra óptica puente Venezuela - armario telecomunicaciones (splitter óptico 1: 8)	0.230 Km	
Longitud extra del tendido de reserva en el tendido aéreo (Criterio: 50mts de fibra óptica por cada kilómetro)	0.231 Km x 50 mts/Km = 0.012 Km	
Longitud extra del tendido por pandeo de la fibra óptica (Criterio: 1% de la long total del tendido aéreo del cable de fibra óptica)	1 % (0.243 Km) = 0.003 Km	
Tipo de cable : Cable ADSS KP monotubo, 4 fibras (K: Kevlar; P: Politiлено)		
Longitud total		0.246 Km
Longitud del cable de fibra óptica armario telecomunicaciones (splitter óptico 1: 8) - rosea óptica	0.095 Km	
Longitud extra de de cable de fibra óptica para ampliaciones en la viviendas residencial	0.005 Km	
Tipo de cable : Cable ADSS KP monotubo, 4 fibras (K: Kevlar; P: Politiлено)		
Longitud total		0.100 Km
PLANTA INTERNA		
Longitud del cable de fibra óptica al interior de la vivienda residencial (cordón de parcheo)	0.002 Km	
Tipo de cable : Cable estructura breakout monofibra ignifugo KV (K: Kevlar; V: PVC)		
Longitud total		0.002 Km
LONGITUD TOTAL		1.334 Km

TABLA 2-25: LONGITUD DETALLADA DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA

Fuente: "Autor" [1]

2.3.4 Cálculos de atenuación y ancho de banda de la fibra óptica

Se procede a realizar los cálculos de atenuación y ancho de banda de la fibra óptica tomando como referencia las Tablas 2-6 y 2-7 que se presentan en el subcapítulo 2.2.4.

- **Cálculos de Atenuación**

Con el fin de esquematizar los cálculos de atenuación que se realizarán posteriormente se muestra a continuación en la Figura 2-7 los elementos que conforman la ruta escogida para el segundo escenario.

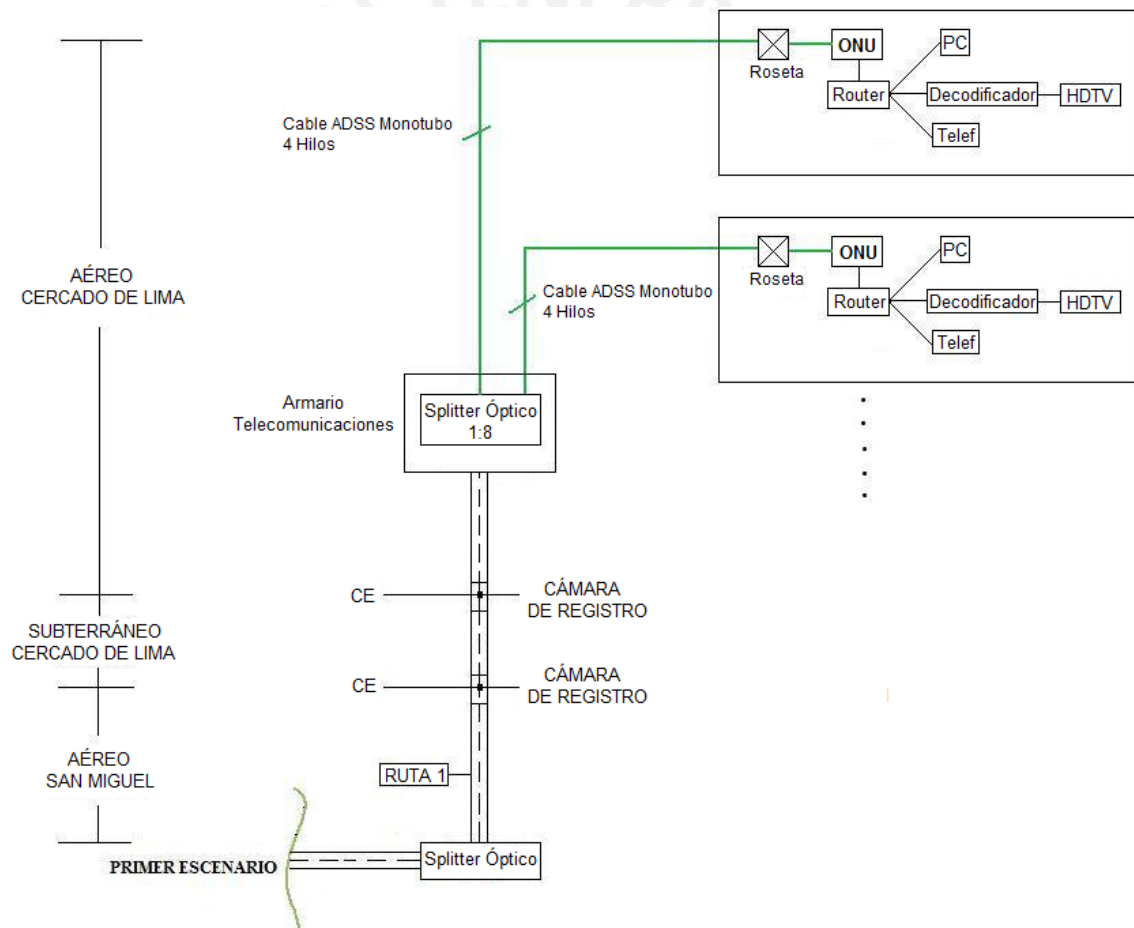


FIGURA 2-7: COMPONENTES DE LA RED FTTH DEL SEGUNDO ESCENARIO

Fuente: "Autor" [1]

Se procede a realizar los cálculos de atenuación para cada longitud de onda en el que trabaja WDM.

Para la longitud de onda de 1490 nm, las Tablas 2-26 y 2-27 muestran las atenuaciones máximas y mínimas permisibles, respectivamente; la sumatoria de las atenuaciones parciales de las Tablas 2-28, 2-29, 2-30 y 2-31 da como resultado la atenuación total del enlace; y la Tabla 2-32 comprueba la viabilidad del enlace considerando como principal factor que la atenuación total del enlace se encuentre entre los máximos y mínimos permisibles mencionados anteriormente.

- Para $\lambda = 1490 \text{ nm}$:

Transmisor: OLT

Receptor : ONU

ATENUACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PERMISIBLES DEL SISTEMA

Potencia óptica mínima del transmisor (dBm)	0
Sensitividad óptica mínima del receptor (dBm)	-28
Atenuación máxima del sistema (dBm)	28

TABLA 2-26: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

Potencia óptica máxima del transmisor (dBm)	2
Sensitividad óptica máxima del receptor (dBm)	-8
Atenuación mínima del sistema (dBm)	10

TABLA 2-27: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

ATENUACIÓN DEL ENLACE

Atenuación por multiplexor óptico CWDM del OLT (dB)	3.00
Atenuación por el adaptador en el ODF (dB)	0.75
Atenuación por el empalme en el ODF (dB)	0.20
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	3.95

TABLA 2-28: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación de la fibra óptica (dB)	: 0.68
Longitud total de la fibra óptica (Km) *	: 3.40
Longitud de onda de operación (nm)	1490
Coefficiente de atenuación para fibra G.652 (dB/Km)	: 0.20
Atenuación por empalme en la transición aéreo-subterráneo (dB)	: 0.20
Atenuación por empalme en la transición subterráneo-aéreo (dB)	: 0.20
Atenuación por el Splitter Óptico 1:2 75/25 (dB) **	: 1.70
Atenuación por el Splitter Óptico 1:8 (dB)	: 11.50
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	: 14.28

* Se considera como longitud total al recorrido desde la TROBA hasta el domicilio.

** La ruta correspondiente al primer escenario toma el segundo puerto de 25% de atenuación.

TABLA 2-29: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación por el adaptador óptico en la roseta (dB)	0.75
Atenuación por el empalme en la roseta óptica (dB)	0.20
Atenuación por multiplexor óptico CWDM del ONU (dB)	3.00
Atenuación total del enlace en la vivienda residencial (dB)	3.95

TABLA 2-30: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA VIVIENDA RESIDENCIAL

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación extra considerada como margen de seguridad (dB)	3.00
---	-------------

TABLA 2-31: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD

Fuente: "Autor" [1]

VIABILIDAD DEL ENLACE

Atenuación máxima permisible del sistema (dB)	: 28
Atenuación mínima permisible del sistema (dB)	: 10
Atenuación total del enlace (dB)	: 25.18
Atenuación total del enlace en la vivienda residencial (dB)	: 3.95
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	: 14.28
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	: 3.95
Atenuación extra por margen de seguridad (dB)	: 3.00
Resultado:	10 dB < 25.18 dB < 28 dB

TABLA 2-32: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE

Fuente: "Autor" [1]

Para la longitud de onda de 1310 nm, de manera similar que para la longitud de onda de 1490nm, se muestran las atenuaciones máximas y mínimas en las Tablas 2-33 y 2-34, respectivamente; se obtiene la atenuación total del enlace en la sumatoria de las atenuaciones parciales de las Tablas 2-35, 2-36, 2-37 y 2-38; y se comprueba la viabilidad del enlace en la Tabla 2-39, tomando como principal consideración que la atenuación del enlace se encuentre entre las atenuaciones máximas y mínimas permisibles.

- Para $\lambda = 1310$ nm:

Transmisor: ONU

Receptor : OLT

ATENUACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PERMISIBLES DEL SISTEMA

Potencia óptica mínima del transmisor (dBm)	0
Sensibilidad óptica mínima del receptor (dBm)	-28
Atenuación máxima del sistema (dBm)	28

TABLA 2-33: ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

Potencia óptica máxima del transmisor (dBm)	2
Sensibilidad óptica máxima del receptor (dBm)	-8
Atenuación mínima del sistema (dBm)	10

TABLA 2-34: ATENUACIÓN MÍNIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA

Fuente: "Autor" [1]

ATENUACIÓN DEL ENLACE

Atenuación por multiplexor óptico CWDM del ONU (dB)	3.00
Atenuación por el empalme en la roseta óptica (dB)	0.20
Atenuación por el adaptador óptico en la roseta (dB)	0.75
Atenuación total del enlace en la vivienda residencial (dB)	3.95

TABLA 2-35: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA VIVENDA RESIDENCIAL

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación de la fibra óptica (dB)	:	1.70
Longitud total de la fibra óptica (Km) *	:	3.40
Longitud de onda de operación (nm)	:	1310
Coefficiente de atenuación para fibra G.652 (dB/Km)	:	0.50
Atenuación por empalme en la transición aéreo-subterráneo (dB)	:	0.20
Atenuación por empalme en la transición aéreo-subterráneo (dB)	:	0.20
Atenuación por el Splitter Óptico 1:2 75/25 (dB) **	:	1.70
Atenuación por el Splitter Óptico 1:8 (dB)	:	11.50
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	:	15.30

* Se considera como longitud total al recorrido desde la TROBA hasta el domicilio.

** La ruta correspondiente al primer escenario toma el segundo puerto de 25 % de atenuación.

TABLA 2-36: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN EL TRAYECTO

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación por el empalme en el ODF (dB)	0.20
Atenuación por el adaptador en el ODF (dB)	0.75
Atenuación por multiplexor óptico CWDM del OLT (dB)	3.00
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	3.95

TABLA 2-37: ATENUACIÓN DEL ENLACE EN LA TROBA

Fuente: "Autor" [1]

Atenuación extra considerada como margen de seguridad (dB)	3.00
---	-------------

TABLA 2-38: CRITERIO DE MARGEN DE SEGURIDAD

Fuente: "Autor" [1]

VIABILIDAD DEL ENLACE

Atenuación máxima permisible del sistema (dB)	:	28
Atenuación mínima permisible del sistema (dB)	:	10
Atenuación total del enlace (dB)	:	25.18
Atenuación total del enlace en la vivienda residencial (dB)	:	3.95
Atenuación total del enlace en el trayecto (dB)	:	15.30
Atenuación total del enlace en la TROBA (dB)	:	3.95
Atenuación extra por margen de seguridad (dB)	:	3.00
Resultado:		10 dB < 26.20 dB < 28 dB

TABLA 2-39: EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE

Fuente: "Autor" [1]

Los resultados obtenidos en Tabla 2-32 y Tabla 2-39 muestran que la atenuación del enlace se encontrará dentro de los límites máximos y mínimos permisibles del sistema; con lo cual se consigue que la potencia óptica recibida en el receptor no sea demasiado potente como para saturarlo, ni demasiado pequeña como para evitar que la señal original sea recuperada.

- **Cálculos de Ancho de banda**

El escenario planteado para este enlace se encuentra en una vivienda residencial, ubicada la cuadra 13 de la avenida Universitaria, frente a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. La aplicación que se proveerá es de televisión digital interactiva, internet de banda ancha y telefonía con VoIP. Por lo tanto, según los requerimientos de ancho de banda especificados en el subcapítulo 2.3.1, se requerirá un ancho de banda de 25/5 MHz ('downstream'/'upstream').

Se proceden a realizar los cálculos de ancho de banda para cada longitud de onda empleada de la tecnología CWDM.

- Para $\lambda = 1490$ nm:

$$G_c = \frac{D_c \times \Delta\lambda \times L}{2.35} = \frac{20 \text{ P}_2/\text{nm.Km} \times 2.5 \text{ nm} \times 3.4 \text{ Km}}{2.35} = 72.34 \text{ P}_2$$

$$\Delta f = \frac{0.187}{G_c} = \frac{0.187}{72.34 \times 10^{-12}} = 2.58 \text{ GHz}$$

El ancho de banda que permite el enlace de fibra óptica en una longitud de 3.4 Km es de hasta 2.58 GHz; mientras que el sistema transmite un ancho de banda total de 1150 Mhz (Tecnología Gigabit Ethernet) para el segundo escenario, después de descontar un ancho de banda de 100 Mhz correspondiente al primer escenario; y el requerimiento de ancho de banda por vivienda en 'downstream' ($\lambda = 1490$ nm) es de 25 Mhz. Por lo tanto, el ancho de banda disponible para el segundo escenario (1150 Mhz) cumple con el requerimiento de hasta 46 viviendas.

- Para $\lambda = 1310$ nm:

$$G_c = \frac{D_c \times \Delta\lambda \times L}{2.35} = \frac{5.3 \text{ P}_2/\text{nm.Km} \times 2.5 \text{ nm} \times 3.4 \text{ Km}}{2.35} = 19.17 \text{ P}_2$$

$$\Delta f = \frac{0.187}{G_c} = \frac{0.187}{19.17 \times 10^{-12}} = 9.75 \text{ GHz}$$

El ancho de banda que permite el enlace de fibra óptica en una longitud de 3.4 Km es de hasta 9.75 GHz; mientras que el sistema transmite un ancho de banda total de 1150 Mhz (Tecnología Gigabit Ethernet) para el segundo escenario, después de descontar un ancho de banda de 100 Mhz correspondiente al primer escenario; y el requerimiento de ancho de banda en 'upstream' ($\lambda = 1310 \text{ nm}$) es de 5 Mhz. Por lo tanto, el ancho de banda disponible para el segundo escenario (1150 Mhz) cumple con el requerimiento de hasta 230 viviendas.

2.3.5 Método de Terminación de cables en la vivienda residencial

La terminación de cables en la vivienda residencial se realizará a través del método de empalme con 'pigtail' en la roseta óptica ubicada al interior del domicilio; y los conectores empleados serán tipo SC-PC debido principalmente a su compatibilidad con la mayoría de equipos y por su calidad en el pulido.

2.3.5.1 Topología de red

La siguiente figura (Figura 2-8) muestra un esquema general de la topología de la red planteada para el primer escenario.

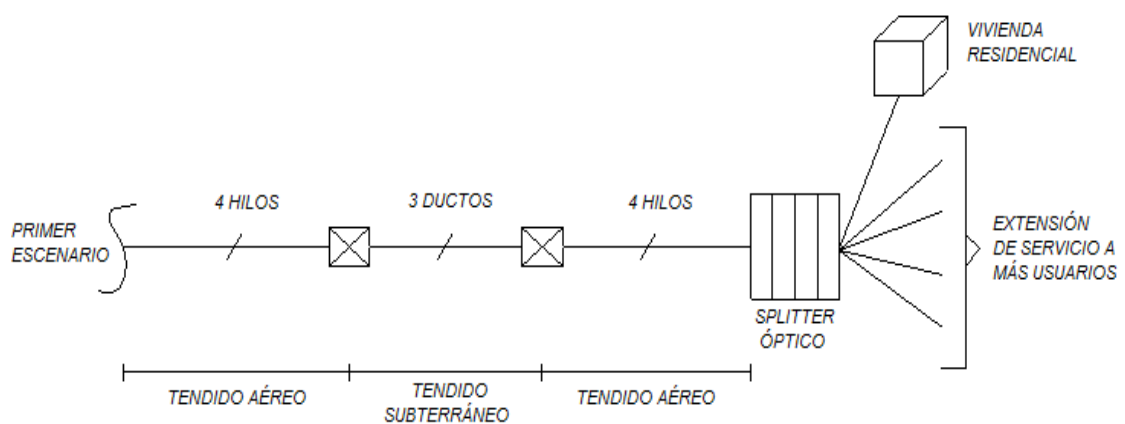


FIGURA 2-8: TOPOLOGÍA DE RED DEL SEGUNDO ESCENARIO

Fuente: "Autor" [1]

2.3.5.2 Interconexión de equipos y terminación de red

La Figura 2-9 que se muestra a continuación corresponde a la terminación de red del segundo escenario. En esta figura se observa la interconexión de equipos tanto en la TROBA como en la vivienda residencial. Los equipos pertenecientes a la TROBA son los mismos mencionados anteriormente en el subcapítulo 2.2.5.2. Los equipos pertenecientes a la vivienda residencial consisten en una roseta óptica que es la unidad de terminación de fibra óptica en el hogar; una Unidad de Red Óptica, mejor conocida como ONU (del inglés *Optical Network Unid*), la cual se encarga de la transmisión y recepción de datos, y la conversión de la señal al unir dos medios físicos distintos: fibra óptica y cobre; un router VoIP (alámbrico o inalámbrico) que provee una interfaz para el teléfono analógico y encaminar la señal IP; y un decodificador digital de IPTV que provee la interfaz para la televisión digital interactiva.

La descripción de las características de cada uno de los equipos mencionados se encuentra en el subcapítulo 2.4.

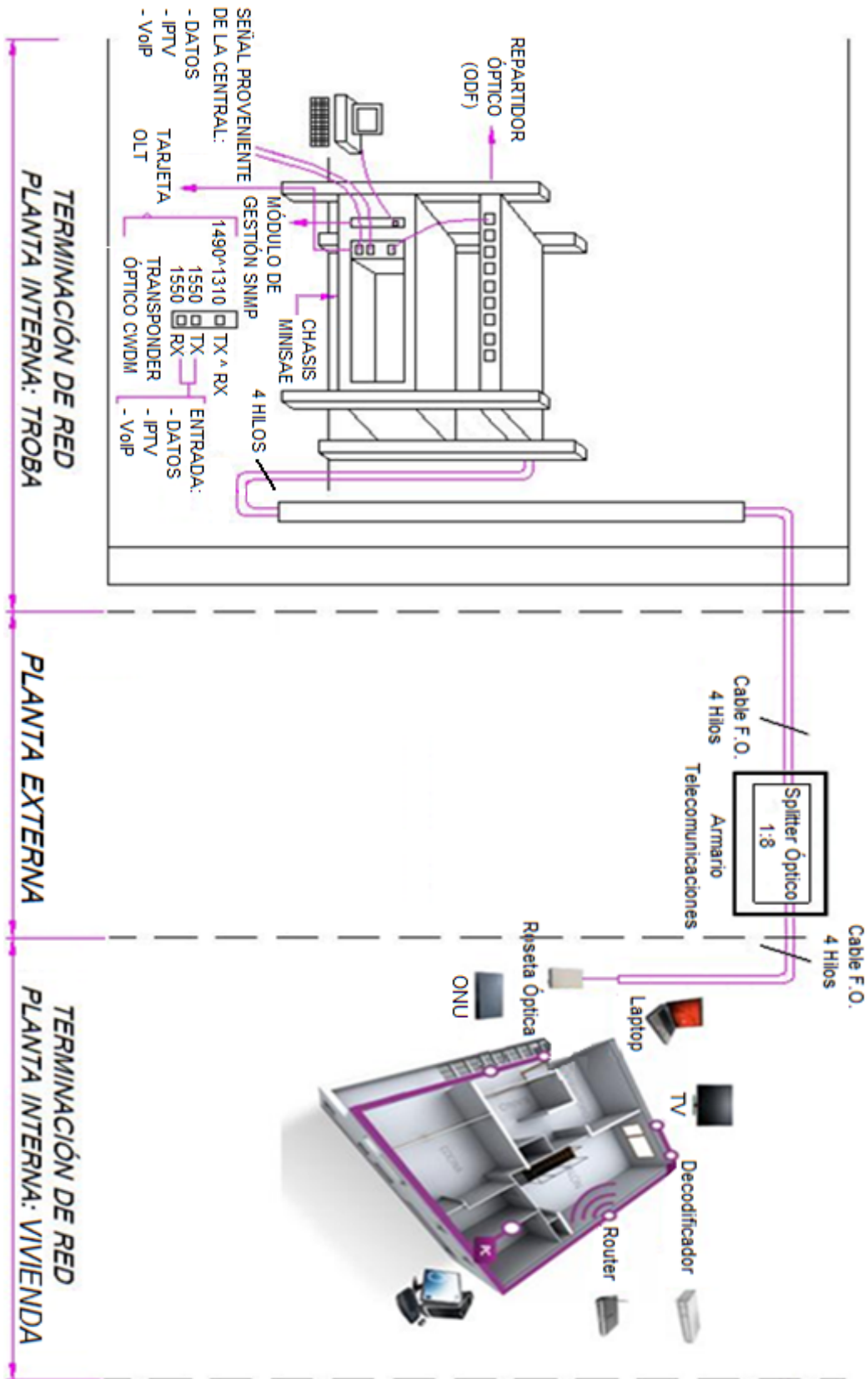


FIGURA 2-9: TERMINACIÓN DE RED DEL SEGUNDO ESCENARIO

Fuente: "Autor" [1]

2.4 Equipamiento en el diseño de la red FTTH.

Para la propuesta planteada se opta por trabajar con los equipos del fabricante Telnet-Ri, empresa española especializada en el diseño de equipos de telecomunicaciones para fibra óptica con 14 años de experiencia en el rubro. Los equipos a emplear pertenecientes a esta empresa son los siguientes: Chasis Modular, OLT, y ONU/ONT. En el resto de equipos no se tiene preferencia por algún fabricante en particular, en vista de que no dependen de un software propietario para su gestión.

A continuación se presenta una descripción de las características del equipamiento a emplear en el diseño de red FTTH.

Chasis Modular: Chasis con capacidad para gestionar una determinada cantidad de tarjetas modulares. Las tarjetas modulares que soporta se presentan en diversas configuraciones dependiendo del fabricante y de los requerimientos del cliente.

El modelo de chasis a emplear es el chasis MiniSAE, cuyas características se mencionan a continuación:

- Sistema de respaldo de energía que consta de dos fuentes de alimentación (AC o DC) operando en balanceo de carga, ambas al 50%. En caso de fallas en alguna de ellas, la fuente operativa asume el 100% de la carga sin interrupción del servicio.
- Chasis compatible con las dimensiones de profundidad, anchura y ventilación establecidas en este estándar ETSI.
- Gestión embebida SMNP a través controlador SNMP incluido en el chasis.
- Peso del chasis (sin módulos) de 5 Kg.
- Consumo de energía de 300 W.

Se escoge el uso del chasis modular debido a la flexibilidad y escalabilidad que se obtiene al añadir tarjetas conforme se requiera expandir un servicio a más usuarios o se desee implementar una nueva aplicación.

SNMP: Módulo de gestión SNMP, es una tarjeta incorporada al Chasis Modular que permite la gestión remota de las tarjetas modulares como también de las unidades remotas del cliente (ONUs).

Esta tarjeta posee dos interfaces FastEthernet 100BASETX con puertos RJ45 para la interconexión con un computador externo para su uso como consola de gestión.

La gestión remota se realiza por medio del software propietario SMNP, conocido como iQUEUE. Este software brinda la posibilidad de asignar anchos de banda en canal ascendente y descendente a cualquier elemento remoto; realizar filtrado de tráfico a nivel 2 y a nivel 3; y establecer diferentes reglas de encaminamiento (bridging, VLAN por ONU, VLAN privada, translación de VLANes, etc).

OLT: Tarjeta controladora OLT, es una tarjeta modular que es insertada a un Chasis OLT y reparte una señal GigabitEthernet entre un máximo de 64 equipos remotos (ONUs), asignándole calidad de servicio a cada uno sobre un despliegue monofibra con topología en bus lineal o en árbol-rama.

Esta tarjeta dispone de dos interfaces ópticas modulares SFPs con conectores SC-PC: una interfaz de transporte SFP donde se establece comunicación con la central (servicio triple-play) y una interfaz monofibra EPON SFP por la que se establece una comunicación bidireccional con las unidades remotas (ONUs) de los clientes. La interfaz EPON SFP es compatible con el estándar 1000Base-BX (*del inglés BiDirectional Long Wave*) que establece el empleo de dos longitudes de onda de 1490 y 1310 nm para la transmisión y recepción de datos sobre una misma fibra , respectivamente; y alcances de hasta 20 Km de distancia.

Este quipo es suministrado por el proveedor TELNET-RI; por lo tanto, tiene la capacidad de ser administrado remotamente por el software propietario de gestión SMNP, iQUEUE.

ODF: Repartidor óptico (*del inglés Optical Distribution Frame*) es un dispositivo pasivo de terminación de fibras ópticas, que establece un punto de terminación de red entre la panta interna y externa. Este dispositivo me permite realizar las interconexiones con los equipos de planta interna de manera rápida y organizada.

Splitter Óptico: Dispositivo que divide el haz óptico entrante y lo distribuye hacia múltiples fibras o lo combina dentro de una misma fibra. En la propuesta planteada se

utilizarán tres configuraciones de splitters ópticos: splitter óptico 1:2 (75/25), con una distribución de potencia en puertos de salida de 75% y 25%; splitter óptico 1:4, con una distribución de potencia homogénea en los cuatro puertos de salida de 25%; y splitter óptico 1:8, con una distribución de potencia homogénea en los ocho puertos de salida de 12.5%.

ONU/ONT: Unidad de Red Óptica o Unidad de Terminación de Red, nombre que recibe el equipo receptor encargado de la conversión óptico-eléctrica, ubicado en el edificio Mc Gregor para efectos de nuestra aplicación.

Este dispositivo es el encargado de recibir la señal óptica desde la tarjeta controladora OLT, ubicada en el Chasis Modular, y convertirla a una señal eléctrica Ethernet del tipo 100BASE-TX. Su interfaz óptica cumple con los estándares IEEE 802.3ah: FTTH y 1000BASE-BX trabajando sobre una arquitectura monofibra. Esta interfaz transmite en 1310 nm y recibe una señal del OLT en 1490 nm.

Además, este dispositivo posee una configuración en banda (in band), con la cual puedo transmitir los paquetes de OAM (Operación Administración y Mantenimiento) y el flujo de información por la misma fibra óptica multiplexándolos en el tiempo (TDM).

El equipo es suministrado por el proveedor TELNET-RI; por lo tanto, tiene la capacidad de ser administrado remotamente por el software propietario de gestión SNMP, iQUEUE.

Switch: Equipo de networking que opera en la capa 2 del modelo OSI (del inglés *Open Systems interconnection*). Este dispositivo interconecta dos o más segmentos de red, pasando datos de un segmento a otro, de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red.

Router: Equipo de networking que opera en la capa 3 del modelo OSI (del inglés *Open Systems interconnection*). Este dispositivo permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la ruta que debe tomar el paquete de datos hacia su red destino.

2.5 Descripción técnica de la instalación de la red de acceso.

2.5.1 Técnicas de instalación

2.5.1.1 Técnica de instalación aérea

Para la instalación aérea se utilizará la compartición de infraestructura de postes con la compañía de luz correspondiente a la zona de instalación, ubicada en los distritos de Cercado de Lima y Pueblo Libre.

El tipo de cable utilizado para la instalación aérea es un cable ADSS de estructura holgada, KP monotubo, 4 fibras (K: Kevlar; P: Polietileno). Se escoge este tipo de cable, porque al ser un tubo de tipo holgado la cubierta no aprieta directamente sobre la fibra otorgándole al cable mayor flexibilidad. Por otra parte, el tubo central holgado posee un relleno de gel hidrófugo bloqueante de la humedad. Además, su cubierta de polietileno ofrece mayor resistencia a los cambios de temperatura del medio ambiente al que se encuentra expuesto.

Para la planta interna, se utilizará cable estructura apretada ignífugo KV, 4 fibras (K: Kevlar; P: PVC). Se escoge este tipo de cable, porque dota a las fibras de una cubierta individual ignífuga no propagadora de la llama y con baja emisión de humos. Además, posee una segunda cubierta de PVC que refuerza la protección a las fibras que contiene.

El método de instalación aérea será el método de instalación manual (Ver Figura 2-12), que consta en subir manualmente el cable por cada poste donde se realizará la instalación. Se opta por la elección de este método de instalación, debido a que es el más económico de los métodos por no requerir de un sistema de poleas, ni un motor de tracción de la fibra. Además, este método proporciona la menor fuerza sobre el cable de fibra óptica en la instalación, debido a que éste no es jalado a través de un sistema de poleas; por lo tanto, se ejerce una menor fuerza sobre el cable, lo que permite una mayor longitud de tendido.



FIGURA 2-10: MÉTODOS DE INSTALACIÓN MANUAL

Fuente: "Comunicaciones Ópticas" [4]

Durante el proceso del tendido de fibra óptica a través de los postes de luz se tomará en consideración los siguientes tipos de instalación:

Ferretería de suspensión

Corresponde a la ferretería ubicada en la parte superior del poste, cuya función corresponde en sostener el cable de fibra óptica que va a tenderse donde su dirección no varía con respecto al resto de postes.

Sus accesorios son:

- Presillas.
- Cinta Bandit.
- Platina con jota y dados.

Su instalación se observa su instalación en la Figura 2-11.

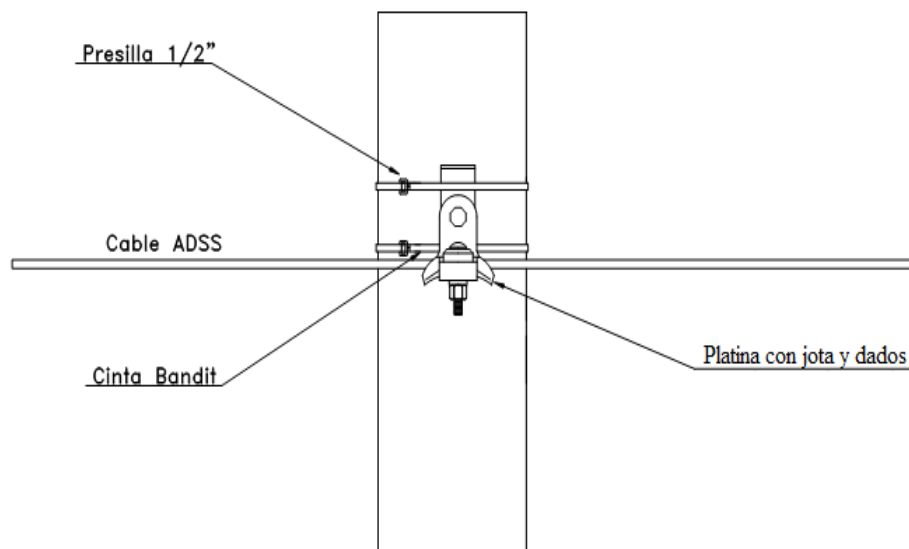


FIGURA 2-11: INSTALACIÓN DE FERRETERÍA DE SUSPENSIÓN

Fuente: "Autor" [1]

Ferretería de anclaje

Corresponde a la ferretería utilizada para cambiar de dirección en el trayecto. Se consideran 2 ferreterías de anclaje (una para cada lado) para cambiar la dirección del trayecto.

Sus accesorios son:

- Presillas.

- Cinta Bandit.
- Retención cable ADSS.
- Trompo – Platina

Su instalación se observa en la Figura 2-12.

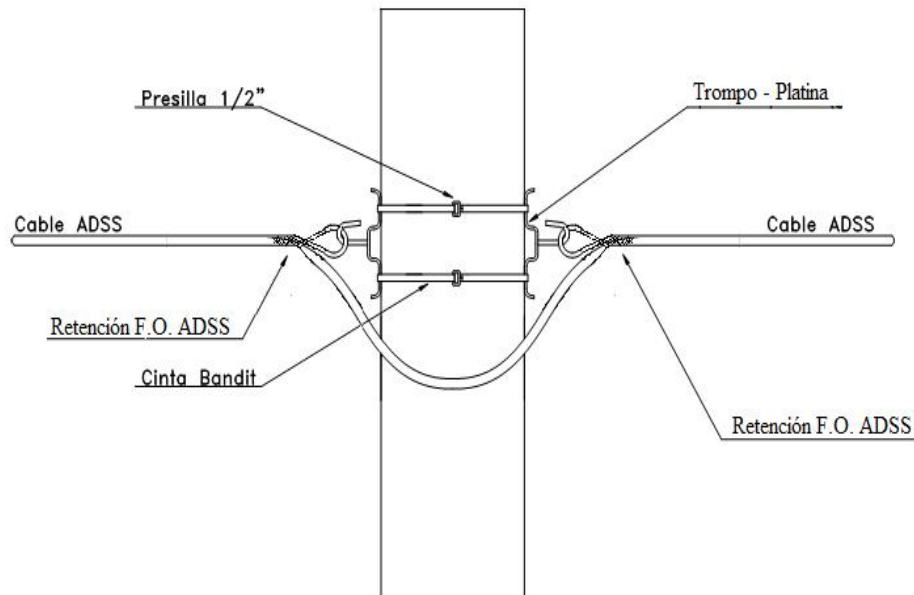


FIGURA 2-12: INSTALACIÓN DE FERRETERÍA DE ANCLAJE

Fuente: "Autor" [1]

Ferretería de soporte

Corresponde a la ferretería utilizada para ejercer tensión en el poste y evitar que el poste se incline hacia un lado por efecto del peso del propio cable. Se observa el empleo de este tipo de ferretería para los dos escenarios planteados. Se ubicará el primero de este tipo en la entrada al campus universitario; mientras que el segundo y tercero se ubicarán a cada lado de la berma para el cruce por debajo del puente siguiendo la avenida Universitaria.

Sus accesorios son:

- Presillas.
- Cinta Bandit.
- Retención cable ADSS.
- Trompo – Platina
- Cable de acero (mensajero)

- Preformado de remate de 1/4"
- Guardacabo R
- Perno de ancla
- Ancla (Block de cemento)

Su instalación se observa en la Figura 2-13.

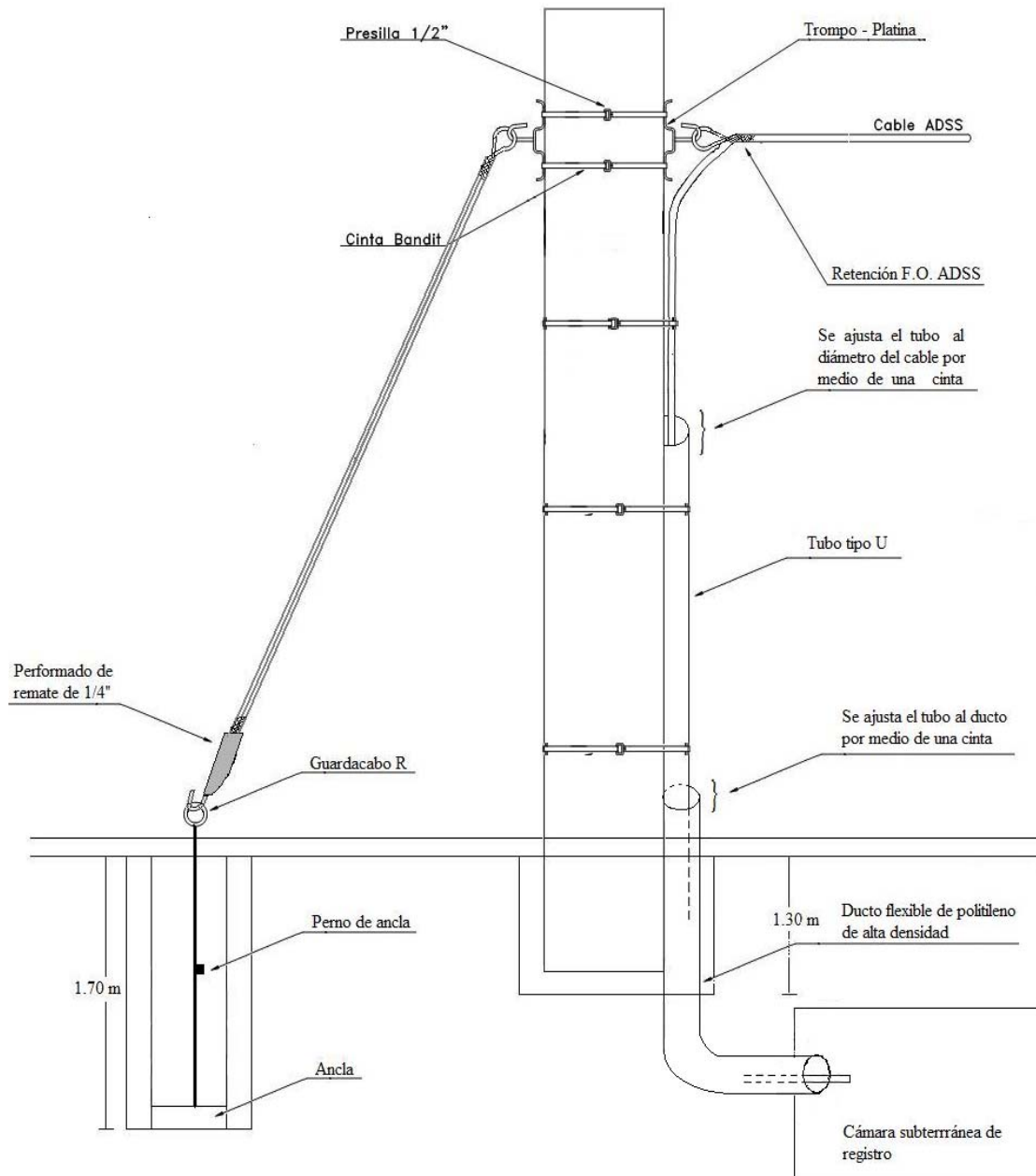


FIGURA 2-13: INSTALACIÓN DE FERRETERÍA DE RETENIDA

Fuente: "Autor" [1]

2.5.1.2 Normas aplicadas para el tendido de cables en instalación aérea

El estándar L.35 de la ITU-T publica las siguientes recomendaciones respecto al tendido aéreo:

- Distancia media entre postes: 25-80 m
- Distancia máxima entre postes: 50-200 m
- Perfil del cable autoportado: en figura ocho y forma circular.
- Longitud sobrante de cable en los puntos de empalme: 10 a 20m.

2.5.1.3 Técnica de instalación subterránea en ductos.

Para la instalación subterránea se utilizará la instalación subterránea a través de ductos para la canalización del cable de fibra óptica al interior del campus universitario, como también para el cruce del puente Venezuela con la avenida Universitaria, siguiendo la ruta de la avenida universitaria, y pasando por debajo del puente Venezuela. Los distritos por los que se efectuará este tendido corresponden al distrito de San Miguel y el distrito de Cercado de Lima, para los escenarios del campus universitario y la vivienda residencial, respectivamente.

El tipo de cable utilizado para la instalación aérea es un cable estructura holgada, PKESP monotubo, 4 fibras (P: Primera cubierta de Polietileno; K: Kevlar; ESP: Acero copolímero corrugado (protección antirroedores); P: Segunda cubierta Polietileno). Se escoge este tipo de cable, porque su doble cubierta de polietileno ofrece mayor resistencia a los cambios de temperatura del medio ambiente. Por otra parte, dota al cable de fibra óptica de una cubierta de acero corrugado que protege a la fibra de los roedores. Además, posee cabos de fibra de aramida (kevlar) que otorga al cable de fibra un refuerzo resistente a tracción.

El método de instalación subterránea será el método de tracción manual intermedia. Este tipo de instalación requiere un mecanismo de introducción del cable dentro de la canalización, que consta en introducir el cable de fibra gradualmente a medida que los operarios, ubicados en las cámaras intermedias, van jalando del mismo. Para esta instalación se requiere de una bobina de cable de fibra óptica; operarios calificados; un instrumento de medida de tensión; y un lubricante compatible con la fibra óptica que reduzca la fricción en el ducto. Se opta por la elección de este método de instalación, debido a la corta distancia del tendido subterráneo, lo que hace innecesario otros métodos de instalación que ofrecen una mayor longitud del tendido, como son los

métodos de tracción progresiva y tracción bidireccional. Por lo tanto, al utilizar el método de tracción manual intermedia se pueden aprovechar sus beneficios de simplicidad, rapidez y economía.

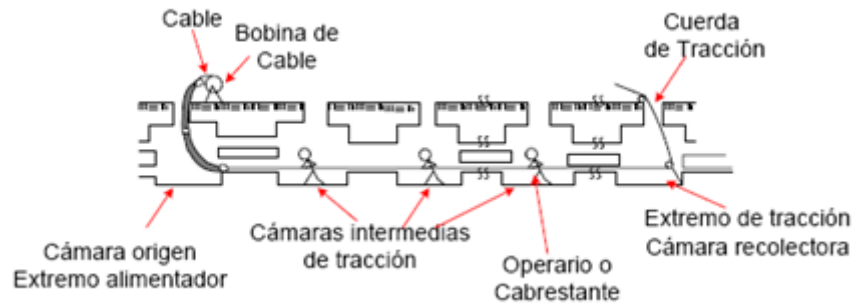


FIGURA 2-14: MÉTODO DE INSTALACIÓN POR TRACCIÓN MANUAL INTERMEDIA

Fuente: "Comunicaciones Ópticas" [4]

2.5.1.4 Normas aplicadas para el tendido de cables en instalación subterránea en ductos

El estándar L.38 de la ITU-T, aconseja seguir los siguientes pasos para la instalación de un cable de fibra óptica subterráneo:

Antes de hacer la perforación del suelo

- Información administrativa.
- Información tecnológica, es decir, si el lugar donde se tenderá el cable presenta instalaciones previas.
- Estudio de suelos.

Información sobre las estructuras

- Los materiales de la estructura, por ejemplo, PVC, metales.
- Diámetro.
- Profundidad del emplazamiento.
- Si se considerarán materiales de relleno, como arcilla o arena.

El estándar L.35 de la ITU-T publica las siguientes recomendaciones respecto al tendido aéreo:

- Número de cajas de empalme por kilómetro a lo largo del tendido: 1-30.
- Material del conducto: PVC, HDPE, PE, arcilla y acero.
- Diámetro interno del conducto: 27-125 mm
- Material del subconducto: PVC y PE.
- Diámetro interno de los subconductos: 14-44 mm
- Longitud máxima de cable entre empalmes: 400-6000 m.
- Longitud sobrante de cable, solo cuando se considera: 2-22 m

2.5.2 Descripción técnica de la implementación de ductos y cámaras

El tendido subterráneo a realizar consta del despliegue de tres ductos, de los cuales uno transportará el cable de cuatro fibras y los otros dos servirán de reserva. Una fibra es utilizada para el transporte de tres longitudes de onda (1310nm, 1490 nm y 1550 nm) mediante multiplexación CWDM para los servicios de doble-play y triple-play, en los escenarios de un campus universitario y una vivienda residencial, respectivamente; mientras que las otras tres fibras son utilizadas para reserva y expansión futura del servicio.

La ubicación de los ductos y cámaras se darán en ambos escenarios. En el primer escenario, estos se instalarán al interior del campus universitario para facilitar el acceso al edificio Mc Gregor, manteniendo la política de estética de las instalaciones del campus universitario. En el recorrido de los ductos al interior del campus se tendrá que atravesar una pista, para lo cual se instala una cámara de paso a cada lado de la berma para la correcta manipulación del cable de fibra óptica durante su proceso de instalación, siguiendo las normas establecidas para el cruzamiento de la carretera.

En el segundo escenario, la instalación de los ductos tendrá lugar bajo el puente Venezuela siguiendo la ruta de la avenida Universitaria; y las cámaras de paso se instalarán a cada lado de la berma siguiendo las normas respectivas.

Las condiciones técnicas de implementación de ductos y cámaras para la instalación de cables de fibra óptica están dadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Directiva No 001-2008-MTC/02: "CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DUCTOS Y CÁMARAS PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA", aprobada por la Resolución Ministerial No 333-2008-MTC/02.

Para la implementación de los ductos y cámaras de la red FTTH nos basaremos en la presente directiva con el fin de cumplir con la reglamentación establecida por la mencionada institución.

Las principales enmiendas de la Directiva N° 001- 2008-MTC/02 aplicadas a la propuesta planteada se adjuntan en el anexo 2.

2.5.3 Empalmes

2.5.3.1 Método de empalme

El método de empalme utilizado es el empalme por fusión. Este método consiste en fundir y unir fibras ópticas mediante el uso de soldadores con fusión por arco eléctrico.

El proceso de empalme mediante empalme por fusión consiste en las siguientes etapas:

- Preparación de la fibra óptica, etapa preliminar en la que se eliminan todos los recubrimientos en la región de los extremos de las fibras a empalmar. Luego se procede con el corte de los extremos desnudos de las fibras de forma limpia y perpendicular a sus respectivos ejes; donde las superficies de los externos deben quedar lisas sin astillas ni rebabas, y cuyo ángulo de inclinación con respecto a la perpendicular de su eje deberá ser menor a un grado.
- Empleo de la máquina de empalmes, etapa que consiste en el posicionamiento y sujeción de las fibras en la máquina de empalme. A continuación se procede con el encendido de la máquina de empalmes, que comenzará el proceso de empalme con el ajuste de la separación de las fibras; limpieza de los extremos mediante una descarga del arco eléctrico; inspección de extremos de las fibras; alineación de las fibras. A partir de este punto se da inicio a la pre fusión y fusión de las fibras. Finalmente, se procede a la evaluación del empalme mediante un conjunto de pruebas para evaluar la calidad del mismo.
- Protección del empalme, etapa final en la que el empalme realizado requiere que se le restablezca el recubrimiento de la fibra para protegerla del entorno, darle protección mecánica y aumentar la resistencia a la tracción de la fibra. Para esto se procede con la colocación de una varilla metálica en el empalme realizado, con lo

cual se le otorga rigidez mecánica al empalme; y se recubre la varilla y la zona de empalme con un tubo termorretráctil, para reforzar y proteger a la fibra del entorno.

2.5.3.2 Normas aplicadas

La recomendación L.12 de la ITU-T, "Optical fibers joints", publicado en Marzo del 2008, detalla las características de los empalmes de fibras ópticas; los tipos de empalmes; el procedimiento para realizar cada tipo de empalme; y los métodos de prueba para asegurar la calidad del empalme de acuerdo a los estándares. Esta recomendación se basa a su vez en la publicación 1073-1 de la CEI.

Los métodos de prueba que se menciona en la recomendación L.12 de la ITU-T, se encuentran en las Tablas 2-43, 2-44 y 2-45.

Prueba	Tipos de Empalmes	Según CEI
Resistencia de Tracción	Empalme por fusión o mecánico monofibra o multifibra	CEI 61300-2-4 CEI 61073-1

TABLA 2-40: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Fuente: "Autor" [1]

Prueba	Tipos de Empalmes	Según CEI
Cambio de temperatura	Empalme por fusión o mecánico monofibra o multifibra	CEI 61300-2-22
Calor húmedo (estado estacionario)	Empalme por fusión o mecánico monofibra o multifibra	CEI 61300-2-19

TABLA 2-41: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

Fuente: "Autor" [1]

Prueba	Tipos de Empalmes	Según CEI
Pérdidas de inserción	Empalme por fusión monofibra	CEI 61300-3-4 CEI 61073-1

TABLA 2-42: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LAS CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

Fuente: "Autor" [1]

2.5.4 Protocolo de medición de enlaces ópticos

2.5.4.1 Descripción de los equipos utilizados y su funcionamiento en pruebas de calidad de enlaces de fibra óptica.

Los equipos utilizados para pruebas de calidad son dispositivos ópticos que permiten realizar mediciones de los parámetros ópticos de la fibra óptica para posteriormente ser analizados basándose en los estándares del tipo de fibra correspondiente. Estos equipos son de distintas medidas dependiendo de la aplicación y uso para el que se los requiera. Por lo tanto, algunos poseen un diseño portátil y manejable, los cuales son utilizados para aplicaciones de campo; mientras que otros son de diseño sofisticado y de mayor tamaño, los cuales son utilizados para aplicaciones de laboratorio y fabricación.

Equipos utilizados:

Medidor de Potencia Óptico (OPM, del inglés Optical Power Meter)

Se entiende por potencia óptica a aquella magnitud física que mide la capacidad para converger o divergir un haz de luz incidente. Por lo tanto, la función principal de este dispositivo consiste en medir la potencia total en una banda de longitud de onda seleccionada. Los dispositivos más comunes para medir los niveles de potencia óptica a través del uso de fotodetectores son los Medidores de Potencia Óptica Múltiples, los cuales pueden calibrarse para medir múltiples longitudes de ondas distintas dentro de un rango.

Láser de Soporte de Pruebas

Son fuentes especializadas de luz deseables para asistir en pruebas que mide la dependencia de la respuesta con la longitud de onda de un componente óptico o enlace.

Las dos Fuentes principales usadas para pruebas son:

- La fuente láser ajustable: Esta fuente genera una haz monomodo para cada longitud de onda seleccionada. También conocido como fuente de luz estabilizada.

- La fuente de luz incoherente de banda ancha: Este tipo de fuente es usado con un acoplador de alto poder en una fibra monomodo para evaluar componentes pasivos DWDM.

Reflectómetro Óptico de Dominio del Tiempo

Este dispositivo mide los parámetros de atenuación, longitud, pérdidas en los conectores y empalmes, y niveles de reflectancia. Además localiza fallas al interior de un enlace óptico como las rupturas de la fibra.

Este instrumento consiste en una fuente y detector óptico, un módulo de adquisición de datos, un CPU, una unidad de almacenamiento de información y un display.

La función de un OTDR es la de un radar óptico, el cual opera periódicamente mandando pulsos angostos del láser en un extremo de la fibra bajo prueba utilizando un acoplador direccional o un splitter óptico y luego analiza la amplitud y las características temporales de la forma de onda de la luz recibida.

Equipo de prueba de Tasa de error de bit (BER, del inglés Bit Error Rate)

Usa el estándar máscara de patrón de ojo para evaluar la capacidad de manejo de los datos en un enlace óptico.

2.5.4.2 Normas aplicadas

En el conjunto de normas aplicadas a las instalaciones de fibra óptica, estas se dividen en tres clases básicas: estándares primarios, estándares de componentes de pruebas y estándares de sistemas de prueba.

- Estándares primarios: A este grupo pertenecen los encargados de medir y caracterizar parámetros físicos fundamentales.

Organizaciones involucradas formulando este tipo de estándares de prueba:

NIST: National Institute of Standards and Technology

NPL : Nacional Physical Laboratory

PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt

- Estándares de componentes de prueba: Define las pruebas relevantes para el funcionamiento de los componentes de fibra óptica y establece los procedimientos de calibración de equipos.

Organizaciones involucradas formulando este tipo de estándares de prueba:

TIA/EIA: Telecommunication Industries Association/Electronic Industries Association

ITU-T : International Telecommunication Union–Telecommunication
Standardization Sector

IEC : International Electrotechnical Comisión

- Estándares de sistemas de prueba: Enfocado a métodos de medición para enlaces y pruebas.

Organizaciones involucradas formulando este tipo de estándares de prueba:

ANSI (American National Standards Institute)

IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineers)

ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization
Sector)

Clase de Estádares	Principales Organizaciones	Funciones
Primarios	<ul style="list-style-type: none"> • NIST (U.S.) • NPL (UK) • PTB (Germany) 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar parámetros físicos • Soporte y desarrollo acelerado de tecnologías emergentes (NIST)
Componentes de prueba	<ul style="list-style-type: none"> • TIA/EIA • ITU-T • IEC 	<ul style="list-style-type: none"> • Define pruebas de evaluación de componentes • Establece procedimientos de calibración de equipos
Sistemas de prueba	<ul style="list-style-type: none"> • ANSI • IEEE • ITU-T 	<ul style="list-style-type: none"> • Define métodos de prueba de la capa física • Establece procedimientos de medición para enlaces y redes

TABLA 2-43: CUADRO DE LAS ORGANIZACIONES ESTÁNDAR Y SUS FUNCIONES

Fuente: “Optical Communications Essentials ” [5]

Además, se consideran los siguientes estándares de la CEI (Comisión Electrónica Internacional):

CEI 14763-3, “Testing of optical fibre cabling”

CEI 60793-1-20, “Optical fibres: Measurement methods and test procedure – Fibre geometry”.

CEI 60793-1-45, "Optical fibres: Measurement methods and test procedure – Mode field diameter".

2.6 Normas Legales

2.6.1 Normativa para redes e instalaciones de comunicaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones

Para la implementación de las redes e instalaciones de comunicaciones en habilitaciones urbanas nos basaremos en los Artículos 4º, 5º, 6º y 7º del Reglamento Nacional de Edificaciones. Los artículos citados anteriormente se adjuntan en el anexo 3.

2.6.2 Trámites en obras públicas ante la municipalidad

Para la instalación de los ductos y cámaras de la red FTTH en la vía pública se tomara como referencia las Ordenanzas Municipales N° 2, 3, 5, 6, 10 y 11 de la Municipalidad de Pueblo Libre. Las ordenanzas municipales citadas anteriormente se adjuntan en el anexo 4.

Capítulo 3
Análisis Económico de la Factibilidad de
Redes FTTH vs Redes de Cobre ADSL



3.1 Análisis de la propuesta a través del árbol de problemas y el árbol de objetivos.

3.1.1 Árbol de problemas: De causas y efectos

La figura que se muestra a continuación (Figura 3-1) define de forma simplificada las causas y efectos que representa el problema central que se desea solucionar mediante el trabajo de tesis propuesto.

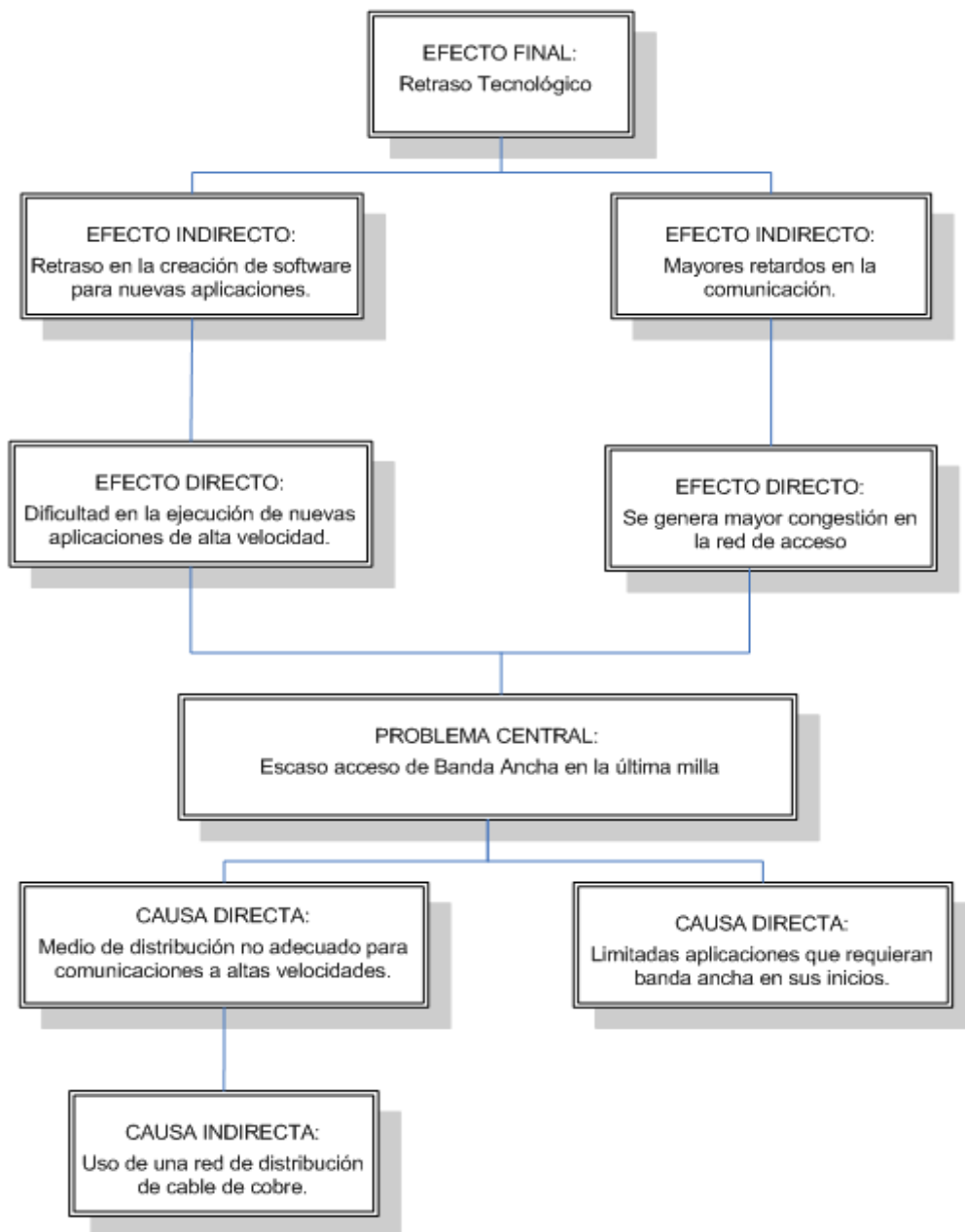


FIGURA 3-1: ÁRBOL DE PROBLEMAS: DE CAUSAS Y EFECTOS

Fuente: "Autor" [1]

En la Figura 3-1 se muestra un diagrama con el nombre de Árbol de problemas: De causas y efectos, que plantea la situación actual de una necesidad insatisfecha: Escaso acceso de Banda Ancha en la última milla. A esta necesidad se le describe bajo el nombre de problema central, de la cual se derivan tanto sus causas, directas e indirectas, como sus efectos, directos e indirectos; con el fin de mostrar un esquema general del problema a solucionar.

Del problema central se tiene dos causas directas que dan origen a este problema. La primera causa hace referencia al empleo de un medio de distribución no adecuado para las comunicaciones a alta velocidad; este medio viene a ser el cobre, el cual presenta problemas en las transmisiones a altas frecuencias tanto desde el punto de vista de atenuación como de ancho de banda. Por lo tanto, de esta causa directa se desprende una causa indirecta que es el actual empleo de una red de distribución de cobre como acceso a la red troncal en la última milla.

La segunda causa son las limitadas aplicaciones que requerían velocidades de banda ancha; razón por la cual, no se requería de altas velocidades en el bucle final y la red de distribución de cobre era suficiente para las aplicaciones utilizadas.

Además también se desprenden dos efectos directos como consecuencia de este problema central. El primer efecto es la dificultad en la ejecución de nuevas aplicaciones de alta velocidad; esto se debe al limitado ancho de banda ofrecido en la última milla, lo que hace difícil la ejecución de nuevas aplicaciones que surgen con elevados requerimientos de velocidad. De este efecto se desprende un efecto indirecto que es un retraso en la creación de software para estas nuevas aplicaciones debido a que las empresas desarrolladoras de software no consideran conveniente el desarrollo de software cuando la infraestructura y tecnología no se encuentran todavía preparadas para la correcta ejecución del mismo.

El segundo efecto es el incremento de la congestión en la red de acceso como producto de los múltiples paquetes de datos que son transmitidos desde cada abonado hacia la red troncal; pero a causa del “cuello de botella” de la red de acceso, ésta se sobrecarga de tráfico de datos, lo que produce en un retardo la transferencia de información.

Por último, se engloban los efectos directos como los indirectos en un mismo efecto final que es el retraso tecnológico.

3.1.2 Árbol de objetivos: De medios y fines

La figura que se observa a continuación (Figura 3-2) muestra de manera simplificada los medios y fines que se desprenden del objetivo central través de los cuales se busca alcanzar el objetivo central de la tesis propuesta.

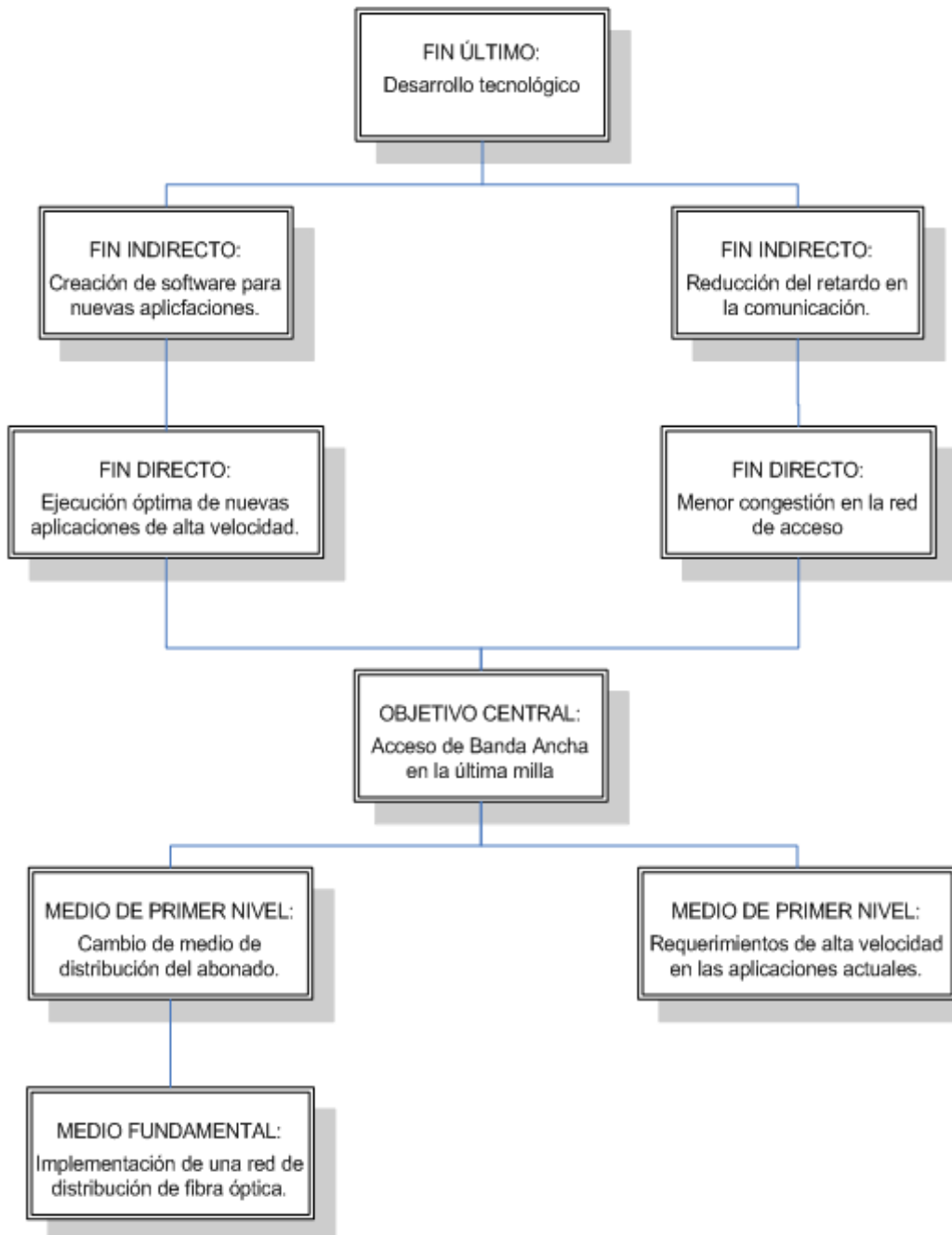


FIGURA 3-2: ÁRBOL DE OBJETIVOS: DE MEDIOS Y FINES

Fuente: "Autor" [1]

En la Figura 3-2 se muestra un diagrama con el nombre de Árbol de objetivos: De medios y fines, que plantea una alternativa de solución al problema central y muestra la situación positiva que se produce al solucionarse el mismo. Esta alternativa de solución se expresa mediante un objetivo central de la cual se derivan tanto los medios para alcanzar este objetivo, como los fines que se producirán una vez alcanzado este.

El objetivo central se centra en la solución del problema central observando la situación actual desde un punto de vista positivo. Del objetivo central se tiene dos medios de primer nivel para lograr este objetivo. El primer medio hace referencia al cambio de medio de distribución del abonado; este medio viene a ser la fibra óptica, la cual presenta mejores características de atenuación y ancho de banda. De este medio de primer nivel se desprende un medio fundamental para cumplir con el objetivo central, que corresponde a la implementación de una red de distribución de fibra óptica.

El segundo medio de primer nivel son los requerimientos de alta velocidad en las aplicaciones actuales; esto quiere decir, que conforme aparezcan más aplicaciones con mayor requerimiento de ancho de banda, se incrementará la cantidad de usuarios que requieran de estas aplicaciones; y por lo tanto, se incrementará la demanda por un mayor ancho de banda.

A partir de este objetivo central, se desprenden otras dos ramas correspondientes a los fines directos e indirectos que se tendrán como consecuencia positiva de haber alcanzado el objetivo planteado. El primer fin directo es la ejecución óptima de nuevas aplicaciones de alta velocidad, como resultado de haber cambiado el tipo de medio de transmisión de cobre a fibra óptica. De este fin directo se desprende un fin indirecto que es la creación de software para estas nuevas aplicaciones debido a que la infraestructura y tecnologías se encuentran preparadas, y se cuenta con la demanda existente para estas nuevas aplicaciones, por lo que las compañías desarrolladoras de software no encuentran mayor obstáculo para invertir en este tipo de proyectos.

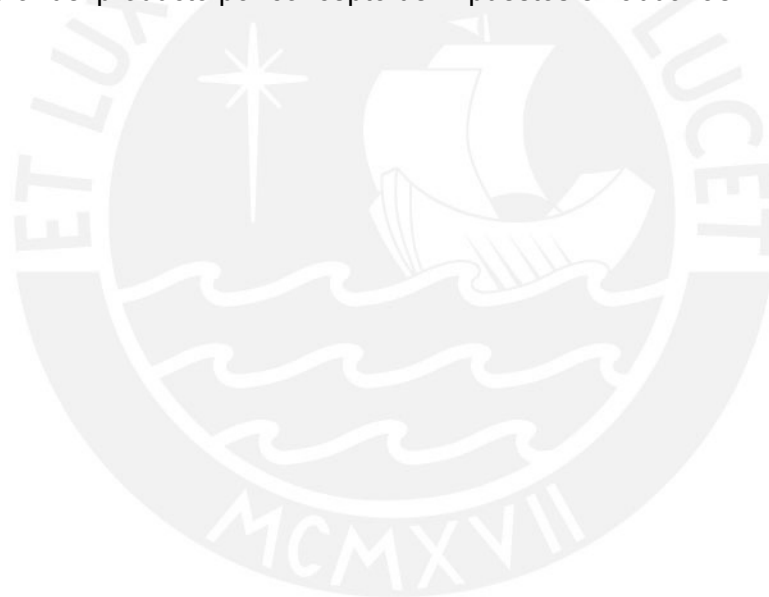
El segundo fin directo es la menor congestión en la red de acceso; producto de no existir más el “cuello de botella” ocasionado en la transición del flujo de datos de un medio basado en fibra óptica a un medio basado en cobre, y viceversa. Por lo tanto, esta reducción de congestión producirá como consecuencia indirecta una reducción del retardo en la comunicación.

Por último, se engloban los fines directos como los indirectos en un mismo fin último final que es el desarrollo tecnológico.

3.2 Propuesta económica de la red FTTH y de la red de cobre ADSL

3.2.1 Fabricante, modelo, cantidad y precio de cada uno de los materiales a utilizar para el despliegue de la red FTTH.

Se presenta en la Tabla 3-1 un listado detallado de cada uno de los materiales a utilizar en el despliegue de la red FTTH, indicando el nombre del recurso, marca, modelo, cantidad, precio unitario, precio parcial y precio total. Además, estos recursos son clasificados en dos categorías: insumos y materiales de origen nacional; e insumos y materiales de origen internacional. Por lo que permite fácilmente identificar el grupo de productos importados a los cuales se les realizará un recargo del 45% sobre el valor del producto por concepto de impuestos en aduanas.



RECURSOS	Marca	Modelo	U. Medida	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio Unitario (S/.)	Precio Parcial (S/.)
1 TRÁMITES LEGALES							
INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN NACIONAL							
Los precios listados se consideran como los precios reales dentro del mercado nacional sin considerar el IGV							
Licencias para el tendido aéreo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	9389.78
Autorización para colocación y cambio de poste destinados para servicios públicos	-----	-----	Poste	8	34.77	107.81	862.48
Ampliación de redes aéreas (autorización para la instalación del tendido aéreo)	-----	-----	Metros lineales	3170	0.86	2.69	8527.30
Licencias para el tendido subterráneo							
Autorización para colocación de cabinas telefónicas, subestaciones subterráneas, cajas de inspección.	-----	-----	Cámara	4	34.77	107.81	431.24
Ampliación y/o mejoramiento de redes subterráneas (ductos, tuberías, redes de agua potable, desagüe, telecomunicaciones instalaciones eléctricas)	-----	-----	Metros lineales	96	0.86	2.69	258.24
Licencias de uso de infraestructura pública							
Autorización para la reparación de pistas y/o bermas particulares, sardineles y veredas.	-----	-----	Unid	1	0.00	0.00	0.00
Ocupación de área de uso público con materiales de construcción e instalaciones provisionales de caseta y otras instalaciones base.	-----	-----	Metro cuadrado	< 100	139.11	431.25	431.25
2 EQUIPOS DE COMUNICACIÓN E INTERCONEXIÓN							
INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN INTERNACIONAL							
A cada precio listado se le recargará el 45 % por concepto de impuestos en aduanas							
Chasis Modular	Telnet-Ri	Chasis MiniSAE	Unid.	1	249.00	771.90	1119.26
Tarjeta controladora OLT	Telnet-Ri	Tarjeta Controladora OLT EPON 1+0	Unid.	1	120.00	372.00	539.40
ONU	Telnet-Ri	ONU EPON FastEthernet	Unid.	2	108.00	334.80	970.92
Splitter óptico 1:2 (75/25)	Telnet-Ri	Acoplador y Divisor para Fibra Óptica 1x2	Unid.	2	9.00	27.90	80.91
Splitter óptico 1:4	Telnet-Ri	Acoplador y Divisor para Fibra Óptica 1x4	Unid.	1	15.00	46.50	67.43
Splitter óptico 1:8	Telnet-Ri	Acoplador y Divisor para Fibra Óptica 1x8	Unid.	2	25.00	77.50	224.75
5321.46							

TABLA 3-1: PRESUPUESTO DE LA RED FTTH (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN NACIONAL									
Los precios listados se consideraran como los precios reales dentro del mercado nacional sin considerar el IGV									
Switch 5 puertos 10/100	D-Link	DES - 1005D		Unid.	2	25.00	77.50	155.00	
Switch 24 puertos 10/100	D-Link	24-Port 10/100 Rackmountable Switch		Unid.	2	115.00	356.50	713.00	
Bandeja de distribución de fibra óptica (ODF)	AMP NetConnect	Bandeja de distribución 19" 1RU y capacidad de 12 adaptadores SC-SC		Unid.	2	55.00	170.50	341.00	
Roseta óptica	AMP NetConnect	Roseta óptica 2 puertos SC		Unid.	1	18.00	55.80	55.80	
Router VoIP alámbrico	D-Link	DVG-G1402S		Unid.	1	120.00	372.00	372.00	
Router alámbrico	D-Link	EBR-2310		Unid.	1	70.00	217.00	217.00	
Decodificador digital de IPTV con sistema de grabación personal	ADB	5810TWX		Unid.	1	150.00	465.00	465.00	
DVR									
3 CABLE DE FIBRA ÓPTICA, EQUIPOS DE INSTALACIÓN Y ACCESORIOS									
INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN NACIONAL									
Los precios listados se consideraran como los precios reales dentro del mercado nacional sin considerar el IGV									
Cable ADSS KP Monotubo 4 hilos	OPTEL	ADSS KP (Kevlar, Polietileno) Monotubo		Metros lineales	3390	3.00	9.30	31527.00	
Cable estructura holgada KPESP Monotubo antiroedores 4 hilos	OPTEL	KPES (Kevlar, Polietileno; Acero copolimero corrugado; Polietileno) Monotubo		Metros lineales	174	4.00	12.40	2157.60	
Cable estructura apretada ignífugo KV 4 hilos	OPTEL	KV (Kevlar, PVC)		Metros lineales	40	1.00	3.10	124.00	
Cordón de parcheo simple SC-SC	AMP NetConnect	Cordón de parcheo simple SC-SC, 2 metros		Unid.	10	15.00	46.50	465.00	
Pigtail simple SC	AMP NetConnect	Pigtail simple SC, 2 metros		Unid.	10	8.00	24.80	248.00	
Caja de empaque	AMP NetConnect	-----		Unid.	3	110.00	341.00	1023.00	
Protector termorretractil de empalme	-----	-----		Paquete (100 unid)	1	40.00	124.00	124.00	
Kit de herramientas de terminación para conectores SC	AMP NetConnect	-----		Unid.	1	2500.00	7750.00	7750.00	
Conectores SC Monomodo	Nexxt	-----		Unid.	24	5.00	15.50	372.00	
Módulo Adaptador SC-SC	AMP NetConnect	Módulo Adaptador de pared SC-SC 2 puertos		Unid.	8	10.00	31.00	248.00	
Caja de protección outdoor	-----	-----		Unid.	1	16.12	50.00	50.00	
Gabinete de Telecomunicaciones	Elmsin (Importador)	Gabinete de pared 19" 8 RU		Unid.	1	110.00	341.00	341.00	
Armarío de Telecomunicaciones	Elmsin (Importador)	Armarío de Telecomunicaciones mural, 2 puertas.		Unid.	1	80.00	248.00	248.00	
Poste para telecomunicaciones	-----	-----		Unid.	8	161.29	500.00	4000.00	
Rack de telecomunicaciones	-----	Rack de telecomunicaciones 19" 40 RU		Unid.	2	129.03	400.00	800.00	
4 CABLE DE COBRE Y ACCESORIOS									
INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN NACIONAL									
Los precios listados se consideraran como los precios reales dentro del mercado nacional sin considerar el IGV									
Cable utp cat 5e	NEC	JPC-UTP5E		Rollo (300 mts)	1	120.00	372.00	372.00	
Conectores RJ-45	TechPrint	-----		Paquete (50 unid)	4	4.83	15.00	60.00	
Kit de herramientas para cable utp cat5e	-----	TLKIT-CPU-30		Kit	1	50.00	155.00	155.00	
Grapas, clavos y sujetadores	-----	-----		Paquete	1	16.12	50.00	50.00	
Caja Piso Roseta Red UTP & Toma 220v	Fayser	-----		Roseta	27	16.12	50.00	1350.00	
1987.00									

TABLA 3-1: PRESUPUESTO DE LA RED FTTH (PARTE B)

Fuente: "Autor" [1]

3.2.2 Fabricante, modelo, cantidad y precio de cada uno de los materiales a utilizar para el despliegue de la red ADSL basada en cobre.

Con la finalidad de realizar una comparación de precios entre el diseño de la red basada en fibra óptica (red FTTH) y la red basada en cobre (red ADSL), se presenta en la Tabla 3-2 el presupuesto de la red ADSL basada en cobre, en la cual se detallada cada uno de los materiales a utilizar, indicando el nombre del recurso, marca, modelo, cantidad, precio unitario, precio parcial y precio total. Además, estos recursos son clasificados en dos categorías: insumos y materiales de origen nacional; e insumos y materiales de origen internacional. Por lo que permite fácilmente identificar el grupo de productos importados a los cuales se les realizará un recargo del 45% sobre el valor del producto por concepto de impuestos en aduanas.



RECURSOS	Marca	Modelo	U. Medida	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio Unitario (S/.)	Precio Parcial (S/.)
1 TRÁMITES LEGALES							
INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN NACIONAL							
Los precios listados se consideran como los precios reales dentro del mercado nacional sin considerar el IGV							
Licencias para el tendido aéreo							8635.11
Autorización para colocación y cambio de poste destinados para servicios públicos			Poste	1	34.77	107.81	107.81
Ampliación de redes aéreas (autorización para la instalación del tendido aéreo)			Metros lineales	3170	0.86	2.69	8527.30
Licencias para el tendido subterráneo							473.86
Autorización para colocación de cabinas telefónicas, subestaciones subterráneas, cajas de inspección.			Cámara	2	34.77	107.81	215.62
Ampliación y/o mejoramiento de redes subterráneas (ductos, tuberías, redes de agua potable, desagüe, telecomunicaciones)			Metros lineales	96	0.86	2.69	258.24
Licencias de uso de infraestructura pública							431.25
Autorización para la reparación de pistas y/o bermas particulares, sardineles y veredas.			Unid	1	0.00	0.00	0.00
Ocupación de área de uso público con materiales de construcción e instalaciones provisionales de caseta y otras instalaciones base.			Metro cuadrado	< 100	139.11	431.25	431.25
2 EQUIPOS DE COMUNICACIÓN E INTERCONEXIÓN							
INSUMOS Y MATERIALES DE ORIGEN NACIONAL							
Los precios listados se consideran como los precios reales dentro del mercado nacional sin considerar el IGV							
Cable-Modem	Arrix	TM502G	Unid.	2	70.00	217.00	434.00
Router	TP-LINK	WR542G	Unid	2	40.00	124.00	248.00
Decodificador	Motorola	DCT700	Unid	1	130.00	403.00	403.00
Splitter 1:2	Holland		Unid.	2	1.38	4.29	8.58
Splitter 1:4	Holland		Unid.	1	1.75	5.44	5.44
Splitter 1:8	Holland		Unid.	1	5.18	16.07	16.07
Switch 5 puertos 10/100	D-Link	DES - 1005D	Unid.	2	25.00	77.50	155.00
Switch 24 puertos 10/100	D-Link	24-Port 10/100 Rackmountable Switch	Unid.	2	115.00	356.50	713.00

TABLA 3-2: PRESUPUESTO DE LA RED ADSL BASADA EN COBRE (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

3.3 Muestreo mediante encuestas de la captación del servicio

Se realizó una encuesta a un total de cincuenta personas sobre su interés en el servicio triple-play mediante la tecnología FTTH para el escenario de vivienda residencial. Esta encuesta se llevó a cabo en el campus universitario de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El servicio ofrecido en la encuesta consiste en un paquete de 25/5 Mbps ('downstream'/'upstream') que se reparte entre estos tres servicios: internet de banda ancha, televisión digital interactiva y telefonía mediante VoIP.

En internet de banda ancha se ofrece una velocidad máxima (aproximada) de internet de 25/5 Mbps ('downstream'/'upstream') en caso de que no se encuentre encendido ningún televisor equipado para HDTV; y una velocidad asegurada (aproximada) de internet de 4.5/3.5 Mbps ('downstream'/'upstream') en caso se encuentren encendidos una máximo de dos televisores equipados para HDTV.

En televisión digital interactiva se considera la instalación de hasta un máximo de 2 televisores para la transmisión-recepción de HDTV. Sin embargo, el paquete ofrecido incluye sólo el alquiler de un decodificador digital IPTV; por lo tanto en caso de requerir el máximo de 2, se adicionará la suma de S/. 50 mensuales al pago mensual del servicio por concepto de alquiler del segundo decodificador.

En telefonía mediante VoIP se aplica una tarifa plan que incluye llamadas ilimitadas a teléfonos fijos a nivel nacional.

Para fijar las alternativas de precios a cobrar por el servicio se tomó en cuenta el precio del paquete trío de mayor costo de Telefónica que corresponde a 299 soles; el precio del paquete triple-play de mayor costo de Telmex que corresponde a 350 soles; y el costo del paquete imagenio 30 Mb que actualmente comercializa Telefónica en España a un precio de 344 soles.

El formato de la encuesta realizada se adjunta en el anexo 1.

De la evaluación de las encuestas realizadas se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1) De un total de 50 personas encuestadas, un 76% (equivalente a 38 personas) cuenta actualmente con los servicios de televisión por cable, internet y telefonía.

- 2) Del 76% de encuestados que poseen los 3 servicios, un 60.52 % (equivalente a 23 personas) paga mensualmente por los mismos entre 200 y 250 soles.
- 3) Del 76% de encuestados que poseen los 3 servicios, un 15.78 % (equivalente a 6 personas) paga mensualmente por los mismos entre 250 y 350 soles.
- 4) Por lo tanto, tomando en cuenta el punto 2) y 3), del 76% de encuestados que poseen los 3 servicios, un 76.15 % (equivalente a 29 personas) paga mensualmente por los mismos una cantidad superior a los 200 soles.
- 5) Del 76.15% correspondiente al punto 4), un 100% se encuentra interesado por el servicio triple-play ofrecido.
- 6) Del 76.15% correspondiente al punto 4), un 78.26 % (equivalente a 18 personas) está dispuesto a pagar por el servicio la opción mínima que se encuentra en el rango de S/.320 a S/.350. Y el 21.74% (equivalente a 5 personas) restante estaría dispuesta a pagar entre 350 y 400 soles.

Por lo tanto, se considera un cobro por el servicio triple-play con fibra óptica de S/.350 mensuales. Además se cobrará 300 soles adicionales por concepto de instalación y alta del servicio. Los materiales y equipos de de interconexión en el domicilio del cliente incluyen: cable de fibra óptica desde el punto de distribución hasta la roseta óptica ubicada al interior del domicilio; cordones de parcheo ópticos utilizados en la interconexión de los equipos ópticos; roseta óptica; equipo ONU (Óptical Network Unit); router inalámbrico; decodificador para televisión digital interactiva; cables de cobre utilizados en la instalación al interior del edificio a partir del equipo ONU; y materiales para la correcta instalación de los cables de fibra óptica y cobre.

3.4 Factibilidad de la propuesta a través de los criterios de evaluación de proyectos

Se propone realizar un análisis de la expansión del servicio para un máximo de 50 clientes en un periodo de 5 años. Por lo tanto, será necesario un nuevo análisis de atenuación y ancho de banda para esta nueva cantidad de usuarios. El ancho de banda que se dispone es de 1.25 GHz, lo cual cumple perfectamente con un máximo de 50 clientes con el paquete ofrecido de 25/5 Mbps ('downlink'/'uplink'), según los cálculos de ancho de banda mostrados en el subcapítulo 2.3.4. El máximo de 50 clientes están conformados por 46 clientes residenciales y la Pontificia universidad Católica del Perú que requiere el ancho de banda equivalente a 4 clientes residenciales. Los cálculos de atenuación efectuados en el subcapítulo 2.3.4 muestran que se tiene una atenuación total del sistema de 25.18/26.20 dB ('downlink'/'uplink'); sin embargo, al añadir un splitter óptico 1:8 en cada una de las ramificaciones del anterior splitter óptico 1:8, se obtiene una capacidad de atención del servicio de hasta 64 clientes, pero a costo de un incremento de atenuación de 11.50 dB, obteniendo una atenuación total del sistema de 36.68/37.60 dB ('downlink'/'uplink') que escapa del límite máximo permisible de atenuación de 28 dB. Por lo tanto, se empleará un amplificador óptico FTTH de 10 a 12 dB, con lo cual la atenuación total de sistema se estará por debajo del límite máximo permisible.

Para efectos de simplificar el presupuesto requerido por vivienda en la expansión del servicio para 50 clientes residenciales se considera una distribución geográfica de topología tipo estrella, siendo cada splitter óptico 1:8 el nodo central de cada estrella. Se propone esta distribución geográfica como una idea inicial para obtener un presupuesto general del proyecto planteado; sin embargo, la topología que se observará en la práctica será del tipo árbol-rama, cuya distribución geográfica se llevará a cabo después de un minucioso y detallado estudio de mercado y a medida que los clientes requieran este servicio, expandiéndose progresivamente hacia las áreas con mayor demanda.

Con la finalidad de evaluar la factibilidad y sostenibilidad económica del proyecto en el tiempo, se procede a realizar un análisis de la expansión del servicio para un máximo de 50 clientes en un periodo de 5 años, a través de los criterios de evaluación de proyectos (ver Tablas 3-3, 3-4, 3-5 y 3-6).

INVERSIÓN EN LA EXPANSIÓN DEL SERVICIO RESIDENCIAL PARA UN MÁXIMO DE 50 CLIENTES (*) CON UNA CONEXIÓN DE 25/5 Mbps ('UPLINK'/ 'DOWNLINK')

INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO (**)	Total Parcial 1	319919.72
Extensión del servicio del segundo escenario a más de una vivienda residencial		

INVERSIÓN POR CADA VIVIENDA RESIDENCIAL

Extensión del servicio del segundo escenario a más de una vivienda residencial

Recurso	U. Medida	Cantidad	Precio Unitario (S./)	Precio Total (S./)
ONU	Unid.	1	334.80	334.80
Roseta óptica	Unid.	1	55.80	55.80
Router VoIP alámbrico	Unid.	1	372.00	372.00
Decodificador digital de IPTV con DVR	Unid.	1	465.00	465.00
Cable de fibra óptica ADSS KP Monotubo 4 hilos	Metros	60	9.30	558.00
Cordón de parcheo simple SC-SC	Unid.	1	46.50	46.50
Pigtail simple SC	Unid.	2	24.80	49.60
Conectores SC Monomodo	Unid.	2	15.50	31.00
Cable utp cat 5e	Metros	12	1.24	14.88
Mano de obra	Persona	2	50.00	100.00
Transporte	Viaje	1	20.00	20.00
			Total Parcial 2	2047.58

INVERSIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Expansión de infraestructura para extensión del servicio a más de una vivienda residencial

Recurso	U. Medida	Cantidad	Precio Unitario (S./)	Precio Total (S./)
Armario de Telecomunicaciones	Unid	8	310.00	2480.00
Splitter óptico 1:8	Unid	16	112.38	1798.08
Amplificador óptico FTTH (10-12 dBm)	Unid	16	2480.00	39680.00
Cordón de parcheo simple SC-SC	Unid	16	46.50	744.00
Cable de fibra óptica ADSS KP Monotubo 4 hilos	Metros	1080	9.30	10044.00
Poste de Telecomunicaciones	Unid	8	500.00	4000.00
Instalación de postes de telecomunicaciones	Poste	8	200.00	1600.00
Autorización para colocación y cambio de poste	Poste	8	107.81	862.48
			Total Parcial 3	61208.56

TABLA 3-3: INVERSIÓN PARA LA EXPANSIÓN DEL SERVICIO RESIDENCIAL (PARTE A)

Fuente: "Autor" [1]

INVERSIÓN FINAL DEL PROYECTO

Inversión	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Inversión Inicial del proyecto	-----	319919.72	319919.72
Inversión Vivienda Residencial	46	2047.58	94188.68
Inversión de infraestructura	-----	61208.56	61208.56
Pago por instalación en el domicilio	46	300.00	13800.00
Pago por instalación en campus	-----	190000.00	190000.00
		Total	271516.96

* El precio cobrado por el servicio a un máximo de 50 clientes consta de 46 clientes residenciales y el equivalente a 4 clientes residenciales por parte de la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, según el ancho de banda consumido.

** Se considera como inversión inicial del proyecto al subtotal mostrado en la Tabla 3-1, sección 2.3.1. Este subtotal corresponde al presupuesto requerido para el primer escenario: Campus universitario.

TABLA 3-3: INVERSIÓN PARA LA EXPANSIÓN DEL SERVICIO RESIDENCIAL (PARTE B)

Fuente: "Autor" [1]

EXPANSIÓN DEL SERVICIO RESIDENCIAL PARA UN MÁXIMO DE 50 CLIENTES CON UN PAGO MENSUAL POR EL SERVICIO DE S/.350 POR CLIENTE

Inversión						
↓						
Tasa anual	10%	10%	10%	10%	10%	10%
↓						
Periodo	0	1	2	3	4	5
↓						
Costos	271516.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ingresos	0.00	210000.00	210000.00	210000.00	210000.00	210000.00
Flujo de caja	-271516.96	210000.00	210000.00	210000.00	210000.00	210000.00
VAN	524,548.26					
TIR	72%					

Periodo de recuperación	Factor	1	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209
Flujo efectivo	-271516.960	190909.091	173553.719	157776.108	143432.826	130393.478	
Flujo neto	-271516.960	-80607.869	92945.850	250721.958	394154.784	524548.262	

TABLA 3-4: CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS PARA UN PERIODO DE 5 AÑOS

Fuente: "Autor" [1]

Tasa mensual	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%
Periodo	0	1	2	3	4	5	6
Flujo de caja	-80607.869	17500.00	17500.00	17500.00	17500.00	17500.00	17500.00
Periodo de recuperación	Factor	1	0.9918	0.9836	0.9755	0.9675	0.9595
	Flujo efectivo	-80607.869	17355.946	17213.077	17071.385	16930.858	16791.489
	Flujo neto	-80607.869	-63251.923	-46038.846	-28967.462	-12036.603	4754.886
							21408.153

TABLA 3-5: ANÁLISIS MENSUAL DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN EN EL SEGUNDO AÑO

Fuente: "Autor" [1]

Tasa mensual	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	
Periodo	0	1	2	3	4	5	
Flujo de caja	-80607.869	8750.00	8750.00	8750.00	8750.00	8750.00	
Periodo de recuperación	Factor	1	0.9918	0.9836	0.9755	0.9675	0.9595
	Flujo efectivo	-80607.869	8677.973	8606.539	8535.692	8465.429	8395.745
	Flujo neto	-80607.869	-71929.896	-63323.358	-54787.665	-46322.236	-37926.492
Tasa mensual	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	
Periodo	6	7	8	9	10	11	
Flujo de caja	8750.00	8750.00	8750.00	8750.00	8750.00	8750.00	
Periodo de recuperación	Factor	0.9516	0.9438	0.9360	0.9283	0.9207	0.9131
	Flujo efectivo	8326.634	8258.091	8190.113	8122.695	8055.832	7989.519
	Flujo neto	-29599.858	-21341.767	-13151.653	-5028.958	3026.873	11016.392

TABLA 3-6: ANÁLISIS MENSUAL DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN EN EL SEGUNDO AÑO CON EL 50% DE LOS CLIENTES

Fuente: "Autor" [1]

Los criterios de evaluación de proyectos a tratar en las TABLAS 3-4 y 3-5 corresponden al Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión; y los resultados obtenidos para estos tres parámetros son de S/.525323.88, 72% y 1 año con 5 con meses, respectivamente.

Se observa que el VAN obtenido en la propuesta planteada corresponde a un valor positivo, lo cual indica que la inversión es rentable debido a que el valor actual del flujo de ingresos es mayor que el valor actual del flujo de costos, cuando estos son actualizados a la tasa de interés pertinente para el inversionista.

El valor del TIR nos indica que la rentabilidad obtenida por invertir en el proyecto se encuentra muy por encima de una tasa de interés anual del 10% que obtendríamos por depositar el dinero a plazo fijo en el banco. Por lo tanto, la alta rentabilidad del proyecto justifica el riesgo por invertir en el mismo.

El periodo de recuperación que se muestra en la TABLA 3-4, correspondiente a un análisis anual, culmina en el segundo año de operación del servicio. A fin de obtener un valor más específico del tiempo en que se recupera la inversión, en la TABLA 3-5 se muestra un análisis mensual del periodo de recuperación en el segundo año de operación del servicio, del cual se observa que la inversión se recupera en el quinto mes del segundo año. Por lo tanto, el periodo de recuperación de la inversión corresponde a 1 año y 5 meses.

El tiempo de recuperación de la inversión es sumamente corto, lo cual refleja la alta rentabilidad del proyecto; sin embargo este tiempo de recuperación no es un 100% certero, puesto que asume que los 50 clientes conservarán el servicio por un periodo mínimo a 1 año y 5 meses. El contrato de suscripción del servicio establece un tiempo mínimo de 1 año para la mayoría de empresas que ofrecen el servicio triple-play; por lo tanto, en la TABLA 3-6 se realiza un análisis mensual del periodo de recuperación en el segundo año asumiendo que el periodo mínimo de suscripción es de 1 año y al finalizar el mismo sólo el 50% de los clientes continuarán con el servicio. De este análisis se obtiene que el periodo de recuperación corresponde a 1 año y 10 meses.

De las observaciones mencionadas anteriormente se concluye que el proyecto en cuestión con un máximo de 50 clientes es altamente rentable ya que el periodo de recuperación es bastante corto dada la alta inversión para el desarrollo del mismo. Además, la fibra óptica utilizada en el despliegue de la red de acceso es de 4 hilos, de los cuales sólo se utilizan dos: uno para el transporte bidireccional de la información y otro para el backup; permitiendo la expansión del servicio a un máximo de 100 clientes con una mínima inversión.

CONCLUSIONES

- 1) Las nuevas aplicaciones que surgen continuamente crean una demanda de mayor velocidad en las comunicaciones; por lo cual se comenzó a explotar al máximo las redes de cobre convencionales mediante tecnologías que comprimen cada vez más la información. Sin embargo, los equipos utilizados con estas tecnologías son cada vez más complejos y costosos; además de las limitaciones existentes de ancho de banda en las redes de cobre. Razón por la cual, se prefiere migrar hacia redes de fibra óptica que ofrecen velocidades de hasta 10 Gbps y con proyección de seguir incrementándose en el futuro.
- 2) Uno de los principales problemas en la velocidad de transmisión de las telecomunicaciones se debe a los “cuellos de botella” ocasionados por la transición de flujos de datos en medios con diferente capacidad de transmisión, en el bucle final del abonado. La tecnología FTTH ofrece una solución permanente a este problema mediante el cambio de medio de transmisión por fibra óptica y con la introducción de tecnologías xPON que nos brindarán una mejora significativa en el ancho de banda y atenuación disponibles.
- 3) El precio del cable de fibra óptica como también los equipos e infraestructura relacionada involucra una inversión mayor tanto para la empresa como para el usuario; sin embargo, brinda mayores prestaciones que las redes de cobre ADSL debido a las características inherentes de la fibra óptica como su amplio ancho de banda, su reducida atenuación en altas frecuencias y su inmunidad a las interferencias electromagnéticas.
- 4) Aunque actualmente la tecnología xPON más difundida en FTTH es GPON, la tendencia es migrar a otras tecnologías basadas en Ethernet como EPON o GEPON debido a su compatibilidad con las redes IP y por el ahorro en los costosos y complejos equipos de transporte ATM/SDH.
- 5) El empleo de redes ópticas pasivas (PON) junto con una topología de red tipo árbol-rama simplifican la escalabilidad de la misma permitiendo reducir los costos de expansión del servicio a más clientes mediante la compartición de infraestructura.

- 6) Del análisis de factibilidad económica del servicio para un máximo de 50 clientes se concluye que la propuesta es altamente rentable considerando que el estudio del servicio se realiza en los distritos de Pueblo Libre y Cercado de Lima, cuya población se encuentran en su mayoría entre los sectores socio-económicos C y D. Es de esperar que la rentabilidad del servicio se incremente en gran medida si se implementa en los distritos pertenecientes a los sectores socio-económicos A y B, donde se tendría una mayor demanda por el servicio.
- 7) A pesar de que la tecnología FTTH supone una mayor inversión en equipos, infraestructura y personal capacitado, no se encuentra muy lejos de formar parte de nuestra realidad. Esto último se observa en los elevados costos que se cobra actualmente por paquetes triple-play, que ofrecen servicios de una calidad muy por debajo de la que se puede ofrecer con tecnologías basadas en FTTH. Por lo tanto, se cuenta actualmente con una demanda con capacidad de pago necesaria para que las operadoras de telecomunicaciones asuman el reto de introducir esta nueva tecnología en un futuro no muy lejano.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OJEDA, ARTURO.
- [2] UNIVERSIDAD OBERTA DE CATALUNYA.
URL: <http://www.uoc.edu>
- [3] TELNET-RI.
URL: <http://www.telnet-ri.com.es>
- [4] BELLEZA, EDUARDO. "Curso de Comunicaciones Ópticas". PUCP, Lima. 2008.
- [5] KEISER, GERD. "Optical Communication Essentials". Mc Graw-Hill. Estados Unidos. 2004.
- [6] MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. "Reglamento Nacional de Edificaciones". Diario "EL Peruano". Perú. Junio 2006.
- [7] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Directiva N° 001-2008-MTC/02 "Condiciones Técnicas para la Implementación de Ductos y Cámaras para la Instalación de Cables de Fibra Óptica". Lima. Abril. 2008.
- [8] KRAMER, GLEN; TANAKA, KEIJI. Artículo: "Advances in Optical Access Network". Estados Unidos. 2005.
URL: http://www.csif.ucdavis.edu/~kramer/papers/ofc_invited.pdf
- [9] BARNES, ZACHARY. Artículo: "Is Implementation of Voice over Internet Protocol (VoIP) More Economical for Businesses with Large Call Center?". Bowie State University, Maryland, May 2005.
- [10] HANARO TELECOM. Artículo: "Alcatel-Lucent's GPON FTTH solution chosen by Hanaro Telecom". M2 Presswire. Dec 2007.
URL: <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1398469561&sid=1&Fmt=3&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>
- [11] FUJIKURA EUROPE LTD. Artículo: "Three-in-one OTDR for FTTH engineers launched by Fujikura Europe". En: Telecomworldwire. Dec 2007.
URL: <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1386343181&sid=3&Fmt=3&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>

- [12] GREEN, PAUL. "Fiber To The Home The New Empowerment". John Wiley & Sons. New Jersey. 2006.
- [13] LIN CHINLON. "Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home Systems Technologies and Deployment Strategies". England. 2006.
- [14] FABILA
URL: <http://www.fabila.com/noticia.asp?id=677>
- [15] TRIO FUTURA TELEFONICA
URL: <http://www.telefonicaonline.com/>
- [16] MUNICIPALIDAD DE PUEBLO LIBRE
URL: <http://www.muniplibre.gob.pe/index.asp>
- [17] NARAISECOM
URL: <http://www.naraisecom.com/p/DatasheetPics/Splitter/Optical%20splitter%20datasheet.pdf>
- [18] WALKERFIRST
URL: http://www.walkerfirst.com/wa_files/File/literature/fttx%20splitter%20datasheet.pdf
- [19] FO4ALL
URL: <http://www.fo4all.com/catalog.html>
- [20] OPTOKON
URL: [http://www.optokon.ro/img/tutoriale/14-Coupler, %20WDM, %20CWDM, %20DWDM-Wesely.pdf](http://www.optokon.ro/img/tutoriale/14-Coupler,%20WDM,%20CWDM,%20DWDM-Wesely.pdf)
- [21] UIT
URL: <http://www.itu.int/>
- [22] IEEE
URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/>
- [23] PHOTOP
URL: <http://www.phototech.com/>
- [24] IEC
URL: <http://www.iec.ch/>
- [25] ACRONYMEO
URL: <http://www.acronymo.com/>

