



**(GEPON) GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK**

**JORGE LUIS ESCALANTE PAVA  
EDUARDO JOSE TORDECILLA BALLESTEROS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
COMUNICACIONES Y REDES  
CARTAGENA DE INDIAS  
2007**



**(GEPON) GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK**

**JORGE LUIS ESCALANTE PAVA  
EDUARDO JOSE TORDECILLA BALLESTEROS**

**Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero  
Electrónico**

**Director  
Gonzalo López Vergara  
Magíster en Telemática**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
COMUNICACIONES Y REDES  
CARTAGENA DE INDIAS D. H. T. C.**

**2007**

Cartagena de Indias, 29 de Mayo de 2007

**Señores**

**Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Tecnológica de Bolívar**

**L. C.**

Respetados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada **“(GEPON) Gigabit Ethernet Passive Optical Network”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos y justificaciones establecidas con anterioridad.

Como autores de la monografía consideramos que el trabajo investigativo es satisfactorio y merece ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
JORGE L. ESCALANTE P.

\_\_\_\_\_  
EDUARDO J. TORDECILLA B.

Cartagena de Indias, 29 de Mayo de 2007

**Señores**

**Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Tecnológica de Bolívar**

**L. C.**

Respetados señores:

Cordialmente me permito informarles, que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes Jorge Luis Escalante Pava y Eduardo Jose Tordecilla Ballesteros , titulado “**(GEPON) Gigabit Ethernet Passive Optical Network**”.

Atentamente,

---

**GONZALO LOPEZ VERGARA**  
**Magíster en Telemática**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Cartagena de Indias, 29 Mayo de 2007**

## **DEDICATORIA**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme estudiar y dar la sabiduría e inteligencia que necesite para culminar mis estudios universitarios.

A mi familia por su apoyo e instrucción.

A mis amigos por su amistad.

A mis profesores por su enseñanza.

A la Universidad Tecnológica de Bolívar por su formación como Ingeniero Electrónico.

“Pero a Dios gracias, que nos da la victoria por medio de Nuestro Señor Jesucristo” 1ª Corintios 15:57.

**JORGE LUIS ESCALANTE PAVA**

## **DEDICATORIA**

Hoy culmina otra etapa en mi vida. Etapa en la que se forjaron conocimientos y nuevos valores para entregarle a la sociedad. Agradezco el haber culminado este ciclo a Dios y a mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanos, amigos y a la Tecnológica de Bolívar.

**EDUARDO TORDECILLA BALLESTEROS**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	11
<b>LISTA DE TABLAS</b>	13
<b>RESUMEN</b>	14
<b>GLOSARIO</b>	15
<b>INTRODUCCIÓN</b>	17
<b>1. DEFINICION: GE-PON</b>	20
1.1 Topología PON	21
1.1.1 Descripción de la topología PON	21
1.2 Gigabit Ethernet	23
1.2.1 Arquitectura de Protocolo Gigabit Ethernet	26
1.2.1.1 Logical Link Control Layer (LLC)	27
1.2.1.2 Gigabit Interfase Independiente del Medio	27
1.2.1.3 MII (Media Independent Interface)	28
1.2.1.4 Canal de fibra (fibre channel)	28
1.2.1.4.1 Capa de FC-0	29
1.2.1.4.2 Capa de FC-1	30
1.2.1.4.3 Capa de FC-2	30
1.2.1.4.4 Capa de FC-3	30
1.2.1.4.5 Capa de FC-4	31
1.2.2 Serializar/Des-serializar	31
1.2.3 Codificación 8B/10B	31
1.2.3.1 PCS en 1000 Base – T	32
1.2.3.2 PMA. en 1000 Base – T	33



1.2.3.4 PMD en 1000 Base – T	33
1.2.4 Formato de la trama Gigabit Ethernet	34
<b>2. ARQUITECTURA BASICA GE-PON</b>	<b>35</b>
2.1 Red de Transporte	35
2.2 Red del Proveedor de Servicios	36
2.3 Red de Acceso	37
<b>3. TIPOS DE ARQUITECTURA DE GE-PON</b>	<b>37</b>
3.1 Escenario FTTB	38
3.2 FTTB para MDU	39
3.3 FTTB para empresas	39
3.4 Escenarios FTTC y FTTCab	39
3.5 Escenario FTTH	40
3.5.1 Características de la arquitectura de la red de acceso para la FTTH (Fiber to the home)	41
3.5.1.1 Red punto a punto	41
3.5.1.2 Red anular	42
3.5.1.3 Red punto a multipunto	43
<b>4. STANDARD GE-PON</b>	<b>45</b>
4.1 Autenticación de la ONU	47
4.2 Encriptación	48
4.3 Control de prioridad	48
<b>5. ASIGNACION DINAMICA DEL ANCHO DE BANDA (DBA – DYNAMIC BANDWIDTH ALLOCATION)</b>	<b>48</b>
5.1 Control de ancho de banda	49
5.2 Control de atraso	50
<b>6. COMPONENTES OPTICOS GE-PON</b>	<b>51</b>
6.1 Componente de derivación (de fibra óptica)	52
6.2 Amplificador óptico	52
6.3 Atenuador óptico	52
6.4 Compensador de dispersión pasivo	52
6.5 Filtro óptico	52

6.6 Repartidores ópticos (ODF, optical distribution frames)	53
<b>7. PROTECCION DE GE-PON</b>	<b>53</b>
7.1 Tipos de conmutación	53
<b>8. TRANSMISION DE VIDEO EN GE-PON</b>	<b>54</b>
<b>9. SISTEMA DE ACCESO NG (Next Generation) WDM UTILIZANDO TECNOLOGIA CWDM</b>	<b>56</b>
<b>10. EJEMPLO DE ARQUITECTURA DE GEPON</b>	<b>59</b>
10.1 Modelo propuesto	59
10.2 Ejemplo de las tecnologías de diseño estructural de la red óptica de acceso	61
10.3 Configuración de la red óptica de acceso	61
10.4 Optimización del tamaño del bucle (zona de alimentación)	62
10.5 Optimización del tamaño de la zona de derivación al cliente (zona de distribución)	62
10.6 Configuración del bloque de distribución	63
10.7 Equipos GE-PON	64
<b>11. APLICACIONES GEPON</b>	<b>68</b>
11.1 Triple Play	68
11.1.1 Ventajas del triple-play	68
11.2. VOIP	68
11.3 IPTV	71
<b>12. GE-PON EN COLOMBIA</b>	<b>71</b>
<b>13. VENTAJAS GEPON</b>	<b>71</b>
<b>ABREVIATURAS</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Características principales y sistema de configuración GE-PON.
- Figura 2. Topología de una red PON
- Figura 3. Topología Gigabit Ethernet
- Figura 4. IEEE 802.3 y ANSI X3T11
- Figura 5. Arquitectura de Protocolo
- Figura 6. Capas del canal de la fibra
- Figura 7. Gigabit Ethernet en el modelo OSI.
- Figura 8. Formato de la Trama Gigabit Ethernet
- Figura 9. Arquitectura Básica GE-PON
- Figura 10. Arquitectura de red
- Figura 11. Red punto a punto.
- Figura 12. Red anular (punto a punto)
- Figura 13. Red anular (múltiple).
- Figura 14. Red punto a multipunto (con 2 derivaciones)
- Figura 15. Apilamiento del Protocolo GE-PON
- Figura 16. Construcción del sistema
- Figura 17. Function stack
- Figura 18. DBA
- Figura 19. Mecanismo que activa el DBA
- Figura 20. Conexión a la red de servicios a través de autenticación.
- Figura 21. Modelo del sistema dúplex
- Figura 22. Video transmisión utilizando tecnología WDM. Sistema GE-PON.
- Figura 23. Ilustración esquemática de un sistema de acceso WDM.
- Figura 24. Comparación entre DWDM y CWDM
- Figura 25. Conexión GE-PON
- Figura 26. Zona de distribución
- Figura 27. Derivación
- Figura 28. BBS 1000 OLT.

Figura 29. 100 ONU

Figura 30. Equipos para pérdidas multifuncional

Figura 31. Equipos para fuente de luz

Figura 32. Equipos para medir potencia

Figura 33. Equipos para medir pérdidas ópticas

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Diferencias según el tamaño del bloque de distribución

Tabla 2. Comparación Ethernet

Tabla 3. Comparación GE-PON

## RESUMEN

La red óptica pasiva para gigabit Ethernet (GEPON) es un método de acceso óptico de alta velocidad que ha sido estandarizado por la IEEE como 802.3ah, y ésta tecnología a atraído la atención de muchos operadores de cable que han comenzado a proveer servicio de fibra óptica a los usuarios.

GE-PON fue especificado por la IEEE 802.3ah como Ethernet in the first mile (EFM- Ethernet en la primera milla) como una serie de interfaces en Junio de 2004.

Las nuevas tendencias de entretenimientos y negocios obligan el empaquetamiento de todos los servicios en una sola red, entonces, esta convergencia exige a las redes existentes un gran ancho de banda e incluso capacidad de escalabilidad y sobre todo robustez para el transporte. La tecnología de fibra óptica desplegada como red PON bajo el estándar Gigabit Ethernet, permitirán la convergencia de de todos los servicios actuales. Una red de GEPON puede proporcionar fácilmente 30 Mbps de la anchura de banda simétrica a cada consumidor, es más que considerable para los usuarios que requieran el uso de video, voz y datos.

GEPON es más eficiente y económico que el DSL y proporciona más anchura de banda al suscriptor. El direccionamiento de la red es más fácil y menos costosa que otras tecnologías.

La arquitectura de GEPON permite el despliegue económico y fácil de la fibra óptica al hogar o hasta redes corporativas, convirtiéndose en una tecnología apetecible tanto para el operador de red como para el usuario final.

## GLOSARIO

**AF, Adaptation Function (Función de adaptación):** Equipo adicional que convierte la interfaz de abonado ONT/ONU en una interfaz UNI necesaria para el operador o para convertir una interfaz UNI en una interfaz de abonado ONT/ONU. Las funciones de la AF dependerán de la interfaz de abonado ONT/ONU y de la interfaz UNI. Además, la AF es útil también para convertir una interfaz de red OLT en una interfaz SIN necesaria para el operador o para convertir una interfaz SIN en una interfaz de red OLT.

**Alcance físico:** Se define como la distancia física máxima que puede alcanzar un sistema de transmisión particular.

**Alcance lógico:** Se define como la distancia máxima que puede alcanzar un sistema de transmisión particular, independientemente de la potencia óptica.

**Distancia de fibra diferencial:** Una OLT se conecta a varias ONU/ONT. La distancia de fibra diferencial es la diferencia de distancia entre la ONU/ONT más próxima y la más distante a partir de la OLT.

**Retardo medio de transferencia de la señal:** Los valores medios en transmisión hacia el origen y hacia el destino entre puntos de referencia “V” y “T”; un valor dado se determina midiendo el retardo de ida y retorno y dividiendo por dos el valor obtenido.

**OAN, Optical Access Network ( Red de acceso óptico):** El conjunto de enlaces de acceso que comparten las mismas interfaces del lado red y están soportados por sistemas de transmisión de acceso óptico. La OAN puede incluir varias ODN conectadas a la misma OLT.

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

**OLT, Optical Line Termination (Terminación de línea óptica):** Una OLT proporciona la interfaz en el lado de la red de la OAN, y está conectada a una o varias ODN.

**ONT, Optical Network Termination (Terminación de red óptica):** Una ONU utilizada para FTTH y que incluye la función de puerto de usuario

**ONU, Optical Network Unit (unidad de red óptica):** Una ONU proporciona (directamente o a distancia) la interfaz lado usuario de la OAN, y está conectada a la ODN.

**Servicio:** Se define como un servicio de red que es necesario para los operadores. El servicio se describe mediante un nombre fácilmente reconocible por cualquier persona, independientemente de que se trate de un nombre de estructura de trama o de un nombre genérico.



## INTRODUCCION

En los últimos años, la Sociedad de la Información ha experimentado un rápido desarrollo, debido, en gran parte, a la mayor competitividad impulsada por la desregulación del Mercado de las Telecomunicaciones y a la aparición de nuevos servicios de banda ancha.

En este sentido, la tecnología de la fibra óptica se presenta como una firme solución al problema gracias a la robustez, a su potencial ancho de banda ilimitado y al continuo descenso de los costes asociados a los láseres. Si a los aspectos anteriores unimos que las nuevas construcciones (nuevas urbanizaciones, nuevos bloques de viviendas, centros comerciales) ya integran cableado estructurado de fibra óptica monomodo por su bajo coste marginal en el proyecto, estamos hablando de un escenario completamente abonado para poder desplegar soluciones de conectividad en fibra óptica que directamente lleguen hasta la vivienda, lo cual es conocido como solución de última milla.

Conociendo la importancia de encontrar soluciones económicas de última milla, en el mercado se ofrece una serie de soluciones que permiten a los prestadores de servicios conectar a través de diferentes medios, su plataforma de telecomunicaciones con cualquier usuario en cualquier lugar.

Las soluciones ofrecidas son muy variadas, desde tecnologías para la implementación de redes de acceso en cobre, pasando por redes coaxiales e inalámbricas hasta llegar a redes de acceso con fibra óptica de última generación.

Fiber-to-the-home (FTTH) es la mejor tecnología de acceso de banda ancha capaz de desarrollar cualquier catálogo interactivo imaginable de servicios, tales como televisión de alta definición (HDTV) multicanal, con menores pérdidas que en cobre y xtens de ventajas competitivas para los operadores y proveedores de servicio. GEPON es una tecnología pasiva FTTH punto a multipunto que ofrece a los proveedores de servicio y operadores de cable una

transición sencilla de cobre basado en redes “última milla” a infraestructura de fibra, eliminando los componentes electrónicos activos de la planta exterior.

La eliminación de los componentes activos significa que consiste en una sola fuente de luz bidireccional y un número de divisores ópticos pasivos que dividan la secuencia de datos en los acoplamientos individuales para dar el servicio a cada cliente.

En términos más concretos, un sistema de telefonía IP requiere mínimo 64Kb por suscriptor; para el sistema de televisión digital o de alta definición se necesitan en promedio 6Mb por televisor; para el servicio de Internet de banda ancha un mínimo de 6Mb de velocidad es suficiente para la satisfacción del cliente.

Todo esto gracias a la fibra óptica. Una fibra óptica monomodo comercial puede transmitir hasta los 1.25Gb a una distancia de hasta 120Km sin amplificador o equipo que impida la dispersión de la señal. Esto nos da una idea del potencial de transmisión de datos que se tiene simplemente a través de una sola fibra óptica.

Los estándares GEPON de ancho de banda soportan velocidades Gigabit para un suscriptor, aunque los despliegues típicos ofrecen ratios simétricos de 32 Mbps para múltiples abonados.

GEPON es una solución FTTH ideal porque aprovecha la simplicidad de Ethernet y la velocidad de la fibra, y permite al usuario disponer de servicios triple-play , lo cual se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales de forma simultánea: Televisión (video en demanda o TV difundida convencional), Acceso a Internet de alta velocidad y la posibilidad de hacer y recibir llamadas sobre una sola infraestructura de acceso, VoIP (intenta permitir que la voz viaje en paquetes IP y obviamente a través de Internet).

GE-PON fue especificado por la IEEE 802.3ah como uno de los más importantes avances en tecnología de ultima milla; pertenece a la serie de interfaz Ethernet lanzado en junio de 2004. Proporciona una variedad amplia de

servicios de banda ancha y tiene en cuenta las capacidades futuras, la serie 1000 BASE-PX esta especificada en el estándar de IEEE 802.3ah. 1000 BASE-PX10 (hasta 10 kilómetros) y 1000 BASE-PX20 (hasta 20 kilómetro).

## 1. DEFINICION: GE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network)

En el 2004, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) recomendó la tecnología Ethernet para ser utilizada en las líneas de acceso, y fue nombrada como IEEE 802.3ah. Fue anunciada como un sistema de acceso óptico de alta velocidad, porque utilizaba tecnología Ethernet.

La recomendación de la ITU la identifico como un sistema “EPON”, pero con el objetivo de ser aceptada como Gigabit, entonces se creó una nueva tecnología llamada GE-PON.

Fue así como en Junio de ese año se presentó el nuevo sistema GE-PON en Japón.

Como se muestra en la figura 1, GE-PON tiene tres características principales:

- 1) Una topología PON.
- 2) Una velocidad de transmisión de 1 Gbps gracias a Gigabit Ethernet.
- 3) Las señales que son enviadas y recibidas, utilizan tramas Ethernet.

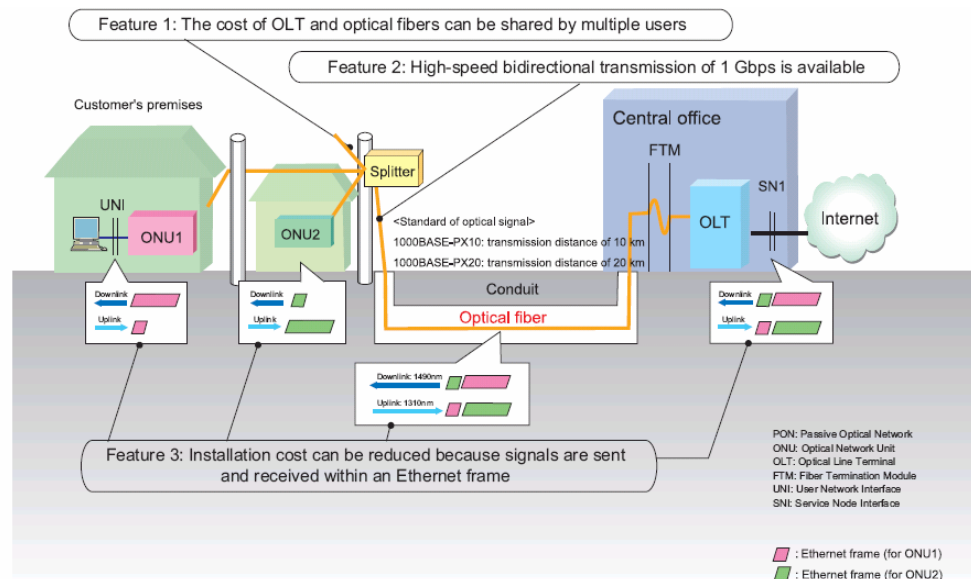


Figura 1. Características principales y sistema de configuración GE-PON.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Networks Novel FTTH Technology Novel for Optical Access By Tadanobu Okada

## **1.1 Topología PON**

El sistema PON está compuesto de una Terminal de línea óptica (OLT) en la oficina central, y una unidad óptica de red (ONU) en la lado del usuario. La ONU esta enlazada con la OLT vía fibra óptica. Entre la ONU y la OLT se encuentra un equipo llamado Splitter o divisor óptico, que permite compartir múltiples ONUs a la misma OLT.

En el sistema PON, el propósito de compartir varias ONUs en un Splitter es economizar dinero, porque se utiliza una sola fibra óptica y un solo equipo hasta la central de telecomunicaciones. Además que el envío y recibo de señales con tramas Ethernet, hacen versátil el sistema porque ayudan a reducir costos y tener componentes sencillos para mantenimiento.

Las señales y las ondas ópticas son reguladas en la capa física, permitiendo de ésta forma la facilidad en el manejo del modelo OSI; no recurriendo ni involucrando otras capas.

Hay básicamente dos tipos de regulaciones: la 1000BASE-PX10, el cual es utilizado en la transmisión de hasta 10 Km., y la 1000BASE-PX20, que es utilizado en transmisiones de hasta 20 Km.

Por tanto, dado que cada ONU puede solo recibir señales destinadas a su única dirección, un identificador es puesto en la cabecera de la trama Ethernet. En la capa de transmisión de datos, a cada ONU se le asigna un tiempo de transmisión por la OLT, para prevenir una colisión de señales de las diferentes ONUs que pasan por el Splitter.

### **1.1.1 Descripción de la topología PON**

PON es una tecnología punto-multipunto. Todas las transmisiones en una red PON se realizan entre la unidad Óptica Terminal de Línea (OLT –Optical Line Terminal-), localizada en el nodo óptico o central y la Unidad Óptica de Usuario (ONU). Habitualmente la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red. La unidad ONU se ubica en domicilio de usuario, configurando un esquema FTTH (fibra hasta el usuario, Fiber To The Home).

Existen varios tipos de topologías adecuadas para el acceso a red, incluyendo topologías en anillo (no muy habituales), árbol, árbol-rama y bus óptico lineal, como aparece en la Figura 2. Cada una de las bifurcaciones se consiguen encadenando divisores ópticos 1x2 o bien divisores 1Xn. En algunos casos, dependiendo de la criticidad del despliegue, a red de acceso puede requerir protección.

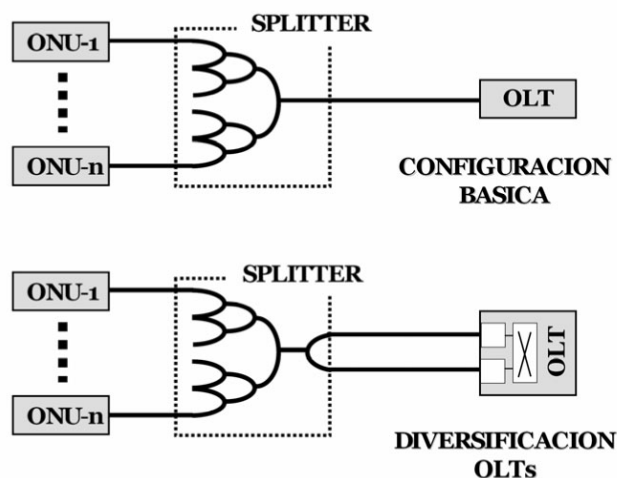


Figura2. Topología de una red PON

Todas las topologías PON utilizan monofibra para el despliegue. En canal descendente una PON es una red punto multipunto. El equipo OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se reparte a los usuarios en intervalos temporales. En canal ascendente la PON es una red punto-a punto donde múltiples ONUs transmiten a un único OLT. Trabajando sobre monofibra, la manera de optimizar las transmisiones de los sentidos descendente y ascendente sin entremezclarse consiste en trabajar sobre longitudes de onda diferentes utilizando técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing). La mayoría de las implementaciones superponen dos longitudes de onda, una para la transmisión en sentido descendente (1290nm) y otra para la emisión a la cabecera (1310nm) –sentido ascendente-. La evolución de la tecnología óptica ha permitido miniaturizar los filtros ópticos necesarios para esta separación hasta llegar a integrarlos en los transceivers ópticos de los equipos

de usuario. Se utilizan estas portadoras ópticas en segunda ventana (en lugar de trabajar en tercera ventana) para contener al máximo los costes de la optoelectrónica.

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

Las arquitecturas PON también han tenido que resolver otro aspecto importante: la dependencia de la potencia de transmisión del equipo OLT con la distancia a la que se encuentra el equipo ONU, que como se ha detallado anteriormente, puede variar hasta un máximo de 20Km. Evidentemente un equipo ONU muy cercano al OLT necesitará una menor potencia de su ráfaga para no saturar su fotodiodo. Los equipos muy lejanos necesitarán que su ráfaga temporal se transmita con una mayor potencia. Esta prestación también ha sido introducida recientemente en los transceptores ópticos PON, que han simplificado notablemente la electrónica anteriormente necesaria para actuar sobre un control de ganancia externo al transceptor. La nueva óptica miniaturiza, integra y simplifica el trabajo con ráfagas de diferente nivel de potencia.

## **1.2 Gigabit Ethernet.**

El Ethernet es la tecnología de redes más popular y de mayor implementación en el mundo. A mediados de los años 90, un avance en el Ethernet, llamado Fast Ethernet, surgió como estándar y fue adoptado rápidamente por los clientes que veían la necesidad de un rendimiento de redes más alto. Aumentando diez veces la velocidad de la red, el Fast Ethernet impulsó a las

redes de 10 megabits por segundo (Mbps) a 100 Mbps. Luego en los últimos años surgió Gigabit Ethernet.

Gigabit Ethernet es la extensión del estándar IEEE 802.3, Pertenece a la estructura del protocolo Ethernet pero aumentando la velocidad a 1000 Mbps o 1Gbps, considerándose como el estándar IEEE 802.3z y otro grupo la desarrollo en forma simultánea la alianza *Gigabit Ethernet Alliance*, la cual se formo por 11 empresas (3Com, Bay Networks, Cisco Systems, Compaq Computer, Granite Systems, Intel Corporation, LSI Logic, Packet engines, Sun Microsystems Computer Company, UB Networks y VLSI Technology.) interezadas en el proyecto de GigE, lanzado en junio de 1998. El estándar Gigabit Ethernet es compatible completamente con las instalaciones existentes de redes Ethernet. Reteniendo el mismo método de acceso CSMA/CD, retiene el mismo formato de trama Ethernet y los tamaños de trama mínimo (64 bytes) y máximo (1514 bytes), soporta modos de operaciones como Full-Duplex y Half-Duplex. También soporta fibra mono-modo y multi-modo y cable coaxial short-haul. En un inicio se considero como backbone para otras tecnologías, como aparece en la Figura 3.

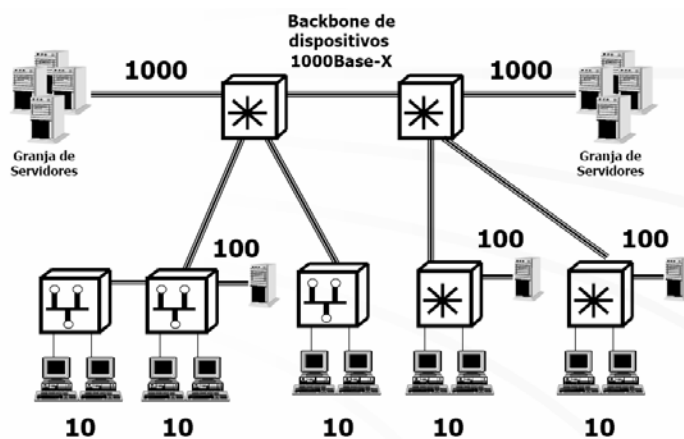


Figura 3. Topología Gigabit Ethernet

Esta tecnología de acceso puede ser usada para agregar tráfico entre clientes y "server farms" e interconectando switches Fast Ethernet, estos pueden ser usados para interconectar extensiones y servidores de aplicaciones de alto



ancho de banda tales como imágenes medicas o CAD. Muchas veces, los servidores crean cuellos de botella en la red porque sólo se usan tarjetas de 10/100 Mbps en los servidores. En este caso, aunque haya un switch Gigabit en el centro, el límite de 10/100 Mbps tiene el efecto de no permitir que los usuarios gocen del máximo de beneficios de la red troncal Gigabit. La solución Gigabit confiable está compuesta de un switch y tarjetas interfaz para la red (NICs) Gigabit.

GigE (Gigabit Ethernet) fue posible gracias a la combinación de dos tecnologías Ethernet de IEEE 802.3 y canal de la fibra del ANSI X3T11, como puede verse en la Figura 4. En esta unión el estándar puede aprovecharse de la tecnología física de alta velocidad del canal de la fibra manteniendo la facilidad, fiabilidad, y la compatibilidad con las tecnologías en uso del estándar IEEE 802.3. Este panorama ayuda a reducir al mínimo la complejidad de la tecnología, dando por resultado una tecnología estable que pueda ser desarrollada rápidamente.

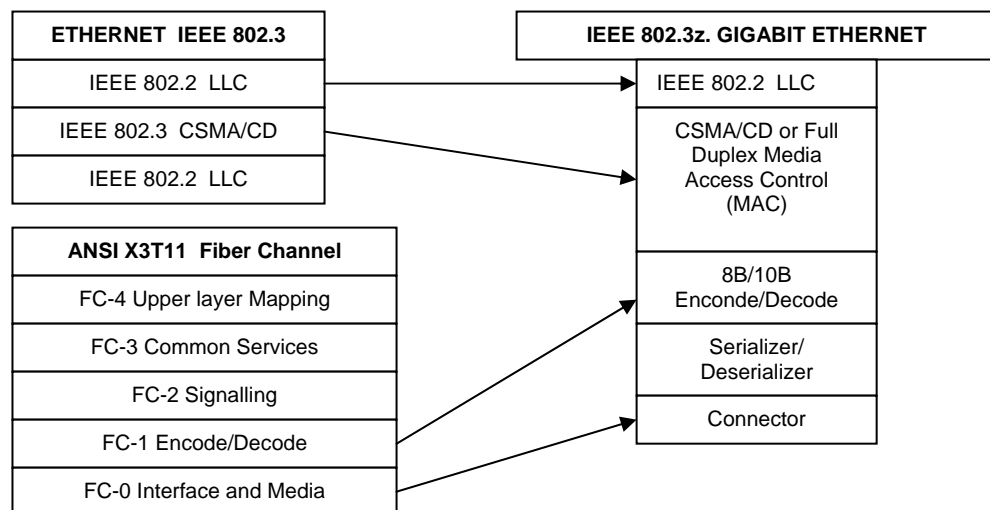


Figura 4. IEEE 802.3 y ANSI X3T11

Por medio de la tecnología emergente GEPON que integra el Gigabit Ethernet con el uso de la fibra hasta el hogar (FTTH) y hasta edificios de oficinas se

mejoran problemas de eficiencia de la red, costos por el uso de fibra, los cables de fibra son altamente resistentes a la interferencia electromagnética, al fisgoneo (snooping/sniffing) de paquetes y a la degradación de señales; haciéndolos ideales para cableados de distancias más grandes, LANs de mayor seguridad y ambientes eléctricamente “ruidosos”, entre otras, consiguiendo una red de alta velocidad, las aplicaciones de negocios funcionan con mayor rapidez. Información e imágenes se comparten más rápidamente y el acceso a información se mejora considerablemente. Cada vez hay más organizaciones que escogen Gigabit Ethernet para crear redes de alto rendimiento.

### **1.2.1 Arquitectura de Protocolo Gigabit Ethernet**

La Figura 5, muestra la capa física, repetidor y parámetros de 1Gbps. Gigabit Ethernet fue diseñado para que funcionara con fibra óptica , debido a que fue concebida bajo normas del protocolo IEEE 802.3 y normas para el canal de fibra ANSI X3T11. También existen unos estándares que permiten a GigE funcionar por medio de cobre categoría 5. Los estándares de GigE de fibra o cobre se explicaran más adelante. GigE tiene protocolos para su funcionamiento específicamente en fibra óptica que son: logical link control(LLC), MAC; GMII Gigabit Media Independent Interface), PCS (Physical Coding Sublayer), PMA (Physical Medium Attachment), PMD (Physical Medium Dependent sublayer). Estos protocolos funcionan con alguna diferencia para los estándares que utilizan el cobre.

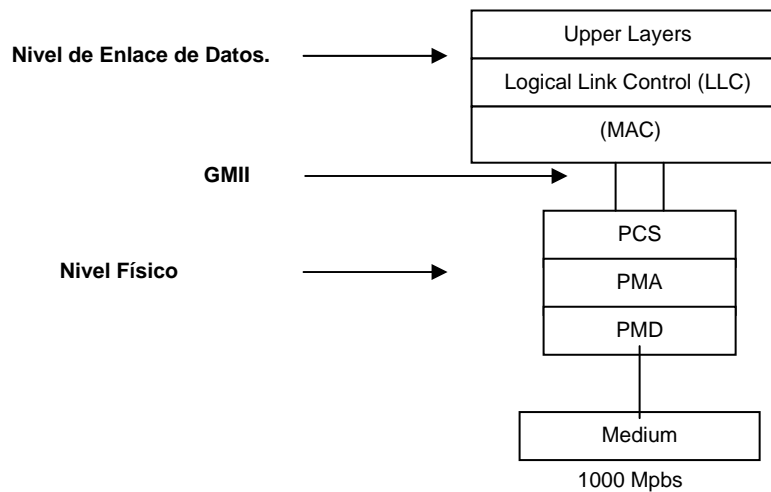


Figura 5. Arquitectura de Protocolo

### 1.2.1.1 Logical Link Control Layer (LLC)

El Logical Link Control (LLC) es responsable de proporcionar servicios a la capa de red sin importar tipo de medios, tal como FDDI, Ethernet, token ring, y así sucesivamente. La capa del LLC hace uso las unidades de datos de protocolo del LLC (PDUs) para comunicarse entre la capa del Media Access Control (MAC) y las capas superiores del protocol stack. La capa del LLC utiliza tres variables para determinar el acceso en las capas superiores vía el LLC-PDU. Esas direcciones son el punto de acceso de servicio de la destinación (DSAP), el punto de acceso de servicio de la fuente (SSAP), y controlan variable. La dirección de DSAP especifica un identificador único dentro de la estación que proporciona la información del protocolo para la capa superior; el SSAP proporciona la misma información para la dirección de la fuente. *DSAP y SSAP: Son los puntos de acceso al servicio.*

### 1.2.1.2 Interface Independiente del Medio (GMIi)

Interfaz encargada de enlazar las funciones de nivel MAC y de nivel físico del dispositivo GbE. GMIi- Gigabit Media Independent Interface. Análoga a la AUI (Ethernet) y a la MII.

GMII no soporta un transceiver externo, convierte las diversas señales recibidas del medio por el PHY a señales de datos estandarizados digitales. El GMII sólo soporta 1000 Mbps. Cuando la interface utiliza varias velocidades, es porque trae un MII adicional. Cuando la interface solo soporta 1000BASE-X, no se utiliza un GMII. Se utiliza un Ten-Bit Interface (TBI). También, existe un GBIC (Gigabit Interface Converter) y es posible que lo llamen “transceiver gigabit” con este dispositivo se puede seleccionar entre 1000Base-LX ó 1000Base-SX, los GBICs de diferentes fabricantes de equipos no son necesariamente compatibles.

#### **1.2.1.3 MII (Media Independent Interface)**

Utilizado en la tecnología Fast Ethernet. Permite que “cualquier nivel físico” sea usado con el nivel MAC. Provee trayectorias separadas de Tx/Rx de 8 bits, puede soportar operación full/half extens. Esto porque Gigabit Ethernet sirve como plataforma para fast Ethernet.

#### **1.2.1.4 Canal de fibra (fibre channel)**

El sistema de señalización de 1000 Mbps está basado en el esquema diseñado originalmente para el canal de fibra. El canal de fibra es una tecnología para transmitir datos entre dispositivos a una tasa de 1 Gbps (Norma X3T11 de la ANSI). Está diseñado para interconectar controladores y unidades de almacenamiento. Se espera que reemplace a SCSI (Small Computer System Interface), pues es más rápido, permite mayor distancia entre dispositivos (hasta 10 kilómetros). Al igual que SCSI, el canal de fibra está diseñado para interconectar controladores y unidades de almacenamiento. El canal de fibra consta de un enlace con dos fibras unidireccionales transmitiendo en direcciones opuestas. El canal de fibra define 5 capas (FC0, FC1, FC2, FC3 y FC4). La implementación de 1 Gigabit del canal de fibra (capas FC0 y FC1) sirve como base para la capa física de Gigabit Ethernet. FC0 define el enlace físico básico (en LASER), incluyendo las interfaces y FC1 define la codificación

y decodificación de señales (código de bloque 8B10B) y el esquema de detección de errores. Las comunicaciones de datos se pueden categorizar en dos tipos; canales y redes. Los canales son acoplamientos del Point-to-Point entre los dispositivos que se comunican. Los canales funcionan a las velocidades del hardware, con gastos mínimos del software. Los ejemplos de las comunicaciones de datos del canal incluyen SCSI y el HIPPI. Básicamente, los canales son hardware intensivo mientras que las redes están orientadas al software. Los canales son simples, proporcionan un rendimiento más alto y entrega garantizada, mientras que las redes son más flexibles en el coste de un rendimiento de procesamiento más bajo. El canal de la fibra combina las cualidades deseables de cada uno. El canal de la fibra proporciona un acoplamiento serial de alta velocidad y tiene protocolos de alto nivel tales como SCSI, HIPPI e IP. La figura FC-1 ilustra la arquitectura del protocolo del canal de la fibra. Hay cinco capas, FC0 – FC4, que se cubren brevemente. Las primeras tres capas se especifican en el documento de FC-PH. La arquitectura del canal de fibra se muestra a continuación. Ver Figura 6.

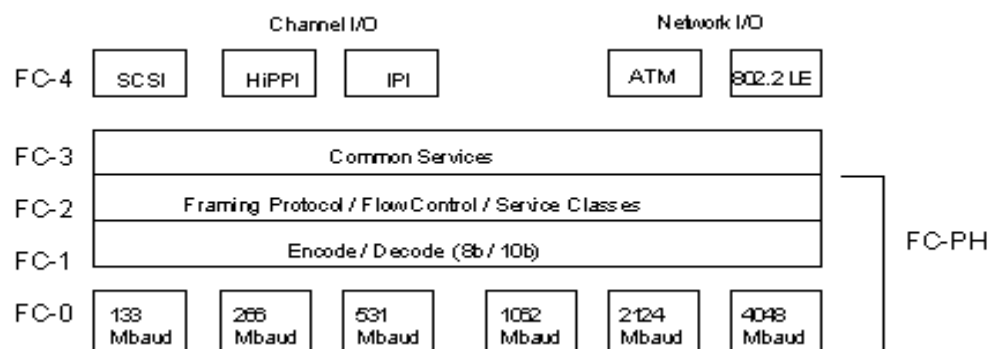


Figura 6. Capas del canal de la fibra

#### 1.2.1.4.1 Capa de FC-0

FC-0 especifica las características físicas del interfaz y de los medios, incluyendo los cables, los conectadores, los transmisores/los receptores etc. Actualmente, hay productos disponibles de 133 Mbaud, hasta la primera velocidad de Gbaud. Las tarifas más altas se han aprobado como estándares,

no obstante no hay productos disponibles todavía. Los medios de cobre (coaxial y twisted pair) también se soportan para las distancias limitadas.

#### **1.2.1.4.2 Capa de FC-1**

FC-1 define el 8B/10B que codifica y descifra. FC transmite 10 partes para cada 8 bits de datos. Por lo tanto la tarifa de *datos* real es el aproximadamente 25% menos (es decir 100 datos de Mbps con los 133 Mbps). IBM, que da una licencia para su uso, ha patentado el esquema de codificación 8B/10B.

#### **1.2.1.4.3 Capa de FC-2**

FC-2 es la base de las especificaciones y de los servicios del canal de la fibra como el mecanismo del transporte del canal de la fibra. FC-2 define la estructura para los formatos del canal de la fibra, el control de flujo, así como las clases del servicio que el canal de la fibra soporta. Para apoyar todas estas funciones, FC-2 define varios formatos del mensaje: Sistema, marco, secuencia, e intercambio pedidos. Las clases del servicio del canal de fibra se discuten en la subdivisión siguiente.

#### **1.2.1.4.4 Capa de FC-3**

FC-3 define los servicios comunes necesarios para las capacidades de alto nivel. Mientras que la capa FC-2 trata de N\_Ports individual, la capa FC-3 cubre las funciones que atraviesan N\_Ports múltiple. Entre las características avanzadas previstas están :

1. Marcas a través de los puertos múltiples de FC para transmitir datos en el paralelo (es decir multiplexación inversa)
2. Mejorar eficacia en redes con los servidores centralizados
3. Ayuda del Multicasting.

#### **1.2.1.4.5 Capa de FC-4**

FC-4 define el protocolo de capa superior a los servicios del canal de la fibra. La capa FC-4 es análoga a la capa de la atmósfera SSCS.

#### **1.2.2 Serializar/Des-serializar.**

La subcapa PMA (Subcapa Física de Acceso al Medio) encargada de serializar los códigos de bit y des-serializarlos a la vez. El serializar/des-serializar se realizan esquemas de codificación múltiples y no permite la presentación de éstos esquemas de codificación a las capas superiores. Los datos que incorporan la subcapa física (PHY) entrarán con el PMD (Physical Medium Dependent Sublayer) y necesitarán tener el esquema de codificación apropiado a los medios. El esquema de codificación para el canal de la fibra es 8B/10B, diseñado específicamente para la transmisión del cable fiber-optic.

#### **1.2.3 Codificación 8B/10B**

La capa del canal FC-1 de la fibra describe la sincronización y el esquema de codificación 8B/10B. FC-1 define el protocolo de la transmisión, incluyendo la codificación serial y descifrar a desde la capa física, los caracteres especiales, y el control de error. Gigabit Ethernet utiliza la misma codificación/descifrar, según lo especificado en la capa FC-1 del canal de la fibra. El esquema utilizado es la codificación 8B/10B. Este esquema es similar a la codificación 4B/5B usada en el FDDI; sin embargo, la codificación 4B/5B fue rechazada para el canal de la fibra.

El método de codificación 8b/10b hace que al enviar datos de tamaño de un byte (datos genéricos o caracteres de control), estos se codifiquen en una secuencia de 10 bits y luego deben ser enviados en serie bit a bit. En el otro lado se recibirán 10 bits cada vez, que se deben almacenar en un carácter que estará codificado por lo que este deberá ser decodificado mediante la transformación contraria a la inicial, por lo que ahora pasará de ser 10 bits a ser 8 bits. Mediante este método de codificación disponemos de 256

combinaciones de datos de 8 bits, de estos el Serial ATA utiliza un número reducido de combinaciones de codificación de los 8 bits en 10 bits. Ésto que hace que la detección de errores sea más fácil y que la señal que se envíe sea más eficiente.

#### **1.2.3.1 PCS.**

La PCS es la sub-capa de la capa GMII que provee una interfaz uniforme para la reconciliación de capas por todo el medio físico. Usa código 8B/10B empleado por canales de fibra. En estos tipos de códigos 8 bits están representados por 10 bits “grupos de códigos”. Algunos grupos de códigos representan datos simbólicos de 8 bits. Otros son símbolos de control. Los símbolos de extensión usados en el Carrier Extension son un ejemplo de símbolos de control. Esta subcapa ofrece las funciones de codificación/decodificación 8B10B (adoptada de la subcapa FC-1 del canal de fibra). Cada byte se divide en dos grupos. El primer grupo tiene los 3 bits más significativos (bits y) y el segundo grupo contiene los menos significativos (bits x). Cada byte se representa de la forma /Dx.y/, donde x representa el valor decimal de los cinco bits menos significativos y “y” representa el valor decimal de los tres más significativos. Por ejemplo:

/D0.0/ = 000 00000

/D6.2/ = 010 00110

/30.6/ = 110 11110

Existen 12 símbolos especiales que no representan datos. Se notan como /Kx.y/, la codificación 8B10B se utiliza para controlar los ceros y unos consecutivos. Los códigos de 10 bits deben tener: cinco unos y cinco ceros, cuatro unos y seis ceros, seis unos y cuatro ceros. La PCS realiza también las tareas de autonegociación, sincronización, procesos de transmisión y recepción.



### 1.2.3.2 PMA.

La PMA es responsable de serializar cada código de 10 bits recibidos de la PCS y enviar los datos serializados a la PDM tiene el mismo funcionamiento que el canal de fibra. Realiza la tarea inversa: des-serializar cada código de 10 bits recibidos y pasarlos a la PCS. Alinea los datos seriales que llegan antes de pasarlos a la PCS.

### 1.2.3.4 PMD.

La PMD es la conexión física al medio: puede ser una unidad óptica (longitud de onda de 780 ó 1300 nm) para F.O. ó un transceiver con conector RJ45 para UTP extensión 5. Para una implementación CSMA/CD, el máximo diámetro de la red no debe exceder los 200 metros sin importar cual sea el medio. La señalización de línea física utilizada en 1000Base-X para transmitir los códigos de 10 bits es NRZ. Transmitir 8 bits como 10 bits en hace que los 1000Mbps sean 1250 Mbaudios. (un LED sólo puede transmitir a 622 MHz, esto obliga a utilizar diodos laser.

Todas las capas del modelo OSI antes mencionadas aparecen en la Figura 7.

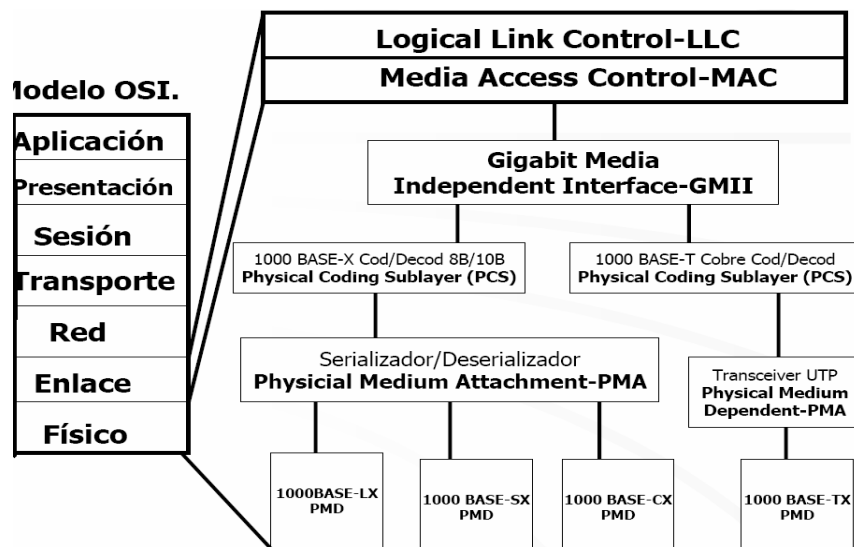


Figura 7. Gigabit Ethernet en el modelo OSI.

#### **1.2.4 Formato de la trama Gigabit Ethernet**

Ethernet tiene una trama mínima de 64 bytes, la razón de tener un tamaño mínimo en la trama es para prever que las estaciones completen la transmisión de una trama antes de que el primer bit sea detectado al final del cable, donde este puede chocar con otra trama. Sin embargo, el tiempo mínimo de detección de colisión es el tiempo que toma una señal en propagarse por desde un extremo a otro del cable. Este tiempo mínimo es llamado Slot Time or Time Slot, que es el número de bytes que pueden ser transmitidos en un Time Slot, en Ethernet el Slot Time es de 64 bytes, la longitud mínima de trama. La trama de GigE se diferencia de la trama Ethernet por el carrier extensión, como se aprecia en la Figura 8, es una ruta del 802.3 que mantiene los tamaños de trama máximos y mínimos con distancias significativas de cableado. Expansión para mantener en 200 metros el diámetro de colisión a velocidades de Gigabit. Gigabit Ethernet usa un gran tamaño del slot, siendo de 510 bytes. Para mantener la compatibilidad con Ethernet, el mínimo tamaño de la trama no es incrementado, pero el "carrier event" es extendido. Si la trama es más corta que 512 bytes, entonces agregamos símbolos de extensiones. Hay símbolos especiales, los cuales no sucede en la carga útil o de valor para que el carrier sea extendido dentro de la trama, los símbolos de extensión de no-data son incluidos in la ventana de colisiones, que es, la trama entera extendida considerada por la colisión y caída. Sin embargo, la secuencia de chequeo en la trama (FCS) es calculada solamente en la trama original. Los símbolos de extensión son removidos antes que el FCS sea chequeado por el receptor. Por lo que la capa LLC (Control del Enlace Lógico) es ni siquiera avisado de la carrier extension. Se extiende el tiempo de CSMA/CD mínimo y el tiempo del time slot Ethernet de 64 a 512 bytes.

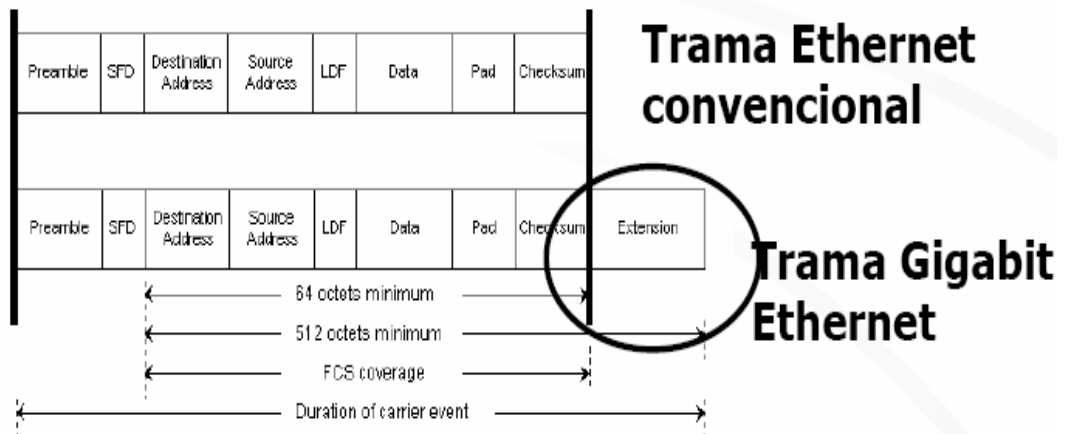


Figura 8. Formato de la Trama Gigabit Ethernet

## 2. ARQUITECTURA BASICA GE-PON.

En la Figura 9 observamos la composición de la arquitectura de una red GE-PON, que posee una estructura comprendida en tres partes empezando por la red de transporte, red del proveedor de servicios y la red de acceso o la última milla.

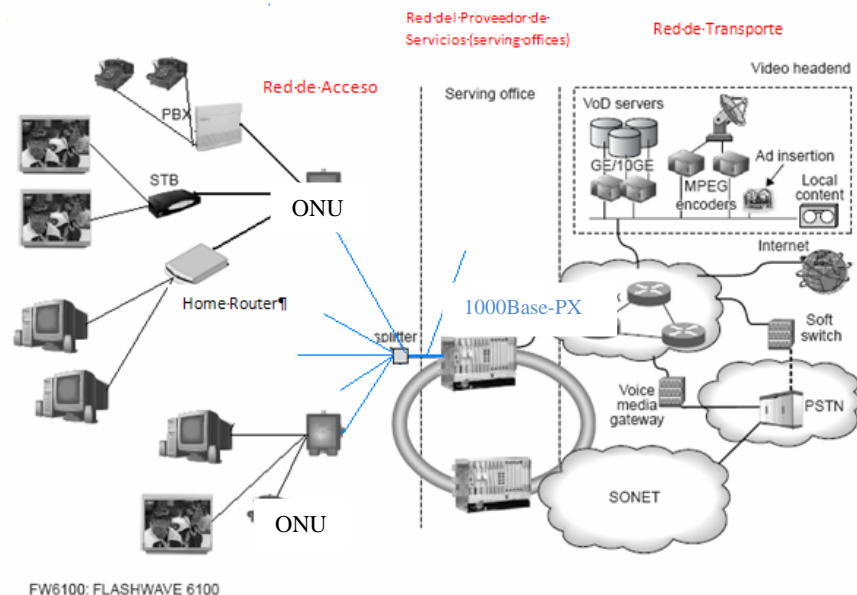


Figura 9. Arquitectura Básica GE-PON

### 2.1 Red de Transporte.

En esta parte de la red se encuentran ubicados la adquisición de los servicios que integra una red GE-PON. Se encuentra el Video Headend que es la parte

en donde el operador de video o televisión hace entrega de su contenido, también, se encuentra la PSTN para proveer el servicio de voz o en este caso VoIP y el proveedor de servicios de internet. Esta red debe ser robusta para soportar el tráfico de la red que demanda un amplio ancho de banda, debe permitir el flujo de datos en ambas direcciones.

## **2.2 Red del Proveedor de Servicios.**

En esta parte de la red se encuentra el último equipo del proveedor de servicios es el equipo de cabecera de la red de acceso u OLT (Optical Line Terminal). Aquí es donde se conforman los anillos de red de fibra entre OLT's para conformar la red PON y extenderla a mas usuarios. Habitualmente la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red. En la utilización de este dispositivo surgió una dificultad la cual es que los tendidos de fibra superarían distancias de mas de 10Km, evidentemente un equipo terminal de usuario ONU muy cercano al OLT necesitará una menor potencia de su ráfaga para no saturar su fotodiodo. Los equipos muy lejanos necesitarán que su ráfaga temporal se transmita con una mayor potencia. Para superar este contraste se utiliza DWDM (Dense wavelength Division Multiplexing), multiplexación por división en longitudes de onda densas. DWDM es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica. Esta técnica permite transmitir por la misma fibra óptica, impulsos de luz de diferentes frecuencias a la vez como canales independientes, permitiendo multiplicar la capacidad de transmisión del medio físico existente. Esta característica de las redes ópticas las hacen idóneas para cubrir la imparable demanda de mayores prestaciones de ancho de banda y velocidad de transmisión de esta manera se puede multiplicar el ancho de banda efectivo de la fibra óptica, así como facilitar comunicaciones bidireccionales.

### **2.3 Red de Acceso.**

La red acceso se compone principalmente de los equipos terminales que llegan al usuario y se tiene en cuenta el medio de transmisión que es especialmente la fibra óptica en los estándares correspondientes a GE – PON. En este punto de la red GEPON se encuentra el último equipo de la arquitectura de red y este es el ONU (Optical Network Unit). Una terminal de línea óptica (OLT-Optical Line Terminal) difunde tramas MAC a cada unidad de red óptica (ONU-Optical Network Unit) anexada a una PON, así que cada ONU recibe todas las tramas MAC. Sin embargo, una trama cabecera de 2 octetos llamada una LLID contiene dirección de información. Como resultado de esto, solo la ONU direccionada lee su trama MAC; las ONUs que no están direccionadas descartan las tramas que llegan a ellas. Por otra parte, la transmisión upstream o aguas arriba está basada en acceso de división múltiple de tiempo (TDMA – Time Division Multiple Access) para evitar la colisión de datos entre ONUs. La OLT asigna una ventana de transmisión llamada: gate, a cada ONU. Cuando una ONU recibe esta trama gate, ésta transmite tramas MAC a una tasa de 1Gbit/s durante la ranura de tiempo (time slot) asignado por el gate. El protocolo de control multipunto (MPCP – Multipoint control Protocol) contiene la asignación de el gate a cada ONU, el gate realiza la petición a la ONU, y esta se encarga de encontrar y registrar dicha ONU a la red PON.

### **3. TIPOS DE ARQUITECTURA DE GE-PON**

La sección óptica de un sistema de red de acceso local puede ser activa o pasiva y su arquitectura puede ser punto a punto o punto a multipunto. La figura muestra las arquitecturas disponibles, que van de la fibra hasta la vivienda (FTTH, fibre to the home), pasando por la fibra hasta el edificio/a la acometida (FTTB/C, fibre to the building/curb), hasta la fibra hasta el armario (FTTCab, fibre to the cabinet). La OAN (red de acceso óptico) es común a todas las arquitecturas presentadas en la figura 10; por consiguiente, la

uniformidad de este sistema ofrece la posibilidad de generar grandes volúmenes a escala mundial.

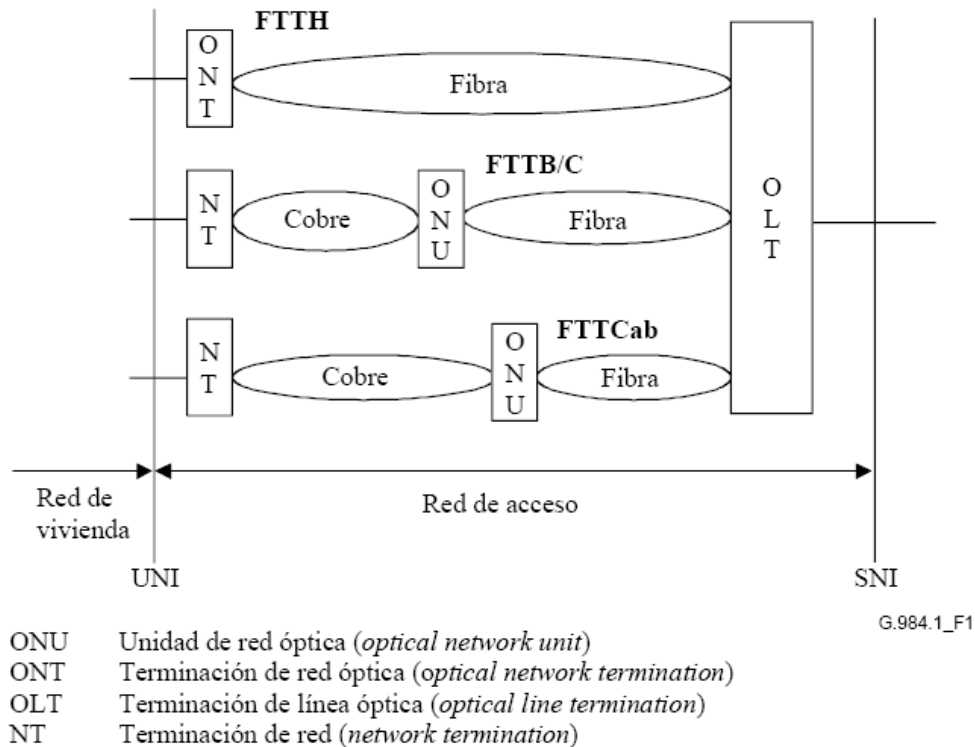


Figura 10. Arquitectura de red<sup>2</sup>

Las diferencias entre las opciones de red fibra al edificio (FTTB, fibre to the building), fibra a la acometida (FTTC, fibre to the curb), fibra al armario (FTTCab, fibre to the cabinet) y FTTH estriban principalmente en los distintos servicios que ofrecen.

### 3.1 Escenario FTTB

Este escenario se divide a su vez en dos escenarios, uno para las unidades multivivienda (MDU, multi-dwelling unit), y el otro para las empresas. Cada escenario tiene las siguientes categorías de servicio:

<sup>2</sup> Recomendación UIT-T G.984.1

### **3.2 FTTB para MDU**

- Servicios de banda ancha asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo por demanda (VOD, video on demand), descarga de ficheros, etc.).
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de ficheros, cursos a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS, plain old telephone system) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.

### **3.3 FTTB para empresas**

- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, programas informáticos de grupo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de ficheros, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.
- Línea privada. La red de acceso ha de proporcionar, de una manera flexible, servicios de línea privada con distintas velocidades.

### **3.4 Escenarios FTTC y FTTCab**

En estos escenarios se incluyen las siguientes categorías de servicio:

- Servicios de banda ancha asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo por demanda, descarga de ficheros, juegos en línea, etc.).
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenido, correo electrónico, intercambio de ficheros, cursos a distancia, telemedicina, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.

- Red de retroceso Xdsl.

### **3.5 Escenario FTTH**

En este escenario se incluyen las siguientes categorías de servicio:

- Servicios de banda asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo por demanda, telecarga de ficheros, etc.).
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de ficheros, cursos a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.

El FTTH es la tecnología más aprobada de acceso de ancho de banda para el futuro, capaz de entregar riqueza en medios y un portafolio interactivo de servicios, como multicanales de alta definición de TV (HDTV), ofrece un menor costo de operación que el cobre y propicia un paso adelante en toma de ventaja competitiva para operadores y proveedores de servicios. GEPON es una tecnología pasiva FTTH punto a multipunto, que permite a los proveedores de servicios y operadores de cable una transición de redes de última milla basados en cobre a infraestructuras basadas en fibra, mientras elimina los activos electrónicos de la planta exterior (OSP). Con un ancho de banda inteligente, los estándares del GEPON, desatan velocidades Gigabit a un suscriptor aunque los típicos desarrollos provean datos simétricos a velocidades de 32 Mbps a muchos suscriptores. La tecnología de GEPON tiene una característica importante porque hace emigrar el tráfico de la voz lejos de redes tradicionales de TDM y hacia las redes de VoIP. Los despliegues de VoIP en E.E.U.U de algunas empresas están acelerando; se realizaron envíos de IP PBX en 28 millones de líneas en 2006, excediendo el número de las líneas de TDM enviadas. Al momento en que los operadores de cable empezaron a desplegar VoIP, incitaron a los operadores telefónicos a



desplegar IPTV e incorporar el video. IPTV puede compartir una base, un medio y una red de acceso comunes con VoIP. GEPON es una tecnología capaz de portar los dos servicios VoIP e IPTV. El vídeo, en el contexto de IPTV, es un buen comienzo para el uso de la fibra al hogar (FTTH) soportado por la tecnología de GEPON. Los lazos locales ópticos de la fibra construidos alrededor de una arquitectura de PON son actualmente la mejor tecnología del acceso para proveer de hogares ofertas de video competitivas, acceso de alta velocidad del Internet, y VoIP.

### **3.5.1 Características de la arquitectura de la red de acceso para la FTTH**

Para seleccionar o diseñar una red óptica de acceso para la FTTH, las empresas de telecomunicaciones deben considerar en primer lugar:

- 1) la escalabilidad (número de fibras terminadas, longitud total de la fibra de la red, etc.);
- 2) la robustez (seguridad, sistema de supervisión, etc.);
- 3) la funcionalidad (velocidad binaria, distancia de transmisión, etc.);
- 4) los costos de construcción y mantenimiento;
- 5) la mejora de la red óptica (aumento de la capacidad de transmisión, aumento de la longitud de transmisión, aumento del número de clientes, incluida la demanda futura). A partir de los requisitos de la red óptica de acceso de cada región, las empresas de telecomunicaciones seleccionarán y utilizarán, en el momento de diseñar o construir una red óptica de acceso, una o más de las siguientes arquitecturas, de acuerdo con las características reales.

#### **3.5.1.1 Red punto a punto**

En la figura 11, se muestra la configuración básica de una red punto a punto. Este tipo de red distribuye una o más fibras individualmente desde una OLT en una central a una ONU en las casas individuales, edificios de apartamentos u oficinas. Por consiguiente, se instalan y distribuyen un gran número de fibras desde la central hasta los usuarios. Esta configuración se caracteriza por una

baja atenuación óptica y es la que permite que exista una mayor distancia entre la central y los usuarios. Además, puede resultar adecuada para usuarios que requieran un gran ancho de banda y/o seguridad.

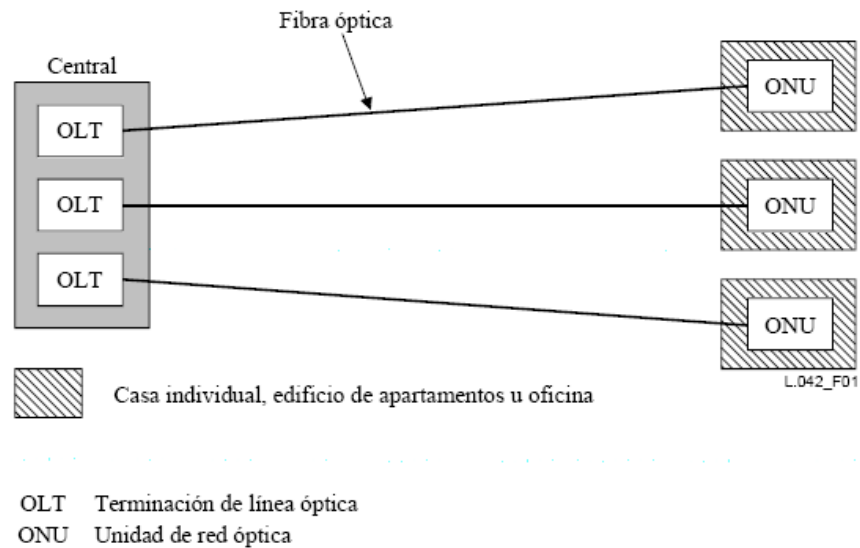


Figura 11. Red punto a punto.<sup>3</sup>

### 3.5.1.2 Red anular

En la figura 13, se muestra la configuración anular básica. Este tipo de red comienza y termina en la misma central y distribuye dos o más fibras a las ONU en casas individuales, edificios de apartamentos u oficinas. Por consiguiente, en las redes anulares múltiples que se muestran en la figura 12, se instalan y distribuyen un gran número de fibras desde la central hasta los clientes. Por el contrario, en las redes anulares punto a punto que se muestran en la figura 13, puede reducirse el número de fibras distribuidas con respecto a la red anular múltiple. Las ventajas de la red anular son su gran fiabilidad y fácil mantenimiento para el encaminamiento alternativo.

<sup>3</sup> Recomendación UIT-T L.42

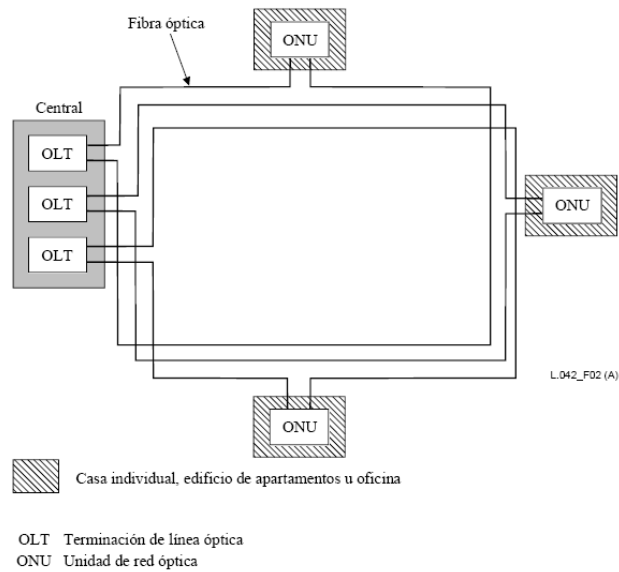


Figura 12. Red anular (punto a punto)<sup>4</sup>

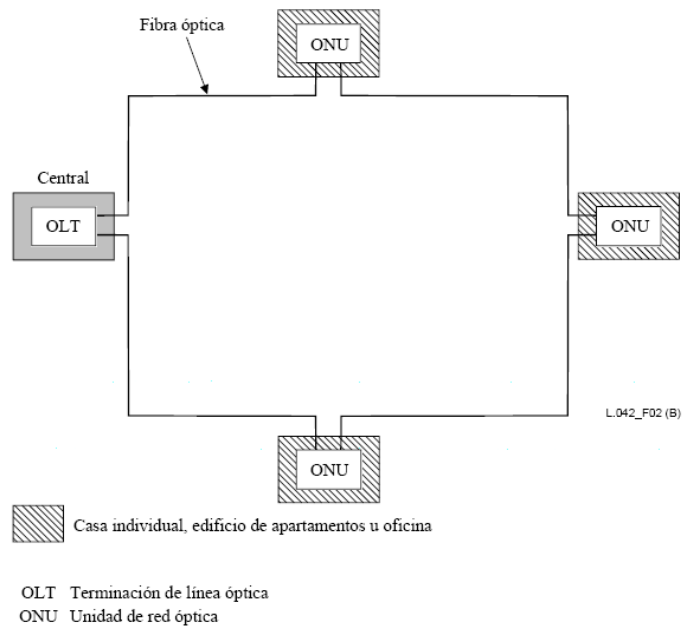


Figura 13. Red anular (múltiple).<sup>5</sup>

### 3.5.1.3 Red punto a multipunto

En la figura 14, se muestra la configuración básica de una red punto a multipunto. La principal característica de este tipo de red es que se sitúa un componente de derivación (de fibra óptica) o un nodo activo entre una OLT y

<sup>4</sup> Recomendación UIT-T L.42

<sup>5</sup> Recomendación UIT-T L.42

varias ONU. La ubicación donde se instalan los componentes de derivación (de fibra óptica) o los nodos activos es el elemento más importante del diseño y la construcción de este tipo de red. Además, pueden utilizarse dos tipos de componentes de derivación (de fibra óptica) en este tipo de red. El primero dispone de un multiplexador y demultiplexador en longitud de onda; el segundo, no. Un componente de derivación (de fibra óptica) sin multiplexador y demultiplexador en longitud de onda aumenta la pérdida por inserción y reduce la distancia de transmisión a medida que se aumenta el número de derivaciones. Por el contrario, los componentes de derivación (de fibra óptica) con multiplexador y demultiplexador en longitud de onda se utilizan principalmente en los sistemas WDM (multiplexación por división en longitud de onda). En este caso la pérdida por inserción no aumenta mucho, pero resulta difícil controlar y gestionar la longitud de onda a medida que se aumenta en el número de derivaciones. Cuando se instala en una central un componente de derivación (de fibra óptica), al menos una de las fibras conecta la central y la casa individual, edificio de apartamentos de oficina del cliente. Por consiguiente, se instalan y distribuyen un gran número de fibras desde la central. Además, los componentes de derivación (de fibra óptica) no tienen efectos medioambientales dañinos, puesto que se instalan dentro de la central. Por otro lado, puede instalarse un componente de derivación (de fibra óptica) en un recinto o armario de la planta exterior o del edificio del usuario. En estos casos, se puede reducir el número de fibras entre la OLT y el componente de derivación (de fibra óptica). No obstante, en este caso el impacto medioambiental de los componentes de derivación (de fibra óptica) es más grave al estar ubicados en la planta exterior o en los muros exteriores del edificio o vivienda.

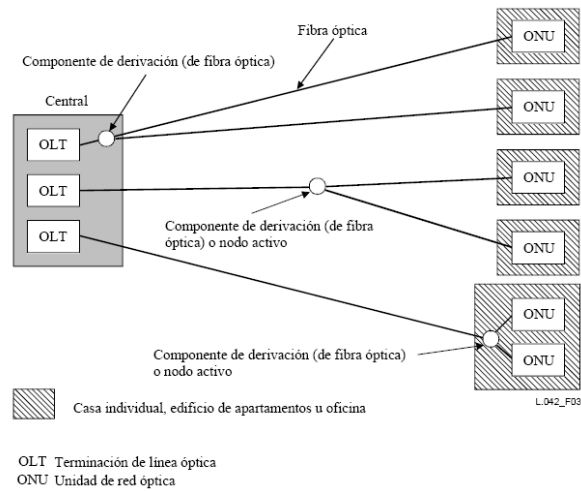


Figura 14. Red punto a multipunto (con 2 derivaciones)<sup>6</sup>

#### 4. STANDARD GE-PON.

GE-PON fue especificado por la IEEE 802.3ah como Ethernet in the first mile (EFM- Ethernet en la primera milla) como una serie de interfaces en Junio de 2004. Ver Figura 15.

Este Standard se realizó con el fin de proveer una basta variedad de servicios de banda ancha y permitir una futura escalabilidad del sistema empleado. La serie 1000BASE-PX fue especificada como IEEE 802.3ah Standard. 1000BASE-PX10 (hasta 10km) y 1000BASE-PX20 (hasta 20km), dependiendo de que el medio físico sea óptimo. La longitud de onda para la transmisión de las señales ópticas están basadas en la normativa ITU-T G-983.3, así que servicios adicionales como difusión de información por video son posibles, porque se utiliza longitud de onda de 1550nm. El máximo de particiones no está especificado por la IEEE 802.3ah, porque ésta depende de los equipos y las pérdidas de los enlaces ópticos.

<sup>6</sup> Recomendación UIT-T L.42

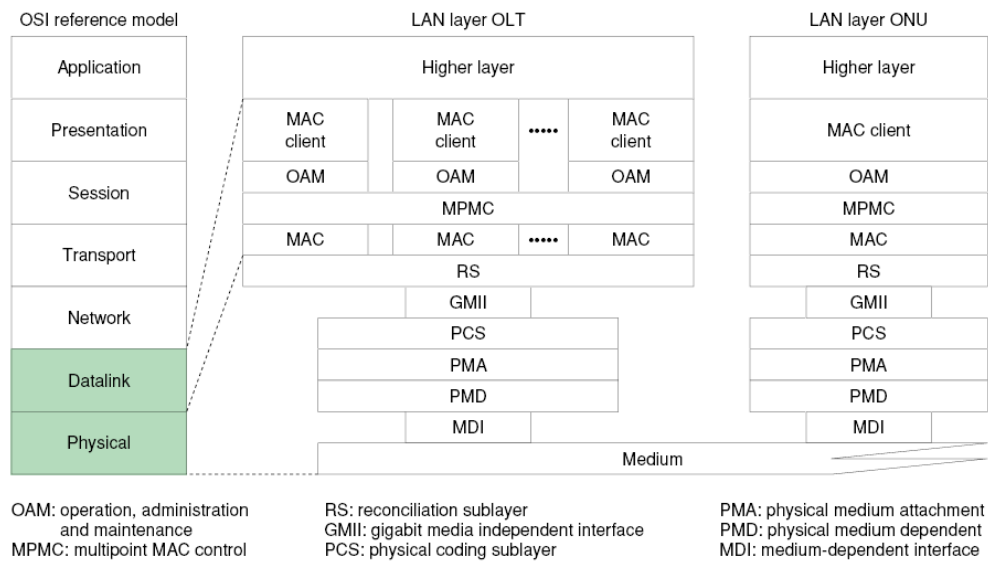


Figura 15. Apilamiento del Protocolo GE-PON

GE-PON provee 2 octetos (16 bits) para el identificador de enlace lógico (LLID- Logical link identifier) y 15 bits pueden ser asignados a cada Control de acceso al medio (MAC – Medium Access control). Por lo tanto, más de 30.000 unidades ópticas de la red se pueden acomodar lógicamente en una PON.

Una característica dominante de GE-PON es que los datos son transmitidos en tramas de longitudes variables MAC de hasta 1518 octetos (1522 octetos para una trama marcada con etiqueta). En el downstream o sentido descendiente la transmisión se basa en el mecanismo original de Ethernet guardando una inter-trama con un mínimo de 12 octetos.

Una terminal de línea óptica (OLT-Optical Line Terminal) difunde tramas MAC a cada unidad de red óptica (ONU-Optical Network unit) anexada a una PON, así que cada ONU recibe toda las tramas MAC, como aparece en la Figura 16. Sin embargo, una trama cabecera de 2 octetos llamada una LLID contiene dirección de información. Como resultado de esto, solo la ONU direccionada lee su trama MAC; las ONUs que no están direccionadas descartan las tramas que llegan a ellas. Por otra parte, la transmisión upstream o aguas arriba está basada en acceso de división múltiple de tiempo (TDMA – Time Division Multiple Access) para evitar la colisión de datos entre ONUs. La OLT asigna una ventana de transmisión llamada: gate, a cada ONU. Cuando una ONU

recibe esta trama gate, ésta transmite tramas MAC a una tasa de 1Gbit/s durante la ranura de tiempo (time slot) asignado por el gate. El protocolo de control multipunto (MPCP – Multipoint control Protocol) contiene la asignación de el gate a cada ONU, el gate realiza la petición a la ONU, y esta se encarga de encontrar y registrar dicha ONU a la red PON, como aparece en la Figura 17.

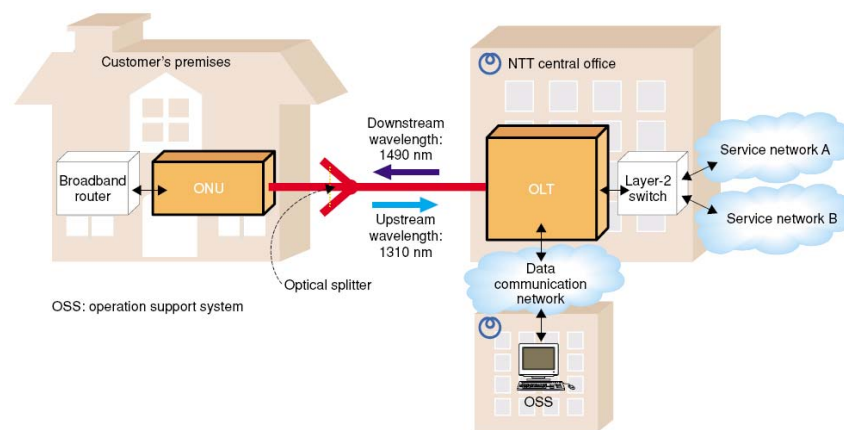


Figura 16. Construcción del sistema<sup>7</sup>

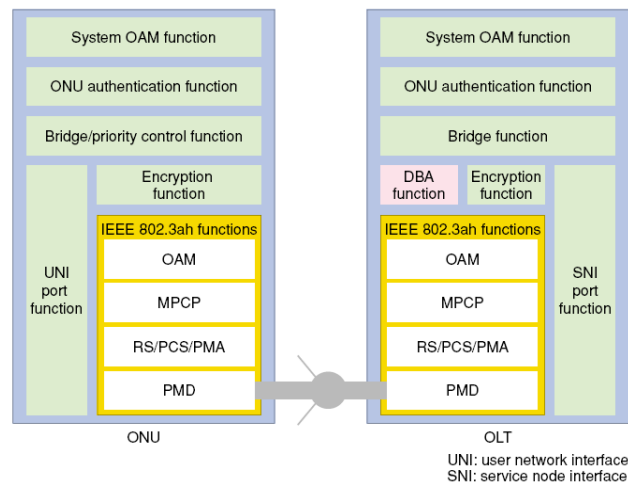


Figura 17. Function stack<sup>8</sup>

#### 4.1 Autenticación de la ONU

Cuando el sistema GE-PON es usado por personal de servicio de acceso, puede que el sistema no registre a dicha persona y le permita acceso al sistema, y tome al personal de servicio como usuario desautorizado. Por tanto,

<sup>7</sup> Development of a Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GE-PON) System

<sup>8</sup> Development of a Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GE-PON) System

al sistema GE-PON se le incluye la función de autenticación para que cualquier personal desautorizado se comunique con la red de servicio a través del OLT. Ver Figura 20.

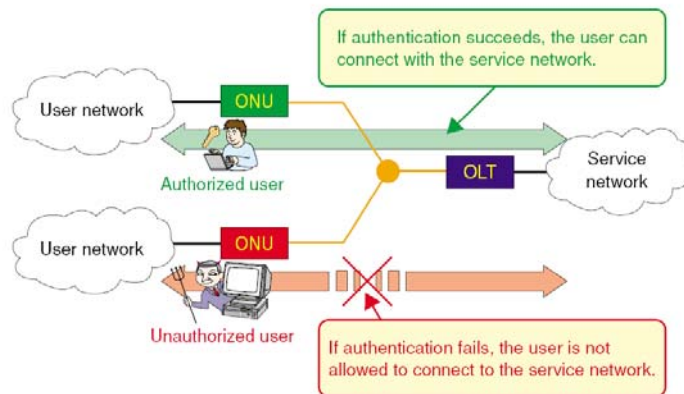


Figura 20. Conexión a la red de servicios a través de autenticación.<sup>9</sup>

## 4.2 Encriptación

La transmisión downstream de PON es tipo difusión, así que una trama destinada a cierta ONU también alcanza otras ONUs. Para prevenir que las ONUs analicen las tramas destinadas a otra ONU, el sistema utiliza encriptación con diferentes llaves encriptadas para cada LLID.

## 4.3 Control de prioridad

En la ONU, las múltiples colas se realizan en ambas direcciones upstream y downstream, y las tramas de alta prioridad son transferidas primero. Esto lo hace posible para soportar aplicaciones de atraso-sensitivo (delay-sensitive) como VOIP.

## 5. ASIGNACION DINAMICA DEL ANCHO DE BANDA (DBA – DYNAMIC BANDWIDTH ALLOCATION)

DBA es una función que asigna el ancho de banda upstream de cada ONU. Como las características del servicio provisto depende de ésta función, se desarrolló una DBA que haga un balance entre la eficiencia de un alto ancho de banda y pocas pérdidas.

<sup>9</sup> Development of a Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GE-PON) System



En el sistema GE-PON, el ancho de banda upstream de 1Gbit/s es compartido entre 32 ONUs. Un método de asignación del ancho de banda upstream es fijar el ancho de banda a cada ONU a un valor fijo (asignación estática – static allocation) sin importar el tráfico upstream. Sin embargo, puesto que el ancho de banda se asigna a una ONU aun cuando no tiene ningún tráfico upstream, mucho ancho de banda se pierde. Para eliminar esta perdida, un algoritmo DBA se instala en la OLT. El algoritmo DBA asigna flexiblemente ancho de banda según sea la cantidad de tráfico upstream. Por lo tanto, el ancho de banda que no es utilizado, es asignado a otras ONUs, permitiendo de esta forma que el ancho de banda sobrante sea utilizado de forma eficiente. Como se ve en la figura 18, es posible compartir ancho de banda uniformemente en upstream.

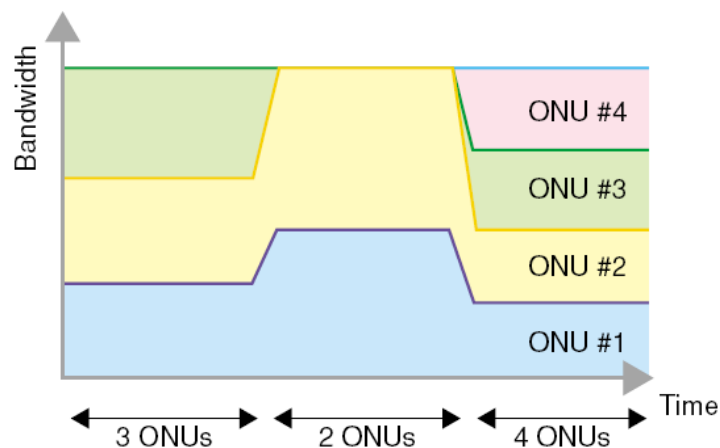


Figura 18. DBA<sup>10</sup>

Se desarrollo un nuevo algoritmo DBA especial para GE-PON, el cual está diseñado para empaquetar tramas Ethernet de variable longitud de forma eficiente y reducir los atrasos. Sus características son descritas a continuación.

### 5.1 Control de ancho de banda.

Es posible configurar el ancho de banda garantizando un mínimo y máximo para cada ONU. El ancho de banda se distribuye proporcionalmente en cada ONU, garantizando un mínimo, aunque el ancho de banda quede restringido a

<sup>10</sup> Development of a Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GE-PON) System

una ONU específica pero en su mínimo garantizado. Cuando esta limitación genera un exceso de ancho de banda sin distribuir, esta se reparte entre las demás ONUs.

## 5.2 Control de atraso.

Es posible de una o de dos clases, bajo atraso o atraso normal, dependiendo de cómo se requiera. La clase de bajo atraso puede ser utilizada para servicios de sensibilidad al atraso como VOIP (Voice Over Internet Protocol) o comunicación por video. La clase de atraso normal puede alcanzar alto rendimiento de procesamiento por medio del protocolo de control de transmisión (TCP – Transmission Control Protocol) porque puede devolver mensajes TCP ACK (Respuesta de reconocimiento) con atraso bajo.

El mecanismo de la función DBA aparece en la Figura 19.

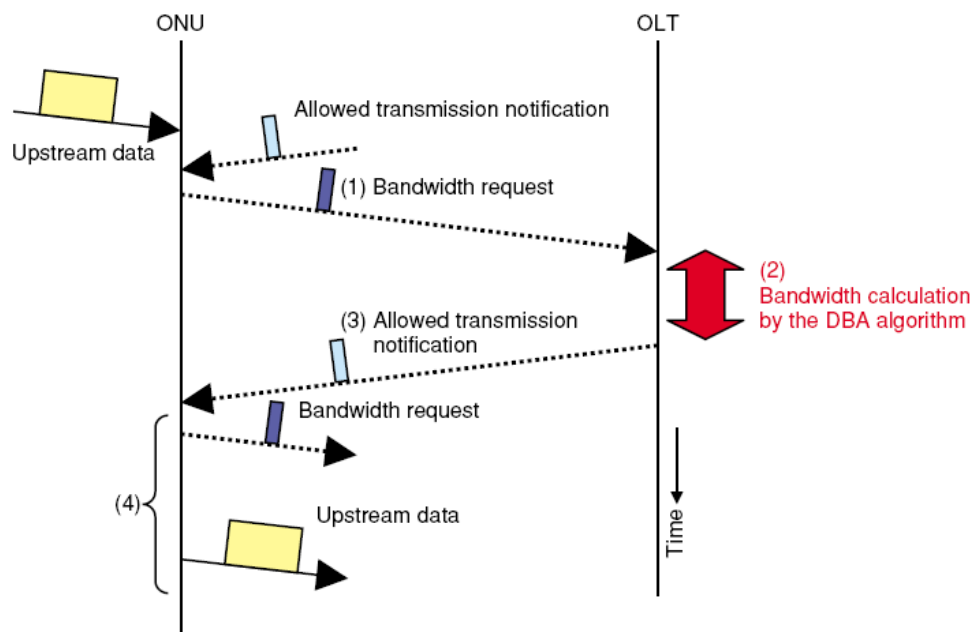


Figura 19. Mecanismo que activa el DBA

(1) Cada ONU envía un mensaje de petición de ancho de banda (bandwidth request), el cual indica la cantidad de información upstream almacenada en el buffer de transmisión.

(2) El algoritmo DBA calcula las siguientes variables permitidas en la transmisión: tiempo de inicio y duración para cada ONU. Este cálculo se realiza teniendo en cuenta los datos guardados en el buffer de transmisión de la ONU, en el upstream.

(3) Cada ONU es notificada de dos cálculos realizados en el paso (2) por medio de un mensaje de permiso de transmisión (transmission-allowed message). Una notificación es por el envío del siguiente mensaje de petición del ancho de banda (bandwidth-request) y otro por el envío de datos upstream.

(4) De acuerdo con la notificación del tiempo permitido de transmisión, la ONU envía el mensaje de petición de ancho de banda y los datos upstream que han sido guardados en el buffer.

Los pasos (1), (3) y (4) conforman el MPCP, el cual es un estándar IEEE 802.3ah. El algoritmo DBA que se ha desarrollado opera usando el marco MPCP; sin embargo, el algoritmo DBA (que se encuentra en el paso (2)), se encuentra por fuera del alcance del estándar, así que el algoritmo DBA es un elemento diferente de la normativa.

## **6. COMPONENTES OPTICOS GE-PON**

La red está compuesta principalmente por componentes ópticos que incluyen un cable de fibra óptica monomodo, componentes ópticos pasivos como los componentes de derivación (de fibra óptica), y empalmes de fibra óptica (empalmes de fusión, empalmes mecánicos, conectores de fibra óptica). La calidad de funcionamiento de estos componentes ópticos puede verse afectada por condiciones medioambientales como la temperatura, la humedad y condiciones mecánicas, y ha de tenerse en cuenta que el entorno diferirá de una región a otra. Por consiguiente, los componentes han de diseñarse y seleccionarse para funcionar en las condiciones reales concretas. Además, ataques biológicos pueden provocar fallos de los componentes, por lo que deberán estar protegidos del posible daño que puedan sufrir en condiciones medioambientales especiales.

### **6.1 Componente de derivación (de fibra óptica)**

Cuando se diseña una red punto a multipunto, se utiliza un componente de derivación (de fibra óptica) con o sin multiplexador y demultiplexador en longitud de onda. El componente de derivación (de fibra óptica) divide la señal óptica de las fibras entrantes hacia una o más fibras de salida.

Cuando en el componente de derivación (de fibra óptica) quede un puerto sin utilizar y la atenuación por reflexión en ese puerto sea pequeña, será necesario incrementar la atenuación por reflexión utilizando un método de terminación adecuado con el fin de cumplir con los requisitos del sistema.

### **6.2 Amplificador óptico**

Un amplificador óptico compensa la atenuación óptica de, por ejemplo, el componente de derivación (de fibra óptica). La calidad de funcionamiento del amplificador óptico deberá ajustarse a las Recomendaciones UIT-T G.662 y L.50.

### **6.3 Atenuador óptico**

Es necesario utilizar un atenuador óptico con atenuación fija o variable para ajustar los balances de potencia ópticos a las gamas requeridas.

### **6.4 Compensador de dispersión pasivo**

Puede resultar necesario recurrir a un compensador de dispersión pasivo para compensar la dispersión cromática de un trayecto óptico que utiliza regiones de longitud de onda muy amplias y una alta velocidad, además de una transmisión a larga distancia.

### **6.5 Filtro óptico**

Puede resultar necesario utilizar un filtro óptico para que la región de longitud de onda requerida de un servicio acepte y rechace otras longitudes de onda del servicio o longitudes de onda de prueba ópticas dentro de una red. La

respuesta espectral del filtro puede darse en regiones muy amplias o muy estrechas de longitud de onda dependiendo de la aplicación.

## **6.6 Repartidores ópticos (ODF, optical distribution frames)**

Un repartidor óptico, que puede contener y a la vez proteger las fibras ópticas y los componentes ópticos pasivos, y encaminar y almacenar los rabillos de fibras en interiores, se necesita para unir los cables en el extremo de la cubierta.

## **7. PROTECCION DE GE-PON**

Desde el punto de vista de la gestión de la red de acceso, se considera que la arquitectura de protección de la GEPON mejora la fiabilidad de las redes de acceso. Sin embargo, la protección se debe considerar como un mecanismo facultativo ya que su implementación está en función de la realización de los sistemas económicos.

### **7.1 Tipos de conmutación**

Hay dos tipos de conmutación de protección análogos:

- conmutación automática; y
- conmutación forzada.

El primer tipo se activa cuando se detecta una avería tal como pérdida de señal, pérdida de trama, degradación de señal (cuando la proporción de bits erróneos (SIN, bit error ratio) es mayor que el umbral predeterminado), etc. El segundo tipo se activa mediante eventos administrativos, tales como el reencaminamiento de fibra, sustitución de fibra, etc. El sistema GEPON debería soportar ambos tipos, si fuese necesario, aunque se trate de funciones facultativas. Por lo general, la función OAM se encarga del mecanismo de conmutación, por lo tanto se debería reservar en la trama OAM el campo de información OAM necesario. En la figura 21, se ilustra el modelo del sistema

dúplex de la red de acceso. La parte sobresaliente de la protección en el sistema GE-PON debería ser una parte de la protección entre la interfaz ODN en la OLT y la interfaz ODN en la ONU a través de la ODN, excluida la redundancia de SIN en la OLT.

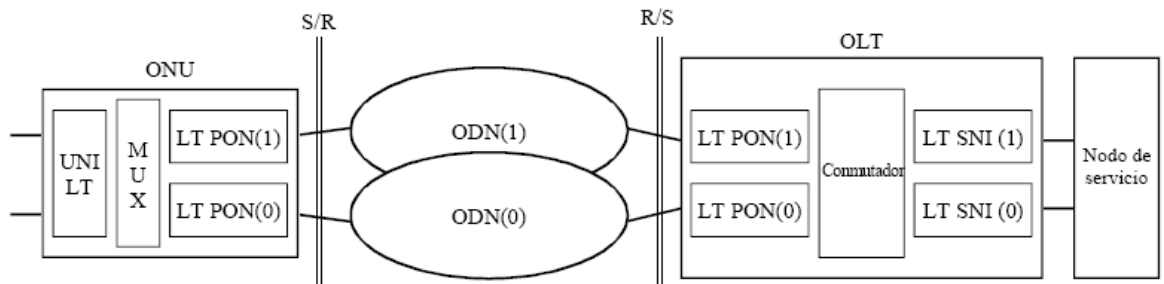


Figura 21. Modelo del sistema dúplex

## 8. TRANSMISION DE VIDEO EN GE-PON.

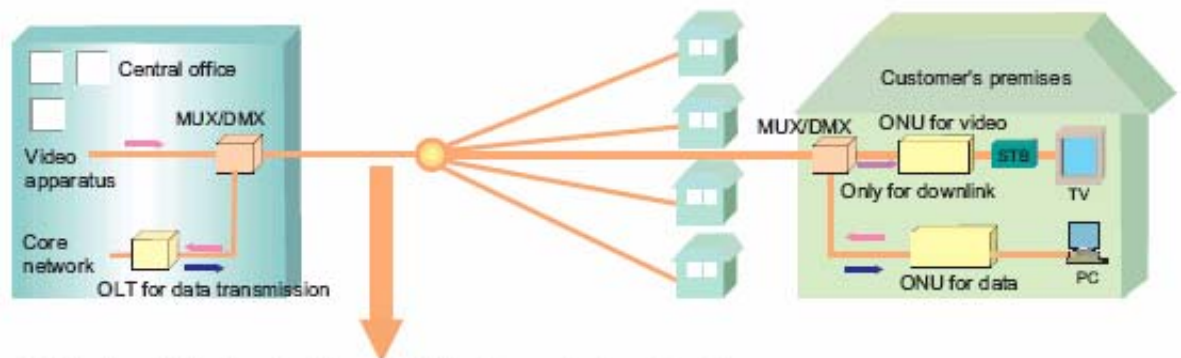
Generalmente, hay dos tipos o métodos de uso en el servicio de video utilizado en acceso óptico.

El primer método utiliza multiplexación de longitud de onda, mientras que el otro utiliza la comunicación IP.

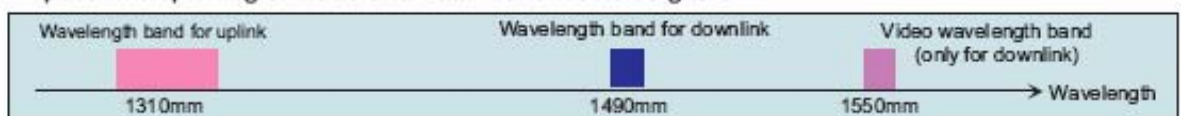
En el método de multiplexación de longitud de onda, las longitudes de onda de las señales de video son separadas de la señal de datos, y luego ambas ondas son multiplexadas en la misma fibra óptica. En la comunicación IP, las señales de video y comunicación con la misma longitud de onda son propagadas a través de la misma fibra.

Puesto que la multiplexación de longitud de onda tiene una longitud de onda dedicada al servicio de video, no se ve afectada por otros servicios de comunicaciones, y así, puede mantener de forma constante un alto nivel de calidad en la señal.

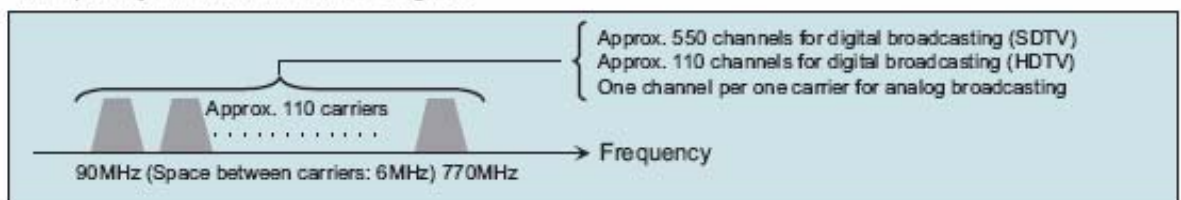
En el sistema GE-PON, la multiplexación de longitud de onda es regulada por la recomendación G.983.3 de la ITU-T, para que sean compatibles con otros equipos. Ver figura 22.



- Optical multiplexing of video and data transmission signals



- Frequency allocation for video signals



FM instantaneous conversion system (ITU-T, J. 185) is also used, in which, multiple electrical signals are converted into FM signals, then transmitted as optical signals

Figura 22. Video transmisión utilizando tecnología WDM. Sistema GE-PON.<sup>11</sup>

Como G.983.3 fue originalmente un estándar para B-PON, se puede proveer servicios de video vía multiplexación de longitud de onda, y usar los mismos equipos como B y GE-PON.

Las señales ópticas de video pueden alcanzar uno o dos caminos: usando modulación directa de una fuente de luz, o utilizando la técnica de modulación FM. En el primer caso, la fuente de luz es modulada directamente por una señal de video con un ancho de banda de 770MHz, el cual corresponde a un sistema de TV por cable. Las señales pueden transmitir 110 canales. Si una señal de 64 QAM (Quadrature-amplitude-modulation) es utilizada por el cable de TV, la tasa de bits de la portadora va a ser de 30Mbps. Esto significa que con TV de definición estándar (SDTV-Standard Definition Tv), cada portadora

<sup>11</sup> Networks Novel FTTH Technology Novel for Optical Access By Tadanobu Okada

puede transmitir 4 o 5 canales, o un canal con TV de alta definición (HDTV-High Definition Tv). En otras palabras, difícilmente se podría transportar 500 canales HDTV.

La modulación directa es usualmente simple y barata, mientras no se necesiten otros componentes para su modulación, como la fuente de luz.

En la modulación FM, después de haber convertido la señal de video eléctrica en señal FM, con una frecuencia de alrededor 3GHz, las señales ópticas de video son emitidas a partir de una fuente de luz, la cual es modulada por señales FM.

En contraste, la comunicación IP es un sistema que multiplexa paquetes de video en la misma ruta de transmisión, como lo es IPTV.

## **9. SISTEMA DE ACCESO NG (Next Generation) WDM UTILIZANDO TECNOLOGIA CWDM**

Hoy por hoy se están sumando esfuerzos por desarrollar tecnologías que incrementen la velocidad en el acceso de fibra óptica. En los últimos 5 años se ha incrementado tanto el ancho de banda, como la velocidad de la red de acceso a los usuarios. Este factor a través de la puesta en marcha del sistema GE-PON, ha hecho posible el acceso tipo Giga por parte del usuario a bajos costos.

Hay básicamente dos acercamientos al desarrollo de la tecnología óptica tomados de tecnología de próxima generación.

La primera, es una aproximación a una tecnología convencional, que involucra al sistema de Multiplexación de división de tiempo (TDM-Time Division Multiplexing), el cual realiza la multiplexación en el dominio del tiempo, mientras que la segunda, es un sistema WDM (Wavelength Division Multiplexing) o multiplexación en el dominio de la longitud de onda.

Esta última aproximación es llamada sistema de acceso WDM. En el sistema de acceso WDM, una longitud de onda óptica puede ser asignada a cada usuario o servicio, por tanto, se puede proveer diferentes velocidades y servicios a usuarios por la misma fibra óptica. El sistema de acceso también



puede ser capaz de asignar redes independientes a cada longitud de onda a una red física. Como esto es posible, múltiples usuarios, o múltiples servicios pueden compartir la misma fibra óptica, sin necesidad de interferirse entre sí. Comparado con el sistema convencional, el sistema de acceso WDM tiene la ventaja de permitir la construcción de una o más redes de acceso óptico de forma flexible.

La figura 23 muestra las señales de acople de las ONUs entrando de forma simultánea al OLT a través del Splitter.

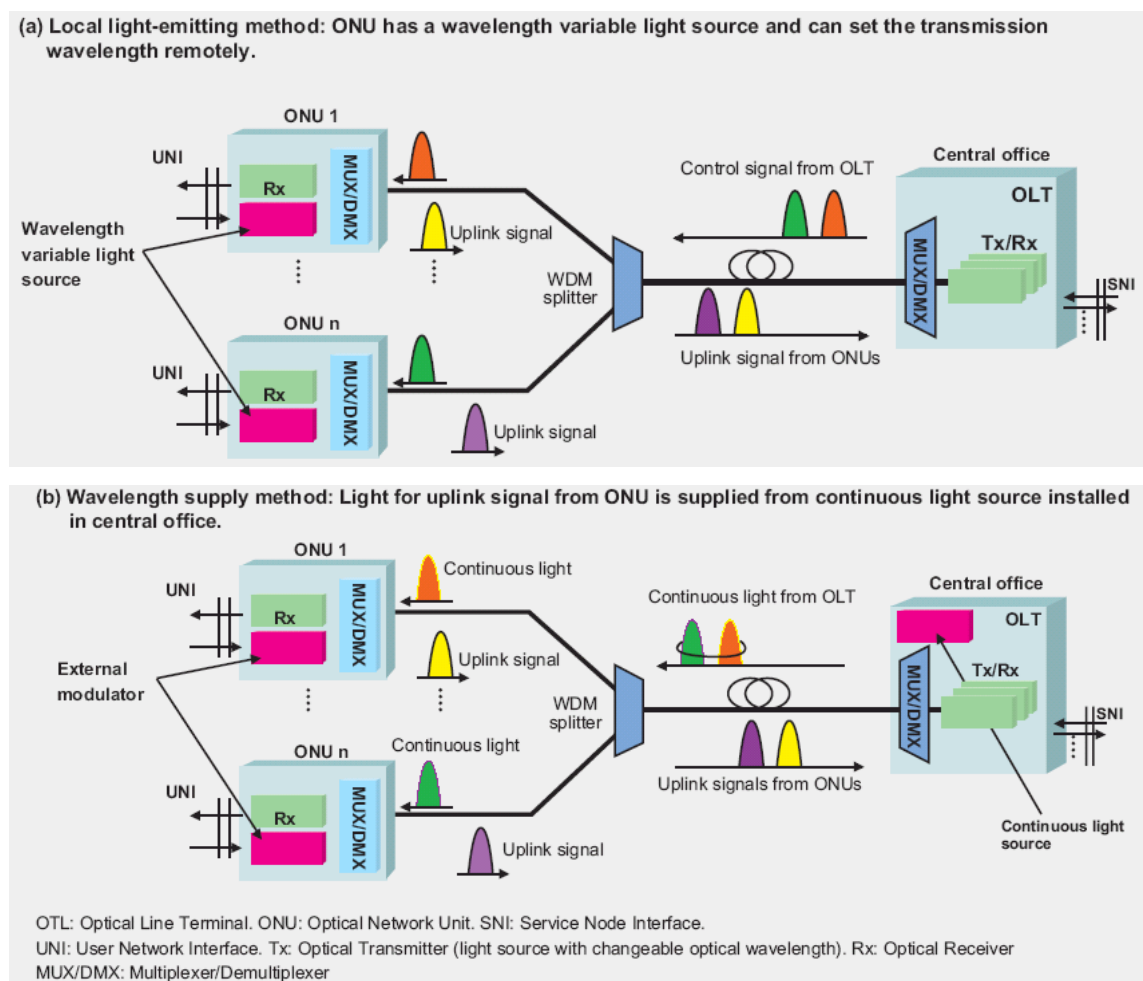


Figura 23. Ilustración esquemática de un sistema de acceso WDM.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Networks Novel FTTH Technology Novel for Optical Access By Tadanobu Okada

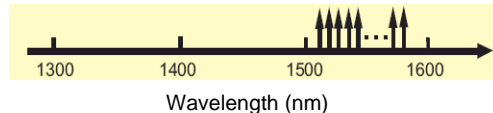
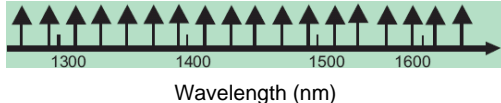
Así que, se debe asignar una longitud de onda a cada ONU para el respectivo acople de la señal, por tanto desde la perspectiva de operación y mantenimiento de las ONUs, este es un asunto que debe resolverse.

La solución a éste problema es darle uniformidad a las ONUs antes de ser enviadas a la central. Esto se hace con la tecnología llamada “colorless technology” de la ONU. Este método se divide en dos: el primero que consiste en la división de emisión de luz y el segundo en la generación de longitud de onda.

En el método de emisión de luz, cada ONU tiene una fuente de longitud de onda de luz variable emitida por la central a través de una señal de control de longitud de onda. Donde dicha longitud solo la tiene esa ONU y no otra.

En el método de generación de longitud de onda la luz de la señal es provista por una fuente continua, que también ésta instalada en la central. La luz continua es encendida y apagada, por un modulador instalado en la ONU, dependiendo de si el indicador está en 1 o 0.

La tecnología WDM ha sido utilizada en redes transcontinentales, porque ésta incrementa la capacidad de transmisión debido al uso de múltiples señales a diferentes longitudes de onda. Entre mejor es la multiplexación, mayor es la eficiencia. Así que, las redes transcontinentales que llevan bastante tráfico pueden adoptar la tecnología Dense WDM (DWDM-Dense Wavelength Division Multiplexing), que permite la multiplexación de docenas de ondas, y la Coarse WDM (CWDM) como se aprecia en la figura 24.

	DWDM	CWDM
WAVE-LENGTH	<p>Space of wavelengths: extremely narrow and high density (less than 1 nm). Number of multiplexing: dozens of waves.</p>  <p>Wavelength (nm)</p>	<p>Space of wavelengths: wide and low density (20nm). Number of multiplexing: 4-18 waves.</p>  <p>Wavelength (nm)</p>
WDM Light source	Need to control the center wavelength	Not need to control the center wavelength
WDM filter	Need to control the transmisión wavelength as the bandwidth is narrow.	Not need to control the transmission wavelength as the bandwidth is wide

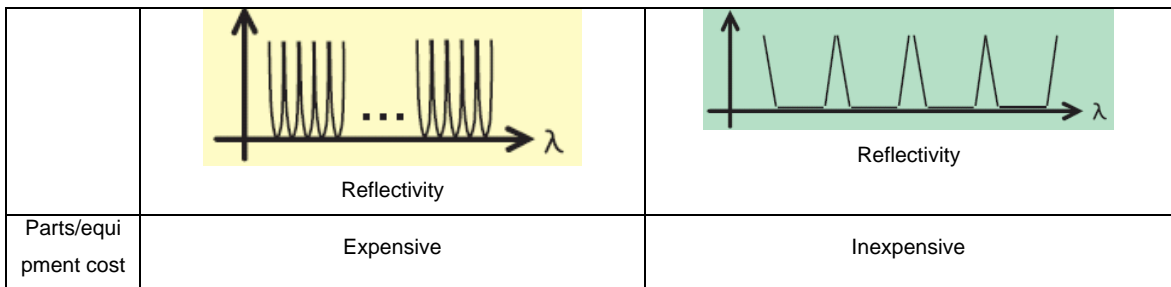


Figura 24. Comparación entre DWDM y CWDM<sup>13</sup>

## 10. EJEMPLO DE ARQUITECTURA DE GEPON

Las redes ópticas de acceso (OAN, optical access networks) se están acercando al usuario final utilizando arquitecturas de red basadas ampliamente en los sistemas SDH. Las soluciones basadas en paquetes están ganando popularidad gracias a Ethernet en las tecnologías de la primera milla, por oposición a las redes ópticas pasivas ATM. Se prevé incluso en un futuro próximo la comercialización de la tecnología óptica de paquetes gracias a los ensayos en laboratorio y sobre el terreno que se están llevando a cabo.

### 10.1 Modelo propuesto

En la figura siguiente se presenta un modelo esquemático. Se supone que los nodos de red tienen conmutación óptica de paquetes (OPS, optical packet switching), aunque en general no es necesario.

Esta solución también se aplica a la conmutación de ráfagas. El tráfico de red se genera en cualquier nodo y se encamina hacia cualquier otro nodo, donde también puede extraerse. Las direcciones de nodo vienen dadas por las cabeceras de paquete o de ráfaga en los dominios de código temporal o frecuencia. Desde este punto de vista, la OLT es equivalente a cualquier ONU.

Por otro lado, la interconexión a la red de servicio se hace exclusivamente a través del nodo OLT, que de este modo se considerará de jerarquía superior y puede tener las funciones de una OTN

Los nodos están formados por conmutadores ópticos rápidos (que funcionan en  $\mu$ s o velocidades incluso superiores) y circuitos electrónicos para el

<sup>13</sup> Networks Novel FTTH Technology Novel for Optical Access By Tadanobu Okada

reconocimiento de cabeceras, control de conmutadores, encaminamiento de paquetes/ráfagas. Los nodos completamente ópticos presentan paquetes/ráfagas ópticos a la ONU, que convertirá y procesará el contenido de la cabida útil junto con la función de adaptación correspondiente. La función de adaptación (AF, adaption function) es lo que hace a la red transparente frente a las distintas velocidades y formatos elegidos por los usuarios, ver Figura 25. Se entiende que ésta es una solución para redes de gran capacidad, con al menos una anchura de 1 Gbit/s digital por nodo. La conmutación de paquetes/ráfagas se caracteriza por una latencia muy baja y una pérdida de paquetes extremadamente pequeña, de acuerdo con los requisitos de las redes de gran capacidad. Pueden encontrarse más detalles al respecto en las referencias que se enumeran más adelante.

La protección del tráfico y la capacidad de supervivencia del servicio requerirán, no obstante, una arquitectura más detallada de la bidireccionalidad, teniendo en cuenta que el flujo de tráfico de paquetes/ráfagas necesario para el adecuado funcionamiento de la conmutación óptica es intrínsecamente unidireccional.

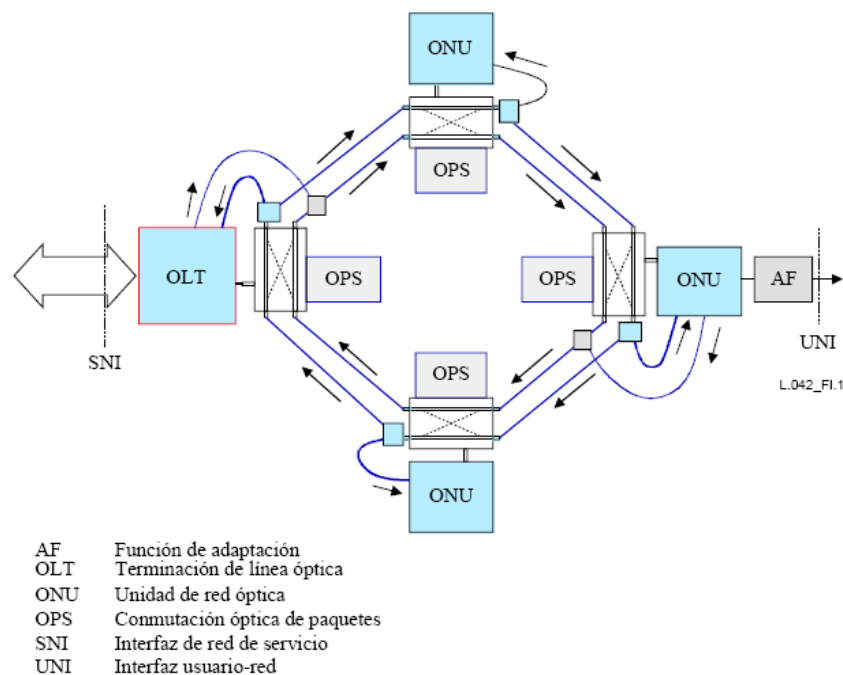
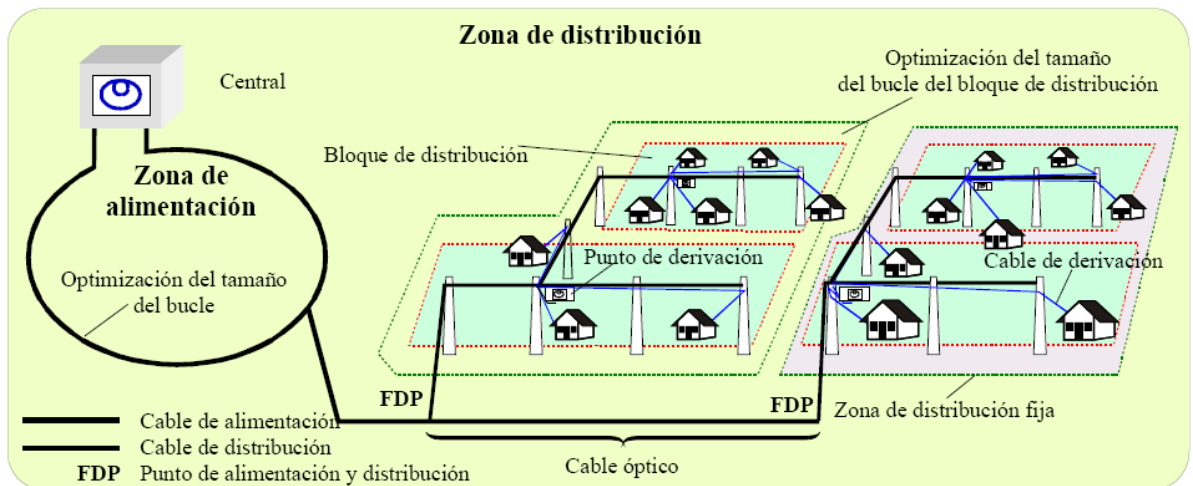


Figura 25. Conexión GE-PON

## 10.2 Ejemplo de las tecnologías de diseño estructural de la red óptica de acceso

Los servicios de comunicación basados en la fibra óptica en Japón han aumentado rápidamente en los últimos años. El método de diseño de la red de fibra óptica es importante en la medida en que constituye los cimientos sobre los que se construye la red de fibra óptica. Para cumplir con la demanda óptica, pequeña y dispersa en las primeras etapas, es necesario hacer funcionar un número determinado de instalaciones de manera eficaz. En la figura 26 se muestra la configuración de la red óptica de acceso en Japón.



## 10.3 Configuración de la red óptica de acceso

Los cables de alimentación se instalan en un túnel o conducto de cables, ubicado entre la central y el punto de alimentación y distribución (FDP) de la zona de alimentación. El cable de distribución, que se instala principalmente entre postes de telecomunicaciones, está conectado al cable de alimentación y se distribuye desde el FDP a los puntos de derivación cercanos a las zonas residenciales. La central cubre una determinada zona, que se divide en un número de zonas de distribución fija de tamaño adecuado. Cada zona de distribución fija se divide en varios bloques de distribución, dependiendo de la demanda, utilizando la fibra óptica. En el marco del diseño estructural de la red

de acceso óptico, deben examinarse dos elementos concretos de las zonas de alimentación y distribución.

- 1) Optimización del tamaño del bucle
- 2) Optimización del tamaño del bloque de distribución

#### **10.4 Optimización del tamaño del bucle (zona de alimentación)**

La "distribución en bucle" se compone de un cable que sale de la central, toma una ruta circular y vuelve al punto de origen. Este tipo de configuración puede hacer que la fibra óptica vaya en dos direcciones diferentes para responder a la fluctuación de la demanda, siendo así una configuración más flexible que la "distribución en estrella". No obstante, no sólo la distribución en bucle responde mejor a las modificaciones de la demanda, sino que también permite la reparación de las averías más rápidamente al conmutar los caminos en dirección opuesta, incluso en líneas que requieren un alto grado de fiabilidad. Por ello, se ha empleado la distribución en bucle en las rutas de la zona de alimentación, por ejemplo, en grandes zonas metropolitanas, donde se encuentran la mayoría de las líneas principales.

Este tipo de distribución se está utilizando actualmente para conectar las rutas de los usuarios eficazmente en zonas donde se está instalando o se ha instalado la fibra óptica. De este modo, se han construido bucles de varios tamaños. Sin embargo, no puede decirse que esos bucles sean siempre la configuración de equipo más económica al adoptar la fibra óptica. Por consiguiente, al considerar toda la zona servida por una central, se están investigando las mejores configuraciones de distribución en bucle que se utilizarán en el futuro, y se está probando su eficacia utilizando modelos y simulaciones basados en las redes actuales.

#### **10.5 Optimización del tamaño de la zona de derivación al cliente (zona de distribución)**

Una zona de distribución se divide en diversos bloques de distribución, dependiendo de la demanda, utilizando la fibra óptica. La derivación se sitúa en

el bloque de distribución. Los abonados de un mismo bloque reciben el servicio desde la misma derivación, como se muestra en la figura 27.

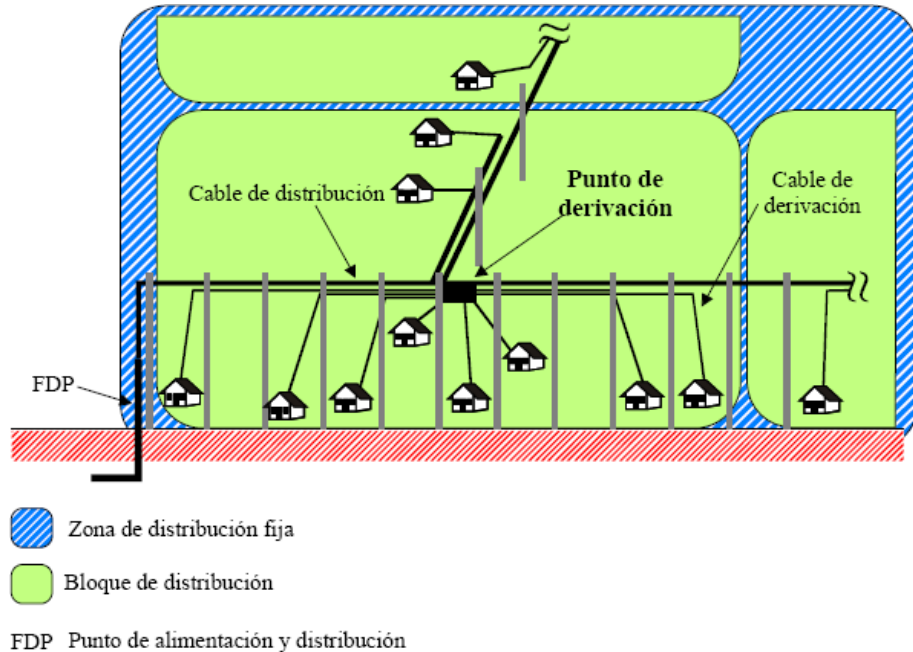


Figura 27. Derivación

### 10.6 Configuración del bloque de distribución

El tamaño óptimo del bloque de distribución dependerá del costo mínimo de construcción entre un punto de alimentación y un abonado. Cuando existen muchos bloques de distribución y el número de puntos de derivación aumenta, el costo de construcción entre el punto de alimentación y el abonado es demasiado elevado para que puedan utilizarse recintos de cables de derivación y de distribución de alto grado. No obstante, cuando hay pocos bloques de distribución y disminuye el número de puntos de derivación, el costo de construcción entre un punto de alimentación y el cliente es también demasiado elevado para poder instalar largos cables de derivación, como se muestra en el cuadro siguiente. Por consiguiente, se está calculando el número de bloques de distribución en la zona de distribución necesarios para minimizar el costo de construcción entre el punto de alimentación y el abonado. Ver tabla 1.

Número de bloques de distribución		Grande	Pequeño
		<p>Punto de derivación L.042_TII.1 (A)</p>	<p>Punto de derivación L.042_TII.1 (B)</p>
Costo	a) Cable de derivación	Bajo	Alto
	b) Recinto de derivación	Alto	Bajo
	c) Cable de distribución	Alto	Bajo

Tabla 1. Diferencias según el tamaño del bloque de distribución

## 10.7 Equipos GE-PON

UTStarcom, Inc. (Nasdaq: UTSI), líder mundial en redes de acceso IP y servicios, introdujo hoy en el mercado mexicano una familia de productos de clase carrier llamada Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON), diseñada para permitir a los proveedores de servicio ofrecer acceso de banda ancha Fiber to the Premises (FTTP) en niveles Gigabit Ethernet. La plataforma BBS 1000 (tm) de UTStarcom aprovecha los ahorros de costos operacionales de la tecnología GEPON a la vez que provee alta densidad y bajo costo de entrada, haciendo de la solución una fuerte alternativa para soluciones de acceso a última milla.

Operadores en Asia están eligiendo soluciones basadas en tecnología PON (Passive Optical Network) basadas en Ethernet porque permite la entrega eficiente de servicios basados en IP. La plataforma de acceso de banda ancha BBS 1000, ver Figura 28 y Figura 29, de UTStarcom permite a los operadores ofrecer servicios de voz de alta velocidad, datos y video a suscriptores residenciales o corporativos.



## BBS 1000

### GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK PLATFORM

COMPACT OPTICAL LINE TERMINAL (OLT) PLATFORM WITH INTEGRATED L2/L3 FUNCTIONALITY DELIVERS HIGH-SPEED TRIPLE PLAY SERVICES TO RESIDENTIAL AND BUSINESS SUBSCRIBERS



Figura 28. BBS 1000 OLT.

## ONU 100

### COST-EFFECTIVE GEPON CUSTOMER PREMISE DEVICE

DELIVERS HIGH SPEED VOICE, DATA AND VIDEO SERVICES OVER GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORKS (GEPON)



Figura 29. 100 ONU

La familia BBS 1000 de UTStarcom incluye un OLT (Optical Line Termination System) para el despliegue en la Oficina Central (Central Office), así como un ONU (Optical Network Unit) para despliegue en las oficinas de los clientes. El OLT 100 provee una interfase óptica directa al núcleo Ethernet/IP, mientras que el ONU 100 finaliza el PON en las oficinas del cliente. Juntas, las dos unidades completan la última milla óptica de punta a punta, proveyendo hasta 1 Gbps de ancho de banda a clientes corporativos y residenciales.

La plataforma de acceso de banda ancha BBS 1000 de UTStarcom cumple con los requerimientos del Nuevo estándar IEEE802.3ah para EPON. De acuerdo con Infonetics Research, se espera que la tecnología GEPON empuje el despliegue de FTTP globalmente en los próximos años.

## **EQUIPO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS MULTIFUNCIONAL FOT-930 MaxTeste.**

Dispositivo preparado para soluciones de acceso FTTx: permite la realización de pruebas de redes ópticas pasivas (redes PON) a 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, las tres longitudes de onda que recomienda ITU-T (G.983.3) para las redes PON.

Ver Figura 30.



Figura 30. Equipos para pérdidas multifuncional<sup>14</sup>

## **FUENTE DE LUZ FLS-600**

La FLS-600 de EXFO permite la realización de pruebas de redes ópticas pasivas (PON) a 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, las tres longitudes de onda que recomienda ITU-T (G.983.3) para redes PON.

Ver Figura 30.



Figura 31. Equipos para fuente de luz<sup>15</sup>

<sup>14</sup> [www.exfo.com](http://www.exfo.com) Mediciones y pruebas para telecomunicaciones

<sup>15</sup> [www.exfo.com](http://www.exfo.com) Mediciones y pruebas para telecomunicaciones

### **MEDIDOR DE POTENCIA FPM-600**

El FPM-600 de EXFO permite la realización de pruebas de redes ópticas pasivas (PON) a 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, las tres longitudes de onda que recomienda ITU T (G.983.3) para redes PON.

Ver Figura 32.



Figura 32. Equipos para medir potencia<sup>16</sup>

### **EQUIPO DE PRUEBAS DE PÉRDIDA ÓPTICA FOT-600**

El FOT-600 de EXFO permite la realización de pruebas de redes ópticas pasivas (PON) a 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, las tres longitudes de onda que recomienda ITU-T (G.983.3) para redes PON.

Ver Figura 33.



Figura 33. Equipos para medir pérdidas ópticas<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> [www.exfo.com](http://www.exfo.com) Mediciones y pruebas para telecomunicaciones

<sup>17</sup> [www.exfo.com](http://www.exfo.com) Mediciones y pruebas para telecomunicaciones

## **11. APLICACIONES GEPON**

### **11.1 Triple Play.**

En Telecomunicaciones, el concepto Triple Play, o bien Triple-Play, se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales de forma simultánea: Televisión (video en demanda o TV difundida convencional), Acceso a Internet de alta velocidad y la posibilidad de hacer y recibir llamadas sobre una sola infraestructura de acceso.

Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV y pagar por ver).

#### **11.1.1 Ventajas del triple-play.**

- ✓ El cliente recibe de forma empaquetada los servicios de voz, datos y video. Una sola cuenta, un único proveedor, única instalación, única llamada, único provisionamiento.
- ✓ El cliente puede percibir mayor valor por el servicio.
- ✓ El operador puede hacer un uso más eficiente de las redes de telecomunicaciones.
- ✓ Con IPTV, el contenido lo recibe única y exclusivamente el suscriptor que solicite dicho contenido.

### **11.2. VOIP.**

VoIP viene de Voice Over Internet Protocol. Como dice el termino VoIP intenta permitir que la voz viaje en paquetes IP y obviamente a través de Internet.

La telefonía IP conjuga dos mundos históricamente separados: la transmisión de voz y la de datos. Se trata de transportar la voz, previamente convertida a datos, entre dos puntos distantes. Esto posibilitaría utilizar las redes de datos para efectuar las llamadas telefónicas, y yendo un poco más allá, desarrollar una única red convergente que se encargue de cursar todo tipo de comunicación, ya sea voz, datos, video o cualquier tipo de información.

La voz IP, por lo tanto, no es en sí mismo un servicio, sino una tecnología que permite encapsular la voz en paquetes para poder ser transportados sobre redes de datos sin necesidad de disponer de los circuitos conmutados convencionales PSTN (red telefónica pública conmutada), las redes desarrolladas a lo largo de los años para transmitir las conversaciones vocales, se basaban en el concepto de conmutación de circuitos, o sea, la realización de una comunicación que requiere el establecimiento de un circuito físico durante el tiempo que dura ésta, lo que significa que los recursos que intervienen en la realización de una llamada no pueden ser utilizados en otra hasta que la primera no finalice, incluso durante los silencios que se suceden dentro de una conversación típica.

En cambio, la telefonía IP no utiliza circuitos para la conversación, sino que envía múltiples de ellas (conversaciones) a través del mismo canal codificadas en paquetes y flujos independientes. Cuando se produce un silencio en una conversación, los paquetes de datos de otras conversaciones pueden ser transmitidos por la red, lo que implica un uso más eficiente de la misma.

### **11.3 IPTV**

DTH, CATV digital y HDTV marcan el ritmo en TV. Desde ahora un nuevo método amenaza con revolucionar el panorama de entrega de programas de televisión; es el llamado IPTV. El Internet protocol televisión (IPTV) se le denomina a la distribución de televisión por el protocolo de Internet (IP) por medio de conexiones de banda ancha. La llegada de las redes de banda ancha bidireccionales rápidas para consumidores intensifica el interés por la oferta de los servicios a través de una red basada en el Protocolo de Internet (IP), en donde el proveedor de servicios tendrá un proveedor de contenido para los programas de tv como se muestra en la figura 1.

IPTV funciona bajo en el protocolo IP y recibe – despliega streams de video tx en forma de paquetes IP. Cubre servicios en vivo (multicasting protocolo IGMP) y video grabado, generalmente el contenido de video es MPEG2 o MPEG4 TS.

Para que el concepto de televisión por Internet funcione la red de transporte debe tener buena capacidad de ancho de banda, debido a la demanda de BW requerido para una imagen de buena calidad (2 Megabits por segundo en televisión estándar y de 6 a 8 Megabits por segundo en televisión de alta definición), y debe permitir el flujo bidireccional de datos, porque IPTV usa una señal de transmisión de dos vías enviada a través de la red y servidores del proveedor, permitiéndole a los usuarios seleccionar contenido por demanda, cambiada en el tiempo, y tomar ventaja de otras opciones interactivas. El proveedor de servicios debe implementar para la red de acceso una tecnología que sea de bajo costo y que permita manejar un ancho de banda razonable como es Gigabit Ethernet.

El concepto de IPTV ofrece mayor interactividad real y representará una competencia importante al servicio tradicional de TV esto debido a que en el sistema convencional, el cual, la TV digital por cable tiene la capacidad de enviar cientos de canales en forma simultánea a cada suscriptor, lo que crea limitaciones en el número de canales ofrecidos y puede contribuir a escasez de ancho de banda y degradación de la calidad. Lo que sucede en la televisión por IP es que se envía un solo programa a la vez, entonces, cuando se cambia de canal o programa un nuevo contenido se transmite del proveedor del servicio directamente a la caja de control del usuario. También, representa una alternativa para ofrecer finalmente al usuario el Triple Play, beneficiándolo porque se vería reflejada básicamente la posibilidad de acceder a los tres servicios a través de un solo operador, una oportunidad que ya han comenzado a ofrecer algunos operadores de televisión. Por esta razón quienes ofrecen el servicio telefónico y de Internet, buscan hoy en día nuevas alternativas para competir en el medio y brindar servicios convergentes a los consumidores, integrando por medio de la tecnología emergente GEPON, el VoIP y el transporte de datos con GibE por medio de las redes de fibra óptica pasiva.

## **12. GE-PON EN COLOMBIA**

En el 2006 El abastecedor Alloptic del equipo de EPON/GEPON firmo un acuerdo con la empresa ProCibernetica de Colombia como parte de su extensión de continuación en América central y latina. ProCibernetica sirve Colombia y Ecuador con experiencia en las telecomunicaciones y los mercados de las comunicaciones de datos. Este negocio se obtiene debido a la demanda creciente para una plataforma convergida de los servicios, capaces, flexibles, confiables de apoyar voz, datos, y los servicios video en comunidades y sitios industriales. Teniendo en cuenta lo anterior ProCibernetica investigó extensivamente socios potenciales, tecnologías y tomó la solución Ethernet-basada en gigabit Ethernet PON de Alloptic.

La red óptica pasiva para gigabit Ethernet (GEPON) es un método de acceso óptico de alta velocidad que ha sido estandarizado por la IEEE como 802.3ah, y ésta tecnología a atraído la atención de algunos operadores de cable que han comenzado a proveer servicio de fibra óptica a los usuarios. La siguiente empresa: NTT Access Network Service Systems Laboratorios, es quien ha desarrollado el sistema GEPON para proveer de servicio FTTH al mercado.

## **13. VENTAJAS GEPON**

Las arquitecturas de FTTB y de FTTH ofrecen las ventajas in-building del operador de red. Por ejemplo, GEPON es más eficiente y económico que el DSL y proporciona más anchura de banda al suscriptor. El direccionamiento de la red es más fácil y menos costosa que otras tecnologías, puesto que un OLT puede servir a hasta ocho acoplamientos de Gbps GEPON y hasta 256 clientes, ver tabla 2, y Tabla 3. Los gastos en inversión de capital para una instalación de GEPON son hasta el momento más bajos que una instalación de un interruptor de Ethernet. Por ejemplo, a continuación se muestra una tabla en donde se compara la instalación de un interruptor Ethernet con la de un OLT. Los interruptores Ethernet requieren más energía de funcionamiento que un OLT.

<b>TABLA 1</b>	
<b>Caso del interruptor de Ethernet</b>	
Clientes totales	200
Número de pisos	14
# de los interruptores de Ethernet por piso	2
# de los interruptores de VOIP por piso	2
Número total de los interruptores de Ethernet	28
Consumo de energía medio (w)	45
Consumo de energía total	1260

Tabla 2. Comparación Ethernet

<b>Caso de GEPON</b>	
Clientes totales	200
Número de pisos	14
# del OLTS de GEPON por el edificio	1
# de los interruptores de VOIP por piso	2
Número total del OLTS de GEPON	1
Consumo de energía medio (w)	100
Consumo de energía total	100

Tabla 3. Comparación GE-PON

Las nuevas tendencias de entretenimiento y de negocios, exige mayor ancho de banda. La presión está en las empresas que ofrecen los servicios y en los portadores, porque deben proporcionar el acceso del multiservice red-triple, cuádruple, e igualan quintuplo-juego-para los hogares y los negocios para seguir siendo competitivos. GEPON es actualmente la mejor tecnología de acceso para proveer a hogares y redes corporativas una mezcla competitiva



del servicio, incluyendo la difusión de televisión, vídeo, acceso de alta velocidad del Internet, y VoIP,.

Una red de GEPON puede proporcionar fácilmente 30 Mbps de la anchura de banda simétrica a cada consumidor, es más que considerable para los usuarios que requieran el uso de video, voz y datos.

El vídeo de alta definición, por ejemplo, requiere una anchura de banda de 6 a 7 Mbps; una casa con tres terminales de video suman 18 a 21 Mbps todavía tiene bastante anchura de banda para VoIP, que requiere típicamente 64 kbps por terminal, y el servicio de alta velocidad de acceso a Internet, que es con velocidades en 128 Kbps, 384 Kbps, 512 Kbps, y 1 Mbps de bajada. Incluso usando el acceso más rápido del Internet, la casa ha utilizado menos de 25 Mbps. (Puesto que el vídeo del Internet está emigrando de la PC a la televisión.) GEPON es así, ideal para las redes de acceso residenciales de soporte del multiservice, mientras que permite la plataforma para el crecimiento futuro de la red. Los negocios pueden también beneficiar de GEPON. Los despliegues de VoIP en la empresa están acelerando, con la utilización del IP PBX en 28 millones de líneas en 2006, excediendo el número previsto de las líneas TDM. VoIP funciona tecnología existente de IP y de Ethernet en redes base, GEPON es la tecnología perfecta de acceso para conectar a las dos tecnologías. Otro uso de negocio que puede aprovecharse de la línea simétrica de Gbps de GEPON es la videoconferencia. Se consiguen ahorros significativos por parte de las empresas. La topología del árbol de Ethernet continúa siendo relevante, incluso a las arquitecturas últimas de PON. Y Ethernet ha llegado a ser tan útil en los últimos 30 años que ninguna otra tecnología ha emergido para desafiarla. Esta historia de dominación es importante para uso general en GEPON. GEPON es una inversión importante que los portadores necesitan hacer hoy, anticipándose en el crecimiento y la aceptación de VoIP, e IPTV, y de los servicios convergidos que incorporan ambos.

## ABREVIATURAS

AF	Función de adaptación (adaptation function)
BRI	Interfaz de velocidad básica (basic rate interface)
CATV	Televisión por cable (cable television)
CWDM	Multiplexación por división aproximada en longitud de onda (coarse wavelength division multiplexing)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa (dense wavelength division multiplexing)
DSL	Línea de abonado digital (digital subscriber line)
FTTB	Fibra al edificio (fibre to the building)
FTTCab/C	Fibra al armario/a la cometida (fibre to the cabinet/curb)
FTTH	Fibra a la vivienda (fibre to the home)
LT	Terminal de línea (line terminal)
MDU	Unidad multivivienda (multi-dwelling unit)
NT	Terminación de red (network termination)
OAM	Operaciones, administración y mantenimiento
OAN	Red de acceso óptico (optical access network)
ODN	Red de distribución óptica (optical distribution network)
OLT	Terminación de línea óptica (optical line termination)
ONT	Terminación de red óptica (optical network termination)
ONU	Unidad de red óptica (optical network unit)
OpS	Sistemas de operaciones (operations system)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (plesiochronous digital hierarchy)
PON	Red óptica pasiva (passive optical network)
POTS	Servicio telefónico ordinario (plain old telephone service)
PRI	Interfaz de velocidad primaria (primary rate interface)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SDH	Jerarquía digital síncrona (synchronous digital hierarchy)
SN	Número de serie (serial number)

SNI Interfaz de nodo de servicio (service node interface)

TC Convergencia de transmisión (transmission convergence)

UNI Interfaz usuario-red (user network interface)

VOD Vídeo por demanda (video-on-demand)

WDM Multiplexación por división de longitud de onda (wavelength division multiplexing)

## CONCLUSIONES

El instituto de los ingenieros electrónicos eléctricos (IEEE) y el foro de Ethernet, continúan conduciendo el desarrollo de nuevos estándares Ethernet. El cable de cobre con sus diferentes familias, el coaxial y ahora la fibra óptica, ya se han convertido en normas de esta tecnología. Tiene sentido entonces que los abastecedores de servicio estén mirando soluciones utilizando fibras en Ethernet como tecnología económica de acceso para poder ofrecer la gran demanda de servicios para datos, video e IP para voz. Los sistemas del acceso de PON proporcionan la trayectoria ideal para los diferentes portadores y operadores del servicio, los requerimientos de anchura de banda y la variedad de servicios en aumento a los clientes cada día son mayores y se necesitan redes más robustas. Cuando las tecnologías PON se combinan con Ethernet, como en GEPON, ofrecen plataformas verdaderamente escalables y rentables. Los operadores que despliegan GEPON hoy, estarán bien preparados para el futuro. FTTP ofrece a los operadores la oportunidad de satisfacer las demandas de servicios de datos de alta velocidad, voz y video de los usuarios y se espera que alcancen un fuerte crecimiento en todo el mundo en los próximos 10 años. GEPON es una solución FTTP ideal porque aprovecha la simplicidad de Ethernet y la velocidad de la fibra. La plataforma de acceso de banda ancha GEPON es un hito en el logro de altas velocidades a un costo económico para el operador.

## BIBLIOGRAFIA

- Recomendación UIT-T G.902.
- Recomendación UIT-T G.998.3.
- Recomendación UIT-T G.984.4
- Recomendación UIT-T G.984.1
- Recomendación UIT-T L.42
- Recomendación UIT-T Q.838.1
- Recomendación UIT-T G.8012/Y.1308
- Development of a Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GE-PON), System. Koji Ochiai, Tsutomu Tatsuta†, Takashi Tanaka, Osamu, Yoshihara, Noriyuki Oota, and Noriki Miki
- ITU-T Workshop IP/Optical, Chitose, Japan, 9-11 July 2002
- Academia de Networking de Cisco systems. Guia del segundo año. CCNA 3 y 4. Cap 17 (páginas 579-593), Cap 19 (páginas 684-686), Cap 21 (páginas 783-787)
- Comunicaciones ópticas. Ed. Paraninfo. Jose Martín Sanz. Cap 7(páginas 227-284).
- Sistemas de comunicación por fibra optica. Ed. Alfaomega. Hildeberto Jardón. Roberto Linares. Cap 10 (páginas 203-242)
- Data sheet FUENTE DE LUZ. FLS-600.
- Data sheet Equipo de pruebas de pérdidas ópticas FOT-600.
- Data sheet EQUIPO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS MULTIFUNCIONAL. FOT-930 MaxTester.
- Data sheet MEDIDOR DE POTENCIA. FPM-600
- <http://www.radioptica.com/Fibra/dwdm.asp>
- <http://www.adnet.com.tw/index.php?id=177&gclid=CJ3q4p6suloCFSJcgQod ezICPA>
- [https://www.pmc-sierra.com/myPMC/download.html?res\\_id=14054](https://www.pmc-sierra.com/myPMC/download.html?res_id=14054)
- Fujitsu Sci. Tech. J., 42,4,p.439-445 (October 2006)
- Gigabit Ethernet. Ing. Leonardo Tolosa Rodríguez. tolosa@cantv.net. www.tolosa.go.cc
- <http://es.wikipedia.org/wiki/FTTH>
- [http://www.esemanal.com.mx/articulos.php?id\\_sec=5&id\\_art=4387&id\\_ejemplar=191](http://www.esemanal.com.mx/articulos.php?id_sec=5&id_art=4387&id_ejemplar=191)
- <http://www.fabila.com/proyectos/ftth/index.asp>
- <http://www.monografias.com/trabajos13/tecnacc/tecnacc.shtml>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_%C3%B3ptica\\_pasiva](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_%C3%B3ptica_pasiva)
- <http://www.telnet-ri.es/index.php?id=279>
- Redes de Acceso. Damian Traverso. Damian.Traverso@nextel.com.ar
- <http://www.conectronica.com/articulos/xdsl30.htm>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Triple\\_play](http://es.wikipedia.org/wiki/Triple_play)
- [http://iptv.marangar.com/index.php?title=Triple\\_Play](http://iptv.marangar.com/index.php?title=Triple_Play)

- [http://www.crt.gov.co/Documentos/Eventos/Seminario\\_ActualizacionTecnologica/Presentacion\\_TriplePlay\\_UNE.pdf](http://www.crt.gov.co/Documentos/Eventos/Seminario_ActualizacionTecnologica/Presentacion_TriplePlay_UNE.pdf)
- <http://www.glosarium.com/term/384,4,xhtml>
- <http://www.unionelectrica.com.co/productos/ultimamilla.php>
- Descripción técnica detallada sobre Voz sobre IP (VOIP). YMDG. yerkod@gmx.net
- El Estándar VoIP Redes y servicios de banda ancha. MARCO AURELIO ROSARIO VILLARREAL. mrosario@unh.edu.pe; FELIPE HERRERA VEGA.fherrera@bmp.com.pe
- VOIP - Voz sobre IP. Luis Enrique Torreyes Rico. luis.torreyes@grupoedc.com
- <http://www.utstar.com>.
- [http://www.microsoft.com/spain/athome/security/online/voip\\_telephone\\_online.msp](http://www.microsoft.com/spain/athome/security/online/voip_telephone_online.msp)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Voz\\_sobre\\_IP](http://es.wikipedia.org/wiki/Voz_sobre_IP)
- <http://www.elmundo.es/navegante/2005/04/15/entrevistas/1113576179.html>
- <http://www.monografias.com/trabajos33/estandar-voip/estandar-voip.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos3/voip/voip.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos11/descripip/descripip.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos23/voz-sobre-ip/voz-sobre-ip.shtml>
- Norma IEEE 802.3, [www.IEEE.org](http://www.IEEE.org)
- <http://www.iol.unh.edu/training/fddi/htmls/index.html>
- [www.cisco.com](http://www.cisco.com).
- Ethernet. Ing. Alvaro Pachón. Universidad Icesi. RED ÓPTICA PASIVA DE ACCESO GIGABIT ETHERNET. Jordi Cueva Hernández. Ingeniero Superior Telecomunicaciones
- [http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/lnty/etty/ggetty/tech/1000b\\_sd.htm](http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/lnty/etty/ggetty/tech/1000b_sd.htm) Novel FTTH Technology. For optical Access network. Tadanobu Okada