

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



ESTUDIO DE UNA RED DE ACCESO ÓPTICO CON TECNOLOGÍAS
GPON, FTTX, Y SU IMPLEMENTACIÓN CON EQUIPOS ÓPTICOS
TERMINALES 7342 ISAM (ALCATEL-LUCENT) EN SAN ISIDRO

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:
JORGE RENÁN BATALLANOS MONZÓN

PROMOCIÓN
1983-II

LIMA-PERÚ
2012

**ESTUDIO DE UNA RED DE ACCESO ÓPTICO CON TECNOLOGÍAS GPON, FTTX, Y
SU IMPLEMENTACIÓN CON EQUIPOS ÓPTICOS TERMINALES 7342 ISAM
(ALCATEL-LUCENT) EN SAN ISIDRO**

**Agradezco la energía y sabiduría de Dios Todopoderoso,
que me acompañó en el desarrollo del presente trabajo,
y al amor a mi esposa María Alina y mis hijos Gabrielito y Nicolasito,
que me alentaron a cumplir este propósito.**

SUMARIO

El presente informe de suficiencia realiza el estudio de una red de acceso óptico con tecnologías GPON (Redes ópticas Pasivas con capacidad Gigabit), que permite brindar nuevos servicios a los clientes residenciales y corporativos con fibra óptica hasta una distancia de 20 kms, y su implementación con equipos ópticos terminales 7342 ISAM (Intelligent Service Access Manager de Alcatel-Lucent) en un proyecto piloto (San Isidro).

El proyecto era necesario realizarse por cuanto se notaba una creciente insatisfacción en los clientes al no poder acceder a otros servicios tales como Video, VoIP (Voz sobre IP), HDTV (Televisión de alta definición), Internet Inalámbrico, los cuales requieren un mayor ancho de banda, y que está limitado por las características propias de los enlaces por cobre e inalámbricos.

El proyecto aplica la tecnología GPON que utiliza elementos pasivos de fibra óptica, que puede alcanzar velocidades de Gigabit. Esta tecnología está normada por la ITU en sus diversos estándares:

- La ITU-T G.983.1, "Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)", "Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas".
- La ITU-T G.982, "Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates", "Redes de acceso óptico para el soporte de servicios que funcionan con velocidades binarias de hasta la velocidad primaria de la red digital de servicios integrados (RDSI) o velocidades binarias equivalentes".
- La ITU-T G.984 "Gigabit-capable passive optical networks (GPON)" , "Redes Ópticas pasivas con Capacidad de Gigabit".

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Objetivos del trabajo.....	3
1.3 Evaluación del problema.....	4
1.4 Alcance del trabajo.....	7
1.5 Síntesis del trabajo.....	7
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	10
2.1 Tecnología XDSL.....	10
2.1.1 ADSL, ADSL 2, ADSL 2+.....	11
2.1.2 HDSL.....	13
2.1.3 VDSL, VDSL2.....	13
2.1.4 Alcances de la tecnología XDSL.....	15
2.2 Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas (PON).....	18
2.2.1 Arquitectura de red.....	18
2.2.2 Terminación de línea óptica (OLT) y Unidad de red óptica (ONU).....	21
2.2.3 La red de distribución óptica (ODN).....	21
2.2.4 Cálculo de pérdidas en el modelo ODN.....	22
2.2.5 Aspectos técnico-prácticos del ODN.....	25
2.3 Tecnología GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network).....	35
2.3.1 Arquitectura de una red GPON.....	36
2.3.2 Modelos de acceso PON (FTTX).....	37
2.3.3 Modelos estándares PON.....	37
2.3.4 Técnicas de multiplexación.....	39
2.3.5 Parámetros básicos de performance en una red GPON.....	40
2.3.6 Protocolos GPON.....	41
2.4 Tecnología NG PON (PON de siguiente generación).....	46
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	49

3.1	Planteamiento del proyecto.....	49
3.1.1	Requerimientos.....	50
3.1.2	Equipamiento en la oficina central.....	50
3.1.3	Equipamiento en el lado de los clientes.....	54
3.1.4	Equipamiento de la Red Metro Ethernet.....	57
3.1.5	Equipamiento pasivo.....	57
3.2	Escenarios de implementación.....	58
3.2.1	Escenario FTTH.....	58
3.2.2	Escenario FTTB.....	59
3.2.3	Escenario FTTA.....	59
3.3	Determinación de alcance de la fibra entre equipos OLT y ONT.....	59
3.3.1	Valor máximo de pérdidas de trayecto admisible.....	59
3.3.2	Atenuación de los splitters.....	61
3.3.3	Atenuación en los empalmes y conectores.....	62
3.3.4	Cálculo de la atenuación total.....	63
3.4	Análisis preliminar del despliegue Inicial de GPON.....	68
CAPÍTULO IV		
PRUEBAS EFECTUADAS.....		
4.1	Pruebas de enlace.....	66
4.1.1	Esquema de pruebas.....	66
4.1.2	Alcance físico.....	66
4.1.3	Alcance lógico (máxima diferencia entre ONTs).....	67
4.1.4	Relación de división de splitter.....	68
4.1.5	Características espectrales.....	68
4.1.6	Potencia óptica inyectada.....	68
4.1.7	Sensibilidad del puerto de recepción de la interfaz lado cliente (ONT).....	69
4.1.8	Sensibilidad del puerto de recepción de la interfaz lado Red (OLT).....	70
4.1.9	Velocidades de línea GPON.....	70
4.1.10	Características eléctricas.....	70
4.1.11	Batería de respaldo en las ONTs.....	71
4.1.12	Redundancia en fuente para equipo OLT.....	71
4.1.13	Protección según Link Agregación en la Interfaz GBITEHT de la OLT.....	71
4.2	Pruebas de servicio.....	71
4.2.1	Servicios que el OLT y la ONT clasifiquen con y sin VLANs, y con SVLANs.....	72
4.2.2	Modelos de Servicios de Forwarding.....	73
4.2.3	Priorización de Customer VLANs IDs.....	75
4.2.4	Transporte de FAST Ethernet a Gbit Eth.....	80

4.2.5 Policing del Tráfico Downstream.....	80
4.2.6 Policing del Tráfico Upstream	81
4.2.7 Priorización de clases de servicio según la Rec .IEEE 802.1P.....	81
4.2.8 Manejo de MAC Address	82
4.2.9 Distribución de Video Analógico por CATV-RF	83
4.2.10 Servicio Telefonía POTS.....	84
4.2.11 Transporte de señales VDSL desde la ONU/Multi Dwelling / para phase 3.....	84
4.2.12 Gestión de Red.....	84
4.3 Esquema de configuración del Alcatel FTTU 7342	85
4.4 Cronograma.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
ANEXO A	
ÁRCHIVO DE CONFIGURACIÓN ALCATEL FTTU 7342	89
ANEXO B	
GLOSARIO DE TÉRMINOS	94
BIBLIOGRAFÍA	98

INTRODUCCIÓN

La realización del proyecto surge por el interés de poder brindar capacidad a los clientes de acceder a servicios que requieren un mayor ancho de banda, y que están limitados por las tecnologías existentes (xDSL - Línea de abonado digital x).

Para poder satisfacer la demanda del uso de servicios cada vez más potentes, es que hubo una evolución de los sistemas xDSL los cuales llegaban a su límite de capacidad. Con el único acceso al local del cliente vía par de cobre trenzado, se puede atender hasta distancias menores a 4.5 km con velocidades bajas. Estas velocidades lentas permiten solamente el acceso tradicional a Internet. Para atender requerimientos de servicios que necesitan mayor ancho de banda se desarrolló la tecnología VDSL (Very high speed digital subscriber line transceivers) que soporta aplicaciones tales como audio, video y datos alcanzando velocidades de downstream de hasta 52 Mbps y upstream de hasta 6.4 Mbps, sin embargo VDSL está limitada a distancias que van desde 300 m hasta 1.6 km.

Las limitaciones antes mencionadas fueron superadas con el uso de redes pasivas ópticas (PON) que proveen mayor costo beneficio y mayor confiabilidad. Los despliegues de las redes PON empezaron en forma limitada a mediados de los 90 con el escenario FTTP (Fibra al equipo del cliente-Fiber To The Premises) en Japón. El despliegue de este escenario alrededor del mundo ha crecido a ritmo constante desde 2001 con la ITU-T BPON (Broadband Passive Optical Network), IEEE GEPON (Ethernet Passive Optical Network) y recientemente con la ITU-T GPON.

Es por lo expuesto que el informe de suficiencia presenta el estudio de una red de acceso óptico con tecnologías GPON, FTTX, y su implementación con equipos ópticos terminales 7342 ISAM tomando como caso de estudio un proyecto piloto realizado en el distrito de San Isidro, Lima-Perú, brindando a los clientes servicios de Voz, Datos, Video de banda ancha (Triple Play).

Para el desarrollo del informe se ha recurrido principalmente a la información obtenida al ejecutar el proyecto piloto. Los conceptos teóricos se han apoyado en las diversas normas ITU, tanto para la tecnología xDSL como para la PON. Los aspectos prácticos se basan en los manuales técnicos de Alcatel-Lucent y complementariamente de Huawei.

El informe está organizado en cuatro capítulos principales:

- Capítulo I "Planteamiento de Ingeniería del Problema": En el cual se describe el

problema, se especifican los objetivos y se hace una evaluación de la problemática para la justificación del proyecto, finalmente se definen los alcances del informe así como se presenta una síntesis del mismo.

- Capítulo II “Marco Teórico Conceptual”: Que desarrolla los aspectos teóricos de la tecnología XDSL, los sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas (PON) y finalmente la tecnología GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network).

- Capítulo III “Metodología para la Solución del Problema”: En el cual se realiza el planteamiento del proyecto, los escenarios de implementación, la determinación de alcance de la fibra (cálculo de atenuaciones) y finalmente el análisis preliminar del despliegue inicial del GPON.

- Capítulo IV “Pruebas efectuadas”: La cual se divide en pruebas de enlace, pruebas de servicio, y el cronograma del proyecto piloto realizado en el distrito de San Isidro.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema. Se describe el problema y expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema y se precisan los alcances del informe, para finalmente presentar una síntesis del diseño presentado.

1.1 Descripción del Problema

Los servicios de acceso a internet que brindan las operadoras son ineficientes debido a la existencia de una planta externa obsoleta y cobertura limitada, además los equipos de datos en las etapas de acceso al cliente no se encuentran equipados para brindar servicios de banda ancha que requieren altas velocidades, los equipos en el núcleo de red no están dimensionados adecuadamente para soportar el alto tráfico de datos que los clientes requieren.

El acceso a red de los clientes vía par trenzado de cobre presenta serios problemas además de su obsolescencia, su cobertura máxima para una buena calidad de servicio es hasta 4.5kms.

Para ampliar la cobertura del servicio de datos por encima de los 4.5kms se requiere que las operadoras planteen nuevos diseños en la red acceso, actualmente nuevos servicios a altas velocidades se puede garantizar solo hasta distancias de 1.6kms.

Los clientes exigen nuevos servicios tales como Video, VoIP (Voz sobre IP), HDTV (Televisión de alta definición), Internet Inalámbrico y no existe una red acceso que soporte estos servicios, la inexistencia de esta red limita los nuevos servicios de datos a altas velocidades.

La cobertura del acceso al cliente vía cobre resulta insuficiente para la demanda y forma de crecimiento de los clientes que ahora es vertical (edificios).

1.2 Objetivos del trabajo

Efectuar el estudio e implementación de una Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network) y escenarios FTTX, satisfaciendo de esa manera las necesidades de los clientes de contar con velocidades 2.5 Gbps de bajada (downstream) y 1.5 Gbps de subida (upstream), y que se encuentren a una distancia de hasta 20 km desde el nodo.

Los alcances de este estudio son demostrados mediante la implementación de un proyecto piloto, dado que esta tecnología no se encuentra actualmente desplegada en

Perú.

Nota: FTTX implica Fibra a X, donde X puede ser el hogar (H), el edificio (B), etc.

1.3 Evaluación del problema

A nivel de acceso al cliente se mantiene el par trenzado de cobre, motivo por el cual el ancho de banda es limitado, las nuevas tecnologías de acceso vía fibra óptica permitirían servicios que requieren mayor ancho de banda como por ejemplo IPTV, HDTV, VoIP.

Equipamiento de datos mal dimensionados generando congestión en el tráfico de datos.

Por el hecho que la tecnología XDSL (variantes de Digital Subscriber Line) no pueda satisfacer la demanda de velocidades altas y mayores alcances de distancia, se requieren equipos con mayor capacidad de procesamiento de datos, con nuevas funcionalidades y estos equipamientos necesariamente son soportados por una red de acceso óptico.

La Tabla 1.1 muestra los tipos de ADSL y sus velocidades de subida y de bajada proporcionados por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Tabla 1.1 Relación de velocidades de ADSL (Fuente: Referencia [1])

Nombre común	Estándar	Bajada máxima	Subida máxima
ADSL	ANSI T1.413-1998 Issue 2	8 Mbps	1,0 Mbps
ADSL (G.DMT)	ITU G.992.1	12 Mbps	1,3 Mbps
ADSL over POTS	ITU G.992.1 Anexo A	12 Mbps	1,3 Mbps
ADSL over ISDN	ITU G.992.1 Anexo B	12 Mbps	1,8 Mbps
ADSL Lite (G.Lite)	ITU G.992.2	1,5 Mbps	0,5 Mbps
ADSL2	ITU G.992.3	12 Mbps	1,0 Mbps
ADSL2	ITU G.992.3 Anexo J	13 Mbps	3,15 Mbps
RE-ADSL2	ITU G.992.3 Anexo L	5 Mbps	0,8 Mbps
splitterless ADSL2	ITU G.992.4	1,5 Mbps	0,5 Mbps
ADSL2+	ITU G.992.5	24 Mbps	1,0 Mbps
ADSL2+M	ITU G.992.5 Anexo M	24 Mbps	3,5 Mbps

En las Figura 1.1, y 1.2 se muestran la evolución de las capacidades de ancho de

banda y su tendencia al 2015 para la tecnología ADSL y demás.

Durante la evolución del acceso a servicios de banda ancha, los accesos tradicionales a los clientes vía par trenzado (cobre) e inalámbrico se observa que son remplazados por tecnologías de accesos de fibra óptica hasta el domicilio del cliente (FTTH- Fiber To The Home), permitiendo una masiva conectividad y con servicios de gran ancho de banda como por ejemplo: VoIP, Telemedicina, Juegos Multiusuarios, E-Learning a distancia, Video Conferencia, IPTV.

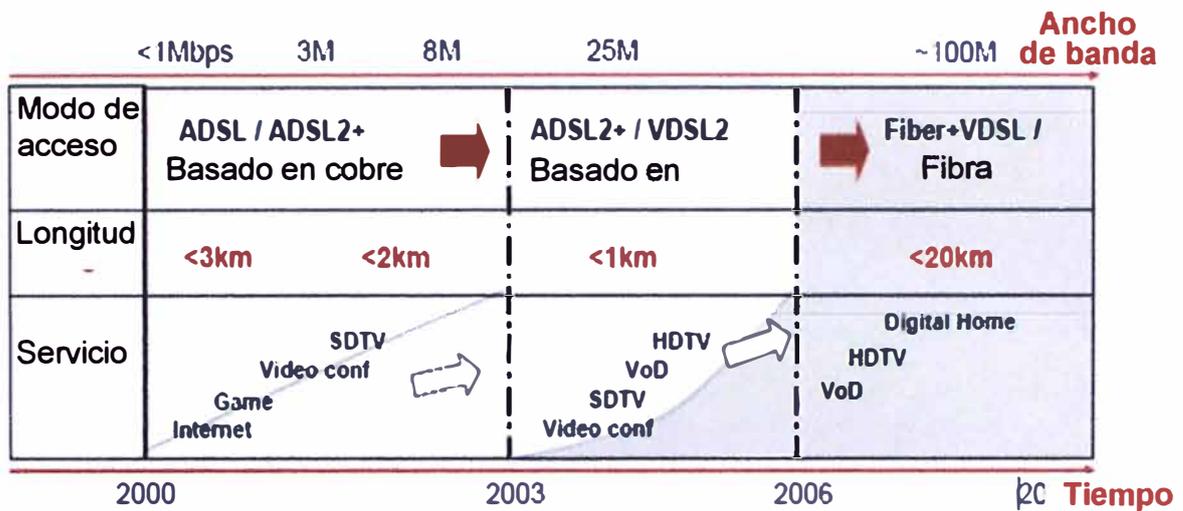


Figura 1.1 Evolución de capacidades (Fuente Ref. [2])

La Figura 1.2 muestra la tendencia al 2015 para el uso de la FTTP (Fiber To The Premises) o fibra óptica hasta las instalaciones, usando la tecnología GPON. Se puede notar que GPON va ganando mayor cobertura para los servicios existentes.

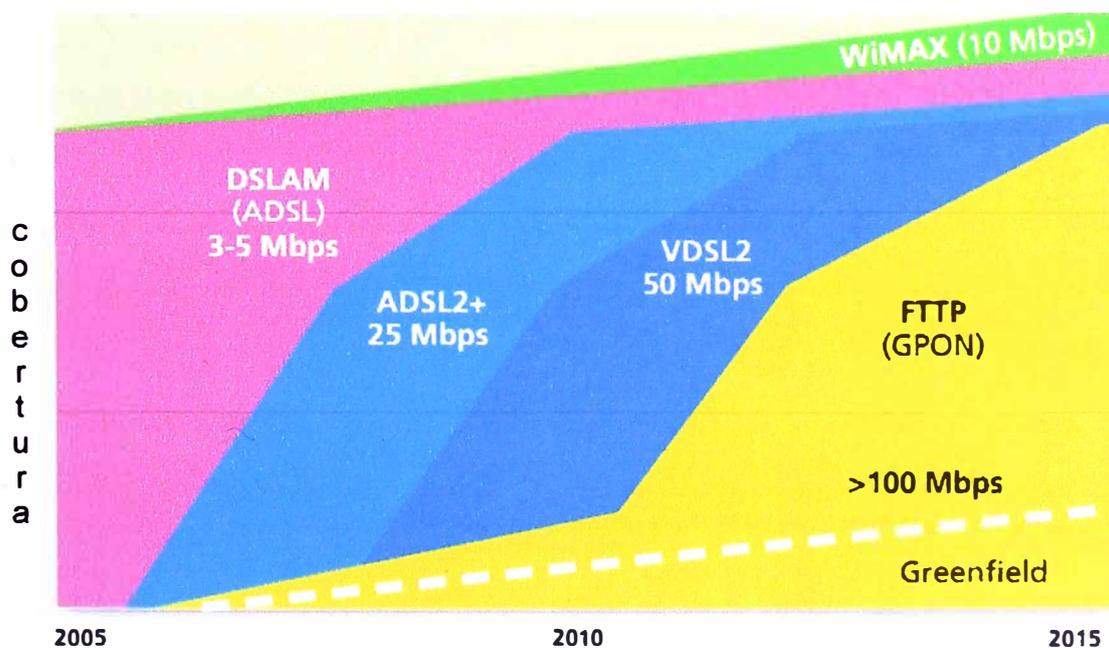


Figura 1.2 Tendencia del uso de GPON (Fuente: Ref. [3])

Nota: FTTH tiene un alcance directo hasta el espacio físico donde se sitúa el destinatario final de la conexión. FTTP se realiza hasta "el equipo distribuidor más cercano" al

destinatario, llegando hasta el lugar físico del destinatario de la conexión por otros medios como pueden ser cable coaxial o par trenzado de cobre, etc.

Los nuevos diseños de redes pasivas ópticas PON han evolucionado por años para proveer una red óptica con el mayor costo beneficio y mayor confiabilidad. Los despliegues de PON empezaron en forma limitada a mediados de los 90 con FTTP en Japón. El despliegue de FTTP alrededor del mundo ha crecido a ritmo constante desde 2001 con la ITU-T BPON (Broadband Passive Optical Network), IEEE GEPON (Ethernet Passive Optical Network) y recientemente con el ITU-T GPON [4].

Por lo que el despliegue de la Red de Acceso debe tender a escenarios de redes ópticas pasivas en contraposición a los escenarios de acceso de red vía cobre actuales, los cuales son:

Escenario 1.- En un principio con componentes principales tales como (Figura 1.4):

- El modem router instalado en el cliente.
- Acceso al cliente con par trenzado de cobre.
- Equipo DSLAM (Multiplexor de línea de acceso digital del abonado) de Tecnología Alcatel (Modelos ASAM 1000, ASAM 7300, ASAM 7301) ubicado en el local de la operadora con capacidades de atención a clientes desde 1000 abonados hasta 10000.
- La integración del DSLAM a la Red IP en protocolo ATM/ Ethernet.

Escenario 2

- Las necesidades del cliente para acceder a más velocidad evoluciona a que las operadoras implementen sus nodos con equipos DSLAM que soporten protocolos Ethernet/IP y estén soportados por una red de transporte Metro Ethernet, sin embargo se mantenía el acceso al cliente con par trenzado de cobre (Figura 1.5).

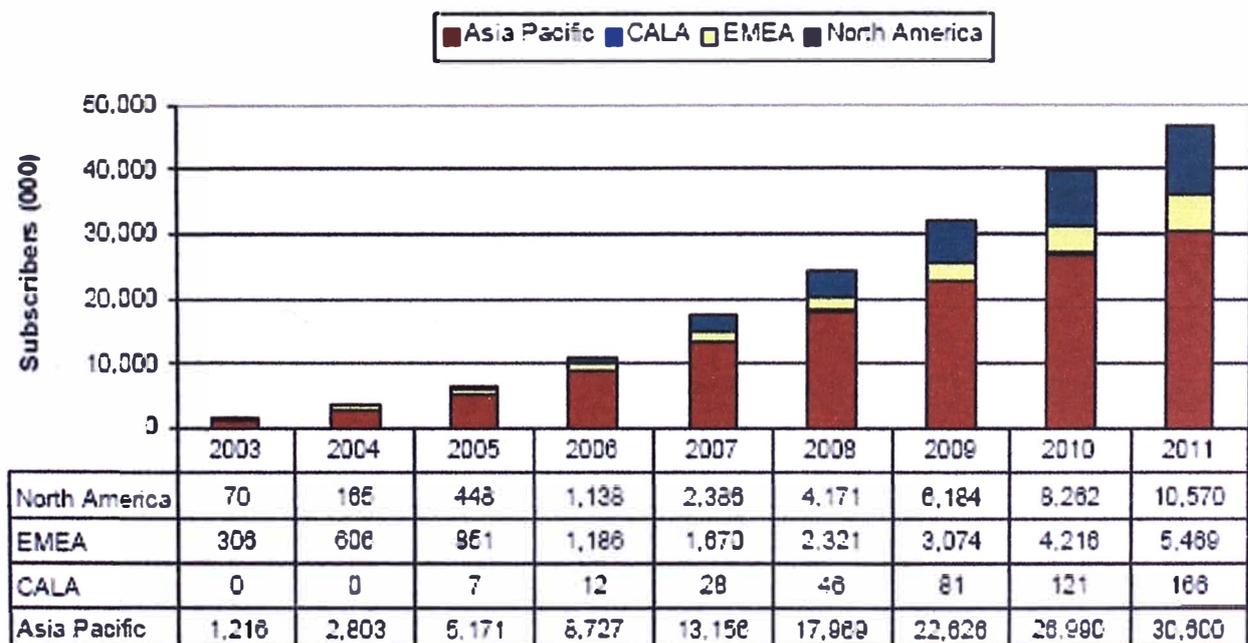


Figura 1.3 Despliegue PON de 2003 a 2011 (Fuente: ibídem)

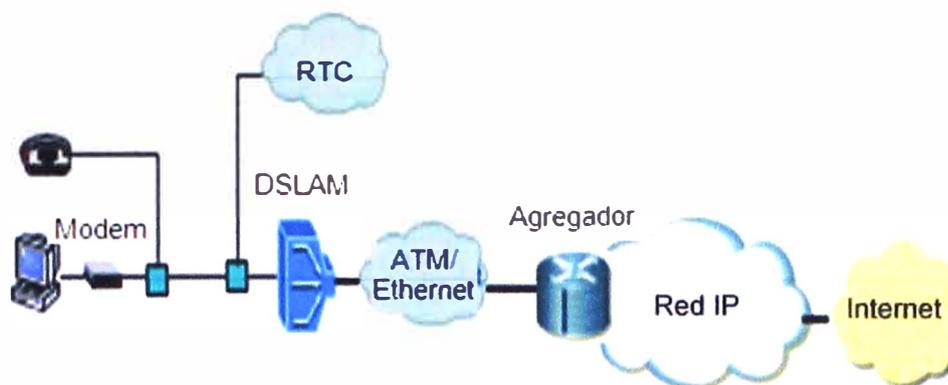


Figura 1.4 Escenario 1

Es por lo expuesto que el estudio e implementación de una Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit GPON es justificable.

1.4 Alcance del trabajo

El trabajo se enfoca en el estudio de una red de acceso óptico con tecnologías GPON, FTTH, y su implementación con equipos ópticos terminales 7342 ISAM (Intelligent Service Access Manager de Alcatel-Lucent) teniendo como caso de estudio un proyecto piloto realizado en el distrito de San Isidro, Lima-Perú, brindando a los clientes servicios de Voz, Datos, Video de banda ancha (Triple Play).

Aunque el soporte para las redes de acceso al cliente ópticas, son las redes Metro Ethernet y la Plataforma de Transmisión WDM (Wavelength-division multiplexing), estas no son materia del presente trabajo.

La solución GPON expuesta en el presente trabajo, consiste en dividir una interfaz óptica de alta capacidad entre un número limitado de usuarios (hasta 64) a través de una red de fibra totalmente pasiva (entre la central y el cliente).

En la realización del proyecto piloto se consideraron tres escenarios:

- Escenario 1: FTTH (Fiber To The Home) fibra óptica hasta el cliente residencial.
- Escenario 2: FTTB (Fiber To The Building), fibra óptica hasta el edificio más cercano (para clientes residenciales).
- Escenario 3: FTTA (Fibre To the Apartment), fibra óptica para clientes corporativos.

1.5 Síntesis del trabajo

El desarrollo del informe consta de tres capítulos base en donde se desarrollan los aspectos teórico-prácticos del proyecto piloto de despliegue de una red óptica pasiva con capacidad gigabit.

En el capítulo II se muestra el Marco Teórico tocando temas de Tecnología XDSL (ADSL, ADSL 2, ADSL 2 +, HDSL, VDSL, VDSL2). Luego se abarca a los sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas (arquitectura de red, terminación de línea óptica y unidad de red óptica, la red de distribución óptica, cálculo de pérdidas en el modelo ODN, Aspectos técnico-prácticos del ODN).

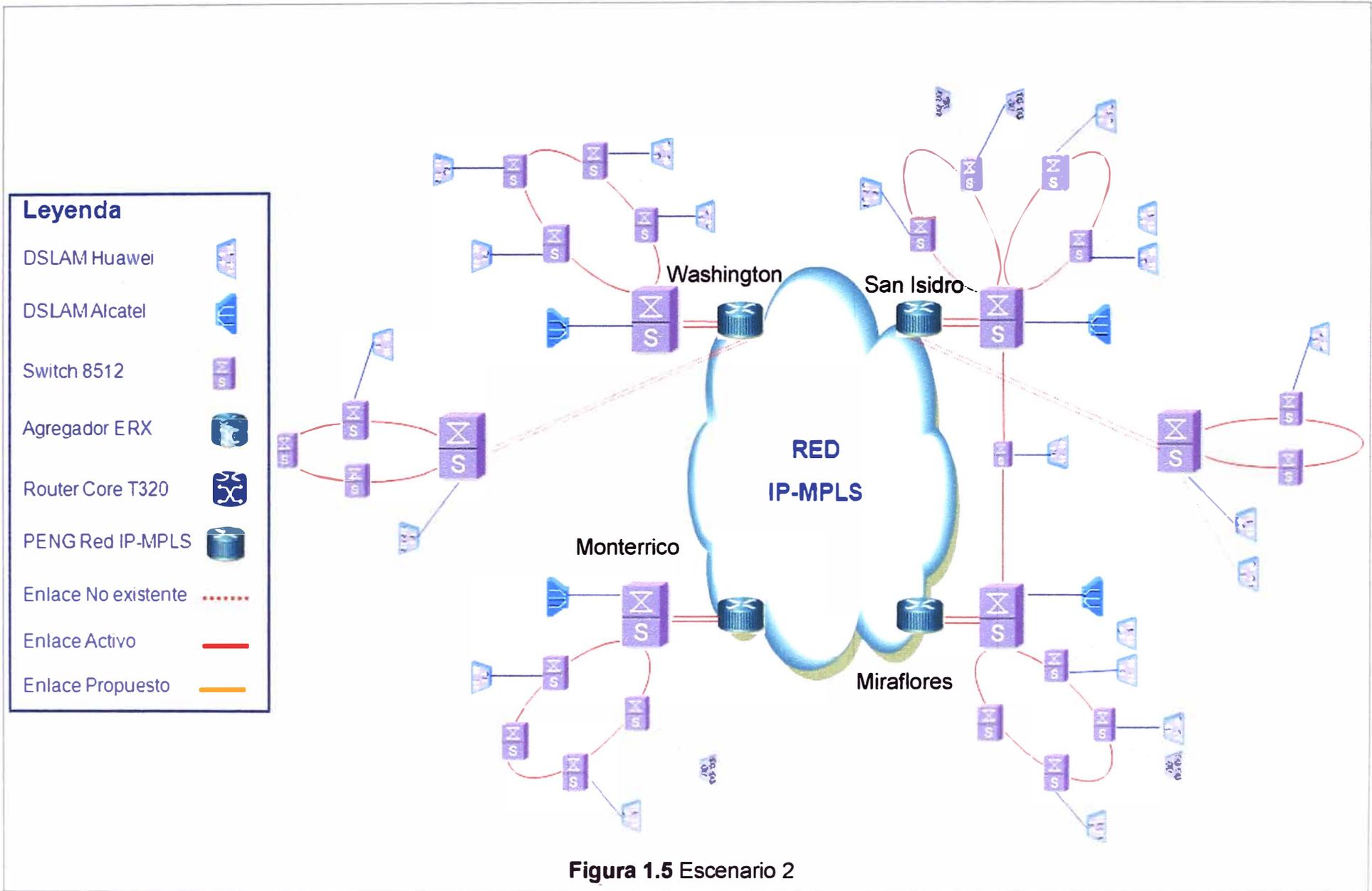


Figura 1.5 Escenario 2

Posteriormente se desarrolla el más importante tema: Tecnología GPON (Arquitectura de una red GPON, modelos de acceso PON-FTTX), modelos estándares PON, técnicas de multiplexación, parámetros básicos de performance en una red GPON, y protocolos GPON). El capítulo concluye con una breve descripción de la Tecnología PON de la siguiente generación)

En el capítulo III se desarrolla la metodología para la solución del problema. Tiene cuatro secciones: Planteamiento del proyecto (Requerimientos, equipamiento en la oficina central, equipamiento en el lado de los clientes, equipamiento de la Red Metro Ethernet, equipamiento pasivo), escenarios de implementación (escenario FTTH, escenario FTTB, escenario FTTA), determinación de alcance de la fibra entre equipos OLT y ONT (Valor máximo de pérdidas de trayecto admisible, atenuación de los splitters, atenuación en los empalmes y conectores, cálculo de la atenuación total) y análisis preliminar del despliegue Inicial de GPON.

Finalmente en el capítulo IV se muestran las pruebas efectuadas. El capítulo está dividido en dos secciones principales, las pruebas de enlace, las cuales constan de 11 pruebas, y las pruebas de servicio las cuales son 13. Complementariamente se muestra el esquema de configuración del equipo Alcatel FTTU 7342 y el cronograma.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se explican los accesos xDSL a los clientes , y sus requerimientos de ancho de banda para el servicio de acceso a Internet para comprender las limitaciones que tienen los accesos vía par trenzado por cobre y luego entender las alternativas emergentes de acceso a los clientes por fibra óptica.

Se explica la tecnología de una Red Óptica Pasiva con capacidad Gigabit (GPON) sus ventajas de ancho de banda y alcance, así como los diversos escenarios de acceso al cliente: FTTH, FTTB, FTTA.

Este capítulo se complementa explicando los aspectos relevantes al proyecto respecto a la Red de Distribución Óptica denominada ODN (Optical Distribution Network)

2.1 Tecnología XDSL

Como ya fue mencionado en el capítulo 1, la tecnología XDSL ha experimentado varios cambios en hardware y software, los cuales son normados por la ITU, creándose sus respectivos estándares. La tendencia en los modos de acceso en la tecnología de acceso han sido inicialmente el ADSL, ADSL 2 y ADSL 2 +, HDSL, VDSL.

La siguiente lista [5] muestra los estándares actuales, alguno de los cuales será comentado en las subsecciones siguientes:

- G.991.1.- HDSL (High bit rate digital subscriber line), Transceptores de línea digital de abonado de alta velocidad binaria.
- G.991.2.- SHDSL (Single-pair high-speed digital subscriber line), Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad de un solo par.
- G.992.1.- ADSL (Asymmetric digital subscriber line), Transceptores de línea de abonado digital asimétrica.
- G.992.2.- ADSL, Transceptores de línea de abonado digital asimétrica sin divisor transceivers.
- G.992.3.- ADSL2, Transceptores de línea de abonado digital asimétrica 2. Debido a su complejidad esta recomendación es publicada en dos archivos, uno conteniendo la recomendación principal y sus anexos, a excepción del anexo C, el cual es desarrollado en un segundo documento y en donde se muestra las variaciones relativas a la recomendación principal.
- G.992.4.- ADSL2, Transceptores para línea de abonado digital asimétrica 2 sin divisor.

- G.992.5.- ADSL2+, Transceptores para línea de abonado digital asimétrica – Línea de abonado digital asimétrica 2 de anchura de banda ampliada.
- G.993.1.- VDSL (Very high speed digital subscriber line transceivers), Transceptores de línea de abonado digital de velocidad muy alta.
- G.993.2.- VDSL 2 (Very high speed digital subscriber line transceivers 2), transceptores de línea de abonado digital de velocidad muy alta 2.
- G.995.1.- Visión de conjunto de las Recomendaciones sobre líneas de abonado digitales. Esta Recomendación fue suprimida en diciembre de 2011. El contenido de la Recomendación UIT-T G.995.1 (2001) ya se considera obsoleto y tiene que actualizarse. Debido al carácter no normativo del texto revisado, con ocasión de la reunión de la CE 15 celebrada el 16 de septiembre de 2011 se logró un acuerdo sobre el contenido actualizado en forma de un nuevo Suplemento 50 a las Recomendaciones UIT-T de la Serie G.
- G.996.1.- Procedimientos de prueba para transceptores de líneas de abonado digitales.
- G.996.2.- DSL (digital subscriber lines), comprobación de la línea en un solo extremo para la línea digital de abonado

En esta sección se hace énfasis en las tecnologías usadas en nuestro territorio por el proveedor de servicios para el cual se aplica el caso de estudio. Se desarrollan las siguientes tecnologías, y al final de la sección se hace un alcance sobre ellas:

- ADSL, ADSL 2, ADSL 2+.
- HDSL.
- VDSL, VDSL2.

2.1.1 ADSL, ADSL 2, ADSL 2+

A continuación se describe a las tecnologías ADSL, ADSL2 y ADSL2 +:

a. ADSL

El ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop) soporta de manera simultánea hasta 7 Mbps de bajada, y 800 kbps en subida asegurando una buena comunicación (velocidades teóricas son superiores), y un canal de voz análoga sobre un par trenzado, cubriendo distancias de hasta 3 km.

Los estándares basados en las especificaciones ADSL también definen mayores velocidades pero en distancias más cortas [6]. Justamente su descripción de asimétrica corresponde a que las velocidades de subida y de baja son diferentes.

La ADSL suministra una diversidad de canales portadores junto con otros servicios:

- ADSL en el mismo par con servicios de banda vocal (que incluye servicios telefónicos ordinarios y servicios de datos de banda vocal). La ADSL ocupa una banda de frecuencias por encima de la banda vocal, separada de la misma por filtros.

- ADSL en el mismo par que la RDSI como se define en la Recomendación G.961 apéndices I y II. La ADSL ocupa una banda de frecuencias por encima de la RDSI, y se separa de la misma por filtros.

- ADSL en el mismo par que los servicios de banda vocal (incluidos servicios telefónicos ordinarios (POTS) y servicios de datos en banda vocal), y con la RDSI como se define en la Recomendación G.961 apéndice III en un par adyacente.

El sistema de transmisión se diseña para funcionar con pares de cables metálicos trenzados de dos hilos de diferentes diámetros. La recomendación ITU G.992.1 se basa en la utilización de cables sin bobinas de carga, pero se aceptan ramas múltiples en todas las situaciones salvo algunas inusuales.

b. ADSL2

Se basa en la recomendación ITU-T G.992.3. Esta recomendación describe la interfaz entre la red de telecomunicaciones y la instalación del cliente en términos de su interacción y características eléctricas.

La tecnología ADSL 2 se implementa en el mismo hardware de tecnología ADSL, es decir los operadores podían proporcionar ADSL 2 sin nuevas inversiones. Fue diseñado para mejorar el caudal del ADSL, con él se consigue mejores prestaciones en líneas de larga distancia ante la presencia de interferencias, además mejora la eficiencia de modulación al emplear modulaciones más robustas que ADSL, está adecuado para bajas relaciones S/N. Su ancho de banda es hasta 1.1 Mhz.

c. ADSL2 +

Esta especificación dobla la tasa de datos de bajada hasta 24.5 Mbps sobre tramos cortos de aproximadamente 1.5 km. La tasa de subida permanece a un máximo de 1 Mbps.

Para lograr una velocidad mejorada, ADSL2+ incrementa el rango de frecuencia desde 552 kHz (ADSL) y 1.1 MHz (ADSL2) a 2.2 MHz (ADSL2+) e incrementa el número de subportadoras a 512. El canal análogo POTS permanece a 4 kHz (tanto para ADSL y ADSL2), y el canal de datos de subida permanece a 140 kHz (ADSL2).

La Tabla 2.1 provee una rápida comparación de los rangos de frecuencia de las diversas tecnologías ADSL [7].

Tabla 2.1 Comparación de rangos de frecuencia ADSL (Ibidem)

Canal/versión de ADSL	ADSL	ADSL2	ADSL2+
Descendente	138 – 552 kHz	138 kHz – 1.1 MHz	138 kHz – 2.2 MHz
Ascendente	25 – 138 kHz	25 – 138 kHz	25 – 138 kHz
Voz	0 – 4 kHz	0 – 4 kHz	0 – 4 kHz

2.1.2 HDSL

Bellcore (ahora Telecordia Technologies) desarrolló el HDSL (High Bit - Rate Digital Subscriber Line) a pedido de RBOCs como la manera más rentable (costo-beneficio) de proveer T1/E1 (1.544/2.048 Mbps) sobre los cables de cobre existentes. Fue estandarizado por el comité ANSI T1E - 1.4, HDSL elimina los repetidores en el lazo local T1/E1 para distancias de hasta 3.6 km, el cual se puede extender a otros 3.6 km mediante el uso de un "doblador de línea, el cual es esencialmente un repetidor HDSL [8]. La Figura 1.1 muestra una comparación entre E1 y HDSL.

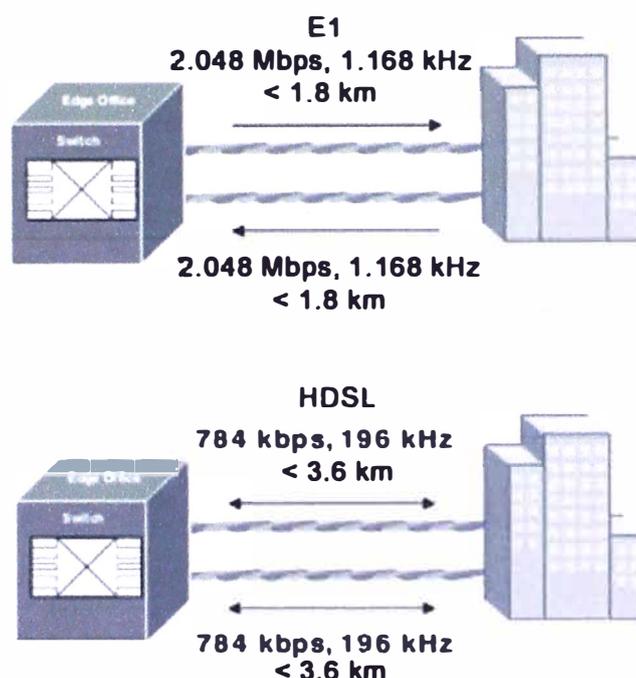


Figura 2.1 Comparación entre E1 y HDSL (Fuente: Ibídem)

El T1/E1 usa dos pares trenzados, cada uno opera en modo simplex (uno para subida y otro para bajada) a una tasa total de T1/E1 respectivamente. La técnica de codificación de línea para T1/E1 es la AIM (Alternate Mark Inversion) el cual coloca 1.544/2.048 Mbps en la frecuencia de portadora nominal de 784/1.168 kHz respectivamente, el cual es exactamente la mitad de la tasa de bits de cada una, más un adicional para control de errores. En tal alta frecuencia la atenuación es significativa. Como resultado, es necesario que los repetidores estén espaciados en aproximadamente 1.8 km para ajustar la distorsión y pérdida de señal. También, el campo electromagnético irradiado es significativo a frecuencias T1/E1. Por lo tanto, la interferencia entre los pares de cobre y otros pares en el sistema de cableado es un problema.

2.1.3 VDSL, VDSL2

VDSL (Very - high - data - rate Digital Subscriber Line) es una tecnología ADSL de alta velocidad que fue formalizada en 2004 como la G.993.1. Esta especificación inicial provee para velocidad de bajada de hasta 55 Mbps y para subida hasta 15 Mbps sobre

distancias desde 300 m, dependiendo de factores tal como la calidad del lazo local [9].

Para alcanzar estas tasas de datos, los rangos de frecuencia se incrementan a aproximadamente 8.8 MHz divididos entre 2048 subportadoras. Como la atenuación es un problema considerable en esa frecuencia, el desempeño cae precipitadamente más allá de los 300 m.

La evolución de VDSL fue rápida. El ITU alcanzó en 2005 la recomendación G.993.2, especificando dos versiones de of VDSL2.

- Largo alcance: Esta versión corre a 12 MHz, divididos entre 2872 subportadoras, para entregar tasas de datos asimétricas hasta de 55 Mbps de bajada y 30 Mbps de subida sobre distancias de hasta 300 m, después del cual las tasas caen precipitadamente. Las tasas se reducen considerablemente al alcanzar distancias de hasta 1.2 km a 1.5 km.

- Corto alcance: Corre desde 17.6 MHz hasta 30 MHz, divididas entre 4096 y 3478 subportadoras, respectivamente, para proporcionar tasas simétricas (subida y bajada) de hasta 100 Mbps sobre distancias de hasta 1.5 km, después del cual las tasas caen precipitadamente. Esta versión funciona tanto en modo simétrico como en asimétrico. Las tasas también se reducen a distancias similares a la de "largo alcance".

VDSL2 emplea el mismo esquema de modulación DMT como ADSL pero incrementa el número de subportadoras a 4096 en una implementación típica y hasta 3478 en otras, comparadas a las 512 subportadoras especificadas en ADSL2+.

La especificación VDSL2 define 8 perfiles para diferentes servicios, incluyendo ATM y Ethernet. Las características de calidad de servicio (QoS) son integradas en la especificación. Múltiples bandas de frecuencia son especificadas para diferentes regiones. Por ejemplo , existe un plan común de frecuencias para Norte América, Japón, y Reino Unido (Tabla 2.2) y otra para los países europeos.

Tabla 2.2 Banda de frecuencias VDSL para NA, Japón, y Reino Unido (Fuente: Ibíd.)

Ancho de canal	Designación
12 – 28 MHz	Opcional subida/bajada
8.5 – 12.0 MHz	Subida
5.2 – 8.5 MHz	Bajada
3.75 – 5.2 MHz	Subida
138 kHz – 3.75 MHz	Bajada
25 – 138 kHz	Subida
0 Hz – 4 kHz	Voz análoga

Cada plan de frecuencias divide el espectro disponible en canales alternados de subida y de bajada. Este alcance provee alguna flexibilidad en términos del espectro y sobre toda la velocidad bajo diferentes escenarios de condiciones de la línea. En otras palabras, los servicios de VDSL2 pueden funcionar a diferentes velocidades simétricas. Existen varios escenarios de aplicación, todos basados en los lazos locales híbridos

FTTN (Fibra al Nodo).

En Norte América, Europa, y China, se están desplegando VDSL2 en tasas de bajada de hasta 30 Mbps y de subida de 3 Mbps para brindar soporte al consumidor de los servicios triple-play (voz, datos y video), incluyendo al menos canales de TV Digital (DTV) o HDTV, acceso a Internet a tasas de hasta 5 Mbps, y VoIP.

Claramente el VDSL tiene aplicación en las unidades MultiDwelling (MDU), también conocida como MultiTenant Unit (MTU), donde el ancho de banda puede ser compartido entre múltiples clientes (tenants). En este escenario FTTP, el NGDLC (Next Generation Digital Loop Carrier) o equipo de nueva generación, es posicionado sobre los equipos del cliente, y el servicio VDSL se ejecuta sobre el cableado interno en el edificio, por ejemplo.

2.1.4 Alcances de la tecnología XDSL

Para las diferentes tecnologías xDSL explicadas anteriormente, las operadoras instalan en la oficina central los DSLAM (Multiplexor de línea de acceso digital del abonado), para atender las necesidades de cada cliente.

La Tabla 2.3 muestra el equipamiento inicialmente instalado para los accesos xDSL (ADSL, ADSL2, ADSL2+), cuyo servicio tradicional era el acceso a Internet.

Tabla 2.3 Elementos de planta (Fuente: Telefónica del Perú)

Características/fabricante	ALCATEL	ALCATEL	ALCATEL
Modelo de DSLAM	ASAM 1000	ASAM 7300	ASAM 7301
Versión hardware	SD	HD/UD	UD/UD
Densidad (líneas x tarjeta)	4	12/24	12/24
Versión de software	5.0.10	5.0.10	5.0.10
Números de línea por ASAM	576	2 304	2 304
Número máximo de líneas (con subtendidos)	1 000	2 500	10 000
Armarios vs clusters	4	6	3
Interfaces de red	STM-1, E3, E1 (IMA)	STM-1, E3, E1 (IMA)	STM-1, E3, E1 (IMA)
Versión de software de gestión	6.0.10	6.0.10	6.0.10
Líneas instaladas	1 220	21 264	193 600

La Figura 2.2 nos muestra las características de DSLAM. Cada bloque mostrado es una DSLAM el cual contiene ranuras para alojar tarjetas de control y tarjetas de línea (ADSL, ADSL2, etc.).

La figura mostrada ilustra la capacidad de los DSLAM de poderse instalar en forma de cascada, y sus up-link a la red de agregación y transporte IP/MPLS.

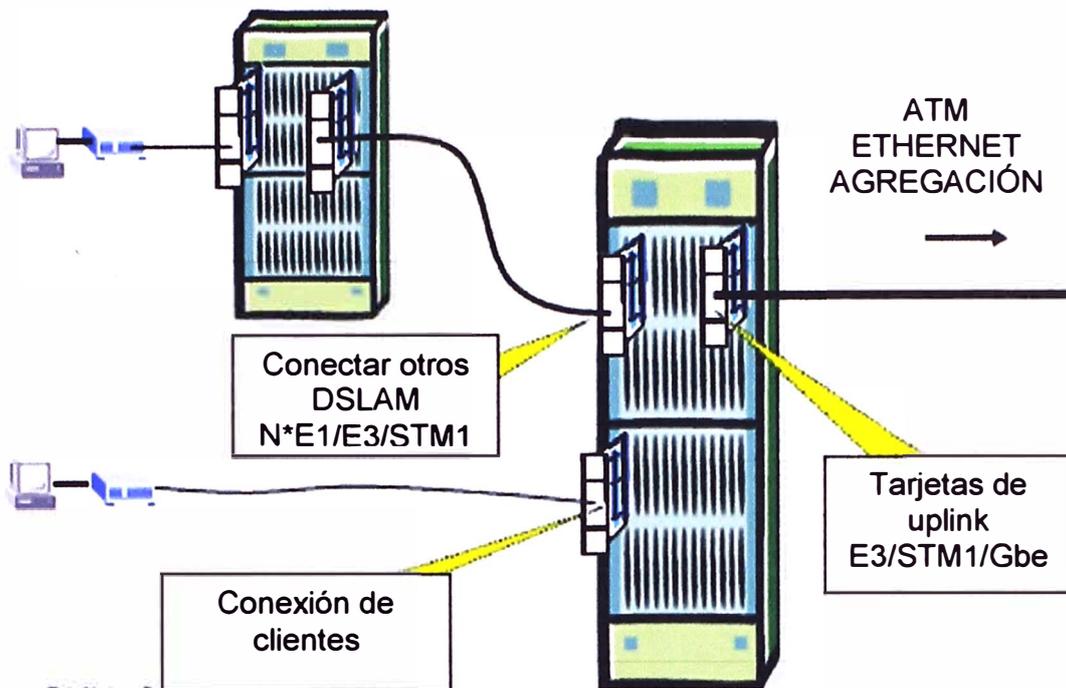


Figura 2.2 Características de DSLAM (Fuente: Alcatel)

Y el modelo de acceso de red a los clientes se muestra en la Figura 2.3. Se puede apreciar en el modelo adjunto los clientes con bucle de hasta 2km partiendo de una central ó armario óptico pueden utilizar los accesos ADSL y ADSL2+.

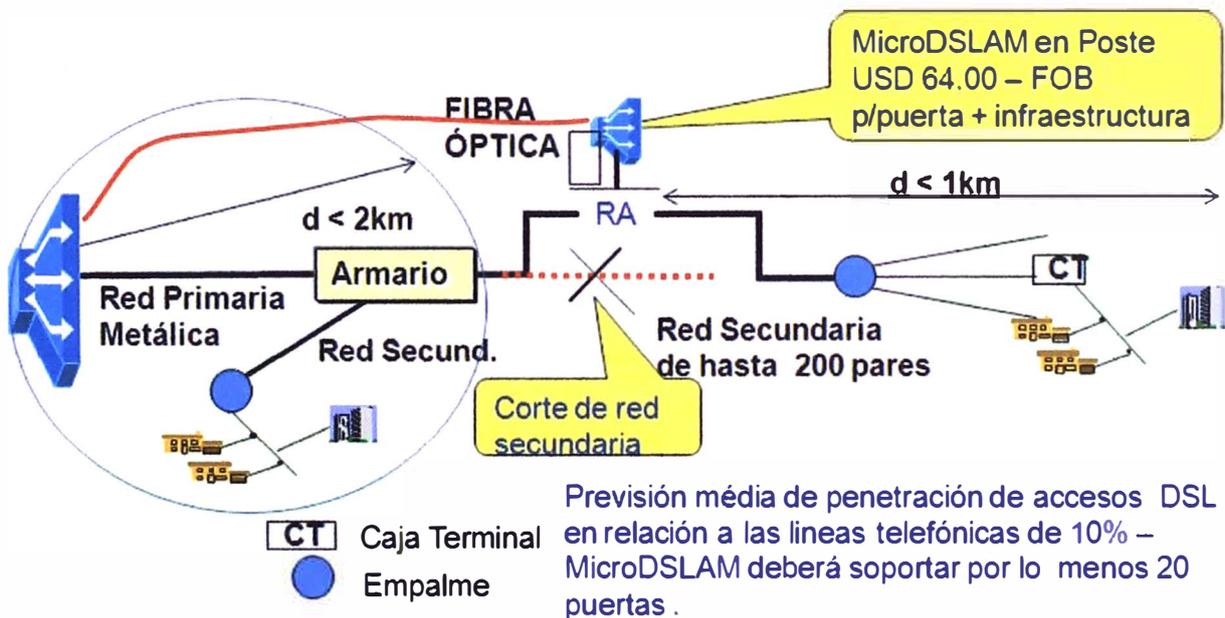


Figura 2.3 Modelo de acceso al cliente (Fuente: Telefónica del Perú)

Los clientes con bucle mayor a 2 km pueden utilizar accesos ADSL2+ en MiniDSLAM los cuales son instalados realizando cortes en la red secundaria de forma de potencializar bandas de hasta 21 Mbps por usuario. Los cortes de red deben ser hechos de forma que las distancias entre el MiniDSLAM y los usuarios sean menores a 1 km.

Sin embargo el modelo de acceso a red utilizado presenta los siguientes inconvenientes:

- Congestionamiento en las etapas Red de Agregación y Transporte IP, Accesos Internacionales, limitando el ancho de banda a 50 Kbps (ver Figura 2.4).

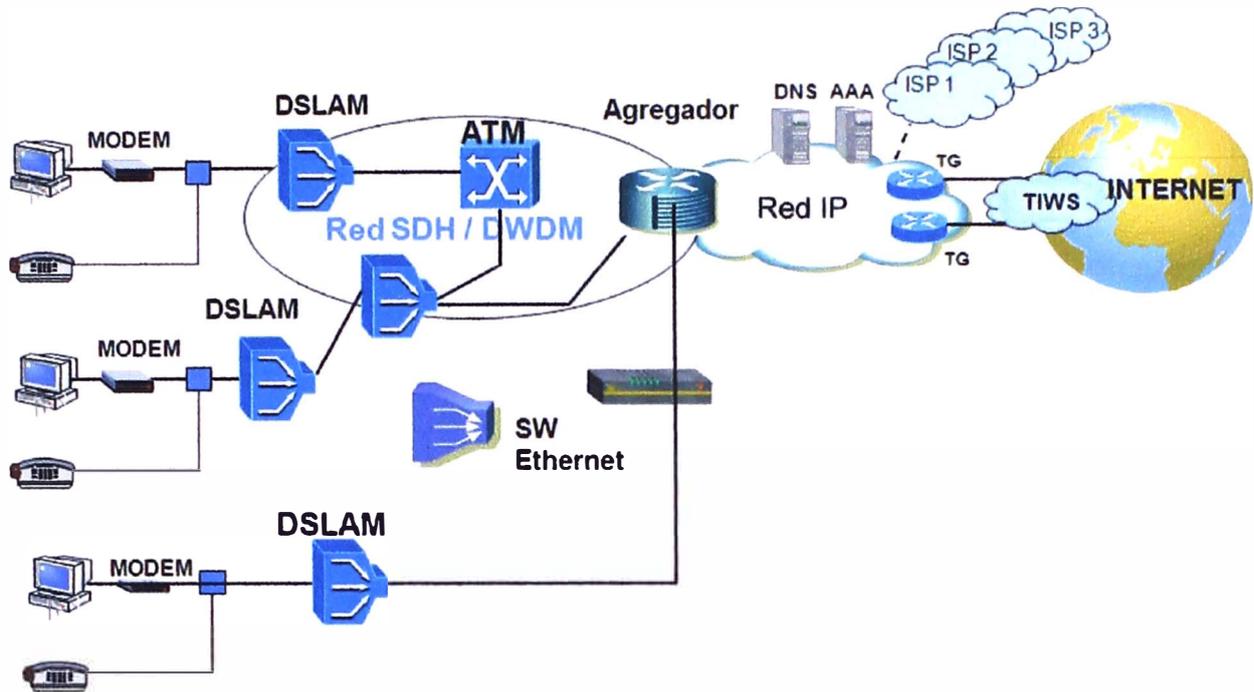


Figura 2.4 Etapas de congestiónamiento de red (Fuente: Telefónica del Perú)

- Los costos para implementar la Red de Acceso (CAPEX, gastos de Capital) y su mantenimiento operativo (OPEX, gastos operativos), son muy altos.
- Por lo expuesto, es que el modelo de acceso red nuevo propuesto por la operadoras fue la de utilizar la tecnología Ethernet, la que se explica a continuación.
- Los fabricantes ofertan DSLAM Ethernet/IP con interfaces de acceso GEth ópticas, en razón de que las operadoras empiezan a construir sus redes Metro Ethernet, con Switches Routers Ethernet de distribución, Nodos de Borde Ethernet, con interfaces de 1GE, 10GE.
- La introducción de equipos de acceso basados en DSLAM Ethernet/IP que tienen un acceso de GEth con la Red de Agregación y Transporte IP (Agregadores IP), modifica las características del servicio, facilitando el transporte de video sobre ADSL, interconecta redes LAN de alta velocidad, implementa los servicios VPN IP (Virtual Private Network), VLAN (802.1q), VLAN Stacking (virtual LANs), soporta los protocolos IS-IS (Intermediate System To Intermediate System), OSPF (Open Shortest Path First), BGP-4 (Border Gateway Protocol), MPLS (Multiprotocol Label Switching).
- En cuanto a la inversión los DSLAM Ethernet/IP, estos reducen el CAPEX en el tramo DSLAM-Red de agregación y transporte IP respecto a su contraparte en la Red ATM, también reducen OPEX respecto a otra tecnología de acceso en la transmisión de datos.
- La Figura 2.5 muestra el modelo de accesos Ethernet, con DSLAM Ethernet/IP interconectados con enlaces Geth a la Red Metro Ethernet.

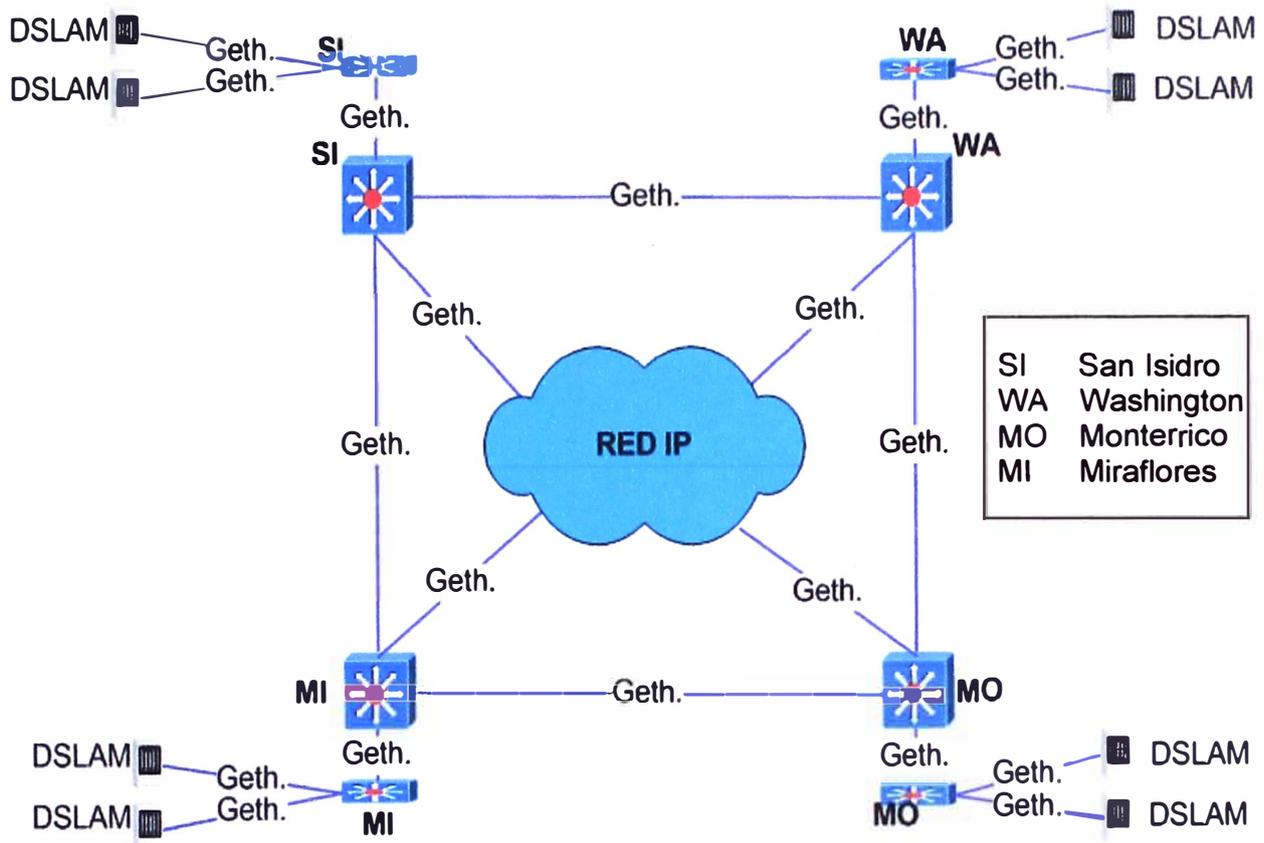


Figura 2.5 Modelo de accesos Ethernet (Fuente: Telefónica)

2.2 Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas (PON)

La ODN (Optical Distribution Network): proporciona el medio de transmisión óptica desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa. Utiliza componentes ópticos pasivos.

Es importante conocer primero la arquitectura de red, para luego enfocarse en los bloques funcionales y posteriormente en el cálculo de pérdidas. Las secciones 2.2.1 a 2.2.4 están basadas principalmente en la ITU-T G.983.1 [10] y G.982 [11].

2.2.1 Arquitectura de red

La sección óptica de un sistema de red de acceso local podría tener una arquitectura punto a punto o una arquitectura punto a multipunto pasiva.

La Figura 2.6 muestra las arquitecturas consideradas (existen nomenclaturas equivalentes de uso comercial) que van de la fibra a la vivienda (FTTH, fibre to the home), pasando por la fibra al edificio/la acometida (FTTB/C, fibre to the building/curb), hasta la fibra hasta el armario (FTTCab, fibre to the cabinet).

La red óptica de acceso (OAN) es común a todas las arquitecturas presentadas en la figura; por tanto, el hecho de que este sistema disponga de elementos comunes tiene la virtud de generar grandes volúmenes a escala mundial [Ibíd. Pag 6].

Las opciones de red FTTB/C y FTTCab suelen diferenciarse solamente en cuanto a la implementación, y por lo tanto pueden tratarse como equivalentes en la recomendación

de la Unión Internacional de Telecomunicaciones -ITU.

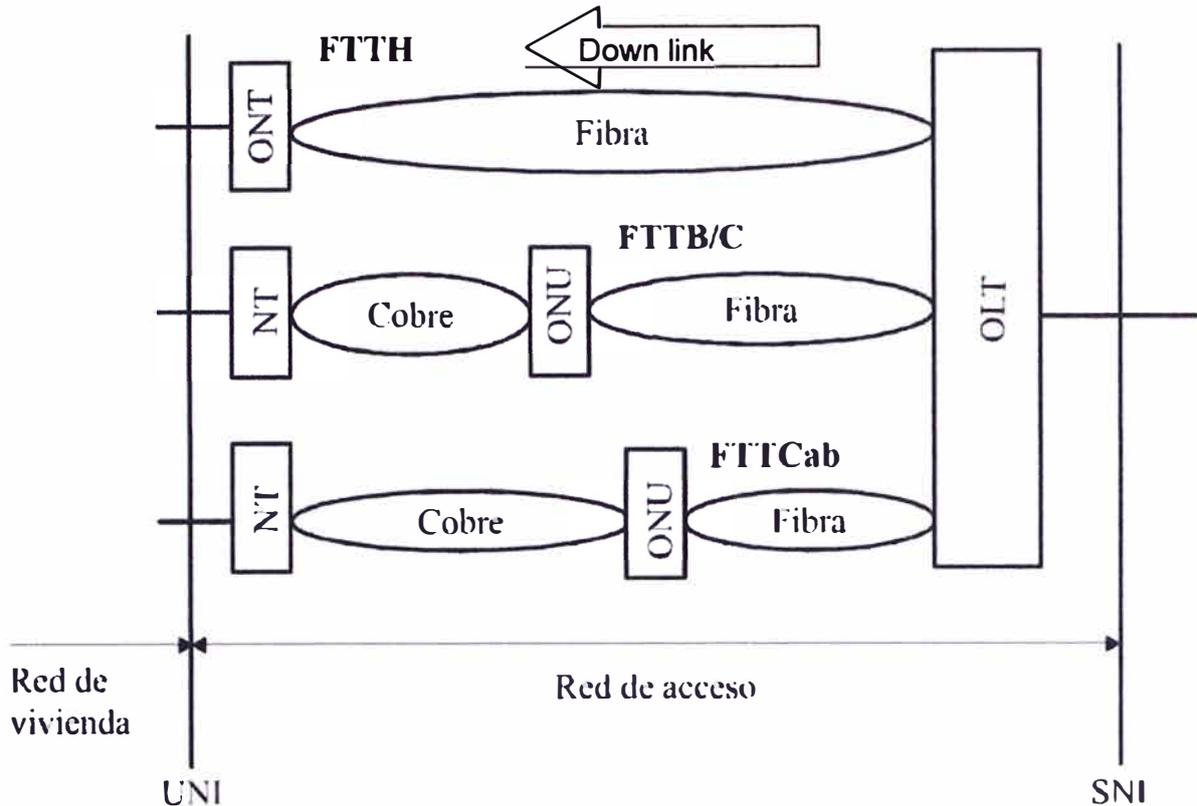


Figura 2.6 Arquitectura de red (Fuente: fig. 1/G.983.1)

Nota:

ONU: Unidad de red óptica.

ONT: Terminación de red óptica.

OLT: Terminación de línea óptica.

NT: Terminación de red.

SNI Interfaz de nodo de servicio (service node interface)

UNI: Interfaz usuario-red (user network interface)

a. Escenario FTTCab/C/B

En este escenario se han considerado las siguientes categorías de servicio:

- Servicios de banda ancha asimétricos (por ejemplo, servicios de banda ancha digitales, VoD, Internet, aprendizaje a distancia, telemedicina, etc.).
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, servicios de telecomunicación para pequeños clientes comerciales, teleconsulta, etc.).
- RTPC y RDSI. La red de acceso deberá poder proporcionar, de una manera flexible, los servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización apropiada para la introducción.

b. Escenario FTTH

Las categorías de servicios consideradas para el escenario fibra a la vivienda (FTTH) son similares a las de los escenarios precedentes y se caracterizan por lo siguiente:

- Pueden considerarse ONU interiores, por lo que se obtienen condiciones ambientales más favorables.

- No es necesario modificar la ONU intermedia para perfeccionar las capacidades de la red de acceso con el fin de acomodar una futura evolución de servicios de banda ancha y medios.
- El mantenimiento es fácil, porque sólo se requiere para sistemas de fibra, y se considera que todos los sistemas de fibra son más fiables de los sistemas mixtos de fibra y metal.
- FTTH es un método que promueve el desarrollo de tecnologías optoelectrónicas avanzadas. El mayor volumen de producción de los módulos ópticos repercutirá en una reducción del costo.

Cuando estos factores puedan explotarse plenamente, podrán contrapesar un costo por línea algo más elevado. En tal situación, el escenario FTTH puede considerarse como económicamente viable incluso a corto plazo.

c. La configuración de referencia de la Rec. UIT-T G.982

Se muestra en la Figura 2.7.

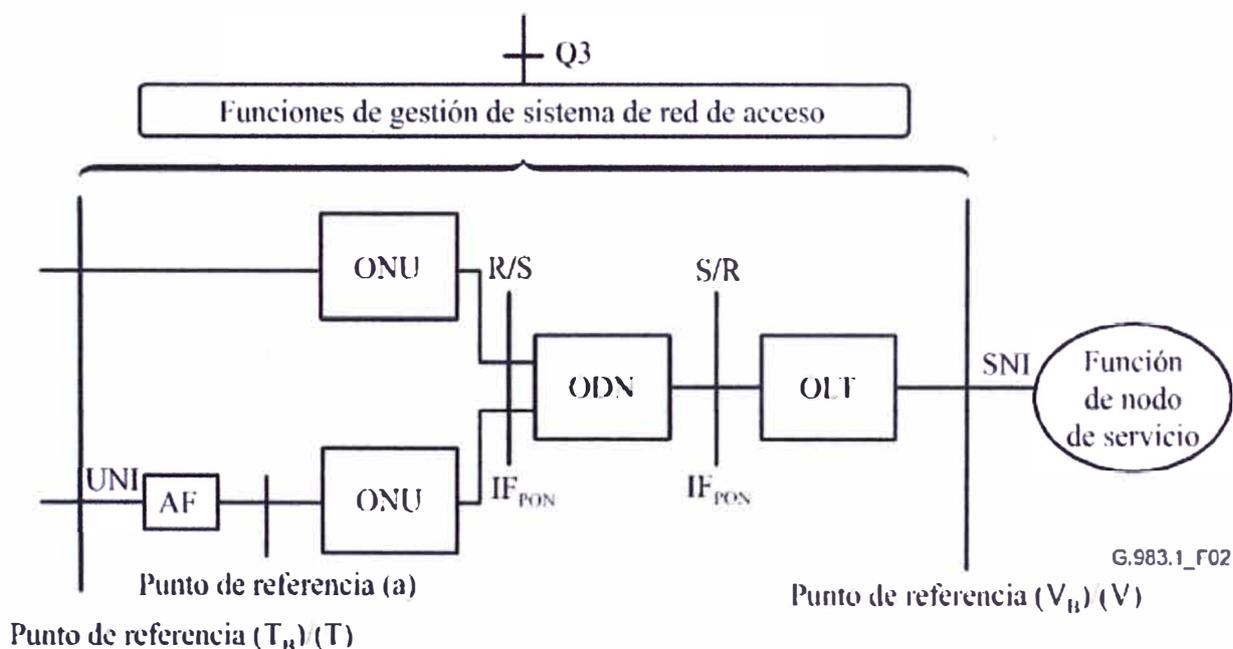


Figura 2.7 Configuración de referencia de la Rec. UIT-T G.982

Nota:

ONU: Unidad de red óptica

ODN: Red de distribución óptica

OLT: Terminación de línea óptica

AF: Función de adaptación

S Punto en la fibra óptica situado inmediatamente después del punto de conexión óptica OLT (hacia el destino)/ONU (hacia el origen), es decir un conector óptico o empalme óptico.

R Punto en la fibra óptica situado inmediatamente antes del punto de conexión óptica OLT (hacia el destino)/ONU (hacia el origen), es decir un conector óptico o empalme óptico.

(a) : Punto de referencia el cual se añade para diferenciar la AF, de la ONU.

UNI: Interfaz usuario-red (user network interface)

SNI Interfaz de nodo de servicio (service node interface)

La ODN ofrece uno o más trayectos ópticos entre una OLT y una o más ONU. Cada trayecto óptico se define entre puntos de referencia S y R en una determinada ventana de longitudes de onda. Los dos sentidos de transmisión óptica en la ODN se identifican como sigue:

- sentido hacia el destino en el caso de las señales transmitidas de la OLT a la(s) ONU;
- sentido de transmisión hacia el origen en el caso de las señales transmitidas de la(s) ONU a la OLT.

LA interfaz en los puntos de referencia S/R y R/S se define como IF_{PON} . Se trata de una interfaz específica de la PON que soporta todos los elementos de protocolo necesarios para permitir la transmisión entre la OLT y las ONU.

2.2.2 Terminación de línea óptica (OLT) y Unidad de red óptica (ONU)

Son tres los bloques funcionales de la arquitectura de los sistemas de acceso óptico: OLT, ONT y ODN. El ODN es explicado en mayor detalle en la sección siguiente

Terminación de línea óptica.- Es un dispositivo ubicado en el lado del proveedor en la ODN (Ver Figura 2.7). La interfaz de terminación de línea óptica (OLT) implementa un protocolo PON (Definido por ITU-T G.984), y adapta las PDUs (Unidad de Datos de Protocolo) para las comunicaciones de up-link. La OLT provee funciones de administración y mantenimiento del ODN y las ONUs

Unidad de red óptica.- La unidad de red óptica (ONU) es un término genérico que denota un dispositivo en el extremo de los usuarios en la ODN, implementa un protocolo PON y adapta los PDU de la PON a las interfaces de servicio del usuario. En algunos contextos, una ONU implica un dispositivo multiusuario.

2.2.3 La red de distribución óptica (ODN)

En general la red de distribución óptica (ODN) proporciona el medio de transmisión óptica para la conexión física de las ONU con las OLT. Utiliza componentes ópticos pasivos e interfaces ópticas.

a. Elementos ópticos pasivos

La ODN comprende los siguientes elementos ópticos pasivos:

- fibras y cables ópticos monomodo;
- jumpers de fibra óptica y cables de jumpers de fibra óptica;
- conectores ópticos;
- bifurcadores pasivos (splitters);
- atenuadores ópticos pasivos;
- empalmes.

La información concreta requerida para describir los componentes ópticos pasivos se desarrolla en la Rec. UIT-T G.671. La información concreta requerida para describir las

fibras óptica y los cables de fibra óptica se desarrolla en la Rec. UIT-T G.652.

b. Interfaces ópticas

La Figura 2.8 muestra la configuración física genérica de la ODN [10].

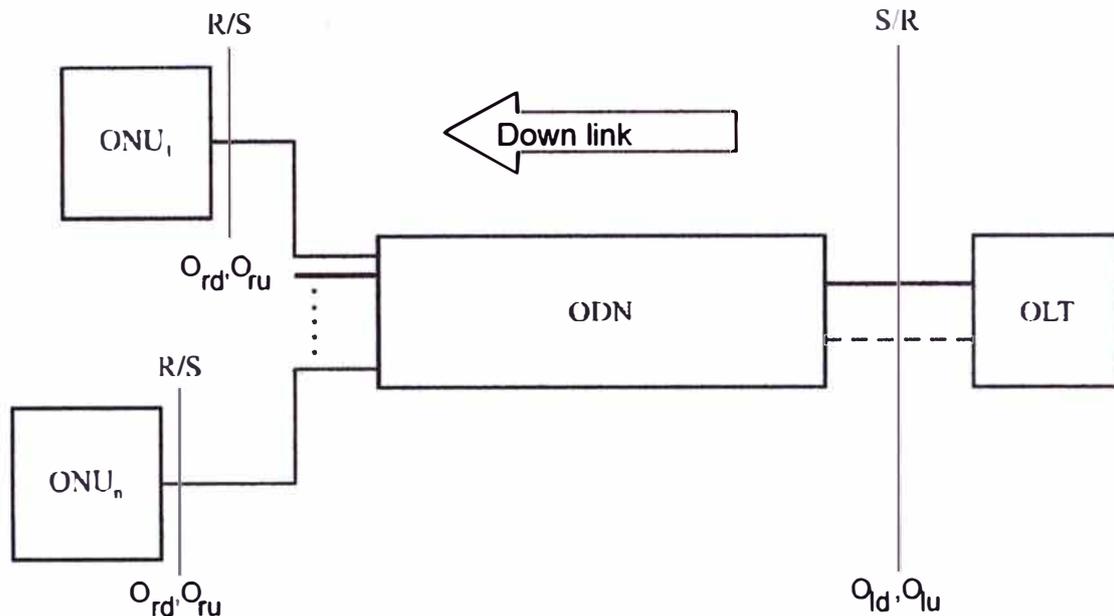


Figura 2.8 Configuración física genérica de la ODN (Fuente: ITU-T G.983.1)

Nota:

Ord, Oru, Old, Olu: Interfaces ópticas

R y S: puntos de referencia.

Las líneas continuas representan una o más fibras

Las líneas punteadas; fibras de protección opcional

Los dos sentidos de transmisión óptica en la ODN se identifican como sigue:

- sentido hacia el destino en el caso de señales transmitidas de la OLT a la(s) ONU,
- sentido hacia el origen en el caso de señales transmitidas de la(s) ONU a la OLT.

La transmisión en el sentido hacia el destino y la transmisión en el sentido hacia el origen pueden tener lugar en la misma fibra y en los mismos componentes (funcionamiento dúplex/díplex), o en fibras y componentes distintos (funcionamiento simplex).

Si se necesitan conectores adicionales u otros dispositivos pasivos para la reorganización de la ODN, serán situados entre S y R, y sus pérdidas se tendrán en cuenta en todo cálculo de pérdida óptica.

La ODN ofrece uno o más trayectos ópticos entre una OLT y una o más ONU. Cada trayecto óptico se define entre puntos de referencia en una determinada ventana de longitudes de onda.

2.2.4 Cálculo de pérdidas en el modelo ODN

El margen de pérdidas en el balance de potencia óptica se define como las pérdidas, en dB, entre puntos de referencia, S/R y R/S, de la ODN. Incluye las pérdidas debidas a la longitud de las fibras y a los componentes ópticos pasivos (por ejemplo dispositivos de

derivación óptica, empalmes y conectores). El margen de pérdidas tiene el mismo valor en los sentidos descendente y ascendente [11]. Los parámetros indicados a continuación son importantes para la calidad global del sistema:

- diferencia máxima de las pérdidas entre los trayectos ópticos de la ODN;
- valor máximo de pérdidas de trayecto admisible, definido como la diferencia entre la mínima potencia de salida del transmisor y la máxima sensibilidad del receptor, ambos en condiciones de fin de vida (incluyendo las variaciones debidas a la temperatura, el envejecimiento, etc.);
- valor mínimo de las pérdidas admisibles, definido como la diferencia entre la máxima potencia de salida del transmisor y la mínima sobrecarga del receptor, ambas en condiciones de fin de vida.

Estas pérdidas máximas y mínimas se definirán para los márgenes necesarios de condiciones ambientales y longitudes de onda y no se medirán solamente para una longitud de onda, temperatura e instante determinados.

En la Figura 2.9 se representa esquemáticamente el trayecto óptico descendente entre el OLT y una ONU específica.

La ODN es componente de P niveles de división, aun cuando suelen adoptarse 1 ó 2 niveles. En la ODN pueden identificarse varios trayectos ópticos que conectan, cada uno de ellos, una ONU específica al OLT.

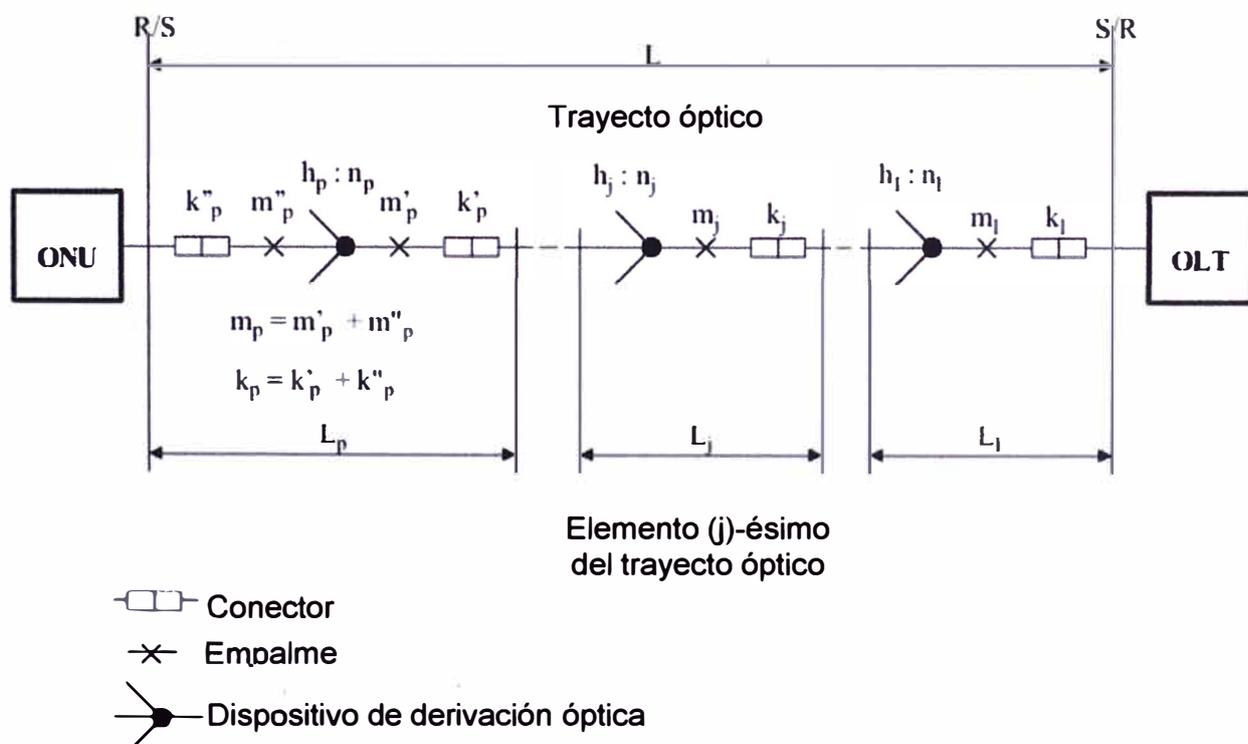


Figura 2.9 Esquema del trayecto óptico entre el OLT y la ONU (Fuente: Figura 6/G.982)

El trayecto óptico entre el OLT y la ONU o, más generalmente, entre los puntos de referencia S/R y R/S está constituido por una sucesión de P elementos de trayecto óptico.

El nivel de división de P -ésimo se representa como una sucesión de P elementos del trayecto óptico. El elemento j -ésimo del trayecto óptico empieza en el puerto de salida del dispositivo $(j-1)$ -ésimo de derivación óptica y termina en el puerto de salida del (j) -ésimo dispositivo de derivación óptica, salvo en las excepciones siguientes:

- $j = 1$, el elemento del trayecto óptico empieza en el punto de referencia S/R y termina en el puerto de salida del primer dispositivo de derivación óptica (o, para $P = j = 1$, en el punto de referencia R/S).

- $j = P$, el elemento del trayecto óptico empieza en el puerto de salida del dispositivo $(P-1)$ -ésimo de derivación óptica (o, para $P = j = 1$, en el punto de referencia S/R) y termina en el punto de referencia R/S, a fin de tener en cuenta los posibles empalmes y conectores presentes en la salida tras el último dispositivo de derivación óptica.

El elemento (j) -ésimo del trayecto óptico consta de la fibra óptica de longitud L_j y de los siguientes componentes ópticos pasivos (la secuencia de componentes de cada elemento del trayecto es arbitraria): el dispositivo (j) -ésimo de derivación óptica con relación de división $h_j:n_j$ ($h_j \geq 1, n_j \geq 1$);

k_j conectores, siendo $k_j \geq 0$;

m_j empalmes, siendo:

$$m_j = \overline{m}_{dj}L_j + \overline{m}_{rj}L_j + m_{aj} \quad (2.1)$$

Donde:

\overline{m}_{dj} es el número medio de empalmes previstos por unidad de longitud de fibra en la primera fase de instalación;

\overline{m}_{rj} es el número medio de empalmes de reparación por unidad de longitud de fibra previsto en la fase de explotación;

m_{aj} es el número de empalmes adicionales previstos no tenidos en cuenta en la cifra $\overline{m}_{dj}L_j$, en la primera fase de instalación; m_{aj} tiene en cuenta los empalmes debidos a la instalación del dispositivo de derivación óptica y los empalmes adicionales en los puntos de terminación de la ODN (por ejemplo, en un bastidor de distribución óptica interno de la central, en el punto de terminación óptica del lado ONU).

En conclusión, el trayecto óptico completo se compone de una fibra óptica de longitud $L = \sum_{j=1}^P L_j$, y de los siguientes componentes ópticos pasivos:

P = número de dispositivos de derivación óptica con relación de división $h_j:n_j$ ($h_j \geq 1, n_j \geq 1, j = 1, \dots, P$); $k = \sum_{j=1}^P k_j$ conectores; $m = \sum_{j=1}^P m_j$ empalmes.

Puede calcularse las gamas adecuadas de pérdidas ópticas para los distintos trayectos ópticos en el ODN utilizando diversos métodos de cálculo. Las pérdidas ópticas de un trayecto óptico de una ODN se calculan añadiendo las pérdidas de todos los componentes ópticos a lo largo del trayecto. En la suma puede utilizarse un enfoque

estadístico para evitar una sobre-especificación de la ODN.

La distribución estadística de las pérdidas totales en el trayecto óptico puede obtenerse combinando las distribuciones estadísticas de las pérdidas de los diversos componentes del trayecto óptico, lo cual puede efectuarse empleando diversas técnicas estadísticas, de las que algunas son más precisas que otras.

Dichas técnicas se describen en detalle en el apéndice IV de la recomendación ITU-T G.982, en donde se explican: El enfoque estadístico gaussiano y el enfoque estadístico de Monte Carlo.

2.2.5 Aspectos técnico-prácticos del ODN

En esta sección se expone los aspectos técnico-prácticos relacionados al ODN. Se consulta documentos de diseño y planeamiento de Alcatel-Lucent [12][13].

a. Topología

La implementación de la Red de Distribución Óptica (ODN), depende de la arquitectura de la Red GPON, según esto se tiene: Arquitectura de ODN centralizada, arquitectura de ODN punto a punto y arquitectura de ODN en anillo [13].

En la arquitectura ODN centralizada los elementos principales de la ODN son:

- La fibra óptica monomodo que realiza la conectividad entre el OLT y la ONT.
- Los Splitters que definen la relación de división óptica de la señal de luz.
- El gabinete de distribución para fibras de acceso denominado en sus siglas en inglés (FAT- Fiber Access Terminal), este equipo permite conectar las fibras que se ubican en la sección horizontal con las fibras que alcanzan a los clientes.
- El gabinete de distribución de alta capacidad para la concentración de fibras denominado en sus siglas en inglés (FCP- Fiber Concentración Point) que permite conectar las fibras alimentadoras a un grupo de FATs vía cables de fibra por rutas diferentes.
- La Zona de Bajada (Drop Section), en esta zona se ubican los cables entre el FAT y el cliente, los cables conjuntamente con sus accesorios: cajas de tránsito, distribuidores ópticos (ODFs), cajas de empalme constituyen la zona de bajada.
- La Zona de Distribución (Distribution Section), en esta zona se ubican los cables entre el FCP y los FATs, los cables conjuntamente con sus accesorios: ductos, cámaras, cajas de empalme, etc constituyen la zona de distribución.
- La Zona de Alimentación (Feeder Section), en esta zona se ubican los cables entre la Oficina Central y los FCPs, los cables conjuntamente con sus accesorios (ductos, cámaras, cajas de empalme, repartidores ópticos) constituyen la sección alimentadora.

En la arquitectura ODN punto a punto, los elementos principales son:

- Una fibra óptica que es instalada y dedicada end to end entre la Oficina Central y el

cliente.

- El equipo instalado en la Oficina Central es un Switch IP/Ethernet, cuyo tráfico de paquetes son agregados en una red Metro Ethernet hacia un router de mayor capacidad con funcionalidad de acceso a Internet.

- Generalmente la única fibra óptica que establece el enlace físico es duplicada para que el cliente pueda ser atendido por dos operadoras. Cada fibra es conectada a un punto de distribución en la Oficina Central y luego al Switch Ethernet.

- El esquema de las topologías de Red ODN centralizada y punto a punto, se muestran la siguiente Figura 2.10. Así también la red ODN se despliega en una arquitectura tipo anillo desde la Oficina Central hasta los clientes. En la Figura 2.11 se puede observar una Red ODN en Anillo que es desplegada en toda una sección de distribución.

b. Arquitectura Centralizada y en Cascada de los Splitters

En los últimos años en la Red ODN se han implementado arquitecturas optimizadas y mejoras en la gestión de las fibras. En el caso de los splitters de acuerdo a la manera como se conecten pueden ser de arquitectura centralizada o en cascada (Figura 2.12).

En la arquitectura centralizada un único splitter es ubicado dentro de una cabina desde donde el enlace con el usuario se efectúa con fibra óptica dedicada únicamente hacia ese usuario siendo flexible para su actualización a nuevas tecnologías al final de la red PON.

En la arquitectura en cascada, se utiliza una combinación de splitters de múltiples ó iguales relaciones de división, en diferentes localidades. Esta arquitectura es particularmente efectiva en lugares apartados o fuera de áreas urbanas, donde el número de usuarios está distante.

Una arquitectura centralizada de splitters se utiliza principalmente en despliegues a gran escala que tienen la relación de división de splitters por debajo del 100%, otra ventaja es la flexibilidad a futuro, la migración de PON a WDM PON.

Una arquitectura en cascada se utiliza normalmente para reducir la cantidad de fibra utilizada, reducir los costos de empalme en la sección de distribución.

c. Especificaciones técnicas de Splitters

Los splitters usados en una red ODN-GPON deben tener la más alta calidad de performance. Por ejemplo un splitter 1:2 tiene una pérdida teórica por inserción de 3 dB, pero tiene una típica pérdida de 3.5 dB, la diferencia de 0.5dB se pierde debido a la limitada uniformidad de potencia y otras deficiencias del splitter.

La uniformidad se refiere a que la potencia de salida tenga un mismo nivel de salida en todos los brazos de salida.

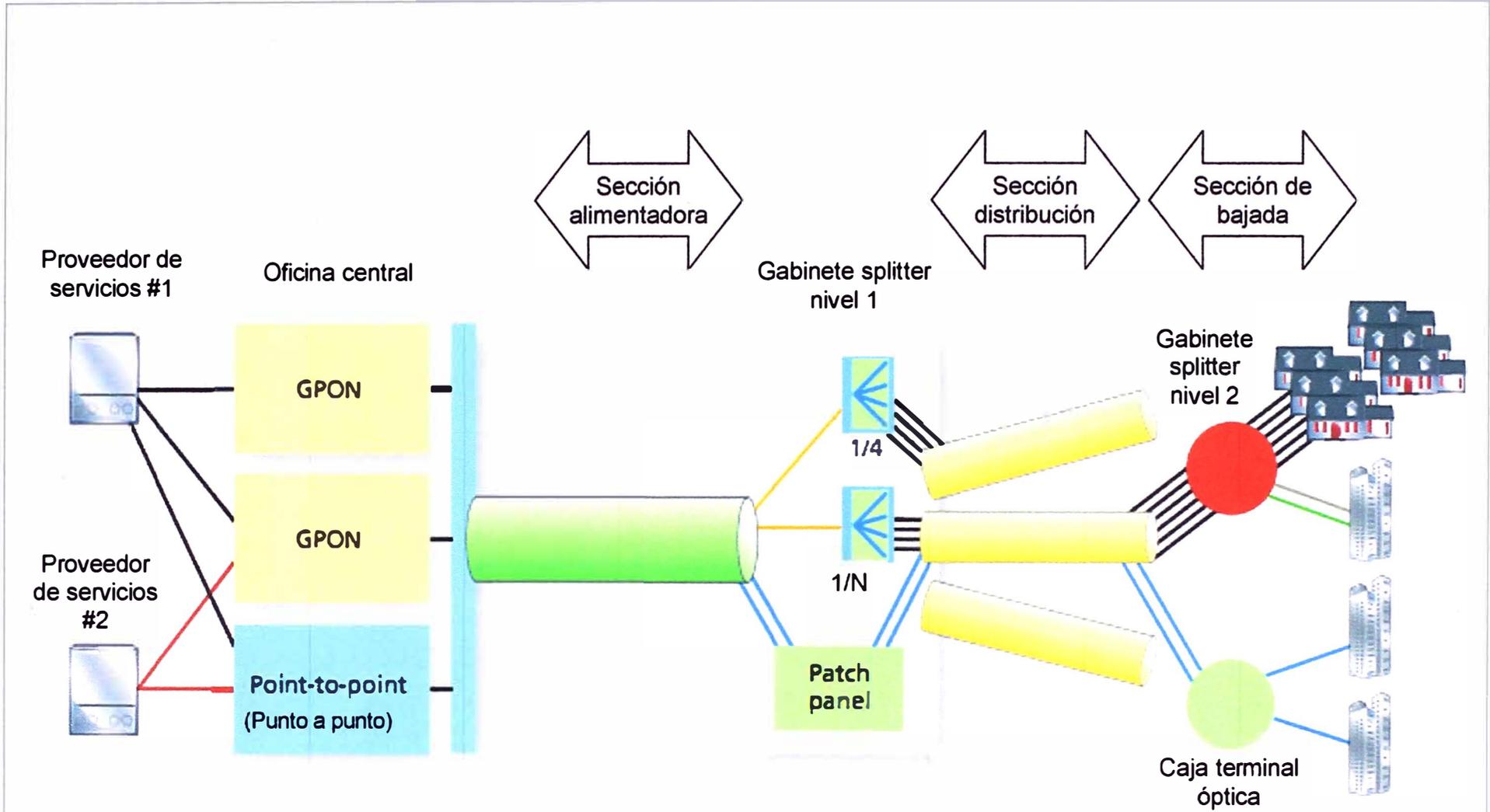


Figura 2.10 Topologías de Red ODN centralizada y punto a punto (Fuente: Ref. [13])

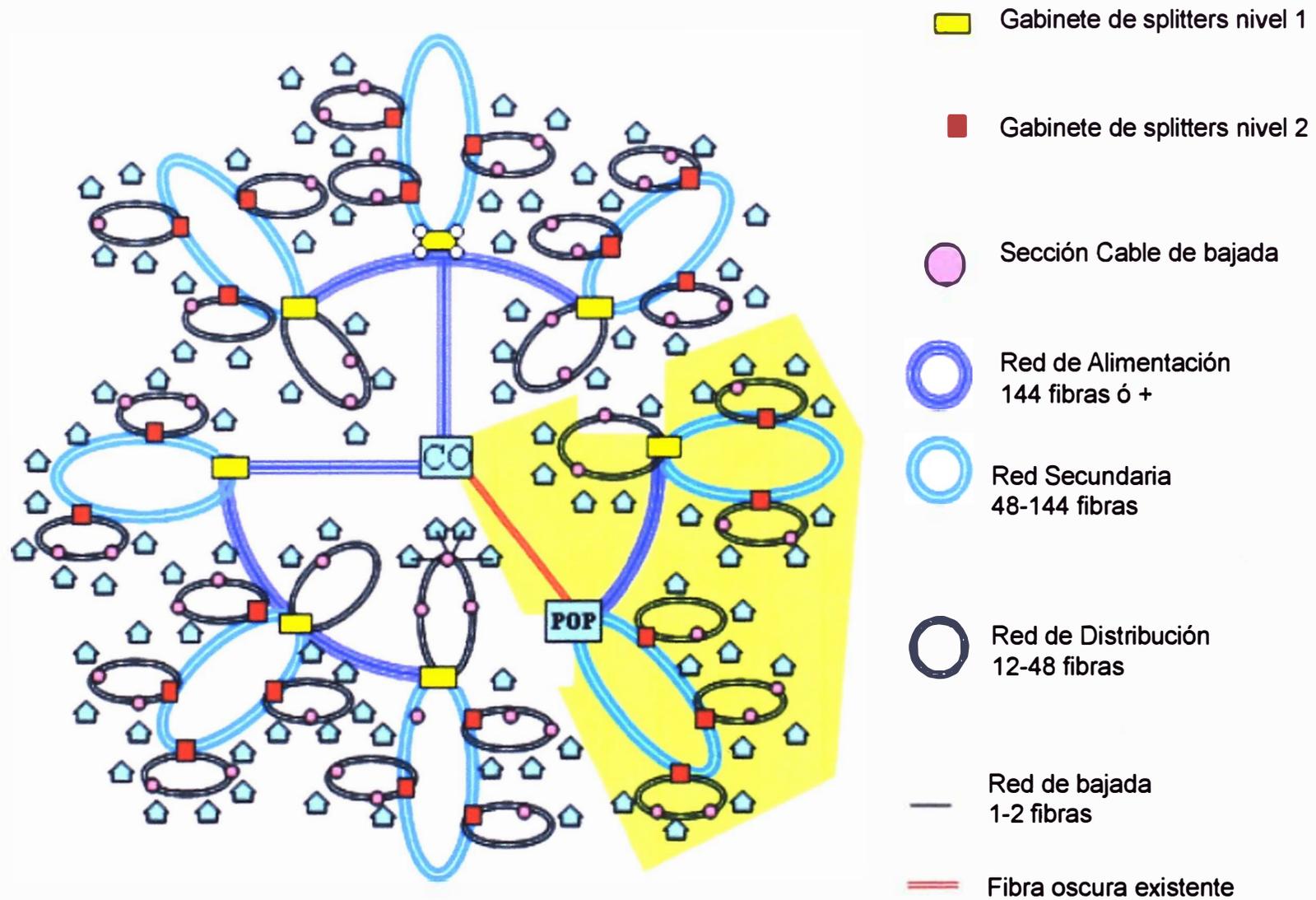


Figura 2.11 Topologías de Red ODN en anillo (Fuente: Ref: [12])

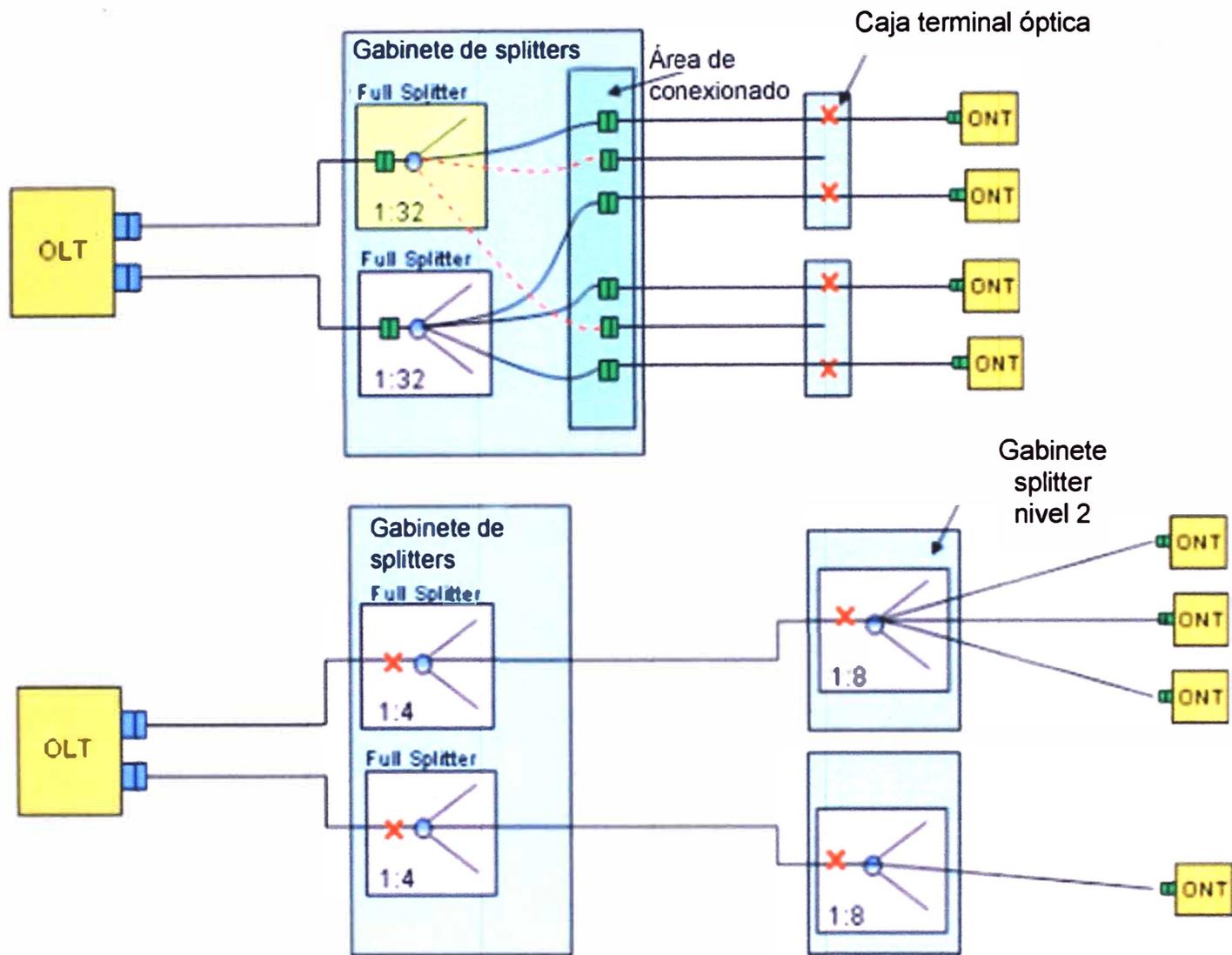


Figura 2.12 Arquitectura centralizada vs. en cascada de los splitters (Fuente: Ref. [12])

Una típica fusión de splitter de 1:2 debiera tener una alta uniformidad de salida de potencia esto es 50% en un brazo y 50% en otro brazo, sin embargo tiene un valor de uniformidad de 48% a 52% Los valores típicos de pérdida por inserción son:

- Splitter con relación de división 1:8 tiene una pérdida de 10.5 dB.
- Splitter con relación de división 1:32 tiene una pérdida de 17.5 dB
- Splitter con relación de división 1:64 tiene una pérdida de 21 dB.

Actualmente hay dos tipos disponibles de splitters, los splitters con tecnología por fusión y splitters con tecnología planar.

Los splitters con bajos niveles de relación tales como: 1:2 y 1:4 son típicamente de tecnología por fusión y los splitters con altos niveles de relación son típicamente de tecnología planar, estos reducen costos y proporcionan mayor uniformidad. En la Tabla 2.4 se muestra los requerimientos y performance de los splitters ópticos.

Tabla 2.4 Requerimientos y performance de los splitters ópticos (Fuente: Ref. [12])

Splitter	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	2:2	2:4	2:8	2:16	2:32	2:64
Max. pérdida de inserción (dB)	4	7.1	10.5	13.8	17.1	20.5	4	7.1	10.5	13.8	17.1	TBD
Max. Uniformidad (dB)	0.3	0.5	0.8	1	1.3	2	0.3	0.5	0.8	1	1.3	TBD
Longitud de onda de operación	1260-1360 nm/ 1480-1580 nm*											
PDL (dB)	< 0.2											
Pérdida de retorno (dB)	> 55											
Directividad (dB)	> 55											
Tipo de fibra	Monomodo											
Temp. Operación	-40°C a 85°C											
Humedad. operación	5% RH a 85% RH											

d. Consideraciones para optimizar la confiabilidad de la ODN

La instalación y mantenimiento de una red de fibra óptica presenta un desafío en comparación con las redes basadas en cobre y coaxiales. El mantenimiento de la fibra, la limpieza y el cableado es fundamental para mantener un rendimiento óptimo de la red de extremo a extremo. Principalmente se debe optimizar el rendimiento de la red ODN en los siguientes aspectos:

d.1 Microcurvaturas

Uno de los problemas más comunes en el enlace de fibra óptica son las microcurvaturas que son trasladadas al núcleo y revestimiento de la fibra originando la dispersión de la luz y por ende la atenuación de la señal, por lo que se recomienda el uso de fibras monomodo optimizadas frente a las curvaturas.

Este tipo de fibras compatibles con la norma ITU G.652 (fibras monomodo estándar), permiten realizar la instalación óptima de una red de fibra óptica sin atenuación añadida por curvaturas.

En las instalaciones de fibra óptica en planta interna y en el local del cliente se presentan con mayor frecuencia los problemas debido a microcurvaturas, y las nuevas fibras de bajo radio de curvatura permiten curvaturas de 15 mm y 7.5 mm ambas compatibles con la norma ITU G.652.

El aplastamiento de cables de fibra y jumper ópticos también puede convertirse en un problema y que a menudo pasa inadvertido y se optimiza utilizando cámaras, armarios que permiten la manipulación de los cables y jumper ópticos.

d.2 Interconexión de Equipos

Otro problema que se debe optimizar, representa la interconexión entre equipos, estos deben efectuarse con bastante cuidado empleando los trancectores para fibra óptica de acuerdo a sus especificaciones técnicas.

Entre los trancectores más usados son los Gig-E SFP (Small Form Factor Pluggable) y XFPs (10Gbps Small Form Factor Pluggable). La Tabla 2.5 muestra los estándares ópticos para la interconectividad de equipos a velocidades de 1 y 10 Gbps y las especificaciones técnicas de los trancectores SFP/XFPs más usados en un sistema GPON (Temperatura. Comercial 0-70°C, de temperatura industrial -40/+85°C).

Tabla 2.5 Estándares ópticos para la interconectividad de equipos (Fuente: [12])

Ítem	Tasa (G)	Dist.	λ (nm)	Tipo fibra	Appl.	Transmisor				Receptor	
						Potencia de salida		λ		Potencia de entrada	
						(min)	(max)	(min)	(max)	Sensib.	Overload
						dBm	dBm	nm	nm	dBm	dBm
SFP	1	550 m	850	MMF	SX	-9.5	-4.0	820	860	-17	0.0
	1	10 km	1310	SMF	LX10	-9.5	-3.0	1274	1345	-20	-3.0
	1	40 km	1310	SMF	EX	-4.5	0.0	1260	1360	-22	-3.0
	1	80 km	1550	SMF	ZXU	0.0	+5.0	1500	1580	-24	-3.0
	1	80 km	1550	SMF	ZXU	0.0	+5.0	1540	1570	-24	0.0
XFP	10	300 m	850	MMF	SR	-4.0	-1.1	840	860	-9.9	-1.0
	10	10 km	1310	SMF	LR	-8.2	0.5	1290	1330	-14.4	0.5
	10	40 km	1550	SMF	ER	-7.7	4.0	1530	1565	-15.8	-1.0

d.3 Conectores Ópticos

Otro factor de consideración en una red óptica y que se debe optimizar, es el uso apropiado de conectores ópticos. Los conectores ópticos están diseñados para proporcionar una guía mecánica para que los núcleos de las fibras presenten un adecuado acoplamiento para dejar pasar la luz de una fibra a otra.

Los conectores ópticos en general son confiables y funcionan según sus especificaciones, sin embargo si no se gestionan adecuadamente introducen un punto potencial de fallas.

Los conectores más utilizados son: Tipo SC (Subscriber Connector), Tipo FC (Fiber Connector), Tipo ST (Straight Tip), Tipo LC (Local Connector). Ver Figura 2.13.

En las implementaciones de redes FTTx utilizan en mayoría el conector SC, ya que se considera más durable, de bajo costo, relativamente robusto y de fácil adaptación SC-SC. El conector tipo LC está ganando popularidad ya que utiliza la mitad de espacio mecánico que el conector SC. La máxima atenuación de inserción en un conector óptico es aceptable hasta 0.5 dB.



Figura 2.13 Tipos de conectores (Fuente: Ref: [12])

En una red PON FTTx 0.5dB puede ser significativa cuando múltiples conectores son usados para interconectar una OLT con una ONT. Los valores típicos de atenuación por inserción es de 0.1 a 0.2 dB.

En la unión de conectores se toman en cuenta los siguientes tipos de pulidos: Pulido plano, Pulido convexo tipo PC (Physical Contact), Pulido convexo tipo SPC, Pulido convexo tipo UPC (Ultra Polished Contact), Pulido angular tipo APC (Angular Polished Contact). Ver Figura 2.14.

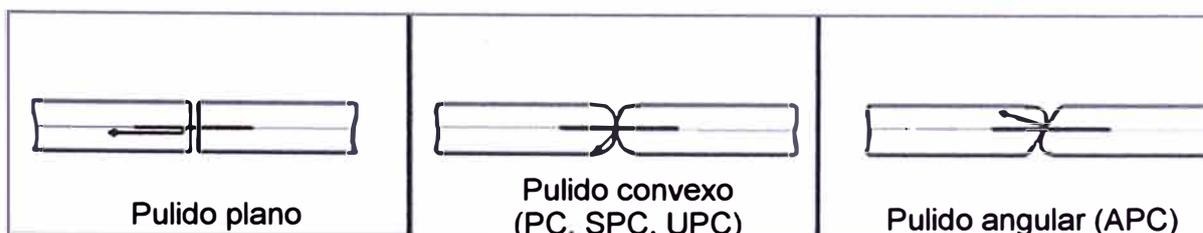


Figura 2.14 Tipos de pulido (Fuente: B-Z Telecom)

Los conectores con tipo de unión SC-APC son preferidos para usarlos en planta externa y en los cables de transporte de la señal de video en fibras monomodo de 1550 nm.

El conector APC se utiliza en una RED GPON por varias razones, una de ellas es reducir la reflexión del ruido causado por conectores sucios y dañados.

La unión de conectores SC-UPC (Ultra Physical Contact) son también usados en planta externa, sin embargo no se recomiendan porque el polvo y daños en el conector causan problemas serios en la reflexión de la luz.

Resumiendo los principales parámetros que afectan el desempeño óptico de los conectores de fibra óptica son la atenuación de inserción y la pérdida de retorno óptico (ORL) por lo que hay que cumplir las recomendaciones técnicas de su uso y implementación para optimizar las pérdidas de la señal de luz.

En la Tabla 2.6 adjunto se indican los valores de atenuación por inserción y la pérdida de retorno óptico.

Tabla 2.6 Características y parámetros de conectores típicos (Fuente: Ibídem)

Tipo	Aplicación	Método de ajuste mecánico	Atenuación de inserción (dB)	ORL (dB)
ST	SM/MM	Bayoneta	< 0.3 (SM) < 0.6 (MM)	> 12 (pulido plano) > 30 (PC) > 40 (SPC)
SMA	MM	Rosca	< 0.6	-
MIC	SM/MM	Push-pull	< 0.3 (SM) < 0.5 (MM)	> 35
FC	SM/MM	Guía+rosca	< 0.2 (SM) < 0.15 (MM)	> 40 (SPC) > 50 (UPC) > 60 (APC)
SC	SM/MM	Push – pull	< 0.2 (SM) < 0.15 (MM)	> 40 (SPC) > 50 (UPC) > 60 (APC)
MTRJ	SM/MM	Push – pull	< 0.4 (SM) < 0.3 (MM)	> 40 (SPC)
LC	SM	Push – pull	< 0.2	> 40 (SPC) > 50 (UPC)

e. Sistemas de protección para empalmes, splitters, terminales de bajada en la Red ODN.

En la planta externa se disponen de gabinetes, armarios, repartidores de fibra óptica, cajas terminales en los clientes (DT-Terminal Drop),etc como sistemas de protección principalmente para los empalmes ópticos, splitters, y cables de fibra óptica.

El gabinete que contiene los divisores ópticos (splitters) se conocen como Terminal

de Splitter (ST) y estos se ubican en armarios cerrados, sellados a presión para protegerlos del medio ambiente, en forma aérea o terrestre. En una arquitectura centralizada de splitters el ST es un pequeño gabinete que típicamente sirve para atender de 144 a 800 puertos GPON, en una arquitectura en cascada es un gabinete grande y instalado en forma de pedestal o en una cámara. El terminal de splitters en una red ODN-PON debe cumplir principalmente las siguientes funciones:

- Proporcionar operatividad entre la red alimentadora y la red de distribución de la fibra óptica.
- Proporcionar una utilización eficiente y rentable de los puertos PON en el OLT.
- Proporcionar un acceso fácil a los cables y conectores para las pruebas, mantenimiento y conectividad con los clientes.
- Proporcionar un entorno seguro, limpio y sellado para alojar los divisores ópticos.

En la Figura 2.15 se muestra un modelo de un Terminal de Splitters, en una arquitectura centralizada de splitters, en el gráfico se puede observar cómo está configurado el splitter tanto para el cable alimentador y distribuidor de fibra óptica.

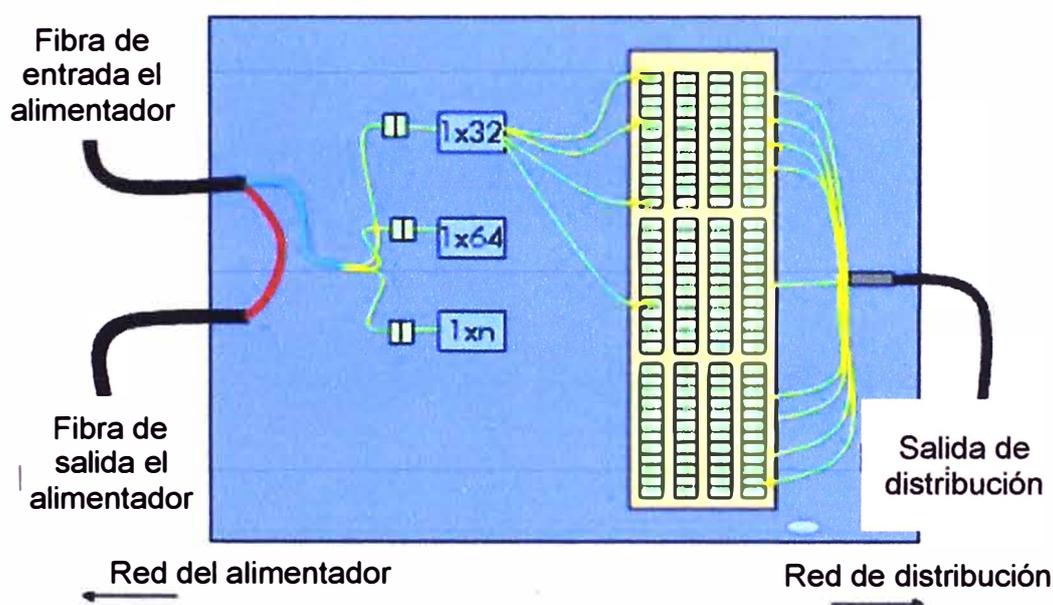


Figura 2.15 Terminal de splitter centralizado (Fuente: Ref. [12])

f. Cajas Terminales Ópticas

Hay una variedad de cajas terminales ópticas (sus siglas en inglés es DT- Drop Terminal). Los DT son terminales ubicados fuera del cliente, en la fachada del edificio, cerca al edificio, en postes telefónicos, y en cámaras subterráneas, desde los cuales se accesa al cliente. Muchos DT son diseñados para dar cabida a divisores ópticos de relación de división 1:4, 1:8. La Figura 2.16 muestra un modelo de una caja terminal óptica donde se puede observar la configuración entre las fibras de la sección de distribución y los cables hacia los clientes (Drop Cables).

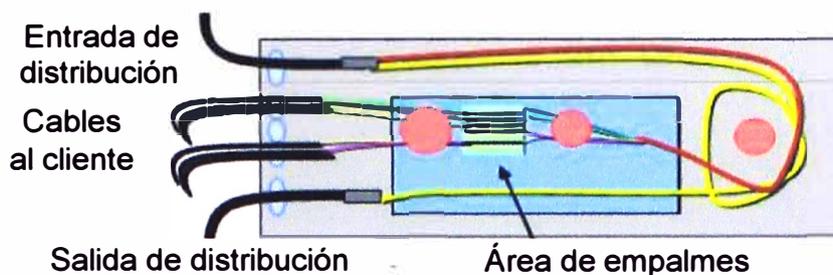


Figura 2.16 Caja terminal óptica

Las cajas terminales ópticas están selladas a presión para protección de las inundaciones, humedad, insectos y otras condiciones ambientales que pueden causar cualquier tipo de daño o degradación.

g. Infraestructura para las Instalaciones de cables de fibra óptica

Las instalaciones de la fibra óptica en la Red de Distribución Óptica, principalmente deben favorecer a reutilizar el equipamiento existente (postes, ductos, cámaras, armarios, etc) para reducir costos de inversión y mantenimiento [13]. Por ello las nuevas instalaciones de red sobre las existentes contemplan las siguientes actividades:

- Instalación de cables de fibra óptica en postes.
- Instalación de cables de fibra óptica en ductos.
- Instalación de cables de fibra óptica en sistemas de alcantarillado.
- Instalación de cables de fibra óptica en tuberías de gas.
- Instalación de cables de fibra óptica en tuberías del sistema de agua y desagüe.

2.3 Tecnología GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network)

Los esquemas de las redes de acceso con fibra óptica hasta el cliente son de arquitectura punto a multipunto. Entre las principales ventajas del bucle de abonado con fibra óptica se tiene que puede soportar los servicios de nueva generación como la televisión de alta definición (HDTV), VoIP, IPTV, servicios de multimedia, servicios interactivos, mayor ancho de banda, mayor alcance desde la central hasta el cliente (hasta 20 Km).

La evolución de las redes ópticas de acceso está permitiendo reducir costos de inversión de los equipamientos principalmente en el backbone de la red IPMPLS, y reducir costos en el mantenimiento de la red de fibra óptica.

Para el presente documento, el estudio se enfoca en explicar las redes pasivas PON (Passive Optical Network). Las PON son aquellas que no tienen componentes electrónicos y optoelectrónicos activos entre la oficina del cliente y la operadora, por lo que significa que los costos de inversión son menores a otras tecnologías que si disponen componentes electrónicos, las cuales son conocidas como redes activas.

Las redes PON tienen el siguiente equipamiento [14][15]:

- Equipo OLT.- Terminal de Línea Óptica (Optical Line Terminal).

- Equipo ONT.- Terminal de Red Óptico (Optical Network Terminal).
- Divisor Óptico (Passive Optical Splitter - POS).

En esta sección se explican los conceptos más relevantes respecto a la tecnología GPON, en la cual se basa el presente informe de suficiencia.

2.3.1 Arquitectura de una red GPON

En la Figura 2.17 se muestra el esquema de una red GPON.

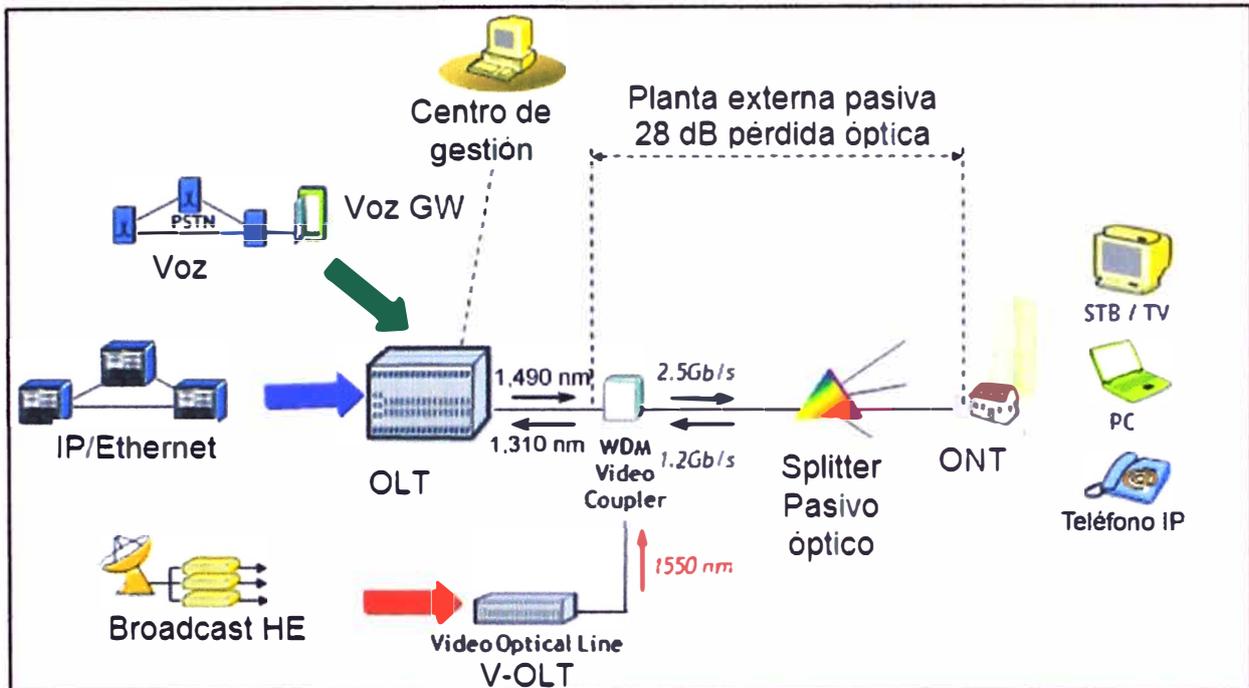


Figura 2.17 Esquema de una red GPON (Fuente: Alcatel-Lucent)

La Red GPON es una red de acceso a los clientes con fibra óptica, cuyas características principales son:

- En el lado de la central se instalan los equipos OLT los cuales accesan a la red Metro Ethernet con interfaces: nx1GE, 1x10GE.
- El OLT consta de varias tarjetas GPON, y estas con puertos de línea GPON, conectando cada puerto hasta 64 ONT.
- En las oficinas del cliente se instala el equipamiento ONT.
- Una fibra óptica que interconecta el OLT con el equipo terminal ONT tiene un alcance máximo de hasta 20 km, y está operando en la longitud de onda de 1,490 nm para velocidades downstream y 1,310 nm para velocidades upstream.
- La velocidad de 2,5 Gbps como downstream es compartido entre los abonados de la red lo cual permite tener al menos 40 Mbps por abonado y 1,25 Gbps para upstream compartido entre los abonados de la red lo cual permite 20 Mbps por abonado.

La red de distribución óptica (ODN), concepto que se desarrolla en 2.3, comprende el equipamiento del Modulo de Multiplexación por Longitud de Onda (WDM), el Divisor Óptico Splitter, hasta tener como máximo 2 niveles de splitter con división óptica de 1:2,

1:4, 1:8, 1:16,1:32, 1: 64.

2.3.2 Modelos de acceso PON (FTTX)

Para satisfacer las necesidades de los clientes y ampliar el bucle de abonado, se han dado prioridad a las redes ópticas pasivas las cuales permiten llegar al abonado en diferentes formas, estos tipos de redes se definen con el acrónimo FTTX que significa fibra hacia x, donde x representa distintos destinos, los más importantes son:

- FTTH (Fiber to the home) la fibra llega hasta la casa ó oficina del cliente.
- FTTB (Fiber to the building) la fibra termina antes de la oficina del cliente, típicamente en el interior ó inmediaciones del edificio de los abonados.
- FTTN (Fiber to the node) la fibra termina antes del edificio del cliente, en un local de la operadora.

La elección de un tipo de acceso depende de los costos de los servicios que se ofrecerán a los clientes. En la Figura 2.18 se muestran los tipos de acceso FTTH y FTTB. En ella se puede ver lo siguiente:

- El acceso FTTH, es directamente con fibra al abonado desde el equipo ONT.
- El acceso FTTB, se instala cerca al edificio el equipo MDU (Multi Dwelling Unit) con uplink GE/GPON hacia el OLT, desde el MDU se accesa a los clientes del interior del edificio vía par trenzado de cobre, cable UTP clase 5, para atender sus requerimientos de servicios de acuerdo a las tarjetas VDSL2, ADSL2 +, G.SHDSL, P2P FE instaladas en el MDU.
- Ambos modelos de acceso FTTH y FTTB están dimensionados para atender el 20% de los usuarios de FTTB y el 80% de los usuarios FTTH a través de una OLT.
- El equipo OLT dispone de tarjetas de línea GPON, cada GPON atiende hasta 64 abonados.

2.3.3 Modelos estándares PON

Los modelos de Redes Ópticas Pasivas que se han implementado y han estado evolucionado son las siguientes:

- APON (ATM Passive Optical Networks).- Es un protocolo de transmisión basado en ráfagas de celdas ATM en canal descendente con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparten entre el número de ONUs conectados, su principal limitación es que carecía de la capacidad necesaria para transmitir video. Su limitación de velocidad de 155 Mbps se aumento posteriormente a 622 Mbps.
- BPON (Broadband PON- Red Óptica Pasiva de Banda Ancha).- Se basan en las redes APON, para soportar otros estándares de anchos de banda, introduce una longitud de onda para transmitir video RF, definida para soportar velocidades simétricas de 155 Mbps tanto en canal descendente como ascendente. Se modifico para transmitir velocidades

asimétricas de 622 Mbps para canal ascendente y 155 Mbps para canal descendente y velocidades simétricas de 622Mbps.

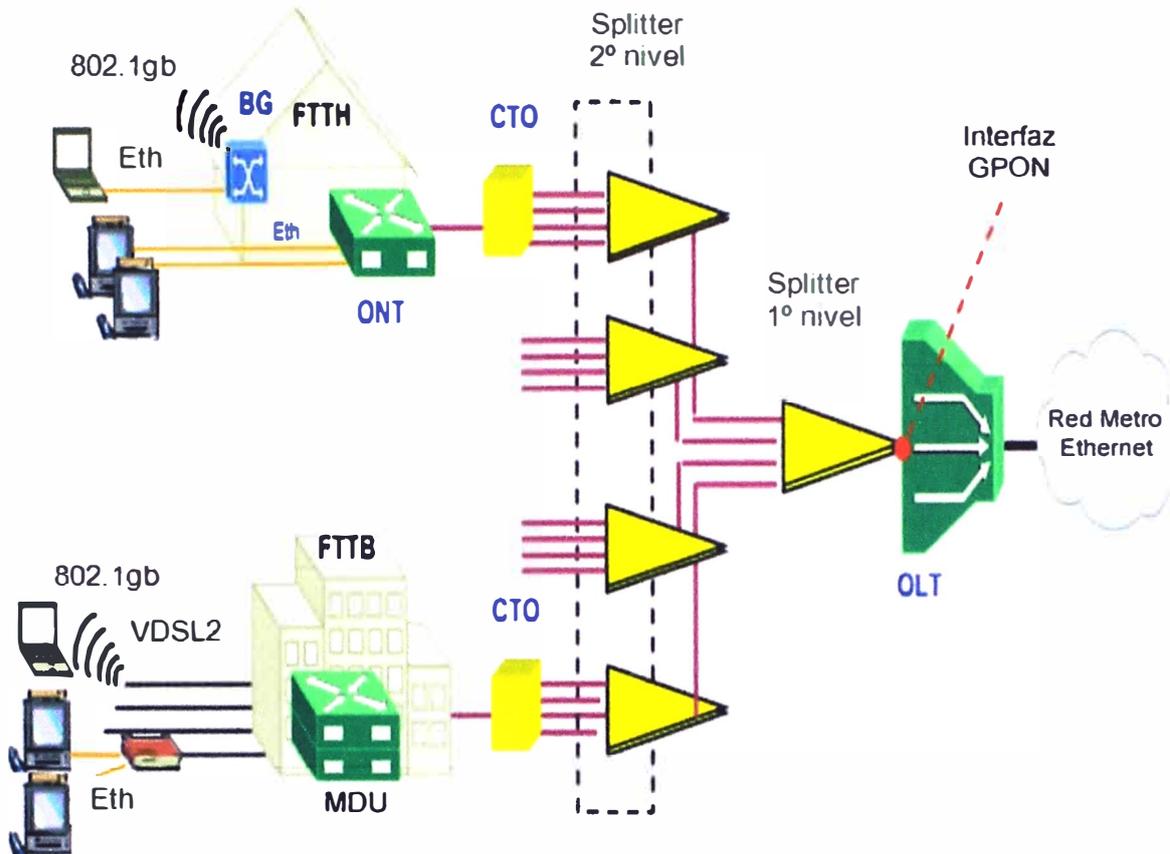


Figura 2.18 Tipos de acceso FTTH y FTTB (Fuente: Alcatel).

- EPON (Ethernet Passive Optical Networks) G-EPON (Giga EPON).- En 2004, el estándar para EPON y GEPON (802.3ah-2004) fue ratificado como parte de Ethernet en el proyecto de primera milla de I IEEE 802.3. EPON usa las tramas del estándar 802.3 con flujos simétricos de 1 Gbps (subida y bajada).
- GPON, NG-PON.- Las cuales son las últimas tecnologías que vienen siendo desplegadas en el mundo para brindar servicios que exigen cada vez mayor ancho de banda por muchos más clientes. En lo que resta de la sección se profundiza sobre la tecnología GPON.

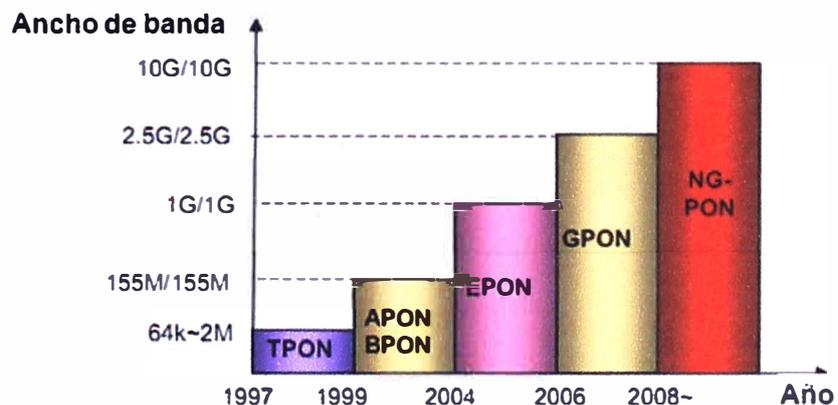


Figura 2.19 Evolución tecnologías PON (Fuente: Ibidem)

La Figura 2.19 muestra la evolución de los PON descritos anteriormente en relación a su ancho de banda (BW). Se aprecia en las abscisas el periodo de despliegue, y en las ordenadas el ancho de banda.

2.3.4 Técnicas de multiplexación

El sistema GPON usa la técnica de multiplexación por longitud de onda (WDM) para implementar la transmisión bidireccional sobre una sola fibra óptica. Para separar las señales de Tx, Rx en los clientes, el sistema GPON usa dos tecnologías de multiplexación. La tecnología broadcast para el downstream. La tecnología TDMA para el upstream.

a. Multiplexación en Downstream

La multiplexación en downstream usa el modo broadcast, la longitud de las tramas GPON de 125 ms son enviadas a todas las ONUs. De esta forma todas las ONUs reciben la misma data. Las ONUs diferencian sus datos de acuerdo a sus IDs para filtrar su información que van dirigidas a ellas (Figura 2.20).

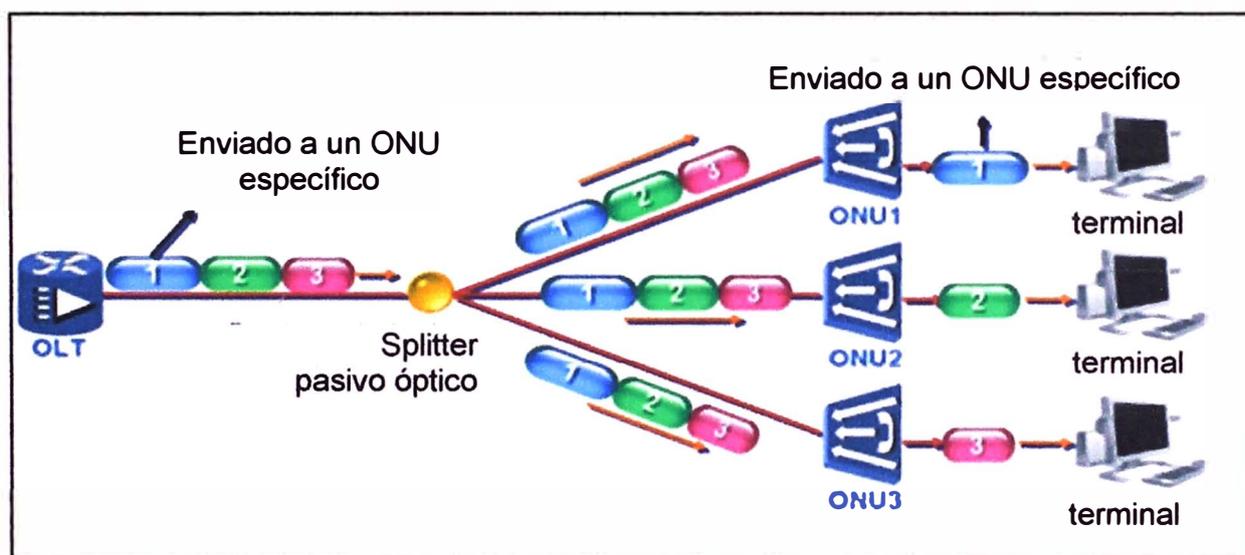


Figura 2.20 Esquema de Multiplexación en Downstream (Fuente: Huawei)

b. Multiplexación en Upstream

La multiplexación en upstream usa el modo TDMA (Time Division Multiple Access). La OLT controla el canal ascendente, el uplink es dividido en ventanas de tiempo y estas son asignadas para cada ONT.

Se requiere un control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios, por lo tanto todas las ONTs pueden transmitir su propia data basada en una secuencia específica sin conflictos al competir por las ventanas de tiempo.

Se requiere una perfecta sincronización de los paquetes ascendentes para que la OLT sea capaz de reconstruir la trama GPON, por esta razón es necesario que la OLT

conozca la distancia a la que se encuentra cada ONTs para tener en cuenta el retardo que tiene la información desde que parte del usuario. La Figura 2.21 ilustra este esquema de Multiplexación.

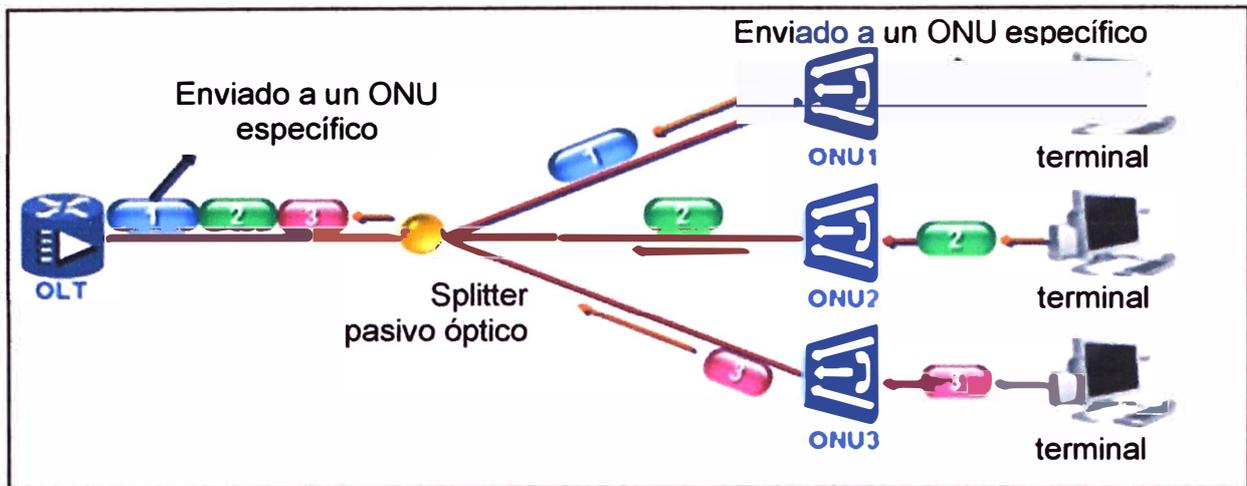


Figura 2.21 Esquema de Multiplexación en Upstream (Fuente: Huawei)

2.3.5 Parámetros básicos de performance en una red GPON

Toda Red GPON debe soportar las velocidades de transmisión asincrónicas mostradas en la Tabla 2.7 (* en uso por las operadoras):

Tabla 2.7 Velocidades de transmisión asincrónicas en Gbps (Fuente: Ref [14])

Ascendente	Descendente
0.1552	1.24416
0.62208	1.24416
1.24416	1.24416
0.15552	2.48832*
0.62208	2.48832
1.24416	2.48832
2.48832	2.48832

Tanto el máximo alcance Lógico como el físico es de 60 km. La máxima diferencia entre el más cercano y lejano ONU del OLT debe ser de 20 km. La tasa de división lógica debe ser de hasta 1:64, preparado para un upgrade de 1:128 (Figura 2.22).

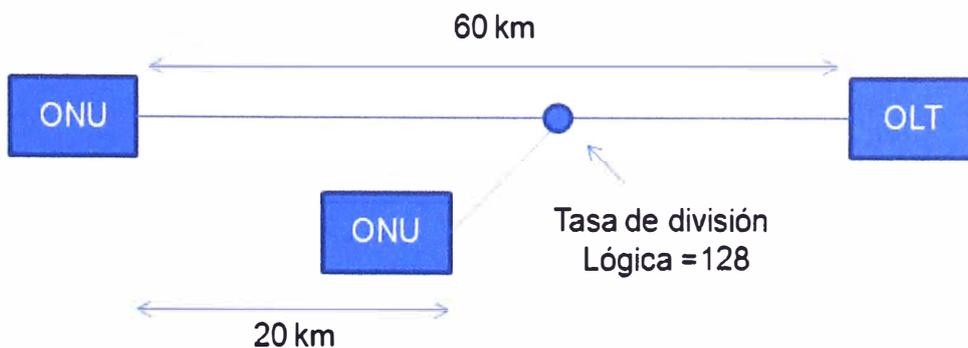


Figura 2.22 Parámetros básicos de performance (Fuente: Ref. [15])

2.3.6 Protocolos GPON

La normalización de los protocolos PON ha sido efectuada por la ITU-T, normalizó el BPON (G.983) y el GPON (G.984); y la IEEE, normalizó el EPON (802.3ah).

La Figura 2.23 muestra la pila de los protocolos G.984 usado para una tecnología con fibra óptica que interactúan entre las diferentes capas ó niveles del modelo TCP/IP.

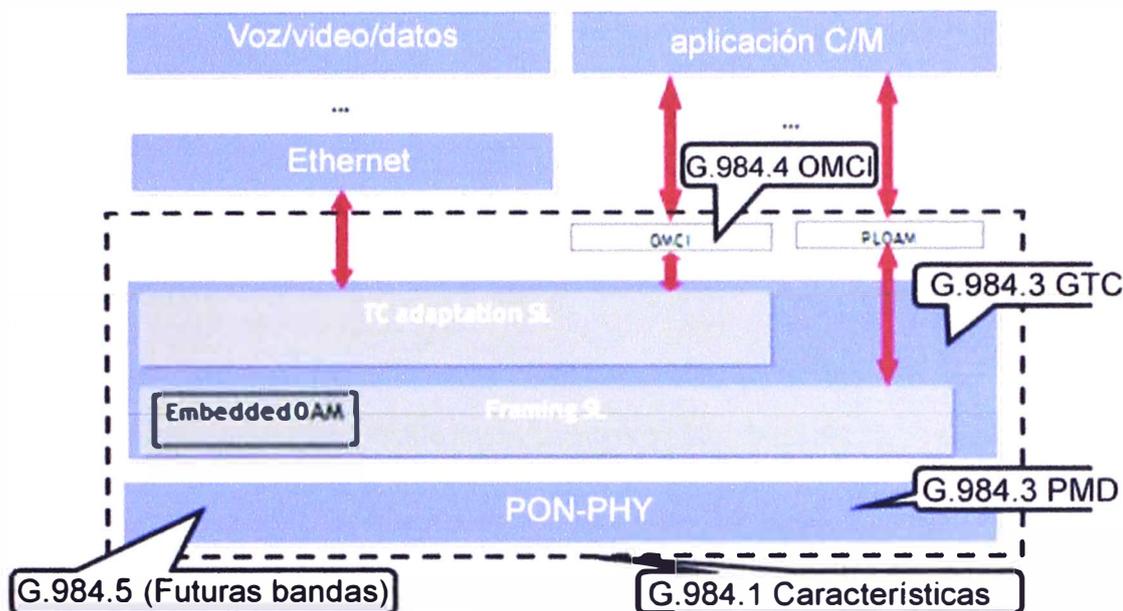


Figura 2.23 Pila de los protocolos G.984 y TCP/IP (Fuente: Ref. [15])

Como se puede apreciar en la figura anterior, los protocolos soportados por la arquitectura GPON son de la forma ITU-G.984.x [5]. Estos protocolos son enfocados para brindar los servicios actuales y nuevos para clientes residenciales y corporativos (G.984 “Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits”).

- G.984.1.- Características generales (General characteristics).
- G.984.2.- Especificación de la capa dependiente de los medios físicos (Physical Media Dependent -PMD- layer specification).
- G.984.3.- Especificación de la capa de convergencia de transmisión (Transmission convergence layer specification)-G.Imp984.3.- Guía del implementador.
- G.984.4.- Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica (ONT management and control interface specification). G.Imp.984.4.- Guía del implementador.
- G.984.5.- Banda de ampliación (Enhancement band).
- G.984.6.- Extensión del alcance (Reach extensión).
- G.984.7.- Largo alcance (Long Reach).

A continuación son descritos los más relevantes.

a. ITU-T G.984.1

Este protocolo describe los parámetros de la Red GPON, los requisitos de protección

de conmutación para los datos, entre ellos [16]:

- Tipo A: Fibra Óptica Backup (Figura 2.24).
- Tipo B: Puerta GPON Backup en el OLT (Figura 2.25).
- Tipo C: Modo Full- Backup (Figura 2.26).

a.1 Tipo A

Cuando la instalación comprende el equipamiento de una OLT, ONU con una fibra óptica activa, ante fallas, la recuperación se hace manualmente efectuando el switch hacia la fibra óptica backup, durante el switching el servicio debe ser interrumpido.

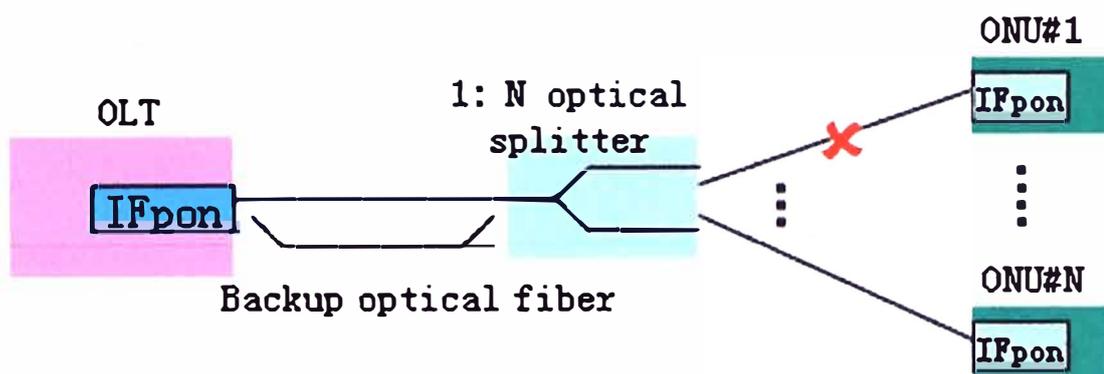


Figura 2.24 Tipo A : Fibra óptica backup (Fuente: Ref: [15])

a.2 Tipo B

Cuando la instalación comprende 02 puertas GPON en la OLT, si la fibra óptica activa falla, automáticamente el sistema efectúa el switch para proteger la fibra óptica activa.

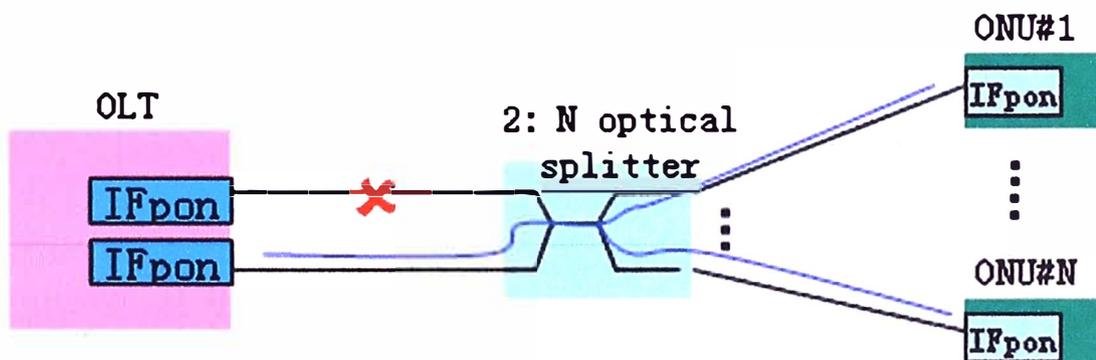


Figura 2.25 Tipo B: Puerto backup OLT (Fuente: Ibídem)

En este modo de protección la tarjeta OLT, la fibra óptica entre el OLT y el ODN son protegidos, por lo tanto este modo puede dar lugar a riesgos de seguridad y no puede satisfacer la necesidad de los clientes.

a.3 Tipo C

Cuando la instalación comprende 2 puertas GPON tanto en la OLT y ONU, las dos puertas en la OLT trabajan en el modo 1:1.

En este modo de protección hay completa protección para las fibras ópticas, en este modo hay dos canales entre el OLT y la ONU y todas las fallas pueden ser localizadas.

Cuando la puerta activa GPON ó la fibra óptica activa de la ONU falla, la ONU automáticamente efectúa el switch hacia la puerta GPON –standby, luego el servicio es transmitido en upstream a través de la fibra óptica en standby hacia la la puerta GPON del OLT, en este modo el servicio no es interrumpido.

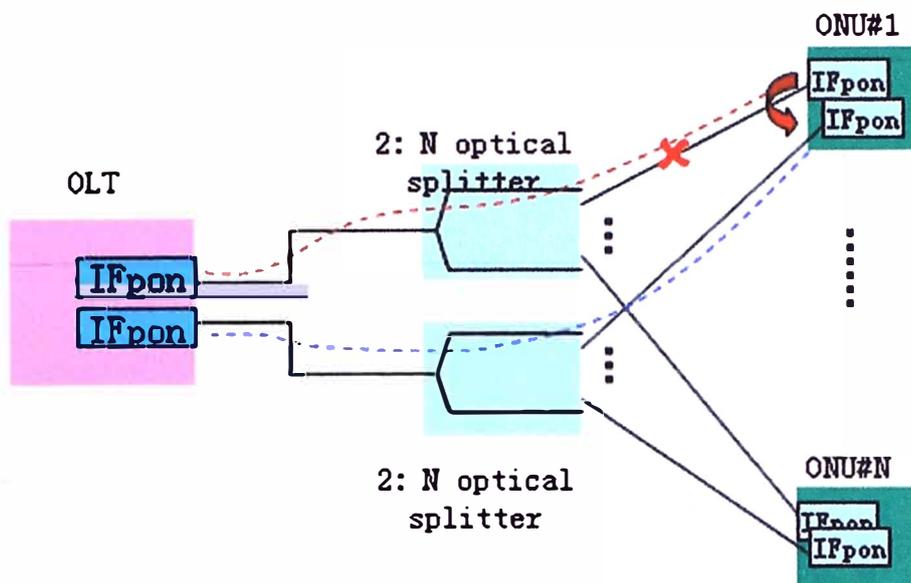


Figura 2.26 Tipo C: Modo full-backup (Fuente: Ibídem)

b. ITU-T G.984.2 PMD

La presente recomendación [17] se refiere a los:

- Requisitos en la capa física y las especificaciones para los medios físicos dependientes (PMD).
- Especificaciones técnicas del puerto óptico para downstream.
- Especificaciones técnicas del puerto óptico para upstream.
- Costos de la capa física.
- Longitudes de onda utilizadas:
 - Banda básica para downstream : 1480 – 1500 nm
 - Banda upstream : 1260 – 1360 nm
 - Banda enhancement para video –RF : 1539 – 1565 nm
- Velocidades a implementarse: Al respecto se recomienda diferentes velocidades de downstream y upstream, velocidades simétricas mostradas en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Velocidades downstream y upstream (Fuente: Ibídem)

Downstream	Upstream
1244.16 Mbps	155.52 Mbps
	622.08 Mbps
	1244.16 Mbps
2488.32 Mbps	155.52 Mbps
	622.08 Mbps
	2488.32 Mbps

Los láseres del equipamiento OLT y ONT, clase A, B, B+C que emiten sus estándares de potencias, los fabricantes se han decantado por los láseres clase B+ (Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Especificaciones Técnicas para la puerta GPON Clase B+ (Fuente: Ibidem)

Items	Single fiber (dBm)
OLT	
Potencia media inyectada MÍN	+1.5
Potencia media inyectada MAX	+5
Sensibilidad mínima	-28
Sobrecarga mínima	-8
ONU	
Potencia media inyectada MÍN	0.5
Potencia media inyectada MAX	+5
Sensibilidad mínima	-27
Sobrecarga mínima	-8

c. ITU-T G.984.3 GTC (GPON Transmission Convergence (GTC))

Este protocolo describe las arquitecturas de multiplexación: Modo ATM, Modo GEM.

El método de encapsulación que emplea GPON es GEM (GPON Encapsulation method) que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.) en un protocolo de transporte síncrono con tramas periódicas de 125 microsegundos.

GEM se basa en el estándar GFP (Generic Framing Procedure) del ITU-T G.7041 con modificaciones menores para optimizar las tecnologías PON [18].

- Las estructuras de la trama downstream y upstream.
- Gestión y asignación del ancho de banda dinámico (DBA).
- Método de registración y activación de ONUs.
- Advanced Encryption Standard (AES) for security.
- Forward error Coding (FEC).

d. ITU-T G.984.4 OMCI (ONT Management and Control Interface)

Este protocolo [19] permite la configuración remota de las ONTs, a fin de que el OLT administre y controle las interfaces y servicios de cada ONT.

El protocolo OMCI es fundamental para garantizar la interoperatividad entre fabricantes de equipos OLTs y ONTs.

La transmisión de los mensajes OMCI se pueden hacer de dos formas.

- Con el protocolo de transporte ATM, este es utilizado por el APON, BPON.
- Y con el protocolo de transporte GEM (GPON Encapsulation Method), este es utilizado por el GPON.

e. ITU-T G.984.5

Este protocolo [20] define las especificaciones para la coexistencia de las futuras

tecnologías PON. Define los rangos de longitud de onda de la señal de servicio adicional a través de la WDM (Figura 2.27). Las bandas reservadas se refieren como la “banda de ampliación” (EB). Para ellas se incluyen al vídeo y servicios de redes de próxima generación. Las longitudes de onda en el EB se pueden utilizar para downstream como para upstream.

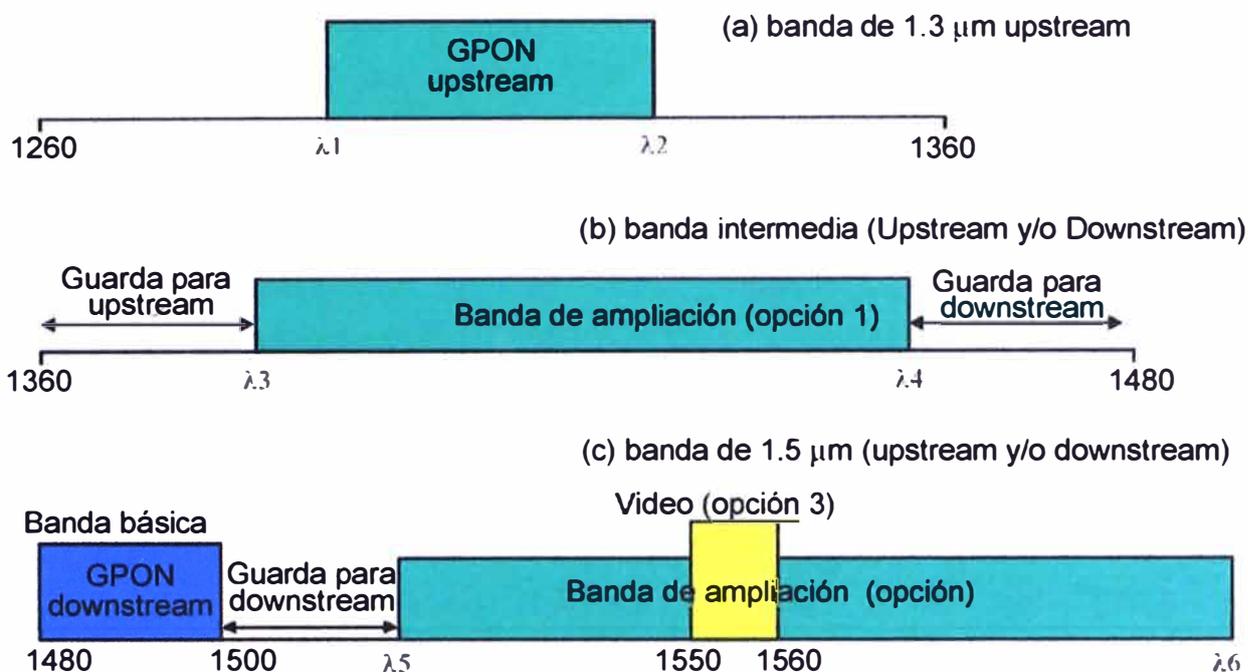


Figura 2.27 Distribución de frecuencias (Fuente: ITU)

f. ITU-T G.984.6.- Extensión del alcance (Reach extensión).

Define la distancia máxima diferencial entre cualquiera de dos ONUs en la PON a 20 km y al alcance lógico GPON a 60 km. Sin embargo, basado en la experiencia de despliegue práctico, se ha encontrado una distancia diferencial de 40 km que van desde 0 a 40 km, 20 a 60 km. La recomendación describe los requerimientos necesarios para que GPON soporte la distancia diferencial de 40 km [21].

g. ITU-T G.984.7.- Largo alcance (Long Reach).

Perfila la arquitectura y parámetros de interfaz para los sistemas GPON con alcance extendido usando un dispositivo de extensión de alcance en la capa física tal como un regenerador o un amplificador óptico en el enlace de fibra entre el OLT y el ONT. El máximo alcance es de hasta 60 km con atenuaciones de 27.5 dB [22].

h. DBA (Dynamic Bandwidth Allocation)

El DBA es la asignación del ancho de banda en forma dinámica, es un mecanismo en el cual la asignación dinámica del ancho de banda ascendente se realiza en varios microsegundos o milisegundos, esto es equivalente a que el usuario final maneje su tráfico. El DBA es requerido en la tecnología GPON porque aumenta el uso del ancho de banda ascendente de un puerto GPON, aumenta el número de abonados conectados a

un puerto GPON, con el uso del DBA los clientes pueden disfrutar de los servicios con mayor ancho de banda, especialmente aquellos que requieren cambios de ancho de banda en gran medida.

2.4 Tecnología NG PON (PON de siguiente generación)

Las Redes Ópticas Pasivas (PON) están siendo desplegadas a nivel mundial desde el año 2004 de acuerdo a las recomendaciones del UIT – T serie G.984, al respecto las operadoras esperan más de las redes PON, estas incluyen mejoras en los anchos de banda (Ejemplos: el servicio HDTV el cual requiere de 20 Mbps, edición de video en casa, sistemas interactivos e-learning, servicios médicos a distancia y la próxima generación de televisión en 3D) y mejoras en las capacidades de acceso.

En su próxima generación las redes PON se dividen en dos fases NG-PON1 y NG-PON2. Los estándares principales de NG-PON1 son las normas G.987.3/G.988, G.987.2 (publicados en marzo del 2010) y ellos recomiendan la convivencia con los sistemas desplegados GPON y la reutilización de la ODN en la planta externa, aprovechamiento de las ONUs existentes, para proteger las inversiones iniciales de las operadoras.

La ITU lista las siguientes recomendaciones relacionadas:

- G.987.- Sistema de red óptica pasiva con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Definiciones, abreviaturas y siglas
- G.987.1.- Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Requisitos generales
- G.987.2.- Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Especificación de capa dependiente del medio físico (Physical media dependent, PMD)
- G.987.3.- Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 gigabits (XG-PON): Especificaciones de la convergencia de transmisión (TC)
- G.988.- Especificaciones de la interfaz de gestión y control de unidades de red óptica (OMCI)

Miembros de FSAN (Full Service Access Network) y UIT- T, decidieron definir la NG-PON1 como un sistema asimétrico con velocidades de 10Gbps en downstream y 2.5 Gbps en upstream, se adjunta la Tabla 2.10 con especificaciones físicas de la capa de enlace

Tabla 2.10 Especificaciones físicas de la capa de enlace (Fuente: Ref. [25])

Ítem	Especificaciones	Nota
Fibra óptica	Cumple con ITU-T G.652 (Características de las fibras y cables ópticos monomodo)	Las nuevas fibras ópticas que cumplan con la ITU-T G.657 (Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso) son aplicables a los despliegues XG-PON1.

Plan de longitud de onda	Upstream: 1260 a 1280 nm Downstream: 1575 a 1580 nm	Downstream: 1575 a 1581 nm para despliegues en exteriores
Presupuesto de potencia	N1: 14 a 29 dB (para aplicaciones que no son coexistentes) N2: 16 a 31 dB (para aplicaciones coexistentes; Las mencionadas incluyen la pérdida por inserción WDM1r Presupuesto extra: mínimo de 33 dB, escalable a 35 dB)	
Tasa de línea	Upstream: 2.48832 Gbps Downstream: 9.95328 Gbps	
Tasa de división	Al menos 1:64 Escalable a 1:128 y 1:256	
Máximo alcance físico	Al menos 20 km	
Máximo alcance lógico	Al menos 60 km	
Máximo alcance lógico diferencial	Escalable a 40 km	

Las características más importantes del NG-PON1 son:

- El NG-PON1 optimiza la capa de convergencia de transmisión (NG-TC), mediante la estructura de la trama, la asignación del ancho dinámico (DBA).
- El GPON y NG-PON1 usan la misma relación de división óptica de 1:32, cada usuario GPON dispone de un ancho de banda de 80Mbps en downstream y 40 Mbps en upstream y cada usuario NG-PON1 dispone de 320Mbps en downstream y 80 Mbps en upstream.
- Mejora en los mecanismos de seguridad como la encriptación en upstream y multicast encriptación en downstream y ahorro de energía respecto al GPON.
- La tecnología NG-PON1 hereda casi el 90% de los mecanismos de gestión a través del modelo OMCI [G.984.4] de GPON.
- NG-PON1 coexiste con GPON sobre el mismo ODN, mejora la compatibilidad del NG-PON1 implementando WDM en downstream y WDMA en upstream

En la Figura 2.28 se muestra la compatibilidad del NG-PON1 y GPON usando la tecnología WDM.

La selección de NG-PON1 se impulsó por razones de factibilidad técnicas a heredarse del GPON y coexistir con GPON para reducir costos en su implementación. Sin embargo la evolución de NG-PON1 a NG-PON2 implica que se utilicen innovadoras técnicas que implican inversiones iniciales altas. Actualmente se discuten entre los miembros de FSAN los alcances de la tecnología NG-PON2 entre ellos.

- Velocidades en downstream (40 Mbps) y upstream (10 Mbps).

- Técnicas de Multiplexación de onda: WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing PON), CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), ODSM-PON (Opportunistic and Dynamic Spectrum Management PON).

- Utilizar la tecnología Stacked NG-PON.

Utilizar tecnología OFDMA-PON (Orthogonal Frequency Division Multiple Access PON).

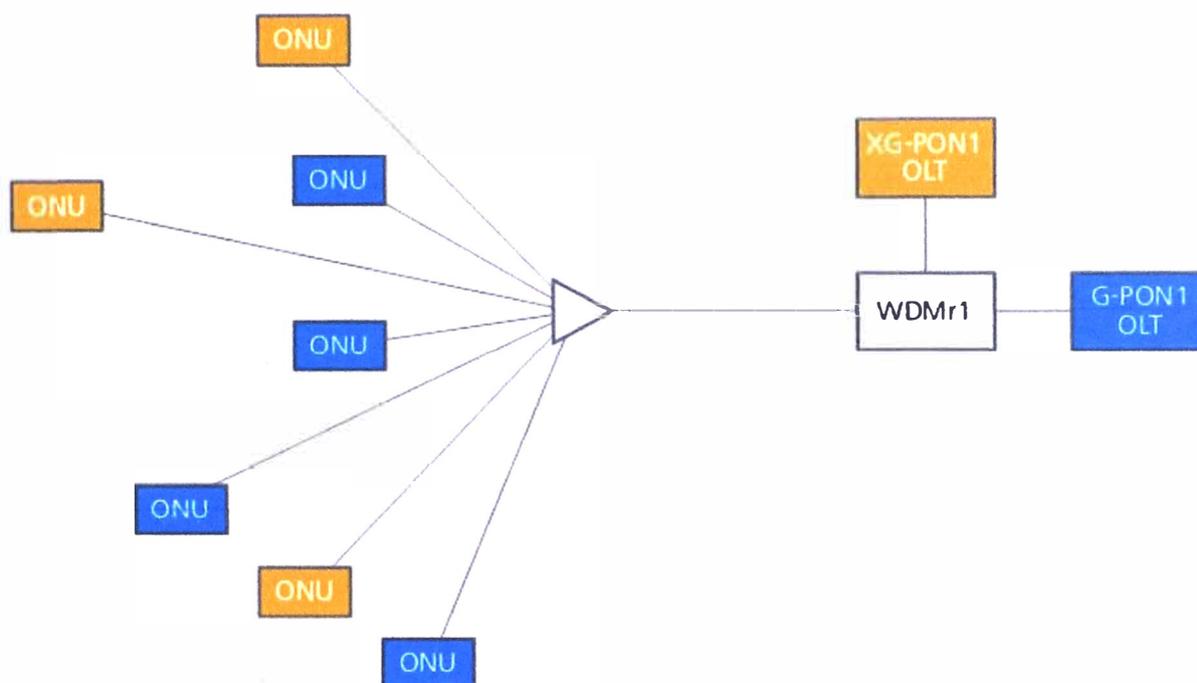


Figura 2.31 Compatibilidad del NG-PON1 y GPON (Fuente: Ref. [25])

Nota:

GPON y XGPON1 usan el mismo splitter óptico 1:32. Cada usuario GPON goza de un ancho de banda de cerca de 80 Mbps (downstream)/40 Mbps (upstream) y cada usuario XGPON1 goza de un ancho de banda de alrededor de 320 Mbps (downstream)/80 Mbps (upstream).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe los alcances de la ingeniería del proyecto piloto implementado con equipos ópticos de tecnología GPON, FTTx.

3.1 Planteamiento del proyecto

Se plantea que la red GPON a implementar deba tener interoperatividad con la Red Metro Ethernet/IP/MPLS y las redes de nueva generación NGN, de tal forma que los clientes accedan a nuevos servicios que requieran gran ancho de banda.

Debe recordarse que la red de Acceso GPON en su arquitectura considera dos elementos de red: el OLT (Optical Line Termination) en la oficina central y la Red de ONTs (Optical Network Terminal). Además que la conectividad entre la OLT y la ONT es una red pasiva compuesta por un cable de fibra óptica monomodo y los divisores ópticos (splitters). El OLT ubicado en la oficina central realiza funciones de agregador de ONTs los cuales están conectados a un puerto GPON. La Red de Acceso GPON se interconecta a los anillos Metro Ethernet y estos a su vez a la Red de Agregación y Transporte IP. Por ejemplo, para ofrecer servicios de VoIP, la Red de Acceso tiene que tener conectividad con la Red NGN, esto es el Softswitch a través de protocolos emulación de bucle de voz (ITU-T H.248/session initiation protocol-SIP), así como también tiene que tener conectividad con centrales telefónicas clase 5. Ver Figura 3.1.

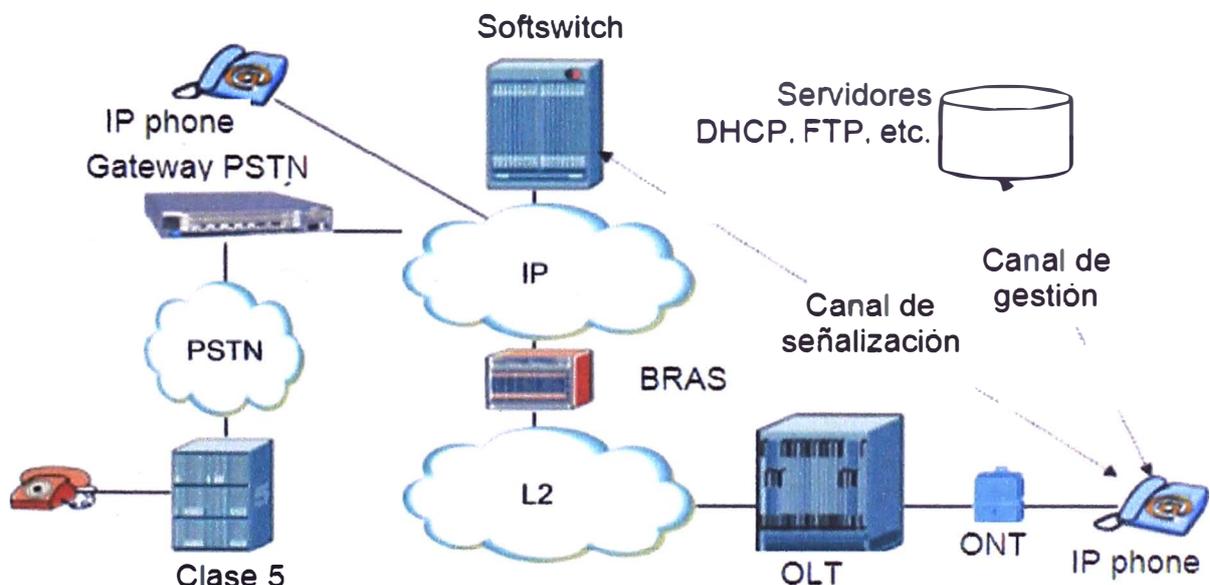


Figura 3.1 Esquema general de acceso a VoIP (Fuente: Huawei)

3.1.1 Requerimientos

Se plantea la implementación del piloto en las oficinas centrales de San Isidro fijándose una velocidad downstream de 2.5 Gbps y de upstream de 1.25 Gbps, las que compartidas entre los abonados de la red, se tendría para cada cliente al menos 40 Mbps y 20 Mbps respectivamente.

Se plantea que la Red GPON a implementar deba tener un alcance de hasta 20 km, con un alcance típico de 6 km que permitiera cubrir el rango de servicios entre 1.5 Mbps y 155 Mbps que otras redes de acceso (tipo xDSL por ejemplo) no llegan a cubrir. La Red piloto soportaría las siguientes aplicaciones: VoIP, Internet, IPTV, CATV.

Se determina que el equipamiento del proyecto piloto (lado red) deba instalarse en los ambientes de la oficina de San Isidro de Telefónica del Perú, ya que allí se disponen de facilidades de infraestructura como son: energía, interoperatividad con la Red Metro Ethernet, red de transmisión WDM, etc.

La Figura 3.2 muestra el esquema de red simplificado a implementarse. Se puede apreciar al OLT (Terminal Óptico de Línea), al ODF (Repartidor Óptico General), a la FO (Fibra Óptica), al NAP (Network Access Point), el ONT (Terminal de Red Óptica), al RGW (Residential Gateway) y a los splitters de primer y segundo nivel.

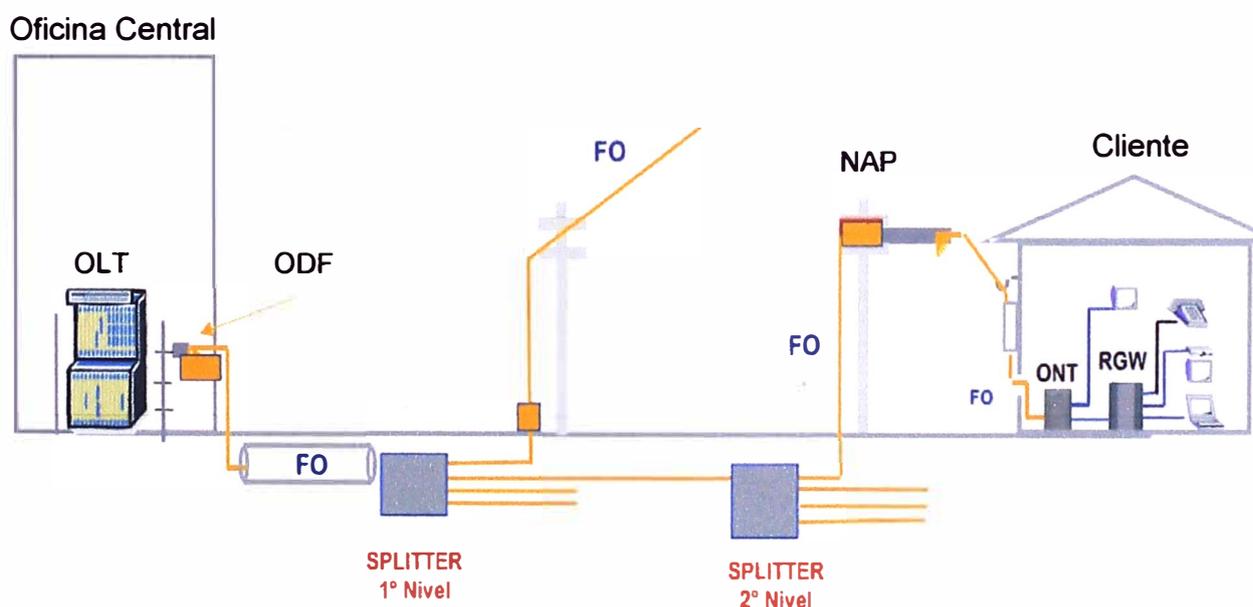


Figura 3.2 Esquema de red simplificado (Fuente: Ref. [23])

3.1.2 Equipamiento en la oficina central

El OLT a instalarse para el caso es el Alcatel-Lucent Modelo 7342 ISAM FTTU, la Figura 3.3 muestra los elementos de una solución end-to-end con este equipo [23].

La elección del equipo OLT Alcatel-Lucent es debido a la mejor performance que tuvo en las pruebas de niveles ópticos que se efectuaron en laboratorio (Tablas 3.3 y 3.4).

El 7342 ISAM Fiber to the User (FTTU) es un equipamiento con interfaces ópticas que entrega servicios de voz, datos y video a clientes residenciales y corporativos. El 7342 ISAM FTTU actúa como colector y distribuidor de información a altas velocidades usando la tecnología GPON (Red Óptica Pasiva).



Figura 3.4 OLT Alcatel-Lucent 7342 ISAM FTTU (Fuente: Alcatel-Lucent)

El sistema 7342 ISAM FTTU consiste de tres principales bloques funcionales que operan entre sí con protocolos de comunicación y gestión en diferentes niveles de la capa IP, e interactúan con la red de agregación y transporte IP. estos son:

- El P-OLT (Terminal Óptico de Línea)

Este equipo se ubica en el local del operador, centraliza el procesamiento de la información con una capacidad de 200 Gbps, paquetiza la información y los transporta sobre la red óptica pasiva (GPON), dispone de funcionalidades de control.

Su equipamiento consiste en:

02 tarjetas de terminación de red (Ethernet Network Terminal-NT) que soporta 4 interfaces Geth.

01 tarjeta de terminación de red I/O (Ethernet Network Terminal – NTIO) que soporta 4 interfaces 10 Geth.

Las tarjetas NT, NTIO en dirección upstream interactúan con el switch ethernet de la red de agregación y transporte IP y el Gateway de voz.

Tarjetas GPON denominadas LT (Line Termination Card) las cuales soportan puertas GPON, cada tarjeta soporta 4 puertas GPON. En sentido descendente (downstream) el P-OLT distribuye la voz, datos, y tráfico de video hacia las ONTs sobre la red GPON, las tarjetas GPON terminan la conexión.

El equipo P-OLT también dispone de tarjetas de control de alarmas para monitoreo de los terminales ópticos de línea (ONT).

- El ONT, equipo localizado en las instalaciones del usuario, encargado del procesamiento de tráfico local y funciones de control.

El 7342 ISAM FTTU soporta a diversos proveedores de ONTs, que suministran a los clientes, entre ellos:

De interiores o Indoor ONTs (ONT I-Series) para hogares.

De exteriores u Outdoor ONTs (ONT O-Series) para hogares y SOHOs (Small Office Home Offices);

De negocios o Business ONTs (ONT B-Series); y

De abonados de bajo perfil o LP-MDU-ONTs (Low Profile Multiple Dwelling/Tenant ONTs) para hasta 12 unidades de vivienda o pequeños negocios.

- El sistema de gestión remota denominada 5526WAM.

Las tarjetas del equipo OLT 7342 Alcatel-Lucent son:

a. Tarjeta Terminación de Red (Ethernet Network Termination)

La tarjeta terminación de Red (Ethernet Network Termination) instalada en el OLT 7342 proporciona una matriz de conmutación del orden de 200 Gbps para agregación y procesamiento de datos, provee un backplane con buses de interface ofreciendo un tráfico de 10Gbp para cada tarjeta,(20 Gbps si trabaja en carga compartida).

La tarjeta tiene 4 puertas para interfaces WAN: 2 uplink de 1-GEy 2 uplink de 10-GE. El comportamiento eficiente de esta tarjeta es cuando admite opcionalidades de carga compartida ó redundancia (ver Figura 3.5).

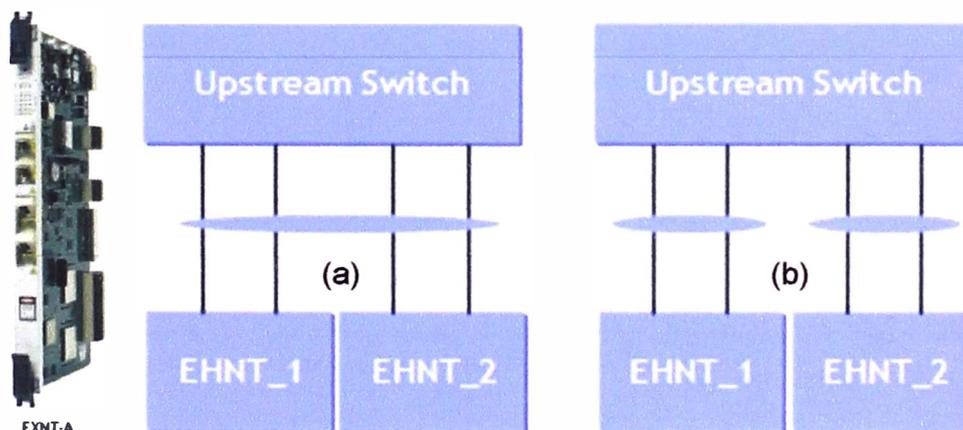


Figura 3.5 Tarjeta de terminación de red: a) modo compartido, b) modo redundante (Ibid)

Nota: EHNT_x es el nemónimo utilizado por el fabricante para referirse a las tarjetas procesadoras.

b. Tarjeta GPON (Line Termination Card -GLT4-A)

La tarjeta GPON se puede ubicar en cualquiera de las 14 ranuras disponibles para tarjetas de línea en el OLT Alcatel-Lucent 7342. La tarjeta:

- Utiliza una arquitectura totalmente non-blocking es decir sin bloqueo, proporciona un alcance de 20 km, y hasta una atenuación máxima de 28 dB sin perder la calidad del

servicio.

- Proporciona enlaces de 10 Gbps para la conectividad punto a punto con las interfaces de la Red PON entre ellos los enlaces up-link a la red Metro Ethernet.
- Realiza funcionalidades IGMP Proxy /Funciones de Snooping (IGMP- Internet Gateway Message Protocol) y multidifusión de IPTV, incluye cuatro FSAN (Full Service Access Network) G.984x compatible con los puertos GPON.
- Soporta todas las velocidades recomendadas por la ITU-T 984.2 PMD, entre ellas la de 2.5 Gbps en downstream y 1.25 Gbps en upstream.

A continuación (Figura 3.6) se muestra funcionalidad entre las tarjetas procesadoras y las tarjetas GPON(GLT4_x es el nemónico para las tarjetas GPON).

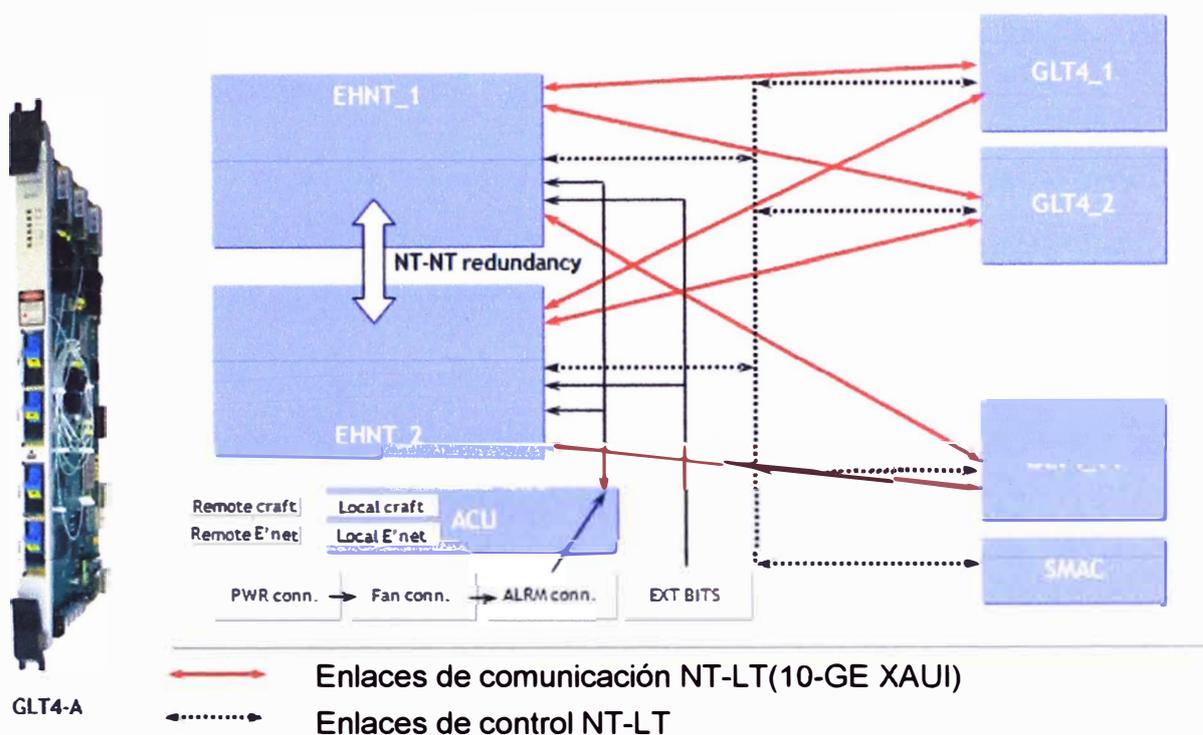


Figura 3.6 Esquema funcional de tarjetas procesadoras y GPON

3.1.3 Equipamiento en el lado de los clientes

En la Figura 3.7 se muestra los tipos de equipamiento disponibles (Alcatel-Lucent).

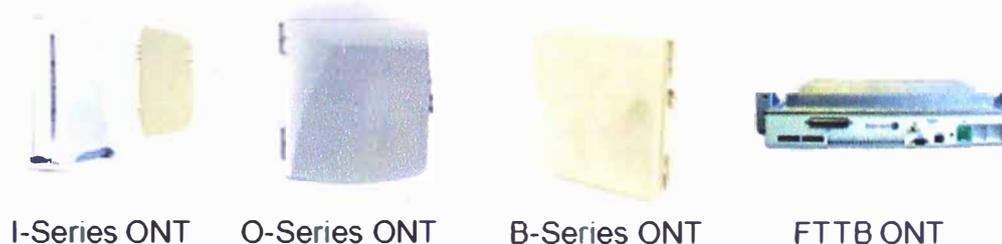


Figura 3.7 Equipamiento ONT (Fuente: Alcatel-Lucent)

a. Equipos Indoor (I-Series)

Se cuenta con los siguientes modelos Indoor (se muestran también las interfaces que posee cada uno)

- 2POTS, 4GEthernet, (RF), Figura 3.8
- 2GEthernet (Figura 3.9)
- 2POTS, 2FEthernet, (RF). Figura 3.10



Figura 3.8 2POTS, 4GEthernet

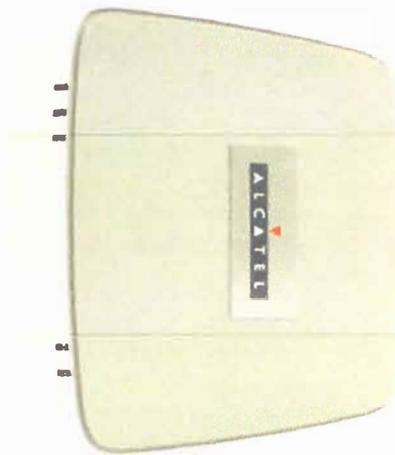


Figura 3.9 2GEthernet (Figura 3.9)

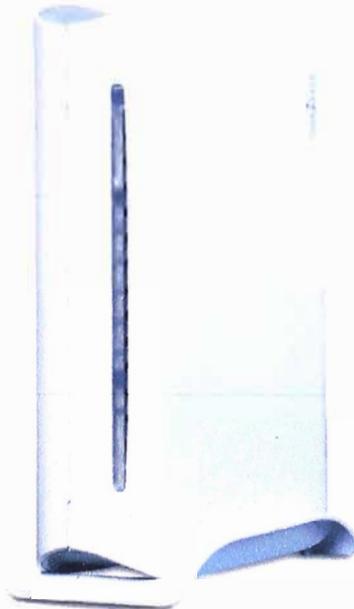


Figura 3.10 2POTS, 2FEthernet, (RF).

b. Equipos Outdoor (O-Series) y Business (B-Series)

Se cuenta con modelo Outdoor: 2/4POTS, 1/2FEthernet, (RF). Y con los modelos Business/SoHO 8POTS 2GE (RF), 8POTS 1GE 2E1 (RF) (Figura 3.11).



Figura 3.11 Equipos O-Series y B-Series

d. Equipos de abonados de bajo perfil

Ejemplo de estos equipos ONTs es mostrado en la Figura 3.12.



Figura 3.12 MDU – 7352 ISAM FTTB-ONT

Es una ONT GPON de 24 puertos VDSL2 diseñado para trabajar con el Alcatel-Lucent ISAM 7342 FTTU. Permite a los operadores entregar servicios de muy alta velocidad usando pequeños DSLAMs (remotos) desplegados cerca a los suscriptores, ya sea en armarios o edificios. La Tabla 3.1 resume las características de los ONTs Alcatel-Lucent. Los recuadros sombreados indican el equipamiento exacto utilizado con sus tarjetas respectivas

Tabla 3.1 Características de los ONTs (Fuente: Ref. [24])

Serie	Mnemonic	POTS	100M ENET	1G ENET	VDSL2	RF	E1
Indoor	I-220E	2	2	-	-	-	-
	I-221E	2	2	-	-	1	-
	I-020E	-	2	-	-	-	-
	I-020G	-	-	2	-	-	-
	I-020G PoE (2Q08)	-	-	2	-	-	-
	I-240G	2	-	4	-	-	-
	I-241G (2Q08)	2	-	4	-	-	-
Outdoor	O-210E	2	1	-	-	-	-
	O-211E	2	1	-	-	1	-
	O-420E	4	2	-	-	-	-
	O-421E	4	2	-	-	1	-
MDU	O-241200G	24	-	12	-	-	-
	O-241210G	24	-	12	-	1	-
	O-002400V (2Q08)	0	-	-	24	-	-
SOHO	O-821G	8	-	2	-	1	-
Business	B-8102G	8	-	1	-	-	2
	B-8112G	8	-	1	-	1	2

3.1.4 Equipamiento de la Red Metro Ethernet

La red implementada con anillos Metro Ethernet tiene equipos Switches-Router Cisco Modelos: Catalyst 6500, Catalyst 4000 configurados como Nodos de Borde, y con interfaces de 10Geth para la interoperatividad con la red de Agregación y de Transporte IP.

Los Routers Cisco 6509, Routers Cisco 4007, son configurados como Switches de distribución, con interfaces up-link de 1 GEth para su conectividad con los Dslam Ethernet/IP y los Nodos de Borde.

El núcleo de la red de agregación y transporte IP, es equipada con Giga Switch Router Cisco 12000 (GSR 12000).

Se adjunta un modelo del esquema de conectividad en la Figura 3.13. Las siglas mostradas, LO1, WA1, HI, SJ, MI, corresponden a los nodos de Telefónica (Los Olivos y Washington, Higuera, San Juan, Miraflores respectivamente).

Por otro lado los NB son los router de borde, y los dispositivos WA, SI, MO y MI son los de la red de agregación y transporte IP/MPLS.

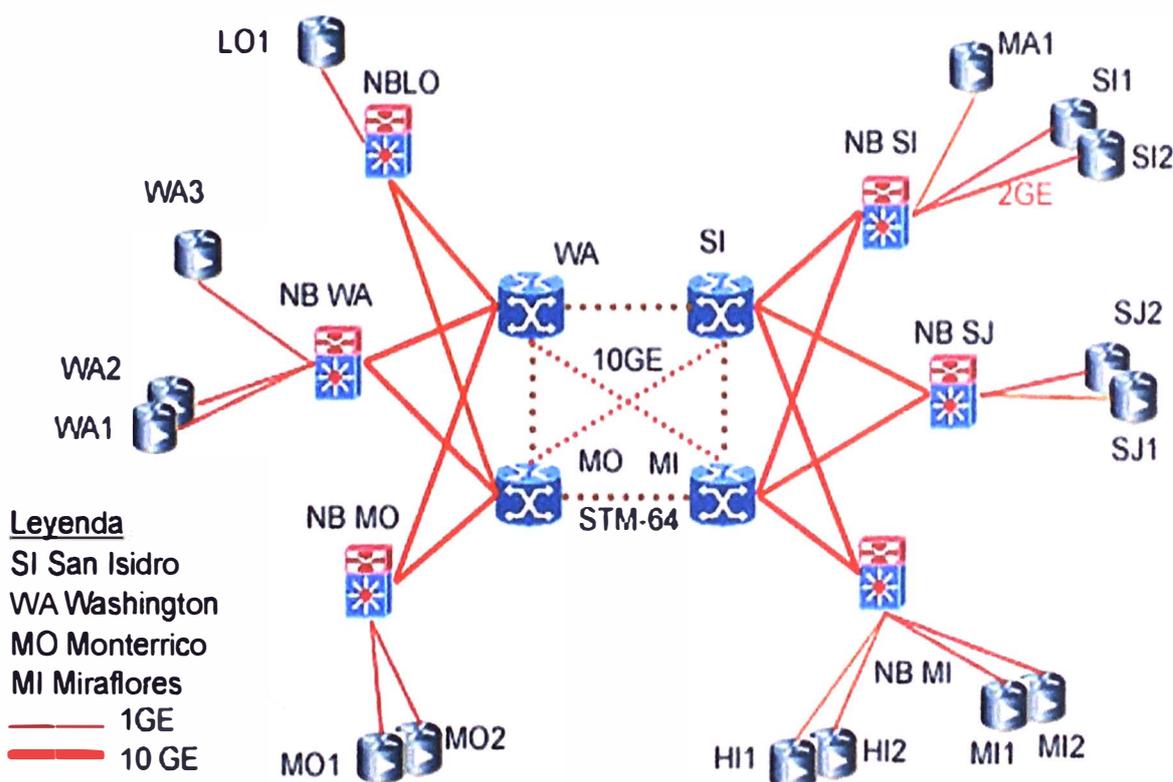


Figura 3.13 Esquema de conectividad Red Metro Ethernet – Red de Agregación IP

3.1.5 Equipamiento pasivo

Los elementos de Red FTTx (pasivos) son los siguientes: ODFs, cable de fibra óptica, jumpers ópticos, splitters 1:N.

La Figura 3.14 muestra el esquema simplificado instalado.

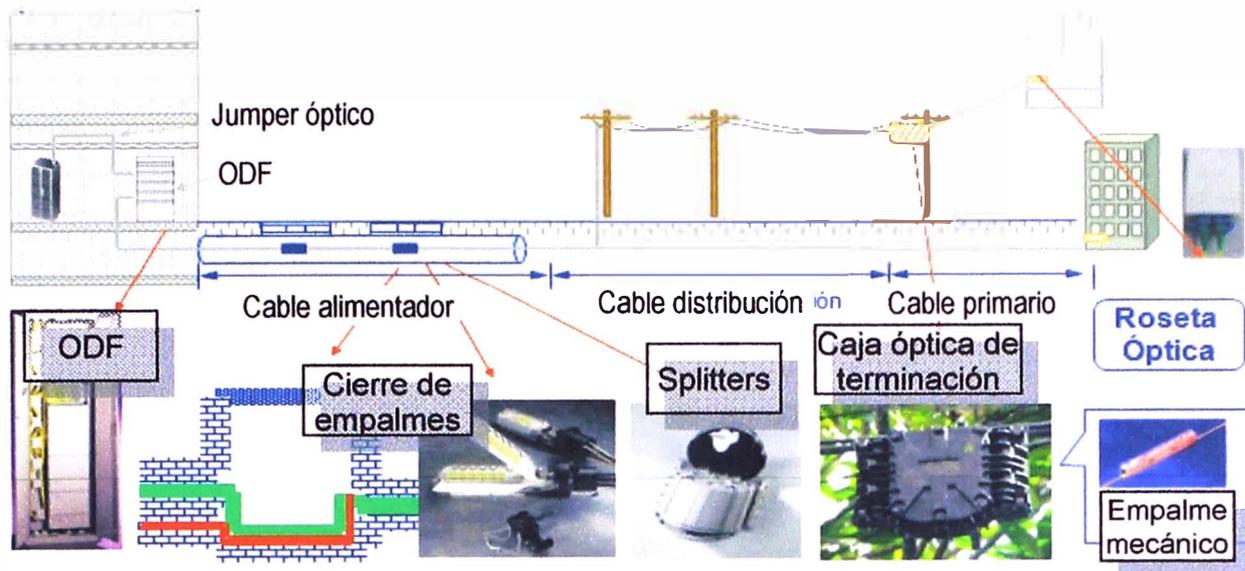


Figura 3.14 Esquema de conectividad ODN

3.2 Escenarios de implementación

El alcance del piloto es brindar servicios de Banda Ancha (Triple Play) a clientes activos de Telefónica del Perú S.A en forma gratuita durante un período de tiempo.

El público objetivo determinado reside en el distrito de San Isidro en zonas de nivel Socio Económico A.

La implementación consiste en tres tipos de escenarios: FTTH y FTTB para clientes residenciales y FTFA para clientes corporativos. Los servicios a implementarse en el piloto son resumidos en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Servicios del piloto (Fuente: Elab. Propia)

Servicios	FTTH	FTFA (Corporativo)	FTTB
Acceso a Internet	4Mbps↓ 512Kbps↑	10Mbps	5Mbps↓ 512Kbps↑
Telefonía (VoIP)	Solo llamadas LDN Y LDI	--	Solo llamadas LDN y LDI
TV Digital	01 TV con Paquete Estelar	--	01 TV con Paquete Estelar
Televigilancia	--	--	01 Cámara IP para Televigilancia

3.2.1 Escenario FTTH

El escenario FTTH, se refiere a aquellos accesos hasta el domicilio del cliente residencial, o fachada, en el proyecto piloto los clientes se han ubicado en forma horizontal.

El equipamiento ONT que atiende a los clientes es equipado con 3 tipos de interfaz: 02ETH + 02 POTS + 01 RF (TV Cable) para brindar servicios de Internet, TV Cable, VoIP.

En la planta externa se efectúan 2 niveles de splitter (1:4 ⇒ 1:8)

En la Figura 3.15 se muestra el cable de acometida óptica desde el NAP hasta el

ONT ubicado en el cliente.

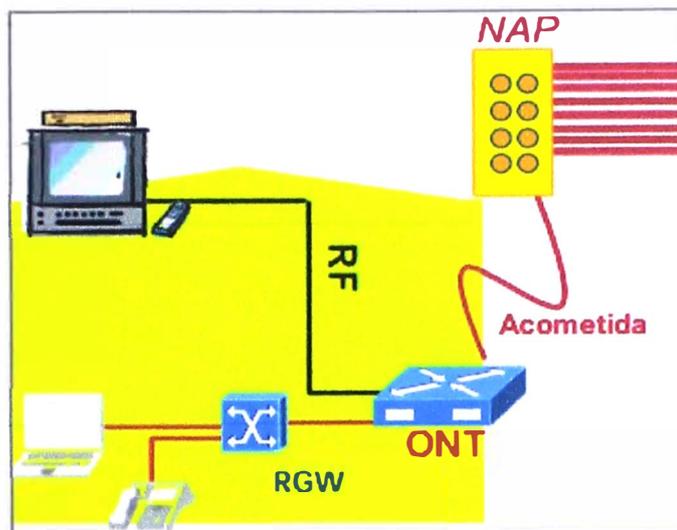


Figura 3.15 Escenario FTTH (Fuente: Proyecto piloto)

3.2.2 Escenario FTTB

En el escenario FTTB, la fibra termina en un punto intermedio o inmediaciones del edificio donde habitan los clientes, desde este punto se accesan a los clientes mediante la tecnología VDSL con cobre de par trenzado ó cable UTP CAT5 para alcanzar mayores velocidades.

Se ubican en 02 edificios con 10 clientes cada edificio para brindar servicios de Internet, TV Cable y VoIP

3.2.3 Escenario FTTA

En el escenario FTTA la fibra termina más lejos que en los abonados FTTA y FTTB, típicamente en las inmediaciones del vecindario.

Los clientes en este escenario son residencial corporativo. Se ubican 02 edificios con 10 clientes cada edificio para implementarse Infointernet con 10 Mbps.

3.3 Determinación de alcance de la fibra entre equipos OLT y ONT

La red GPON que enlaza la ONT y la OLT debe cumplir la recomendación ITU-T G.984.2. La solución de ingeniería al cálculo de la pérdida de potencia óptica se analiza considerando todos los factores que influyen entre ellos los elementos de la arquitectura de la red, video overlay lineup (V-OLT), la distancia entre los equipos, etc.

Esta sección se divide en las siguientes subsecciones:

- Valor máximo de pérdidas de trayecto admisible.
- Atenuación de los splitters.
- Atenuación en los empalmes y conectores.
- Cálculo de la atenuación total.

3.3.1 Valor máximo de pérdidas de trayecto admisible

Es definido como la diferencia entre la mínima potencia de salida del transmisor (OLT)

y la máxima sensibilidad del receptor (ONT).

Para el cálculo del valor máximo de pérdidas se adjunta las siguientes tablas de niveles ópticos de los equipos OLT y ONT de Tecnología Alcatel-Lucent.

Tabla 3.3 Niveles Ópticos en el equipo OLT (Fuente: Alcatel-Lucent)

Equipo OLT	TX			RX	
	Min	Max	Margen	Min	Max
GLT2-A(FGU4.0)APD/DFB)	1.5	5.0	-0.5	-28.0	-8.0
GLT2-A(FGU4.2)APD/DFB)	1.5	5.0	-0.5	-28.0	-8.0

Tabla 3.4 Niveles Ópticos en el equipo ONT (Fuente: Ibídem)

Equipo ONT	TX			RX	
	Min	Max	Margen	Min	Max
I-010E-C (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
I-020E-B (APD/DFB) - "AB" variant	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
I-220E-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
I-221E-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
I-211M-D (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
M-300-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
M-241200V-B (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
M-241210V-B (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-210E-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-211E-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-210E-B (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-211E-B (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-211M-C (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-211M-E (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-410E-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-420E-B (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-421E-B (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-820G-D (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
O-821G-D (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
B-8102G-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0
B-8112G-A (APD/DFB)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0

Con los resultados de las tablas adjuntas se obtiene que el valor estándar de las mediciones ópticas, tanto en el OLT como ONT, de la tarjeta GPON para las velocidades 2.4 Gbps en downstream y 1.2 Gbps de upstream son los mostrados en la Tabla 3.5.

El valor obtenido de 28 dB representa una certeza cercana al 100 % con una variación de 3 sigma.

La variación del valor de pérdidas de trayecto permisible varía en función a los diferentes tipos de fuentes láseres en el equipo OLT cuyos valores varían entre 1 a 5 dB y la sensibilidad de recepción en la ONT cuyos valores varían entre -27dB y -30 dB, por lo que en el mejor de los casos el valor de pérdidas de trayecto permisible sería 35 dB y el peor de los casos 26 dB, sin embargo estos casos extremos son inaplicables en la práctica.

Tabla 3.5 Valor estándar de las mediciones ópticas (Fuente: Proy. Piloto)

Equipo		TX			RX	
		Min	Max	Margen	Min	Max
OLT	G.984.2 GPON (Class B+ , 2.4/1.2)	1.5	5.0	-0.5	-28.0	-8.0
ONT	G.984.2 GPON (Class B+, 2.4/1.2)	0.5	5.0	-0.5	-27.0	-8.0

Los cálculos de atenuación son hechos según la longitud de onda.(Tabla 3.6):

Tabla 3.6 Cálculos de atenuación ascendente y descendente (Fuente: Proy. Piloto)

1490 nm (Descendente)	
Potencia media inyectada mínima en el OLT (OLT_Mean launched power MIN)	1.5 dB
Sensibilidad mínima en el ONU (ONU_Minimum sensitivity):	-27 dB
Margen descendente en el OLT (OLT_Downstream optical path penalty):	0.5 dB
Valor máximo de pérdidas de trayecto permisible = $1.5 - (-27) - 0.5 \rightarrow$	28 dB
1310nm (Ascendente):	
Potencia media inyectada mínima en ONU (ONU_Mean launched power MIN)	0.5 dB
Sensibilidad mínima en el OLT (OLT_Minimum sensitivity)	-28 dB
Margen ascendente en el OLT (ONU_Upstream optical path penalty)	0.5 dB
Valor máximo de pérdidas de trayecto permisible = $0.5 - (-28) - 0.5 \rightarrow$	28 dB

3.3.2 Atenuación de los splitters

Las atenuaciones en los splitters (1:N) son calculadas en decibeles de acuerdo a la siguiente relación: $10 \log (1/N)$ obteniéndose : 1:2 \rightarrow -3.01 dB, 1:4 \rightarrow -6.02 dB, 1:8 \rightarrow -9.03 dB, 1:16 \rightarrow -12.04 dB, 1:32 \rightarrow -15.05 dB, 1:64 \rightarrow -18.06

Sin embargo en la práctica el performance de los splitters varían principalmente de acuerdo a los siguientes factores:

- Pérdida por inserción.
- Perdidas por uniformidad
- Longitudes de onda.

Por lo que los valores típicos de atenuación en la práctica son los mostrados en la Tabla 3.7 "Valores típicos de atenuación prácticos".

Tabla 3.7 Valores típicos de atenuación prácticos (Fuente: Alcatel-Lucent)

Splitter – Relación de división (1:N)	Atenuación (dB)
Splitter 1x2 – 1310 nm	3.01
Splitter 1x2 – 1490 nm	3.01
Splitter 1x2 – 1550 nm	3.01
Splitter 1x4 – 1310 nm	6.50
Splitter 1x4 – 1490 nm	6.50
Splitter 1x4 – 1550 nm	6.50
Splitter 1x8 – 1310 nm	10.0
Splitter 1x8 – 1490 nm	10.0
Splitter 1x8 – 1550 nm	10.0
Splitter 1x16 – 1310 nm	12.95
Splitter 1x16 – 1490 nm	12.95
Splitter 1x32 – 1550 nm	12.95
Splitter 1x32 – 1310 nm	16.13
Splitter 1x32 – 1490 nm	16.13
Splitter 1x64 – 1550 nm	16.13
Splitter 1x64 – 1310 nm	20.18
Splitter 1x64 – 1490 nm	20.18
Splitter 1x64 – 1550 nm	20.18

3.3.3 Atenuación en los empalmes y conectores

Estas dependen del:

- Tipo de empalme: por fusión y/o mecánico.
- Tipos de conectores/pulidos.
- Ubicación del empalme y/o conector.

Los valores típicos de atenuación por cada empalme/conector y la cantidad de empalmes/conectores típicos en todo un enlace son los siguientes: (Tabla 3.8)

Tabla 3.8 Atenuación en los empalmes/conectores

	Atenuación (dBm)	Cantidad	Sub – Total
Empalmes laterales	0.1	14	1.4
Empalmes de acceso	0.1	2	0.2
Empalmes de acoplamiento	0.1	4	0.4
Empalmes de mantenimiento	0.1	4	0.4
Total (dBm)			2.4

En adición a las atenuaciones mencionadas líneas arriba se deben considerar otros parámetros como:

- Condiciones ambientales
- Empalmes debidos a los cortes de cable y/o desviaciones de ruta.
- Valores de atenuación/km en los cables de fibra óptica.

Un valor típico de atenuación/km en los cables de fibra óptica se muestra en la Tabla

3.9:

Tabla 3.9 Valor típico de atenuación/km en los cables de fibra óptica

Tipo de fibra	Longitud de onda	Atenuación dB/km	
		Máximo	Promedio
Monomodo G652 D	1310 nm	0.40	0.35
	1550 nm	0.25	0.22
	1625 nm	0.28	0.24

3.3.4 Cálculo de la atenuación total

Como resultado de lo explicado anteriormente, la fórmula para el cálculo de la atenuación es la siguiente: $A_{dB} = L_{km} \times AL_{dB/km} + C \times AC_{dB} + S \times AS_{dB} + Ag + Rm$

Donde:

L = longitud total del enlace (km).

AL= atenuación de la fibra operando en una longitud de onda específica (dB/km).

C = número de conectores

AC= atenuación por cada conector (dB)

S = número total de splitters

AS= atenuación por cada splitter (dB).

Ag = margen de ganancia

Rm= margen de reparación.

Reemplazando los datos prácticos explicados, en la fórmula de atenuación para el escenario siguiente:

- Longitud de onda de operación → 1490 nm.
- Atenuación en la relación de división de splitters 1:64 → 20.18 dBm
- Atenuación por la cantidad de empalmes/conectores tabla 3.8 → 2.4 dB
- Atenuación de la fibra (1490-1575 nm) → 0.30 dB/km

Se obtiene: $28 \text{ dBm} = 0.30 \text{ dBm} \times L_{\text{alcance fibra}} + 2.4 \text{ dBm} + 20.18 \text{ dBm}$, en donde $L_{\text{alcance fibra}} = 18.06 \text{ Km}$.

La longitud de 18.06 km representa la distancia máxima para la tención a los clientes con tecnología GPON sin que se degrade la calidad del servicio. Con ello se cumple lo indicado en el estándar, es decir hasta 20 km.

3.4 Análisis preliminar del despliegue inicial de GPON

Basado en los resultados del proyecto piloto, se realizó un análisis preliminar del despliegue de sus clientes en varios distritos de Lima Metropolitana, con la condición de que estén ubicados a una distancia no mayor de 20 km del Nodo principal instalado en San Isidro. La Figura 3.16 se muestra las zonas de despliegue.

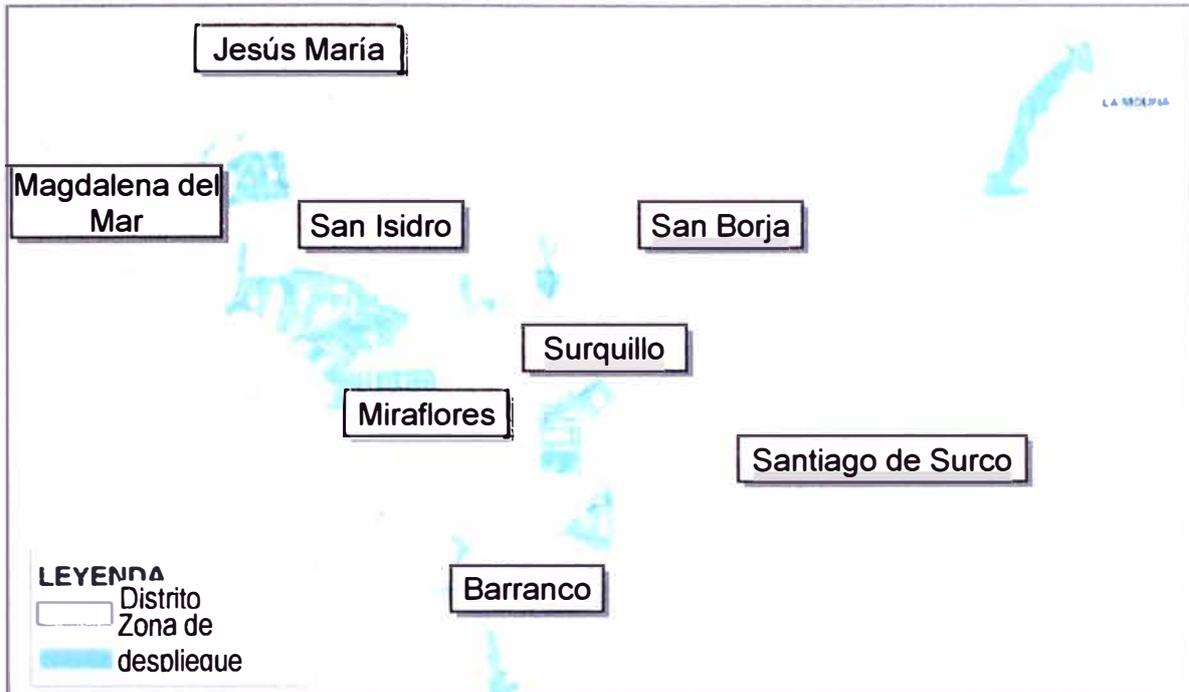


Figura 3.16 Zonas de despliegue GPON del proyecto piloto

La Tabla 3.10 muestra el modelo de red proyectado, la cantidad de hogares pasados, conectados y los costos de inversión respectivamente. La Tabla 3.11 muestra la relación de equipamiento a utilizarse en el despliegue. Finalmente en la Tabla 3.12 se muestra los costos a invertir.

Tabla 3.10 Modelo de Red, cantidad de hogares y costo de servicio

Modelo de Red	FTTH(%)	FTTA(%)	FTTB(%)
	45	38	17
Hogares pasados	Cantidad	Precio Referencia Utilizado	
	15,195	US \$ 315	
Hogares conectados	Cantidad	Precio Referencia Utilizado	
	6,078	US \$ 788	

Tabla 3.11 Equipamiento proyectado

Equipamiento	Cantidad
Puertas OLT	480
ONT	5 078
Chasis MDU (VDSL2)	50
Modem VDSL2	1 000
Router/Pasarella	5 078

Tabla 3.12 Costos estimados

Detalle	Total (S/.)	Total (US \$)
Red Gpon-FTTx	13 424 611	4 333 520
Sistema de soporte de operaciones (OSS)	915 000	295 161
Sistema de soporte de negocios (BSS)	600 000	193 548
Capacitación	621 580	200 510
Instrumentos de medición	780 536	251 786
Herramientas	414 691	133 771
	16 756 420	6 405 297

CAPÍTULO IV PRUEBAS EFECTUADAS

En este capítulo se explica el conjunto de pruebas realizadas entre el OLT y el ONT, destinadas a verificar los requisitos mínimos exigidos por el Proyecto Piloto para los sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON). También se incluye los esquemas de configuración del Alcatel FTU 7342.

4.1 Pruebas de enlace

Esta sección se muestra los resultados de las pruebas de laboratorio y campo efectuadas en el Proyecto Piloto.

4.1.1 Esquema de pruebas

El esquema de pruebas es el mostrado en la Figura 4.1.

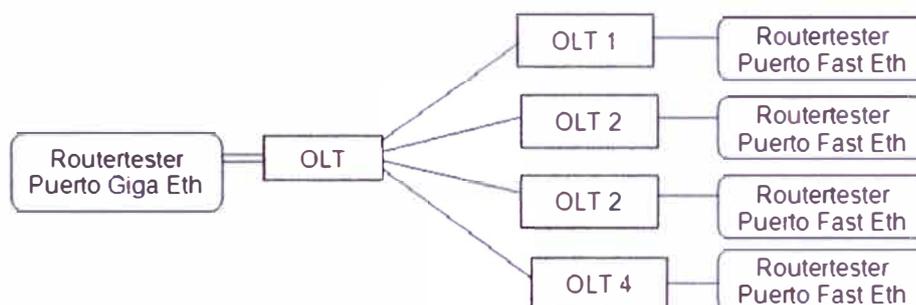


Figura 4.1 Esquema de pruebas (Fuente: Alcatel-Lucent)

Equipo Gpon presentado:

- Versión Hardware: 7342 ISAM FTU Alcatel-Lucent
- Versión Software: Release 5.2

4.1.2 Alcance fisico

El objetivo de esta prueba es determinar la máxima distancia entre la OLT y ONT.

Se realizaron las pruebas en el laboratorio utilizando un atenuador óptico variable marca EXFO modelo FVA 600. Se implementó el siguiente escenario:

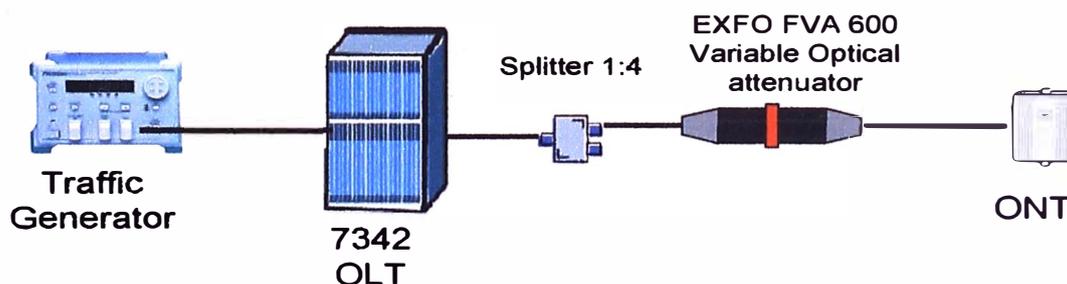


Figura 4.2 Esquema de pruebas para Alcance fisico (Fuente: Ibídem)

Considerando el valor teórico de atenuación óptica por distancia de 1.0db/km y utilizando un splitter óptico 1:4 (pérdida de 7.5db) se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.1 Alcance físico (Fuente: Ibídem)

	Alcance físico											
Distancia en km	1	2	3	5	8	9	10	15	20	21	22	23
Pot. Rx ONT(db /km)	-5.75	-6.75	-7.75	-9.75	-12.75	-13.75	-14.75	-19.75	-24.75	-25.75	-26.75	-27.75

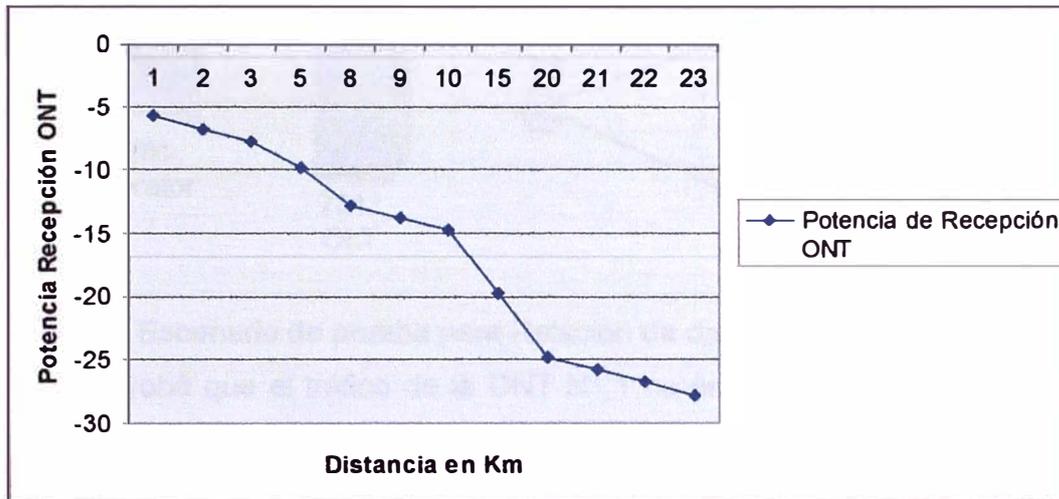


Figura 4.3 Alcance físico (Fuente: Ibídem)

Se comprobó que bajo el escenario implementado, la ONT se autorecupera a distancias mayores a 20km.

4.1.3 Alcance lógico (máxima diferencia entre ONTs)

El objetivo de esta prueba es verificar que se soporte el funcionamiento de la OLT cuando la ONT N° 2 más lejana esté por lo menos a 20 km de distancia de la ONT N° 1 más cercana a la OLT, de acuerdo a la tabla 2A de la recomendación ITU-T G.984.2.

Se realizaron las pruebas en laboratorio utilizando un atenuador óptico variable marca EXFO modelo FVA 600. Se implementó el siguiente escenario.

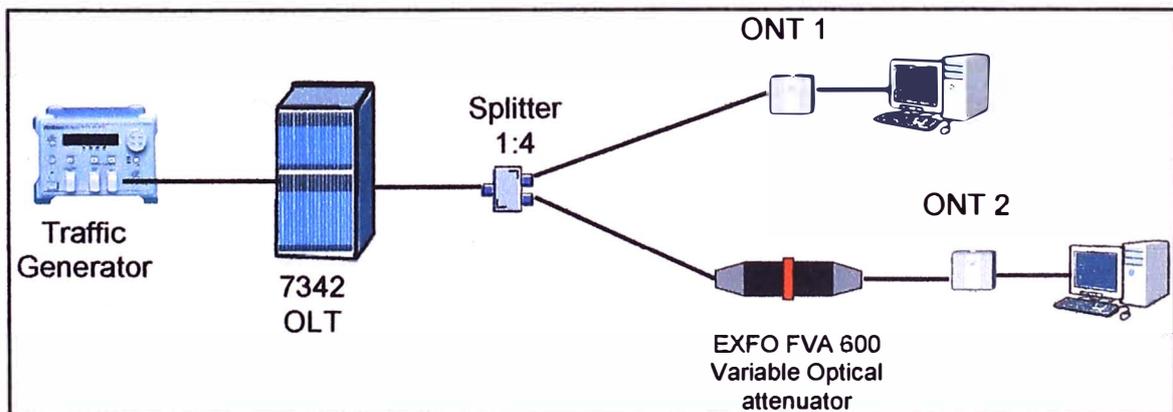


Figura 4.4 Escenario de prueba para Alcance lógico (Fuente: Ibídem)

Considerando el valor teórico de atenuación óptica por distancia de 0.4db/km y bajo el escenario implementado se comprobó que a distancias mayores a 20 km, ambas ONTs sincronizan y pueden transportar señales Fast Ethernet sin errores.

4.1.4 Relación de división de splitter

El objetivo de esta prueba es determinar la máxima relación de división de splitter que soporta el sistema.

Se implementó el siguiente escenario:

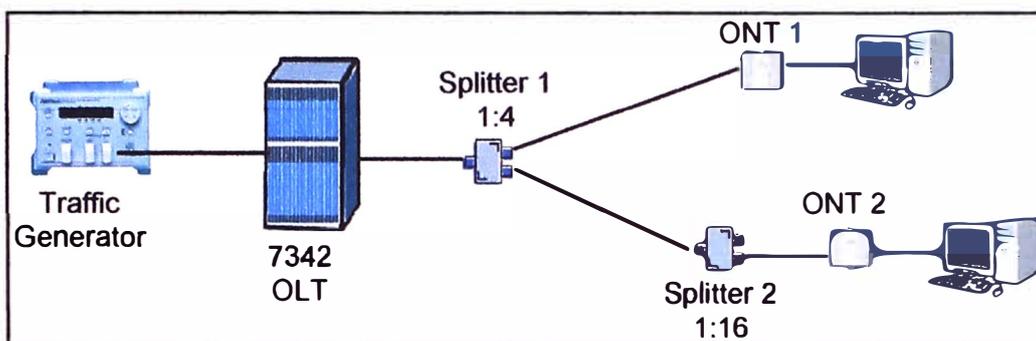


Figura 4.5 Escenario de prueba para Relación de división de splitter (Fuente: Ibídem)

Se comprobó que el tráfico de la ONT N° 1 no era afectado al introducir o retirar el splitter 2. Así mismo se comprobó el correcto funcionamiento de la ONT N° 2 hasta con splitters de relación de división 1:64.

4.1.5 Características espectrales

El objetivo de esta prueba es determinar la longitud de onda de transmisión del sistema, tanto en sentido ascendente como descendente.

Utilizando el medidor de longitud de onda se comprobó que la longitud de onda de transmisión era de 1310 nm en sentido ascendente y 1490 nm en sentido descendente. Así mismo con el analizador de espectro se comprobó que el láser era monomodo y que cumplía con las características espectrales de la ITU-T G.984.2

4.1.6 Potencia óptica inyectada

El objetivo de esta prueba es determinar la potencia óptica inyectada a la fibra. Se implementó el siguiente escenario:

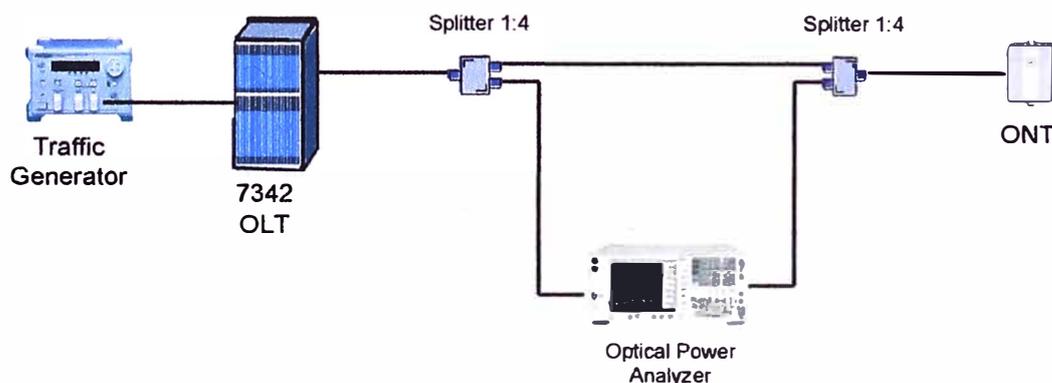


Figura 4.6 Escenario de prueba para la Potencia óptica inyectada (Fuente: Ibídem)

Se obtuvo los siguientes valores y están de acuerdo a las recomendaciones ITU-T mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4.2 Potencia óptica inyectada (Fuente: Ibídem)

Potencia óptica inyectada	Valor
Potencia Óptica TX OLT	+5.2 dBm
Potencia Óptica TX ONT	+2.3 dBm

Tabla 4.3 Potencia óptica inyectada (Fuente: Tabla 1 Ref. [17])

Clase de ODN	OLT			ONT		
	A	B	C	A	B	C
Potencia óptica Min. (dBm)	0	5	3	-3	-2	2
Potencia óptica Max. (dBm)	4	9	7	2	3	7

4.1.7 Sensibilidad del puerto de recepción de la interfaz lado cliente (ONT)

El objetivo de esta prueba es verificar el nivel de sensibilidad óptica con el valor especificado de la norma correspondiente a la interfaz citada ó en caso de ser propietaria con la especificación del proveedor. Se implementó el siguiente escenario:

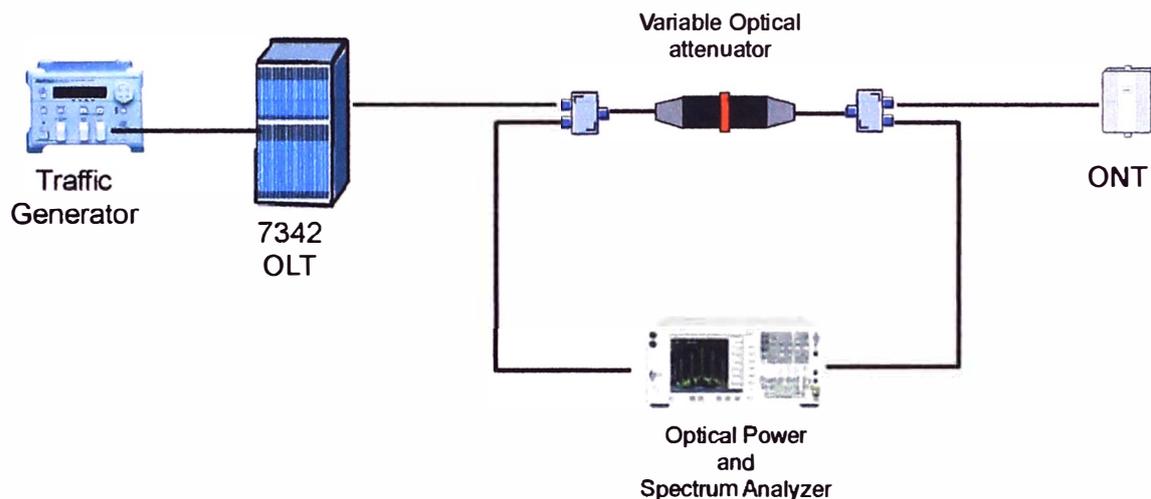


Figura 4.7 Escenario de prueba para Sensibilidad óptica (Fuente: Elab.Propia)

Se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 4.4 Sensibilidad óptica Rx ONT (mínima)

Sensibilidad óptica	Valor
Potencia Óptica RX ONT (Mínima)	-28.1 dBm

Tabla 4.5 Sensibilidad óptica (Fuente: Tabla 2 Ref. [17])

Clase de ODN	OLT			ONT		
	A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima (dBm)	-24	-28	-29	-21	-21	-28

4.1.8 Sensibilidad del puerto de recepción de la interfaz lado Red (OLT)

Objetivo: Verificar que el nivel de sensibilidad óptica cumple con el valor especificado en la norma correspondiente a la interfaz citada ó en caso de ser propietaria con la especificación del proveedor.

Se implementó el mismo escenario de la Figura 4.7, obteniéndose el siguiente resultado.

Tabla 4.6 Sensibilidad óptica lado OLT

Sensibilidad óptica	Valor
Potencia Óptica RX OLT (Mínima)	- 27.0 dBm

4.1.9 Velocidades de línea GPON

El objetivo de esta prueba es verificar el funcionamiento de la línea GPON en las velocidades indicadas en la Rec. G.984.2 del ITU-T.

Tabla 4.7 Velocidades de línea GPON (Ibídem)

Descripción	Requisito a Verificar
Desde el sistema de gestión se configuró las velocidades de funcionamiento.	Ver tabla 4.9

Tabla 4.8 Velocidades GPON (Fuente: Tabla 3 Ref. [17])

Sentido de transmisión	Velocidad Mbps	Resultado
Descendente	1244.16	Verificado
	2488.32	Verificado
Ascendente	155.52	Verificado
	622.08	Verificado
	1244.16	Verificado
	2488.32	Verificado

4.1.10 Características eléctricas

El objetivo de esta prueba es verificar las características de alimentación y consumo del sistema:

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.9 Características eléctricas

Características eléctricas	Valor
Valor Tensión Alimentación OLT	- 50.1 Vdc
Valor Corriente Alimentación OLT	5.81 Amp
Valor Consumo de Potencia OLT	291 W
Valor Tensión Alimentación ONT	12.0 Vdc
Valor Corriente Alimentación ONT	0.8 Amp
Valor Consumo de Potencia ONT	9.6 W

Así mismo se retiró el suministro eléctrico del OLT, verificándose la correcta restauración del servicio transcurrido un tiempo de: 1min 45seg.

Al retirar el suministro eléctrico de la ONT N° 2, se comprobó que el tráfico de la ONT N° 1 no era afectado, el tiempo de restauración del servicio en la ONT N° 2 fue de 45 seg.

4.1.11 Batería de respaldo en las ONTs

El objetivo de esta prueba es verificar la posibilidad de brindar servicio de telefonía ante la caída de la red que alimenta a la ONT, mediante la batería instalada en la ONT.

Para esta prueba se utilizó el Sistema UPS marca APC modelo PowerShield (CP24U12D).

Se comprobó el tiempo de autonomía del servicio POTS en 7h 44min, así como el tiempo de recarga de la batería luego de reponer la energía eléctrica.

4.1.12 Redundancia en fuente para equipo OLT

El objetivo de esta prueba es verificar la redundancia en fuente del equipo OLT.

Se comprobó que los servicios no eran afectados durante el proceso de conmutación de fuentes de alimentación.

Se verificó los resultados de la tabla ITU-G.984.2

4.1.13 Protección según Link Agregación en la Interfaz GBITEHT de la OLT

El objetivo de esta prueba es verificar la posibilidad de proteger ports GbitEth de distintas tarjetas utilizando el protocolo 802.1ad Link Aggregation.

Para comprobar el correcto funcionamiento del protocolo IEEE 802.1ad Link Aggregation, se utilizó el siguiente comando CLI para su configuración:

- configure la-agg-port *port* [name *name*]
- [no link-up-down-trap | link-up-down-trap *status*]
- [no actor-sys-prio | actor-sys-prio *priority*]
- [selection-policy *policy*] [actor-key *key*]
- [no actor-port-prio | actor-port-prio *portpriority*]
- [no active-lacp | active-lacp *activity*]
- [no short-timeout | short-timeout *timeout*] [no aggregatable | aggregatable *state*][lacp-mode *mode*]
- [no active-set-size | active-set-size *size*]

4.2 Pruebas de servicio

Las pruebas de configuración de servicios se realizan para verificar que los clientes residenciales y empresariales dispongan de los siguientes servicios:

- Pruebas de Servicio HSI (High Speed Internet).
- Pruebas de CATV-RF

- Pruebas de Servicio de VoIP

El esquema de pruebas de servicio es el mostrado en la Figura 4.8.

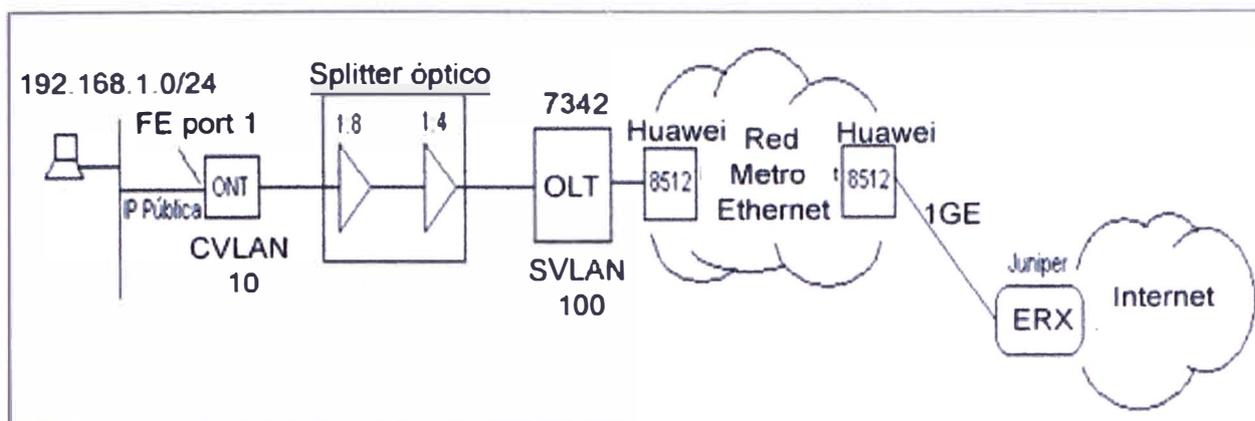


Figura 4.8 Esquema de pruebas (Fuente: Alcatel - Lucent)

Nota:

Switch Huawei 8512

Equipo Juniper Network, serie ERX.

El objetivo de estas pruebas es verificar:

- Que la OLT y la ONT clasifiquen el tráfico sin VLANs, con VLANs, y con SVLANs.
- Los modelos de forwarding.
- La priorización de Customer VLANs IDs.
- El transporte de FAST Ethernet a Gbit Eth.
- El policing del Trafico Downstream.
- El policing del Trafico Upstream.
- La priorización de clases de servicio según la Rec .IEEE 802.1P.
- El tráfico con manejo de Mac Address.
- La distribución de Video Analógico por CATV-RF.
- El servicio Telefonía Pots.
- El transporte de señales VDSL desde la ONU/Multi Dwelling / para phase 3.
- La Gestión de Red.

4.2.1 Servicios que el OLT y la ONT clasifiquen con y sin VLANs, y con SVLANs

Se deben crear servicios usando tráfico sin VLAN, con VLAN y SVLAN pasando por las OLT y ONT, pudiéndose identificar el servicio que llega a cada ONT. Como ejemplo puede ser que se entre en la ONT con una VLAN y se salga de la ONT con la misma VLAN. Otro ejemplo puede ser que se entre en la ONT sin VLAN y se salga de la ONT con una VLAN. Un ejemplo adicional puede ser que se entre en la ONT con VLAN y se salga de la OLT con una misma SVLAN.

Se deben verificar otras combinaciones de servicios sin VLAN, con VLAN y con VLAN disponibles.

Se deben verificar modos de configuración en los que se:

- Conserve los bits de prioridad de las VLAN provenientes del lado del cliente.
- Modifique los bits de prioridad de las VLAN provenientes del lado del cliente.
- Conserve las etiquetas de VLAN provenientes del lado del cliente.
- Modifique las etiquetas de VLAN provenientes del lado del cliente.
- Agregue SVLAN a las etiquetas de VLAN provenientes del lado del cliente.

Para cada uno de los escenarios, se debe verificar el funcionamiento de los siguientes servicios según corresponda a las ONT bajo prueba.

a) FastEthernet

b) POTS

c) Video overlay CATV-RF

4.2.2 Modelo de Servicios de Forwarding

Los modos de servicios de forwarding siguientes:

Modo Forwarding Residencial Bridge o Intelligent Bridge

Modo Forwarding Crossconnect

Tienen por objetivo conocer las funcionalidades disponibles en los equipos OLT, para la entrega de los servicios Internet, Voz y Video. Se prueban dos modelos de forwarding de servicios:

- Basado en VLAN por Servicio.
- Basado en VLAN por ONT/Usuario.

a. Modo Forwarding Residencial Bridge o Intelligent Bridge

Múltiples puertos de usuario son asociados a una VLAN exclusiva (Figura 4.9). Es necesario recalcar que la VLAN entre el OLT y el punto NSPx (Proveedores Servicio Red) debe ser única. Las configuraciones a realizar son las siguientes:

- Configurar varios ONTs a una única VLAN de Servicio. Como es mostrado en la Figura 4.9.
- Asignar restricción en el número de MAC Address aceptadas por Puerto.
- Asignar calidad de servicio diferentes por VLAN de servicio y comprobar su correcta clasificación.

Se comprobó el funcionamiento del servicio solicitado.

La restricción de las MAC address se realizó con la opción "MAXMACNUM" del siguiente comando:

```
ENT-ONTENET:[tid]:aid_ontethemet:[ctag]:::CUSTINFO=custinfo,AUT
ODETECT=autodetect,CVLANDEF=cvlandef,SESSPROFID=sessprofid,MAXMA
CNUM=maxmacnum,PWROVERRIDE=pwroverride,DSCPMAPPROFID=dscpmapprof
id,DSCPMAPPROFNM=dscpmapprofnm:::[pst];
```

Se utilizó el siguiente comando CLI para la configuración del servicio:

```
ENT-SERVICE-HSI:[tid]:aid_hsi:[ctag]::BWPROFUPID=bwprofupid,BWPROFUPNM=bwprofupnm,BWPROFDNID=bwprofdnid,BWPROFDNNM=bwprofdnnm,PQPROFID=pqprofid,PQPROFNM=pqprofnm,AESENABLE=aesenable,LABEL=label,SVLAN=svlan,ETHERTYPE=ethertype,UNISIDEVLAN=unisidevlan,NETWORKSIDEVLAN=networksidevlan:[pst];
```

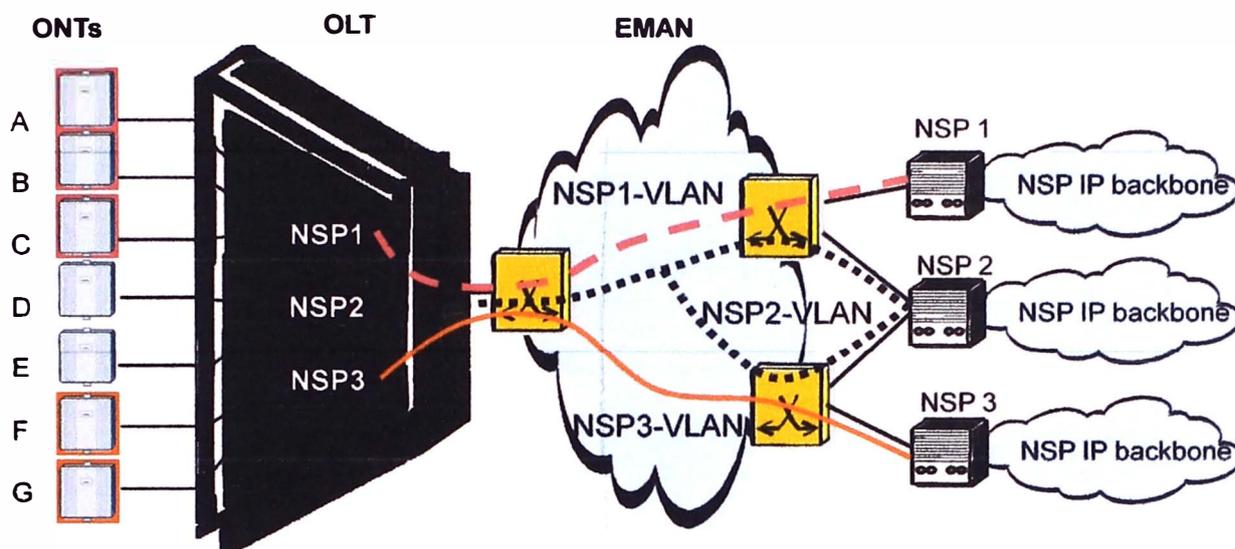


Figura 4.9 Modo de Forwarding Residential Bridge

b. Modo Forwarding Crossconnect

Un único Puerto de usuario es asociado a una única VLAN dedicada (Figura 4.10).

Nota: La VLAN declarada entre el equipo ONT y el OLT y debe ser única.

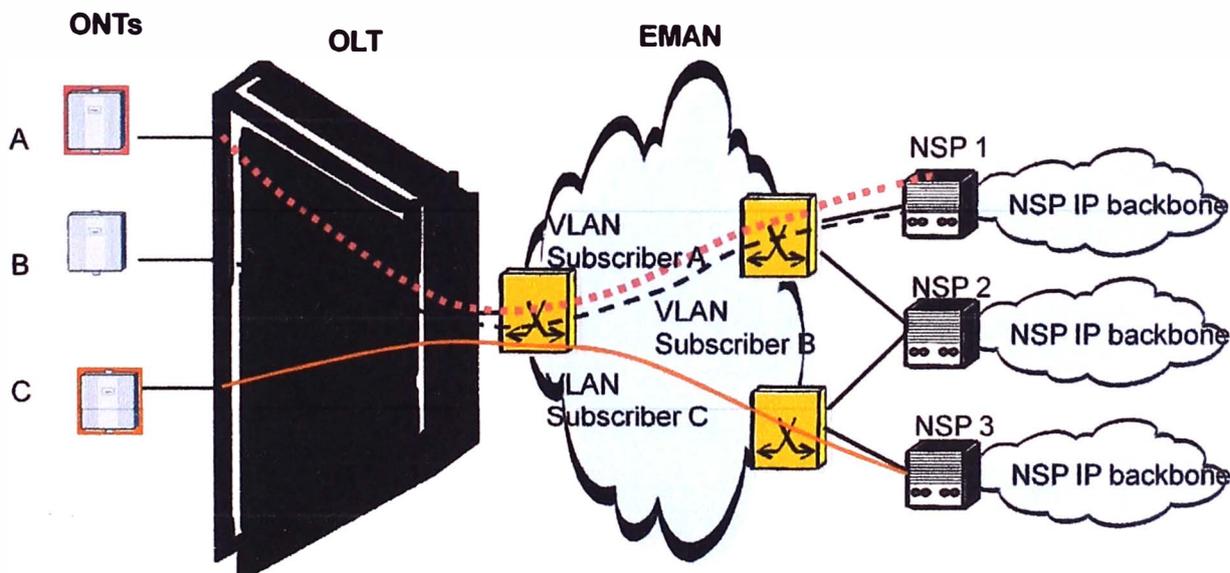


Figura 4.10 Modelo de Forwarding Crossconnect

Las configuraciones a realizar son las siguientes:

- Configurar un único puerto de usuario hacia una única VLAN de Suscriptor. Como se muestra en la figura 4.10.

- Asignar restricción al número de MAC Address aceptadas por Puerto.
- Asignar calidad de servicio diferentes por VLAN de servicio y comprobar su correcta clasificación.
- Asignar calidades de servicio para diferentes tipos de tráfico interno, dentro de la VLAN de suscriptor y comprobar su correcta clasificación.

Se comprobó el funcionamiento del servicio solicitado.

Para crear el servicio tipo Crossconnect adicionalmente se utilizó la opción "MODE" del siguiente comando CLI:

```
ENT-PONVLAN:[tid]:PONVLAN-vlanid:[ctag]:::MODE= XCONN,LTPON=ltpon,
NAME=name,DHCPRELAY=dhcprelay,TAGMODE=tagmode,PPPOERELAY=pppoere
lay,OPTION82CID=option82cid,OPTION82RID=option82rid,USGBW=usgbw,
DSGBW=dsgbw,USOBF=usobf,DSOBF=dsobf,
```

4.2.3 Priorización de Customer VLANs IDs

El concepto de usuarios "Trusted" (confiables) o Untrusted (No confiables) se refiere al equipo que realiza la priorización y asignación de Customer VLANs IDs, ya que esta tarea puede ser realizada por el Residencial Gateway (RGW) o por la ONT. En gran medida esta configuración queda determinada por el tipo de servicio y disposición en la red.

Los siguientes conceptos aplican a las pruebas de este punto.

- C-VLAN: Customer VLAN Identificador. Se refiere también a la "inner" o VLAN ID "interna" empleada en VLAN Stacking.
- S_VLAN: Suscriber VLAN Identificador. Se refiere también a la "outer" o VLAN ID "externa" empleada en VLAN Stacking.
- Trusted Users: Usuarios confiables, aquellos donde, tanto los P-Bits de QoS, como la C-VLAN son generados por el RGW u otro dispositivo, y pasan de forma transparente por la ONT hacia la OLT.
- Untrusted Users: Usuarios No confiables, aquellos donde la asignación de P-Bits como de C-VLAN Id, no poseen una fuente confiable de configuración , por lo que tienen que ser remarcados por la ONT y de ahí enviados hacia el OLT.

Se tienen las siguientes combinaciones a configurar (Tabla 4.10).

Tabla 4.10 Combinaciones de configuraciones

Trusted		Untrusted	
Unstacked		Unstacked	
Untagged	Tagged	Untagged	Tagged
Stacked		Stacked	
Untagged	Tagged	Untagged	Tagged

Nota:

Tagged: Etiquetado

Untagged: No etiquetado
 Stacked: con apilamiento
 Unstacked: Sin apilamiento

Para la realización de las siguientes pruebas se utiliza un generador/analizador de tráfico que envíe tramas Ethernet con y sin priorización y con y sin VLAN-tags.

a. Prueba Trusted-Unstacked: Tagged, Untagged.

Para efectuar esta prueba se adjunta el esquema de la Figura 4.11 con el escenario A y el escenario B.

Las configuraciones a realizar son las siguientes.

Escenario A.- Habilitar los servicios Ethernet en el ONT según la Figura 4.11. Verificar que a la salida de la OLT se reciban las ramas con el tag y el p-bit asignado, mediante configuración en la ONT desde una fuente "Untagged".

Escenario B.- Verificar que a la salida de la OLT se reciban las tramas con el p-bit asignado mediante configuración en la ONT desde una fuente "Priority Tagged".

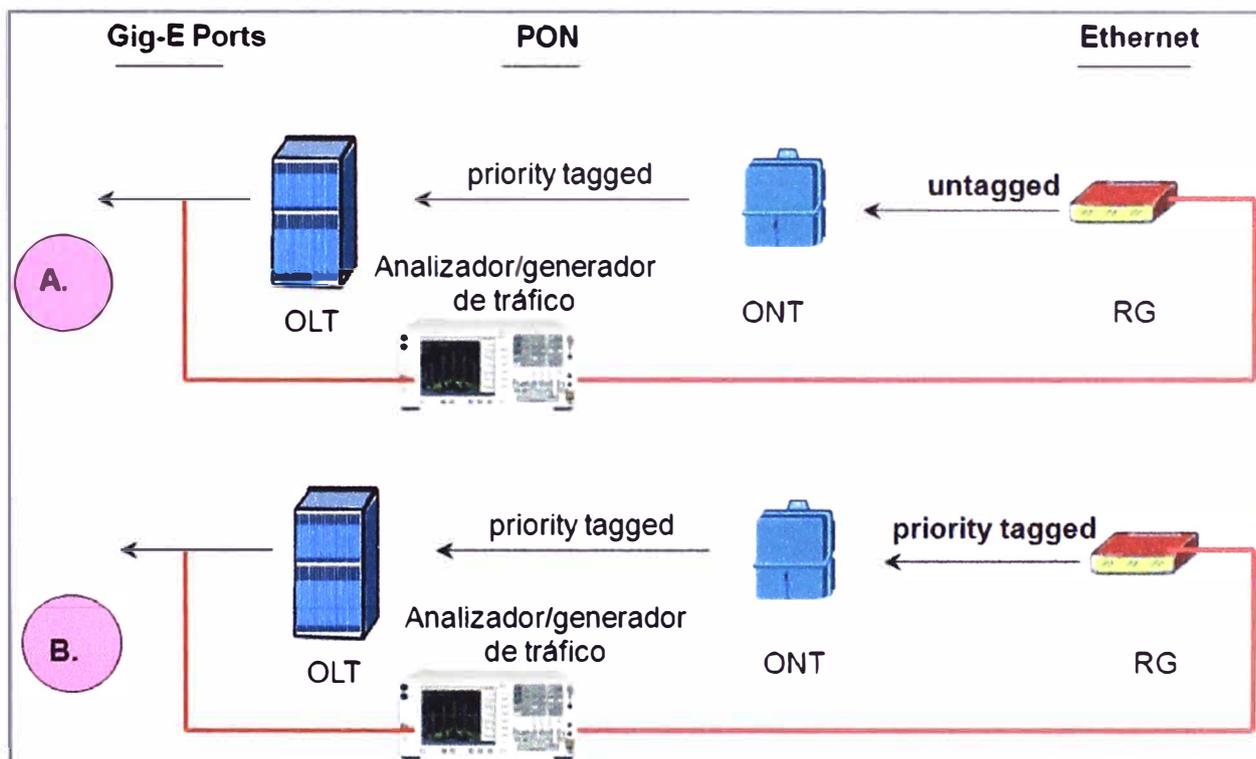


Figura 4.11 Trusted Users- Unstacked: Untagged & Tagged

Se comprobó el funcionamiento del servicio solicitado.

Se utilizaron los siguientes comandos CLI para crear el escenario solicitado.

```
ENT-PONVLAN:[tid]:PONVLAN-vlanid:[ctag]::MODE=mode,LTPON=ltpon,
NAME=name,DHCPRELAY=dhcprelay,TAGMODE=UNSTACKED,PPPOERELAY=pppoe
re
lay,OPTION82CID=option82cid,OPTION82RID=option82rid,USGBW=usgbw,
DSGBW=dsgbw,USOBF=usobf,DSOBF=dsobf,
```

ENT-QOS-

MARKPROF:[tid]:aid_markprof:[ctag]::profile_name:PROFTYPE=VLANTAG,DOT1P=dot1ip,UNTAGDS=untagds;

UNTAGDS Values are:

- XMITTAG : Transmit traffic with tag
- XMITNOTAG : Transmit traffic without a tag

b. Prueba Trusted-Stacked : Tagged, Untagged.

Para efectuar esta prueba se adjunta el esquema de la Figura 4.12.

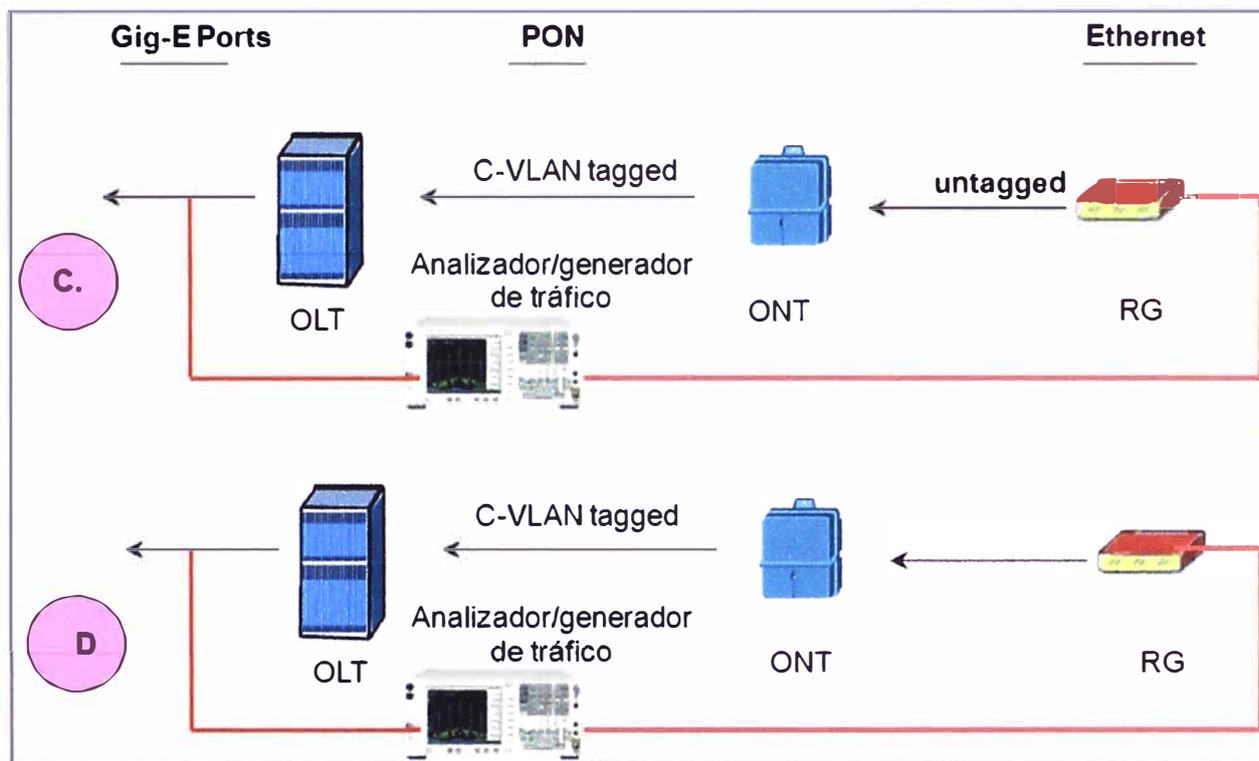


Figura 4.12 Trusted Users- Staked: Untagged&Tagged

Se deben realizar las siguientes configuraciones:

Escenario C.- Habilitar los servicios Ethernet en el ONT según la Figura 4.13. Verificar que a la salida de la OLT se reciban las ramas con el tag y el p-bit asignado mediante configuración en la ONT desde una fuente "Untagged".

Escenario D.- Verificar que a la salida de la OLT se reciban las tramas con el p-bit asignado mediante configuración en la ONT desde una fuente "Priority Tagged & CVLAN Tagged" (con VLAN ID definido.)

Se comprobó el funcionamiento de servicio solicitado.

Se utilizaron los siguientes comandos CLI para crear el escenario solicitado.

```
ENT-PONVLAN:[tid]:PONVLAN-vlanid:[ctag]::MODE=mode,LTPON=ltpon,
NAME=name,DHCPRELAY=dhcprelay,TAGMODE=STACKED,PPPOERELAY=pppoerelay,OPTION82CID=option82cid,OPTION82RID=option82rid,USGBW=usgbw,
```

DSGBW=*dsgbw*,USOBF=*usobf*,DSOBF=*dsobf*,

ENT-QOS-MARKPROF:[*tid*]:*aid_markprof*:[*ctag*]::*profile_name*:PROFTYP

E=VLANTAG,DOT1P=*dot1ip*,UNTAGDS=*untagds*;

UNTAGDS Values are:

- XMITTAG : Transmit traffic with tag
- XMITNOTAG : Transmit traffic without a tag

c. Prueba Untrusted-Unstacked : Tagged, Untagged.

Para efectuar esta prueba se adjunta el esquema de la Figura 4.13.

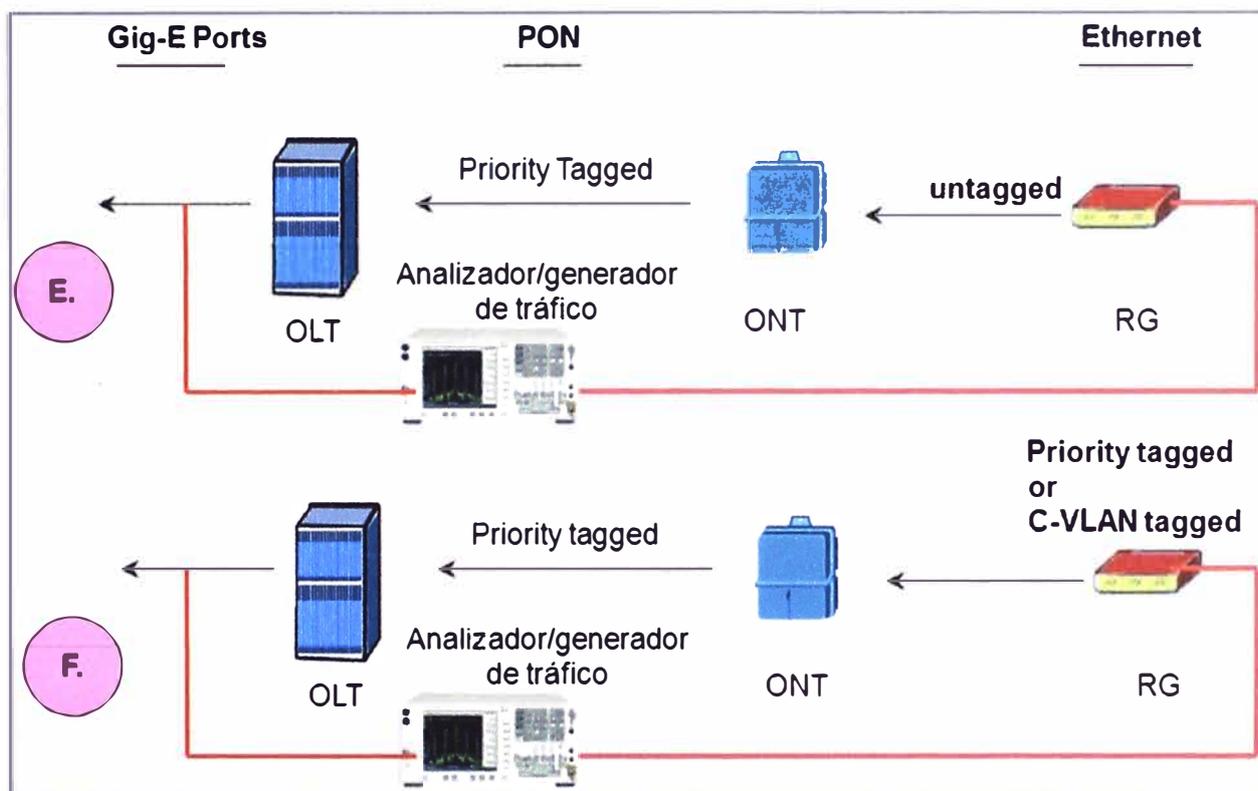


Figura 4.13 Untrusted Users- Unstacked: Untagged&Tagged

Se deben realizar las siguientes configuraciones

Escenario E.- Habilitar los servicios Ethernet en el ONT según la figura 4.14. Verificar que a la salida de la OLT se reciban las ramas con el p-bit asignado por Default mediante configuración en la ONT desde una fuente "Untagged".

Escenario F.- Verificar que a la salida de la OLT se reciban las tramas con el p-bit asignado mediante configuración en la ONT desde una fuente "Priority Tagged" o en caso de estar asignado el "C-VLAN Tagged", el VLAN ID va a 0.

Se comprobó el funcionamiento de servicio solicitado.

Se utilizaron los siguientes comandos CLI para crear el escenario solicitado.

ENT-PONVLAN:[*tid*]:PONVLAN-*vlanid*:[*ctag*]::*MODE=mode*,LTPON=*ltpon*,

NAME=*name*,DHCPRELAY=*dhcprelay*,TAGMODE=UNSTACKED,PPPOERELAY=*pppoe*

re

lay,OPTION82CID=option82cid,OPTION82RID=option82rid,USGBW=usgbw,

DSGBW=dsgbw,USOBF=usobf,DSOBF=dsobf,

ENT-QOS-MARKPROF:[tid]:aid_markprof.[ctag]::profile_name:PROFTYP

E=UNTRUSTED,DOT1P=dot1ip,UNTAGDS=untagds;

UNTAGDS Values are:

- XMITTAG : Transmit traffic with tag
- XMITNOTAG : Transmit traffic without a tag

d. Prueba Untrusted-Stacked : Tagged, Untagged.

Para efectuar esta prueba se adjunta el esquema de la Figura 4.14. Para esta prueba se realizan las siguientes configuraciones

Escenario G.- Habilitar los servicios Ethernet en el ONT según la Figura 4.14. Verificar que a la salida de la OLT se reciban las ramas con el p-bit re-asigando por configuración mediante configuración en la ONT desde una fuente "Untagged".

Escenario H.- Verificar que a la salida de la OLT se reciban las tramas con el p-bit asignado mediante configuración en la ONT desde una fuente "VLAN Tagged", comprobar el re-marcado correcto de acuerdo a lo configurado.

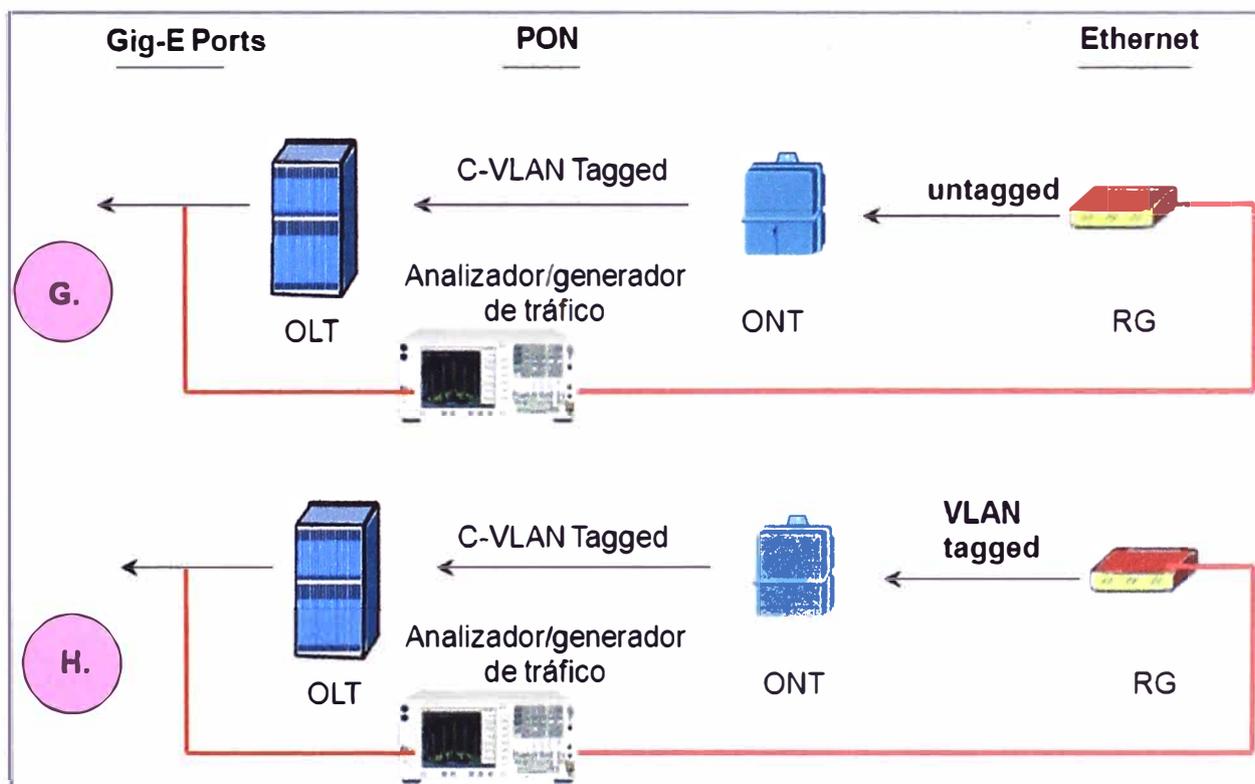


Figura 4.14 Untrusted Users – Stacked: Untagged& Tagged

Se comprobó el funcionamiento de servicio solicitado.

Se utilizaron los siguientes comandos CLI para crear el escenario solicitado.

ENT-PONVLAN:[tid]:PONVLAN-vlanid:[ctag]::MODE=mode,LTPON=ltpon,

NAME=*name*,DHCPRELAY=*dhcprelay*,TAGMODE=STACKED,PPPOERELAY=*pppoere lay*,OPTION82CID=*option82cid*,OPTION82RID=*option82rid*,USGBW=*usgbw*,
DSGBW=*dsgbw*,USOBF=*usobf*,DSOBF=*dsobf*,

ENT-QOS-MARKPROF:[*tid*]:*aid_markprof*.[*ctag*]::*profile_name*:PROFTYP

E=UNTRUSTED,DOT1P=*dot1ip*,UNTAGDS=*untagds*;

UNTAGDS Values are:

- XMITTAG : Transmit traffic with tag
- XMITNOTAG : Transmit traffic without a tag

4.2.4 Transporte de FAST Ethernet a Gbit Eth

El objetivo de esta prueba es verificar la posibilidad de transportar señales entre la ONT en FastEth y la OLT en Gbit Eth, y el procedimiento para efectuar la prueba es el siguiente:

- Configurar 3 modos de servicios con VLAN:
 - VLAN Residencial Bridge por abonado.
 - VLAN Residencial Bridge por servicio.
 - VLAN crossconectada
 - Aplicar a cada uno de tres modos limitaciones de velocidad en upstream:
 - Limitaciones de 100 Mbps.
 - Limitación de 25 Mbps.
 - Limitación de 10 Mbps.
 - Verificar las tasas de transferencia para distintos tamaños de trama Ethernet y GbitEthernet, en ambos sentidos de transmisión, de acuerdo a la RFC 2889 del IETF
- Se implementó el siguiente escenario, en el cual se comprobó que las tasas de transferencia encontradas están de acuerdo a la RFC 2889 del IETF.

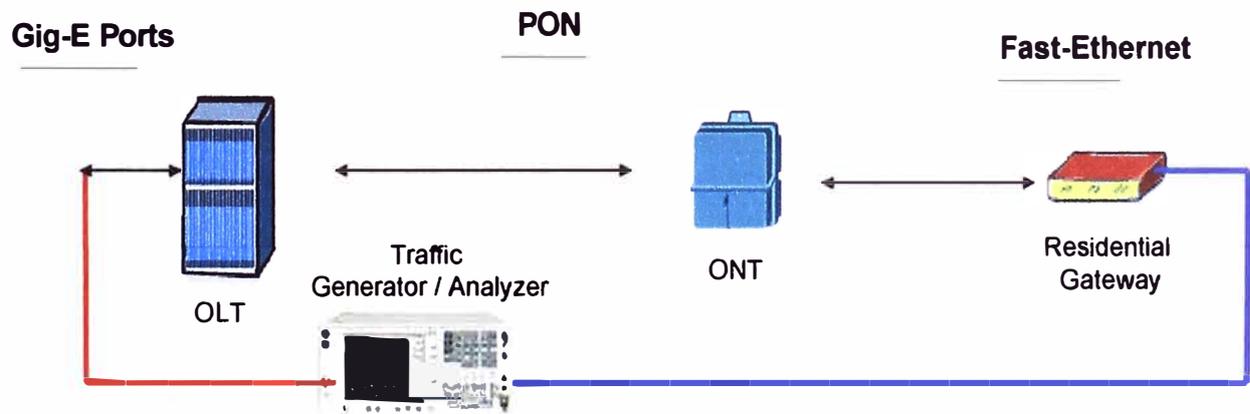


Figura 4.15 Tasas de transferencia FastEth a Gbit Eth

4.2.5 Policing del Trafico Downstream

El objetivo de esta prueba es verificar el tráfico downstream. El procedimiento para realizar la prueba es el siguiente:

Configurar servicios entre el OLT y las ONTs, definiendo la velocidad máxima downstream permitida en los puntos en que fuese posible.

a) A la entrada del OLT.- Enviar tráfico desde el port GbitEth del OLT con destino a una de las ONTs. Al superar el valor máximo verificar que el tráfico se descarte en la entrada GbitEth del OLT.

b) A la entrada GPON de la ONT.- Enviar tráfico desde el port GbitEth del OLT con destino a una de las ONTs. Al superar el valor máximo verificar que el tráfico se descarte en el port GPON de la ONT y que no sea transmitido por la interfaz FastEth ó GbitEth.

Y verificar que: La OLT limita el tráfico a la entrada GbitEth al valor configurado.

La ONT limita el tráfico a la entrada GPON al valor configurado, para que a la salida FastEth ó GbitEth no se transmita más del valor máximo configurado.

Se configuró y verifico el servicio utilizando el siguiente comando CLI:

```
ENT-PROFILE-BW:[tid]:bwprofid:[ctag]::profile_name:CIR=cir,EIR=eir,DT=dt;
```

4.2.6 Policing del Trafico Upstream

El objetivo de esta prueba es verificar el tráfico upstream. El procedimiento para realizar la prueba es el siguiente:

Configurar servicios entre el OLT y las ONTs, definiendo la velocidad máxima upstream permitida.

a) A la entrada del OLT.- Enviar tráfico FastEth desde la ONT hacia la OLT.

b) A la entrada GPON de la ONT.- Enviar tráfico FastEth desde la ONT hacia la OLT.

Al superar el valor máximo verificar que el tráfico se descarte a la entrada GPON de la OLT ó en el port GbitEth lado GPON del Lan switch interno de la OLT.

Generar tráfico entre el ONT/OLT en ambos sentidos por encima de los límites definidos anteriormente.

Verificar que: La ONT limita el tráfico a la entrada FastEth (y GbitEth si hubiese) al valor configurado.

La OLT limita el tráfico proveniente de la entrada GPON al valor configurado

Se configuró y verifico el servicio utilizando el siguiente comando CLI:

```
ENT-PROFILE-BW:[tid]:bwprofid:[ctag]::profile_name:CIR=cir,EIR=eir,DT=dt;
```

4.2.7 Priorización de clases de servicio según la Rec .IEEE 802.1P

El objetivo de esta prueba es verificar que la ONT y la OLT prioricen las distintas clases de servicio de acuerdo a los bits "802.1p". El procedimiento para realizar la prueba es el siguiente:

Configurar el sistema para que priorice un tráfico respecto de otro ya sea por:

- P-Bits
- Tipo de protocolo

- Número de Puerto o algún criterio similar.

Configurar el generador de tráfico para que alimente con 2 flujos el sistema ONT/OLT de acuerdo a lo definido.

Generar simultáneamente ambos tráficos intentando saturar el ancho de banda asignado a los flujos.

Y verificar que el:

- ONT prioriza el tráfico downstream que recibe del lado línea GPON según 802.1p.
- ONT prioriza el tráfico upstream que recibe del lado Cliente según 802.1p.
- OLT prioriza el tráfico downstream que recibe del lado Cliente GbitEth según 802.1p
- OLT prioriza el tráfico upstream que recibe del lado GPON según 802.1p

Se comprobó el servicio solicitado.

Se utilizó el siguiente comando TL1:

```
ENT-PROFILE-PQ:[tid]:pqprofid:[ctag]::profile_name:PQ1WEIGHT=pq1
weight,PQ2WEIGHT=pq2weight,PQ3WEIGHT=pq3weight,PQ4WEIGHT=pq4weig
ht,PQ5WEIGHT=pq5weight,PQ6WEIGHT=pq6weight,PQ7WEIGHT=pq7weight,P
Q8WEIGHT=pq8weight,DOT1P0PQ=dot1p0pq,DOT1P1PQ=dot1p1pq,DOT1P2PQ=
dot1p2pq,DOT1P3PQ=dot1p3pq,DOT1P4PQ=dot1p4pq,DOT1P5PQ=dot1p5pq,D
OT1P6PQ=dot1p6pq,DOT1P7PQ=dot1p7pq;
```

4.2.8 Manejo de MAC Address

El objetivo de esta prueba es verificar el tráfico con la modalidad de mac address. Se deben efectuar configuraciones que permitan realizar las siguientes pruebas y verificación de resultados:

Generar tráfico con el Generador de tráfico en la funcionalidad de SRC MAC address aleatorio. Configurar en el ONT un filtro para limitar la cantidad de MAC address aceptadas, e indicar si el listado de MACs de la "aprendido" se congela al llegar al límite establecido o las nuevas MAC address sobrescriben a las anteriores.

Generar tráfico con el Generador de Tráfico en la funcionalidad de SRC MAC address aleatorio, por encima de la cantidad configurada.

Configurar una lista de direcciones MAC habilitadas para cursar tráfico. Generar tráfico con el Generador de Tráfico con distintas MAC address (incluyendo las previamente habilitadas). Y verificar que solamente pasa tráfico de las direcciones MAC habilitadas.

Configurar en el ONT filtros a determinadas MAC address y que los paquetes que los contengan sean descartados. Generar tráfico con el Generador de Tráfico de tal forma que el SRC MAC address contenga algunas MAC filtradas. Y verificar que los paquetes con las MAC address coincida con el que se desea filtrar sea descartado.

Se comprobó el funcionamiento de los filtro para MAC address.

Se utilizó el siguiente comando TL1:

```
SET-ONTUNICNTRL:[tid]:aid_ontuni:[ctag]::CNTRLTYPE=cntrltype,MA
C1=mac1,MAC2=mac2,MAC3=mac3,MAC4=mac4,IP1=ip1,IP2=ip2,IP3=ip3,IP
4=ip4,IP5=ip5,IP6=ip6,IP7=ip7,IP8=ip8;
```

4.2.9 Distribución de Video Analógico por CATV-RF

El objetivo de esta prueba es verificar la posibilidad de distribuir video CATV-RF desde la OLT hacia las ONTs. El procedimiento para realizar la prueba es el siguiente:

A la entrada del equipo V-OLT comprobar la presencia de la totalidad de señales Broadcast a distribuir.

A la salida del equipo V-OLT comprobar la presencia de longitud de onda 1550 nm. Inyectar la señal CATV-RF en un convertor a 1550 nm que deberá ser provisto por el proveedor del equipo GPON. Inyectar la señal óptica de 1550 nm en un acoplador óptico que deberá ser provisto por el proveedor.

A la salida del equipo V-OLT comprobar la presencia de longitud de onda 1550 nm. Medir la calidad de la señal de salida CATV-RF de la ONT, comparándola con la señal de entrada. (antes del V-OLT)

Durante las pruebas de video a 1550 nm se verificará que simultáneamente se esté enviando tráfico de voz y datos en ambos sentidos downstream a 1490 nm y upstream a 1310 nm sin afectar los servicios de video.

Para esta prueba se planteo el esquema de la Figura 4.16:

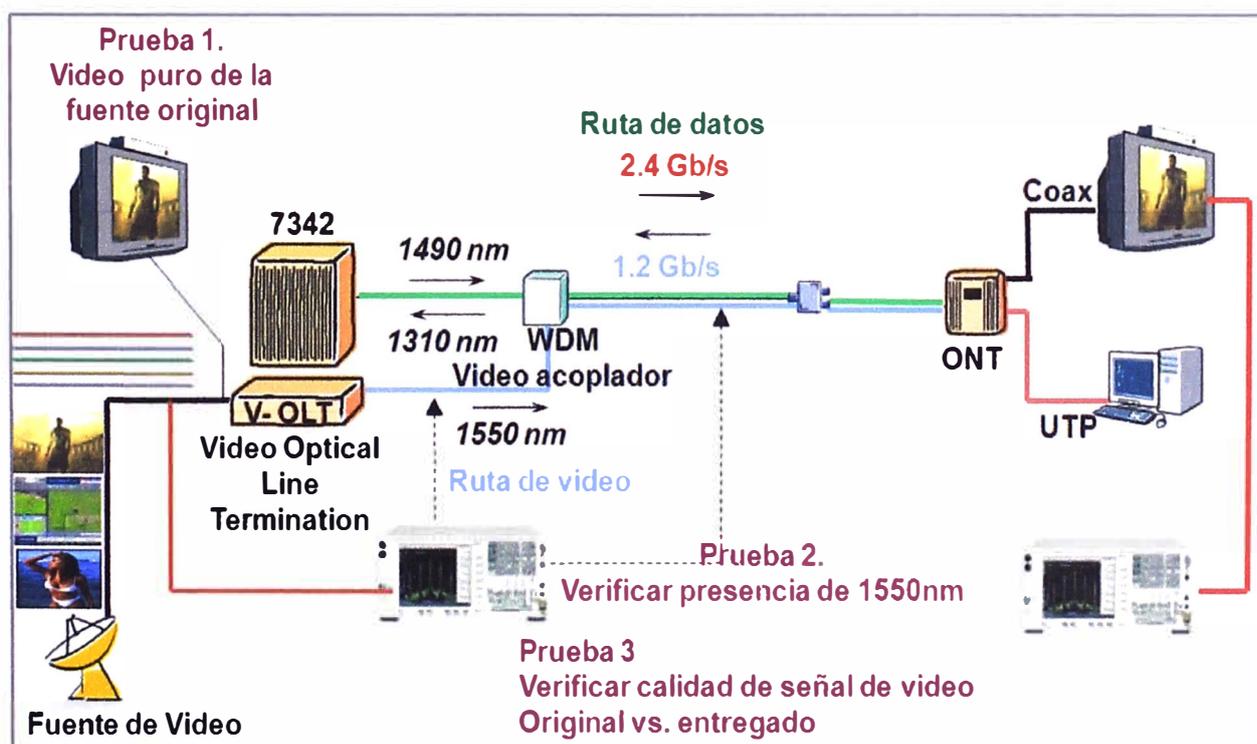


Figura 4.16 Video Overlay lab-test (Fuente: Ibidem)

Se comprobó el servicio solicitado.

Para crear el servicio solicitado se utilizó el siguiente comando CLI:

```
ENT-ONTVIDUNI:[tid]:aid_ontviduni:[ctag]::[pwoveride]::[pst];
```

A la salida del equipo V-OLT se comprobó la presencia de la longitud de onda 1550 nm.

4.2.10 Servicio Telefonía POTS

Verificar la posibilidad de brindar servicio de telefonía POTS mediante el protocolo SIP entre la ONT y un SIP server.

Se debe realizar la configuración que permita dar de alta los números asignados en el SIP Server para luego verificar las siguientes opciones:

- Interoperabilidad entre la ONT y el SIP Server
- Nivel de campanilla al recibir llamados
- Tono de invitación a disar.
- Detección de tonos de discado DTMF.

Se comprobó el servicio solicitado.

Se utilizó el siguiente comando CLI para configurar el servicio

```
ENT-SERVICE-VOIP:[tid]:aid_voip:[ctag]::BWPROFUPID=bwprofupid,B
WPROFUPNM=bwprofupnm,BWPROFDNID=bwprofdnid,BWPROFDNNM=bwprofdnnm
,PQPROFID=pqprofid,PQPROFNM=pqprofnm,AESENABLE=aesenable,LABEL=i
abel,SVLAN=svlan,IPADDRLOC=ipaddrloc,NETMASKLOC=netmaskloc,DEFRO
UTER=defrouter,IPADDRMGC=ipaddrmgc,IPADDRFTP=ipaddrftp,DHCP=dchp
,PORTMGC=portmgc,VOIPDSCP=voipdscp,VOIPMODE=voipmode,CONFIGFILE=
configfile,CLIENTID=clientid,SECRETK=secretk,IPSECENABLE=ipsecen
able,CONFMETH=confmeth,SPGPROFID=spgprofid,SPGPROFNM=spgprofnm,S
PGUNAME=spguname,SPGPWD=spgpwd,SPGREALM=spgrealm,SRCVLANID=srcvlanid:[pst];
```

4.2.11 Transporte de señales VDSL desde la ONU/Multi Dwelling / para phase 3

El objetivo de esta prueba es verificar el transporte de señales VDSL desde la ONU/MULTIDWELLING UNIT.

Se comprobó el servicio solicitado.

Se utilizó el siguiente comando TL1 para probar el servicio.

```
ENT-PROFILE-XSRVC:[tid]:xsrvcprofid:[ctag]::xsrvcprofnm;
```

4.2.12 Gestión de Red

Se comprobó el correcto funcionamiento de las gestiones a través del gestor SAM 5526.

Se adjunta interfaz gráfica del Sistema de Gestión de Red

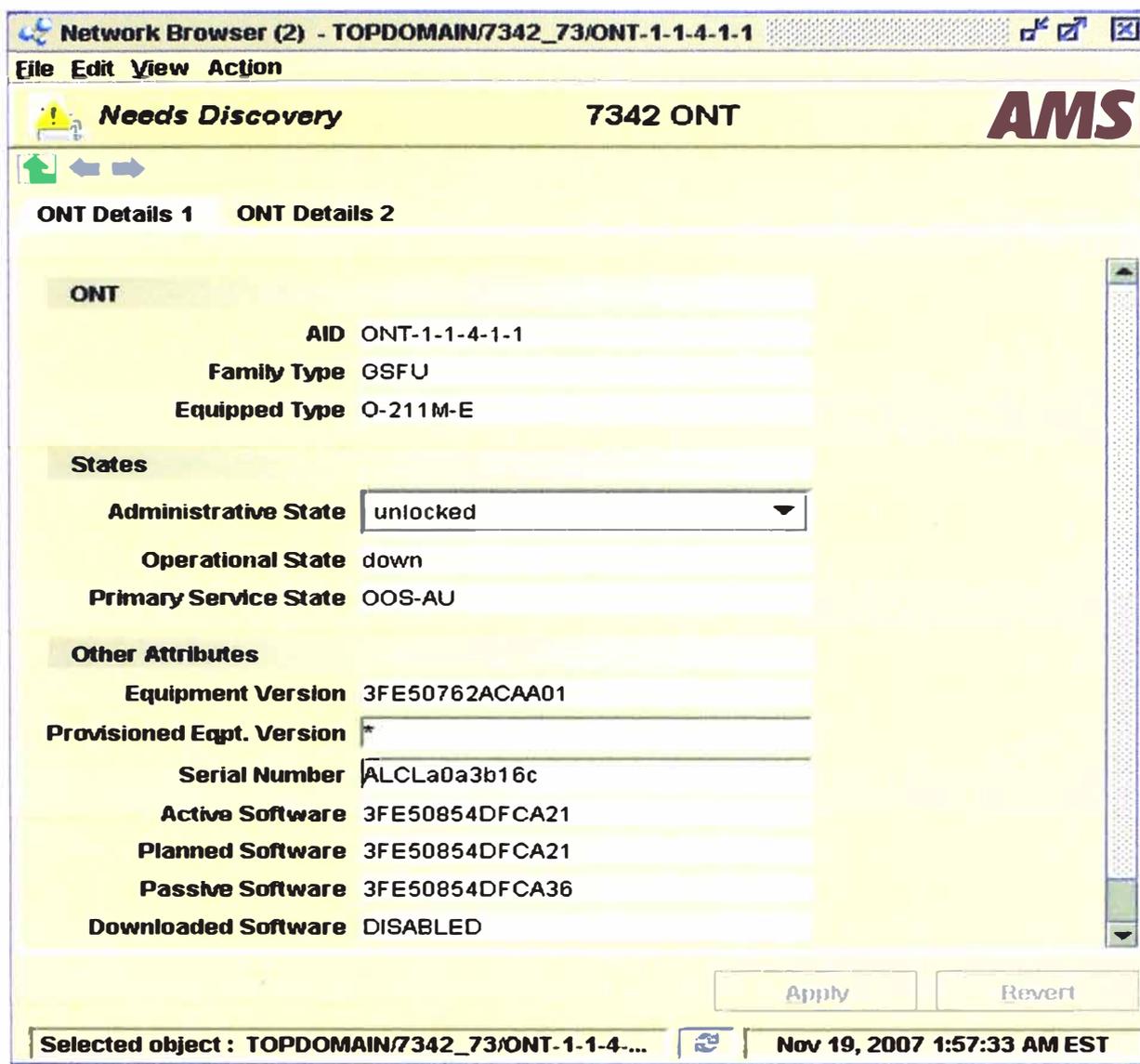


Figura 4.17 Gestión de Red (Fuente: Alcatel - Lucent)

4.3 Esquema de configuración del Alcatel FTU 7342

La configuración de este dispositivo es detallada en el Anexo A, según el esquema:

- **Creación de puertos y VLANs.** En donde se realizan las siguientes configuraciones, ya sea en línea (CLI) y/o TL1.

- Habilitación de Puerto de Red (En Tarjeta EHNT-B)
- Creación de VLAN de Servicio (S-VLAN)
- Asignación de S-VLAN a un Puerto de Red
- Asignación de S-VLAN a la Tarjeta de Línea (GLT4-A)
- Guardar datos configurados
- Habilitación de Puerto PON
- Creación VLAN en Puerto PON

- **Creación de ONT y servicios.** Indicándose los servicios creados a los clientes residenciales y corporativos (tres últimos del listado = Triple Play)

- Creación de ONT
- Creación de ONT CARD
- Creación de Puerto Ethernet de ONT
- Creación de Servicio HSI (High Speed Internet) en Puerto de ONT
- Creación de Servicio VoIP en Puerto de ONT
- Creación de Servicio de Video en Puerto de ONT
- **Borrado de ONT Y servicios.**- Comandos para restitución de interfaces y servicios.
 - Borrado de Servicio HSI
 - Borrado de Puerto Ethernet de ONT
 - Borrado de Tarjeta de ONT
 - Borrado de ONT
 - Borrado de Servicio de Video
 - Borrado de Servicio de Pots
- **Comandos de visualización y extras.**- Para la habilitación de los diversos indicadores.
 - Mostrar Alarmas:
 - Mostrar Equipamiento:
 - Mostrar Software en la OLT
 - Mostrar el Status del Software en la OLT
 - Mostrar configuración de una ONT:
 - Mostrar configuración de una Tarjeta de ONT:
 - Mostrar configuración de un Puerto Ethernet de ONT
 - Mostrar configuración de Servicio HSI
 - Mostrar Perfiles de BW
 - Creación de Perfil de BW
 - Creación de Tarjeta de Línea

4.4 Cronograma

La Figura 4.18 muestra el cronograma de trabajos del proyecto piloto:

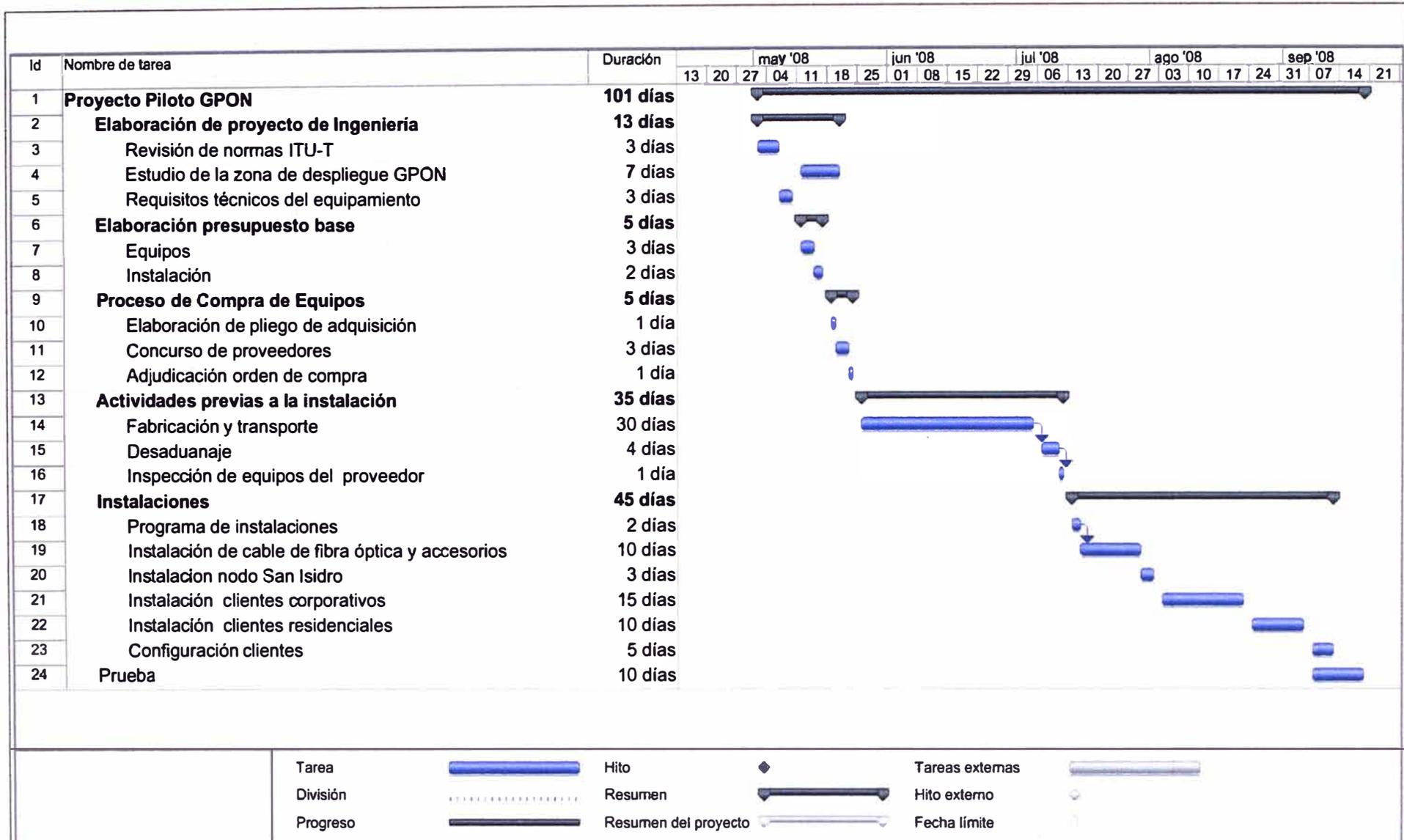


Figura 4.19 Cronograma de trabajos (Fuente: Elab. propia)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En el presente informe se enfocó una nueva alternativa para resolver los problemas de necesidad de los clientes de mayor ancho de banda y accesos a nuevos servicios vía internet, introduciendo una nueva tecnología de acceso digital denominada GPON.
2. La tecnología de acceso GPON se logró desplegar en el Distrito de San Isidro, alcanzando a clientes residenciales, corporativos en los distritos de Miraflores, Santiago de Surco, Monterrico, La Molina, Jesús María y Barranco.
3. La tecnología GPON permitió desplegar los servicios Triple Play (Voz, Datos, Video), en comparación a las tecnologías tradicionales existentes, de solo acceso a internet con acceso de par trenzado de cobre hasta el cliente.

Recomendaciones

1. El re-uso de la infraestructura de telecomunicaciones existentes, con mayor importancia la parte del ODN, para la reducción de los costos de inversión y mantenimiento.
2. Se recomienda que el Centro de Gestión 5526 WAM centralizada instalada con los software de administración sean equipados con 02 servidores configurados en modo redundante.
3. Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de la planta externa a nivel nacional para mejorar la calidad del servicio de acceso a internet.
4. Se recomienda brindar el servicio GPON con tecnología Huawei para reutilizar recursos de hardware huawei existentes en la red de TDP.
5. Las Operadoras deben ofrecer los nuevos servicios a precios competitivos en la región latinoamericana para ampliar la cobertura del servicio y alcanzar la madurez de la tecnología GPON.

ANEXO A
ÁRCHIVO DE CONFIGURACIÓN ALCATEL FTTU 7342

.1 Creación de puertos y VLANs

1 COMANDOS CLI:

User: isadmin
Password: puntonet#

1.1 Habitación de Puerto de Red (En Tarjeta EHNT-B)

```
configure interface shub port 1 port-type network admin-status up
```

1.2 Creación de VLAN de Servicio (S-VLAN)

```
configure vlan shub id 7 mode residential-bridge name data1 up-info-rate 1000000 down-info-rate 1000000
```

Nota: Se configura la vlan 7 con BW de 1Gbps en ambos sentidos.

1.3 Asignación de S-VLAN a un Puerto de Red

```
configure vlan shub id 7 egress-port network:1
```

1.4 Asignación de S-VLAN a la Tarjeta de Línea (GLT4-A)

```
configure vlan shub id 7 egress-port lt:1/1/1
```

1.5 Guardar datos configurados

```
admin software-mngt shub database save
```

2. COMANDOS TL1

User: SUPERUSER
Password: ANS#150

.1 Habilitación de Puerto PON

```
ED-PON::PON-1-1-1-1:::LABEL=,BERTM=,POLLINGTM=,SDTHRESH=,SFTHRESH=,FECDN=,RMNREDUCT=,CLOSESTONT=,ROGUETEST=:IS
```

2.2 Creación VLAN en Puerto PON

```
ENT-PONVLAN::PONVLAN-7:::MODE=RBRIDGE,LTPON=,NAME=,DHCPRELAY=DISABLED,TAGMODE=STACKED,PPPOERELAY=DISABLED,OPTION82CID=PHYADDR,OPTION82RID=NONE,USGBW=28000000,DSGBW=28000000,USOBF=75,DSOBF=75
```

Comentario: La PONVLAN debe ser la misma que la S-VLAN.

A.2 Creación de ONT y servicios

1. Creación de ONT

DLT-ONTCARD::ONTCARD-1-1-1-1-1-1::

4. Borrado de ONT

ED-ONT::ONT-1-1-1-1-1:::OOS

DLT-ONT::ONT-1-1-1-1-1::

Nota: Es necesario seguir la secuencia de borrado (No se puede borrar la ONT sin antes haber borrado la ONTCARD, ONTENET y SERVICE-HSI)

A.4 Comandos de visualizacion y extras

Mostrar Alarmas:

RTRV-ALM-ALL;

Mostrar Equipamiento:

RTRV-EQPT::ALL;

Mostrar Software en la OLT

RTRV-MEM::OSWP-1;

Mostrar el Status del Software en la OLT

REPT-OPSTAT-OSWP::ALL;

Mostrar configuración de una ONT:

RTRV-ONT::ONT-1-1-1-1-1;

RTRV-ONT::ALL; (Todas)

Mostrar configuración de una Tarjeta de ONT:

RTRV-ONTCARD::ONTCARD-1-1-1-1-1-1;

RTRV-ONTCARD::ALL; (Todas)

Mostrar configuración de un Puerto Ethernet de ONT

RTRV-ONTCARD::ONTCARD-1-1-1-1-1-1-1-1;

RTRV-ONTENET::ALL; (Todas)

Mostrar configuración de Servicio HSI

RTRV-SERVICE-HSI::HSI-1-1-1-1-1-1-1-1-1;

RTRV-SERVICE-HSI::ALL; (Todas)

Mostrar Perfiles de BW

RTRV-PROFILE-BW::ALL:

Creación de Perfil de BW

ENT-PROFILE-BW::7::6MB:CIR=6144,EIR=6144,DT=80

Creación de Tarjeta de Línea

ENT-EQPT::LT-1-1-2::GLT4-A:LSMPWR=UP:IS

ANEXO B
GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AP	Punto de acceso.
AES	Norma de encriptación avanzada (advanced encryption standard)
AF	Función de adaptación (adaptation function)
APS	Conmutación automática de protección (automatic protection switching)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (asynchronous transfer mode)
B-PON	Red óptica pasiva de banda ancha (broadband passive optical network)
BER	Tasa de errores en los bits (bit error ratio)
BIP	Paridad de entrelazado de bits (bit interleaved parity)
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
CID	Dígito idéntico consecutivo (consecutive identical digit)
CPE	Error de fase de célula (cell phase error)
CRC	Verificación por redundancia cíclica (cyclic redundancy check)
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DSL	Línea de abonado digital (digital subscriber line)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
E/O	Eléctrico/óptico
FP-LD	Diodo láser Fabry-Perot (Fabry-Perot laser diode)
FSAN	Red de acceso de servicio total (Full Service Access Network)
FTTB/C	Fibra al edificio/a la acometida (fibre to the building/curb)
FTTCab	Fibra al armario (fibre to the cabinet)
FTTH	Fibra a la vivienda (fibre to the home)
HEC	Control de error del encabezamiento (header error control)
LAN	Red de área local (local area network)
LCD	Pérdida de delimitación de célula (loss of cell delineation)
LCF	Campo de control láser (laser control field)
LSB	Bit menos significativo (least significant bit)
LT	Terminal de línea (line terminal)
MAC	Control de acceso a medios (media access control)
MLM	Modo multilongitudinal (multi-longitudinal mode)
MSB	Bit más significativo (most significant bit)
NRZ	No retorno a cero (non return to zero)
NT	Terminación de red (network termination)
O/E	Óptico/eléctrico

OAM	Operaciones, administración y mantenimiento (operations, administration and maintenance)
OAN	Red óptica de acceso (optical access network)
ODF	Repartidor óptico (optical distribution frame)
ODN	Red de distribución óptica (optical distribution network)
ODSM-PON	Opportunistic and Dynamic Spectrum Management PON.
OFDMA-PON	Orthogonal Frequency Division Multiple Access PON.
OLT	Terminación de línea óptica (optical line termination)
OMCC	Canal de control y gestión de la ONT (ONT management and control channel)
OMCI	Interfaz de control y gestión de la ONT (ONT management and control interface)
ONT	Terminación de red óptica (optical network termination)
ONU	Unidad de red óptica (optical network unit)
OpS	Sistema de operaciones (operations system)
ORL	Pérdida de retorno óptica (optical return loss)
PDU	Unidad de Datos de Protocolo (Protocol Data Unit)
PLOAM	OAM de capa física (physical layer OAM)
PON	Red óptica pasiva (passive optical network)
PRBS	Secuencia pseudoaleatoria de bits (pseudo-random bit sequence)
PST	Traza de sección de PON (PON section trace)
QoS	Calidad de servicio (quality of service)
RAU	Unidad de acceso de petición (request access unit)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RDSI-BA	Red digital de servicios integrados de banda ancha
RMS	Valor cuadrático medio (root mean square)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
RXCF	Campo de control de receptor (receiver control field)
SDH	Jerarquía digital síncrona (synchronous digital hierarchy)
SLM	Modo monolongitudinal (single-longitudinal mode)
SN	Número de serie (serial number)
SNI	Interfaz de nodo de servicio (service node interface)
TC	Convergencia de transmisión (transmission convergence)
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo (time division multiple access)
UI	Intervalo unitario (unit interval)
UNI	Interfaz usuario-red (user network interface)

UPC	Control de parámetros de utilización (usage parameter control)
VC	Canal virtual (virtual channel)
VP	Trayecto virtual (virtual path)
VPI	Identificador de trayecto virtual (virtual path identifier)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (wavelength division multiplexing)
WDM-PON	Wavelength Division Multiplexing PON

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ITU, "Case Study—How ITU's Broadband Standards Improve Access to the Internet", http://www.itu.int/osg/spu/ip/chapter_seven.html
- [2] Huawei, "Introduction to the GPON Technology", junio 2008. Huawei Technologies Co. Ltd.
- [3] Alcatel-Lucent, "FTTU networks design: Services, Outside Plant & Inside Plant Engineering Rules for Passive Infrastructure Sharing". 2008.
- [4] Alcatel-Lucent, FTTU Plannig White Paper: "Gigabit Passive Otical Networks (GPON) Deployment, Best Practices and Planning", 2007.
- [5] ITU-T G, "Transmission systems and media, digital systems and networks", 2012, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>
- [6] ITU-T G.992.1, "Transceptores de línea de abonado digital asimétrica". 1999.
- [7] Horak, Ray., "Telecommunications and data communications handbook", 2007, ISBN 9780470041413, pag 436.
- [8] Op cit. pag. 441.
- [9] Op cit. pag. 440.
- [10] ITU-T G.983.1, "Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)", Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas. http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.983.1-200501-!!!PDF-S.
- [11] ITU-T G.982, "Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates", Redes de acceso óptico para el soporte de servicios que funcionan con velocidades binarias de hasta la velocidad primaria de la red digital de servicios integrados (RDSI) o velocidades binarias equivalentes, http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.982-199611-!!!PDF-S&type=items
- [12] Alcatel-Lucent, "Gigabit Passive Optical Networks (GPON) Outside Plant Deployment, Planning and Best Practices". Marzo de 2007.
- [13] Alcatel-Lucent, "FTTU networks design: Services, Outside Plant & Inside Plant Engineering Rules for Passive Infrastructure Sharing", 2008.
- [14] Alcatel-Lucent, "GPON Standart Explained", Mayo 2008.
- [15] Huawei Technologies CO. LTD., "Introduction to the GPON Technology", Junio 2008.
- [16] ITU-T G.984.1, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics", <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.1-200803-I>

- [17] ITU-T G.984.2, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification",
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.2-200303-I>
- [18] ITU-T G.984.3, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Transmission convergence layer specification",
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.3-200803-I>
- [19] ITU-T G.984.4, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): ONT management and control interface specification",
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.4-200802-I>
- [20] ITU-T G.984.5, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Enhancement band",
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.5-200709-I>
- [21] ITU-T G.984.6, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension",
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.6/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.6-200803-I>.
- [22] ITU-T G.984.7, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Long reach",
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.7/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.984.7-201007-I>.
- [23] Alcatel-Lucent, "7342 Intelligent Service Access Manager (ISAM) Fiber to the User (FTTU)"
http://www.alcatel-lucent.com/wps/DocumentStreamerServlet?LMSG_CABINET=Docs_and_Resource_Ctr&LMSG_CONTENT_FILE=Brochures/7342_ISAM_FTTU_bro.pdf
- [24] Alcatel-Lucent "7342 ONT Family",
http://www.alcatel-lucent.com/wps/DocumentStreamerServlet?LMSG_CABINET=Docs_and_Resource_Ctr&LMSG_CONTENT_FILE=Brochures/spain_7342_ONT_ETSI.pdf&lu_lang_code=es_ES
- [25] Huawei, "Next-Generation PON Evolution", 2010,
<http://www.huawei.com/en/static/hw-077443.pdf>