



EPON: Ethernet Passive Optical Network

LUIS ALBERTO JIMENEZ ARTEAGA

ALVARO ENRIQUE RUIZ REYES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y ELECTRICA
CARTAGENA D. H. T. Y C.

2006



EPON: Ethernet Passive Optical Network

LUIS ALBERTO JIMENEZ ARTEAGA

ALVARO ENRIQUE RUIZ REYES

Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

ASESOR

EDUARDO GOMEZ VASQUEZ

MAGÍSTER EN TÉCNICAS COMPUTACIONALES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

CARTAGENA D. H. T. Y C.

2006

Cartagena, 15 de Junio de 2006

Señores

Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Respetados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que la monografía titulada “EPON: Ethernet Passive Optical Network” ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos.

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

Atentamente,

LUIS A. JIMENEZ ARTEAGA

ALVARO E. RUIZ REYES

Cartagena, 15 de Junio de 2006

Señores

Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Respetados señores:

Cordialmente me permito informarles, que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes Luís Alberto Jiménez Arteaga y Álvaro Enrique Ruiz Reyes, titulado **EPON: Ethernet Passive Optical Network.**

Atentamente,

EDUARDO GOMEZ VASQUEZ

Ingeniero Electrónico

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D. T. y C. 12 Junio de 2006

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres y por brindarme siempre su apoyo.

A mis familiares.

A mis amigos por su gran amistad.

A la universidad por darme la formación necesaria para desempeñarme como profesional.

Luís Alberto Jimenez Arteaga

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres por brindarme siempre su apoyo incondicional.

A mis familiares y amigos.

A Dios por permitirme que todas mis metas se realizaran.

Álvaro Enrique Ruiz Reyes

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	5
RESUMEN.....	9
1. ETHERNET EN LA PRIMERA MILLA.....	11
1.1. DEFINICIÓN DE ETHERNET.....	11
1.1.1. Hardware comúnmente utilizado en una red ethernet.....	13
1.2. VENTAJAS DE USAR ETHERNET.....	14
1.3. DEFINICIÓN DE ETHERNET EN LA PRIMERA MILLA.....	15
1.4. EVOLUCION DE ETHERNET EN LA PRIMERA MILLA.....	17
2. LAS REDES DE ACCESO DE LA PROXIMA GENERACION.....	20
3. FIBRA OPTICA.....	23
3.1. DEFINICIÓN DE FIBRA OPTICA.....	25
3.2.TIPOS DE FIBRA OPTICA.....	27
3.2.1. Fibra monomodo.....	27
3.2.2. Fibra multimodo de índice gradiente gradual.....	28
3.2.3. Fibra multimodo de índice escalonado.....	28
3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA.....	30
3.4. APLICACIONES DE LA FIBRA OPTICA.....	31
3.4.1. Internet.....	31
3.4.2. Redes.....	32
3.4.3. Telefonía.....	34
3.5. COMPARACIÓN CON OTROS MEDIOS DE	

COMUNICACIÓN.....	35
3.5.1. Comparación con los cables coaxiales.....	35
3.5.2. Comunicaciones por satélite vs fibra óptica.....	35
4. TOPOLOGÍAS DE PON.....	37
5. APON VS EPON.....	40
6. REDES EPON.....	46
6.1. ETHERNET EN PON.....	48
6.1.1. ENCAPSULADO DE DATOS EM EL MODELO DE REFERENCIA OSI.....	48
6.1.1.1. Encabezado IP.....	49
6.1.1.2. Encabezado TCP.....	51
6.2. ARQUITECTURA DE UNA RED EPON.....	53
6.3. COMPONENTES DE UNA EPON.....	54
6.3.1 ONU.....	54
6.3.2. CO CHASIS (CENTRAL OFFICE - OLT).....	56
6.3.3. OLT.....	58
6.3.4. SPLITTERS/COMBINADOTES OPTICOS.....	59
6.4. ACCESO MÚLTIPLE.....	59
6.5. CARACTERÍSTICAS QUE REQUIEREN LOS EMISORES DE WDM.....	63
6.5.1. TIPOS DE LASER QUE CUMPLEN CON LOS REQUERIMIENTOS.....	64
6.6. MANEJO DE TRAFICO EN UPSTREAM Y DOWNSTREAM EN EPON.....	71
6.6.1. EPON EN DONWSTREAM.....	71
6.6.2. EPON EN UPSTREAM.....	72
6.6.3. MPCP EN UPSTREAM.....	73
6.7. BENEFICIOS DE LOS TRANCEIVERS.....	75
6.8. SEGURIDAD.....	77

6.9. CALIDAD DE SERVICIO QoS.....	80
7. APLICACIONES Y SERVICIOS.....	82
7.1. MERCADO PARA EPON.....	82
7.2. APLICACIONES DE EPON.....	83
7.2.1. Usos de la reduccion de costos.....	83
7.2.2. Caso de estudio: Reemplazo de T1.....	84
7.2.3. Nuevas oportunidades de ingresos.....	85
7.2.4. Ventaja competitiva.....	86
7.2.5. Permitir nuevos modelos de negocios del proveedor de servicios.....	87
7.3. VENTAJAS DE EPON.....	89
7.3.1. Ancho de banda mas grande.....	89
7.3.2. Costos mas bajos.....	90
7.3.3. Mayores ingresos.....	91
7.4. EL FUTURO DE ETHERNET PON.....	92
8. CONCLUSIONES.....	93
9. BIBLIOGRAFIA.....	95

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de capas de Ethernet en la primera milla.....	19
Figura 2. Escenarios de despliegue de la FTTH.....	20
Figura 3. Red PON.....	22
Figura 4. Tipos de fibra óptica.....	29
Figura 5. Topologías de PON.....	37
Figura 6. Esquema APON.....	45
Figura 7. Esquema de envío de paquetes de longitud variable.....	47
Figura 8. Tramas Ethernet: Diferencias entre los formatos posibles.....	49
Figura 9. Encabezado IP.....	51
Figura 10. Encabezado TCP.....	53
Figura 11. Arquitectura de una red EPON.....	54
Figura 12. ONU.....	56
Figura 13. OLT.....	58
Figura 14. Esquema real de una red EPON.....	58
Figura 15. Esquema real de splitters/combinadores opticos.....	59
Figura 16. Tipos de LASER utilizados.....	64
Figura 17. Multiplexación por división de longitud de onda.....	65
Figura 18. Tráfico de datos en EPON.....	67
Figura 19. EPON en downstream.....	71
Figura 20. EPON en upstream.....	72
Figura 21. Ranging en MPCM.....	74
Figura 22. Etiquetado de tramas Ethernet para identificación de ONU's.....	75
Figura 23. Comportamiento a nivel de energía y potencia en la señal recibida desde cuatro ONUs.....	76
Figura 24. Ubicación del identificador de clave.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pags.
Tabla No. 1. Ventajas y Desventajas de la fibra óptica.....	30
Tabla No. 2. Fibra óptica versus cable coaxial.....	35

GLOSARIO

ADM: add/drop multiplexer (Multiplexor de inserción/extracción)

APON: ATM passive optical network

ATM: Asynchronous Transfer Mode (Modo de transferencia asíncrona)

BACKBONE: Un backbone es un enlace de gran caudal o una serie de nudos de conexión que forman un eje de conexión principal. Es la columna vertebral de una red.

BLEC: building local-exchange carrier

BROADCAST: es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo.

CATV: cable televisión

CLEC: competitive local-exchange carrier (Compañía Local de Intercambio Competitivo)

CO: central office

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones)

DCS: digital cross-connect (conexión cruzada digital)

DS: digital signal (señal digital)

DSL: digital subscriber line

DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexor

EFM: Ethernet in the First Mile (Ethernet en la primera milla)

EPON: Ethernet passive optical network

FCAPS: fault, configuration, accounting, performance, and security (Fallos, Configuración, Contabilidad, Rendimiento y Seguridad)

FSAN: full-services access network (red de acceso de servicios completos)

FTTB: fiber-to-the-building (Fibra hasta el edificio)

FTTC: fiber-to-the-curb (Fibra hasta la acera)

FTTH: fiber-to-the-home (fibra hasta el hogar)

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

ILEC: incumbent local-exchange carrier

IP: internet protocol

IPSec: Internet protocol security

ITU: International Telecommunications Union

ITU-T: ITU-Telecommunications Standardization Sector

LAN: local-area network (red de area local)

MAN: metropolitan-area network (red de area metropolitana)

MSO: multiple-system operator (Operador de Múltiples Sistemas)

MULTICAST: es el envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente, usando la estrategia más eficiente para el envío de los mensajes sobre cada enlace de la red sólo una vez y creando copias cuando los enlaces en los destinos se dividen.

NE: network element

NIM: network interface module (Módulo de interfaz de red)

OC: optical carrier (portador óptico)

OLT: optical line terminal (línea óptica terminal)

ONU: optical network unit (Unidad óptica de la red)

OVB: overbuilder

PON: Passive optical network (redes ópticas pasivas)

PSTN: public switched telephone network

QAM: quadrature amplitude modulation (modulación de amplitud en cuadratura)

QoS: quality of service (calidad de servicio)

SLA: service-level agreement

SONET: synchronous optical network (Red Óptica Sincrónica)

TDM: time division multiplex (multiplexación por división de tiempo)

VLAN: virtual local-area network

VoIP: voice over Internet protocol (voz sobre IP)

VPN: Virtual private network (red privada virtual)

WAN: wide-area network (Redes de área amplia)

WDM: wavelength division multiplexing (Multiplexación por División de Longitud de Onda)

INTRODUCCION

Desde un punto de vista puramente técnico, la fibra óptica presenta, por su propia naturaleza, una capacidad de transmisión considerablemente mayor que el tradicional cable de cobre, lo que la convierte automáticamente en el medio físico por excelencia para soportar aplicaciones de banda ancha.

Asimismo, la fibra óptica aporta importantes ventajas adicionales frente al cobre en cuanto a inmunidad al ruido, fiabilidad, tiempo de vida, niveles de atenuación (lo que permite transmitir la señal a grandes distancias) o una excelente calidad de la señal. Sin embargo, a pesar de estas claras ventajas, la migración hacia la fibra en el bucle local, se ha mantenido en niveles realmente mínimos hasta hace muy poco tiempo, debido a las altas inversiones económicas que conlleva en comparación con el cobre ya instalado. Estos costes se refieren fundamentalmente a las tecnologías de conexión, a los sistemas opto-electrónicos asociados a la fibra y al coste de la propia fibra.

Actualmente, los avances tecnológicos conseguidos en los dos primeros aspectos mencionados, junto a una muy probable disminución de costes de la fibra debido al despliegue masivo previsto, permiten garantizar una disminución de la complejidad y de la inversión requerida que supone llevar la fibra al usuario lo suficientemente elevada como para que esta solución se convierta en viable

económicamente. En efecto, la terminación de la fibra, que hasta muy recientemente era compleja y consumía mucho tiempo, se ha simplificado considerablemente, y lo mismo ocurre con el splicing (acoplamiento) y el test de los cables y conectores. Los nuevos conectores desarrollados aportan una mayor simplicidad y facilidad para cambios e introducción de elementos adicionales y, consecuentemente, para la operación de mantenimiento, lo que redundará en la disminución de costes asociados al ciclo de vida.

Una atractiva alternativa, que, de hecho, en poco tiempo comenzará a estar disponible en el mercado consiste en una combinación de cables de fibra hasta las Optical Network Units (ONU) vecinas, los cuales son equipos que reciben la fibra que sale del splitter óptico, y de cobre ya existente o de nueva instalación en los últimos tramos de la conexión. Esta topología, que podemos denominar Fiber to the Neighborhood (FTTN), abarca Fiber to the Curb (FTTC) y Fiber to the Basement (FTTB), todas estas topologías están clasificadas con respecto a las distancias abarcadas por cada una.

Fuera del esquema de clasificación en función del nivel de extensión de la fibra en el bucle, está PON (Passive Optical Network) o red óptica pasiva, que se define como el sistema que no tiene elementos electrónicos activos en el bucle. Básicamente, la configuración de una PON consiste en un OLT (Optical Line Terminal), también llamado HDT (Host Digital Terminal), que consiste en la

terminación de la línea óptica del nodo local para FITL y que sirve a una serie de ONU (Optical Network Unit) con una topología punto-multipunto, tree-and-branch. En definitiva, PON trabaja en modo de radiodifusión utilizando splitters (divisores) ópticos o buses. La filosofía de esta arquitectura se basa en el concepto de compartición de los costes del segmento óptico entre diferentes terminales distintos, de forma que se pueda reducir el número de fibras ópticas. Así, por ejemplo, mediante un splitter óptico, una señal de vídeo se puede transmitir desde una fuente a n usuarios diferentes, donde n puede tener un valor en torno a 30. Las PON aparecen actualmente como una solución que ofrece fiabilidad y facilidad de despliegue.

Mientras que en recientes años el Backbone de las telecomunicaciones ha experimentado un crecimiento substancial, poco es lo que ha cambiado en las redes de acceso. El tremendo crecimiento del tráfico de Internet ha acentuado el retraso agravante en la capacidad de las redes de acceso. La “última milla” sigue siendo el cuello de botella entre la alta capacidad de las redes LAN y las redes de Backbone. El mas grande desarrollo en soluciones para banda ancha en la actualidad es DSL o digital subscriber Line y redes con Cable Modem. Aunque estas soluciones de banda ancha son una mejora del ya conocido modem de 56 Kbps, proveen suficiente ancho de banda para aplicaciones emergentes como son telefonía sobre IP, video sobre demanda (VoD), juegos interactivos o videoconferencia. Una nueva tecnología es requerida; una mas económica,

simple, escalable y capaz de entregar voz empaquetada, servicios datos y video al usuario final sobre una red simple. Esta nueva tecnología puede ser EPON (Ethernet Passive Optical Network), que representa la convergencia entre la economía de los equipos Ethernet y la economía de la infraestructura de la fibra, pareciendo uno de los mejores candidatos para la próxima generación de redes de acceso.

RESUMEN

Las redes ópticas se encargan de descomprimir y destrabar los cuellos de botella producidos en las redes de acceso y que supone en la actualidad el bucle local, ofreciendo un ancho de banda flexible capaz de soportar los nuevos servicios de telecomunicaciones aumentando la calidad de los mismos. También prometen a los usuarios un enorme incremento en el ancho de banda de la red de acceso hasta cientos de Gbps por ser una tecnología con un alto grado de escalabilidad. Por ser PON una tecnología incluida en la categoría de Acceso Óptico se puede englobar dentro de los sistemas donde se llega al usuario final con fibra óptica. La arquitectura PON elimina la electrónica en la planta externa. Estas redes cubren principalmente el rango de servicios entre 1,5 Mbps y 155 Mbps que otras redes de acceso no llegan a cubrir. Para hacerla mucho más flexible se implemento PON sobre Ethernet o EPON, la cual utiliza la arquitectura establecida de PON y la flexibilidad del universal Ethernet.

EPON se puede definir como una arquitectura emergente de acceso que combina el bajo costo de la infraestructura punto-multipunto con Ethernet. EPON esta diseñado para transportar tramas Ethernet a la velocidad estándar de Ethernet. EPON utiliza un solo tronco de fibra extendido desde el central office al splitter pasivo óptico, el cual divide la señal transportada y multiplexada en múltiples fibras llevadas cada una hasta los nodos de los usuarios finales. En los equipos

terminales no hay componentes que requieran alimentación eléctrica, por esa razón es una red pasiva. Esta tecnología surge pensando en la evolución de de las redes LAN de Ethernet o fast Ethernet. Entre sus características mas importantes tenemos que:

- Elimina la conversión ATM/IP en la conexión WAN/LAN
- Disminuye la complejidad en los equipos
- Eficiencia en el transporte del trafico basado en IP
- Disminuye el costo de equipos, costos operativos, y simplifica la arquitectura.

Evidentemente, las principales características que se buscan en estos equipos son su bajo costo, la facilidad de gestión y la facilidad de configuración y mantenimiento remoto.

Los portadores locales tienen gran interés en las redes pasivas ópticas debido a los beneficios que ellas ofrecen, como la mínima infraestructura de fibra utilizada, el no requerimiento de alimentación eléctrica fuera de la planta.

1. ETHERNET EN LA PRIMERA MILLA

1.1. DEFINICION DE ETHERNET

Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. El nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Aunque se trató originalmente de un diseño propietario de Xerox, ésta tecnología fue estandarizada por la especificación IEEE 802.3, que define la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. Originalmente fue diseñada para enviar datos a 10 Mbps, aunque posteriormente ha sido perfeccionada para trabajar a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps. En sus versiones de hasta 1 Gbps utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CD ¹(Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect - Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones). Actualmente Ethernet es el estándar más utilizado en redes locales/LANs.

¹ CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection ("Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones"), es una técnica usada en redes ethernet para mejorar sus prestaciones. Con este método los dispositivos de red que tienen datos para transmitir funcionan en el modo "escuchar antes de transmitir". Esto significa que cuando un nodo desea enviar datos, primero debe determinar si los medios de red están ocupados.

Ethernet fue creado por Robert Metcalfe y otros en Xerox Parc, centro de investigación de Xerox para interconectar computadoras Alto. El diseño original funcionaba a 1 Mbps sobre cable coaxial grueso con conexiones vampiro (que "muerden" el cable) en 10Base5. Para la norma de 10 Mbps se añadieron las conexiones en coaxial fino (10Base2, también de 50 ohmios, pero más flexible), con tramos conectados entre sí mediante conectores BNC; par trenzado categoría 3 (10BaseT) con conectores RJ45, mediante el empleo de hubs y con una configuración física en estrella; e incluso una conexión de fibra óptica (10BaseF).

Los estándares sucesivos (100 Mbps o Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, y 10 Gigabit Ethernet) abandonaron los coaxiales dejando únicamente los cables de par trenzado sin apantallar (UTP - Unshielded Twisted Pair), de categorías 5 y superiores y la Fibra óptica.

Ethernet es la capa física más popular de la tecnología LAN usada actualmente. Otros tipos de LAN incluyen Token Ring 802.5, Fast Ethernet, FDDI, ATM y LocalTalk. Ethernet es popular porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado y la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos de red populares, hacen a Ethernet la tecnología ideal para la red de la mayoría de usuarios de la informática actual.

1.1.1. Hardware comúnmente utilizado en una red Ethernet

- NIC, o adaptador de red Ethernet - permite el acceso de una computadora a una red. Cada adaptador posee una dirección MAC que la identifica en la red y es única. Una computadora conectada a una red se denomina **nodo**.
- Repetidor o repeater - aumenta el alcance de una conexión física, disminuyendo la degradación de la señal eléctrica en el medio físico.
- Concentrador o hub - funciona como un repetidor, pero permite la interconexión de múltiples nodos, además cada mensaje que es enviado por un nodo, es repetido en cada boca del hub.
- Puente o bridge - interconectan segmentos de red, haciendo el cambio de frames (tramas) entre las redes de acuerdo con una tabla de direcciones que dice en que segmento está ubicada una dirección MAC.
- Conmutador o Switch - funciona como el bridge, pero permite la interconexión de múltiples segmentos de red, funciona en velocidades más rápidas y es más sofisticado. Los switches pueden tener otras funcionalidades, como redes virtuales y permiten su configuración a través de la propia red.
- Enrutador o Router - funciona en una capa de red más alta que los anteriores -- el nivel de red, como en el protocolo IP, por ejemplo -- haciendo el enrutamiento de paquetes entre las redes interconectadas. A través de tablas y algoritmos de enrutamiento, un enrutador decide el mejor

camino que debe tomar un paquete para llegar a una determinada dirección de destino.

1.2. VENTAJAS DE USAR ETHERNET

- Ethernet es la tecnología más ampliamente usada en la actualidad
- Velocidad de protocolo flexible
- Independencia con respecto a los medios
- Variedad de topologías, diversos tipos de cableado
- Paquete de longitud variable
- Protocolo sin conexiones
- Capacidad broadcast y multicast
- Protocolos de subredes IP optimizados para ARP (protocolo de resolución de direcciones) de Ethernet
- Numerosos puntos terminales gracias a la capacidad de punto a multipunto
- Sencillez y facilidad de uso para Internet
- Económico y sencillo
- Soporte de COS (clase de servicio)

1.3. DEFINICION DE ETHERNET EN LA PRIMERA MILLA

Es un estándar bajo desarrollo por la IEEE en el documento 802.3ah. Ethernet nació en noviembre de 2000, cuando el IEEE formó el grupo de estudio del foro EFM. A fines de 2001, el grupo de trabajo IEEE 802.3 de Ethernet creó el grupo de trabajo 802.3ah de EFM con el objetivo de certificar el documento como norma a mediados de 2004.

La normalización es importante por las siguientes razones:

- Interoperabilidad
- Menor costo en la primera milla.
- Diversas aplicaciones, tales como residenciales, MTU (máxima unidad de transmisión), etc.
- Diversos tipos de medios: fibra, cobre, etc.
- Uso de tecnologías en evolución, tales como DSL (línea digital de abonado), FTTH (fibra al hogar) y PON (red óptica pasiva).
- La norma 802.3ah define:
 - La topología del acceso del abonado.
 - Las especificaciones de la capa física – definición de la PHY (capa física), los protocolos y la PMD (capa dependiente del medio físico) de la conexión
- Las OAM (operaciones, administración y mantenimiento) comunes de la EFM

Todo el tráfico de Internet en la actualidad comienza y termina con IP y Ethernet. Desarrollando Ethernet como la tecnología de transporte a través de la red escogida para la primera milla, los diseñadores pueden construir redes con IP y Ethernet, y evitar el costo y la complejidad de la conversión de protocolos por ser Ethernet un protocolo universal y el más aceptado para la mayoría de las aplicaciones existentes. Ethernet es la tecnología de red mas económica y de mas alto volumen existente en la actualidad. Las soluciones de Ethernet en la primera milla les permiten a diseñadores de sistemas de hardware usar la base instalada de 300 millones de puertos Ethernet, en conjunto con la industria mercantil de chipset y elementos ópticos. Porque Ethernet es la tecnología mas conocida con una gran base instalada, el desarrollo de Ethernet en la primera milla les permitirá a administradores de red aprovechar sus inversiones en los equipos instalados, manejo de la red y herramientas de análisis, e información tecnológica especializada. Ethernet también soporta todos los servicios como datos, voz paquetizada y video, y todas las aplicaciones multimedia, sobre cobre y fibra.

Ethernet es rentable en una red de primera milla. Sin tener en cuenta las capas de protocolos y de elementos asociados al horizonte de la ultima milla, se puede decir que al usar Ethernet se reduce el costo de los equipos, los costos operativos que el manejo de estos equipos requieren, se disminuye la complejidad de los equipos y de la red y se simplifica la arquitectura de la misma.

La primera milla conecta a la central del ISP con negocios y suscriptores residenciales. La primera milla también hace referencia a las redes de acceso al suscriptor o bucle local, lo cual corresponde a la infraestructura de red a nivel de domicilios.

1.4. EVOLUCION DE ETHERNET EN LA PRIMERA MILLA

Los suscriptores residenciales exigen soluciones de primera milla como banda ancha, ofertas en servicios de Internet para aplicaciones multimedia y precios comparables con otras redes existentes. Las compañías telefónicas apoyadas en la demanda de Internet de banda ancha desarrollaron la tecnología DSL². DSL utiliza el mismo par trenzado de las líneas telefónicas y requiere un MODEM DSL y un DSLAM³ (Digital Subscriber Line Access Multiplexor) en la central Office. La velocidad de transferencia de datos en DSL se encuentra ubicada en un rango típico de 128Kbps a 1.5Mbps. Mientras que esta representa una velocidad significativa en comparación con un modem análogo, es un poco menguado considerarlo Banda ancha, debido a que no soporta totalmente los servicios de

² DSL Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital) es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica local.

³ DSLAM **Digital Subscriber Line Access Multiplexer** (Multiplexor de acceso a la línea de abonado digital). Es un multiplexor localizado en la central telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios DSL sobre cable de par trenzado de cobre. El dispositivo separa la voz y los datos de las líneas de abonado.

voz, datos y video. Adicional a esto, el área física que se puede cubrir desde el “central office” hasta el usuario es muy limitado, de menos de 5.5Km.

Las compañías de televisión por cable respondieron a la demanda del servicio del Internet integrando servicios de datos sobre sus redes de cable coaxial, que fueron diseñadas originalmente para la difusión video analógica, y fibra óptica hasta el nodo o cabecera. De la cabecera o nodo parte coaxial hasta el sitio de destino (usuario).

El próximo avance en redes de acceso local promete llevar la fibra óptica hasta edificaciones (FTTB) y la hasta los hogares (FTTH). Diferente de las arquitecturas anteriores, donde la fibra se utiliza como alimentador para acortar las longitudes de las redes de cobre y coaxiales, estos nuevos despliegues utilizan la fibra óptica a través de la red de acceso. Las arquitecturas emergentes de redes de fibra óptica son capaces de soportar velocidades de gigabits por segundo, con costos comparable con redes DSL y HFC⁴.

⁴ HFC Hybrid Fibre Coaxial ("Híbrido de Fibra y Coaxial"). En Telecomunicaciones, es un término que define una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha.

1.5. DIAGRAMA DE CAPAS DE ETHERNET EN PRIMERA MILLA

IEEE 802.3ah EFM Layer Diagram

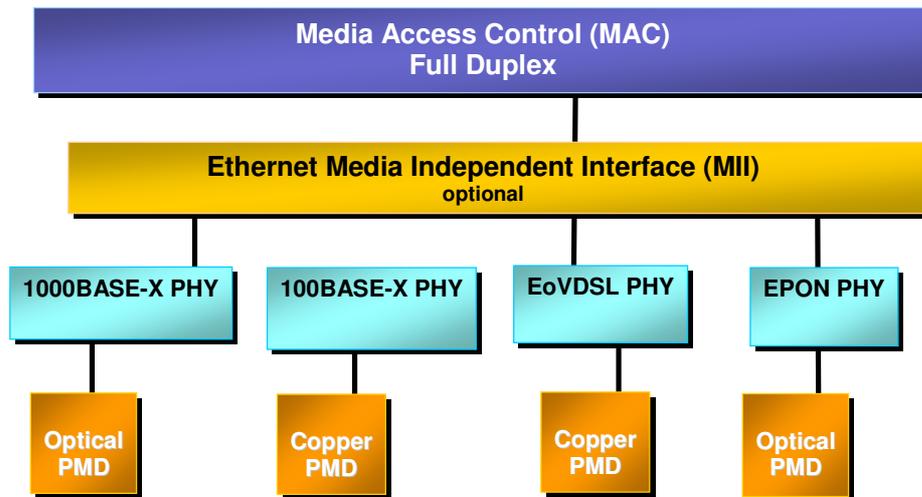


Figura 1. Diagrama de capas de Ethernet en primera milla

2. LAS REDES DE ACCESO DE LA PROXIMA GENERACION

La fibra óptica es capaz de entregar un gran ancho de banda, integrando voz, datos, y servicios de video a distancias más allá de 20 kilómetros en la red de acceso al suscriptor. Una manera lógica de desplegar la fibra óptica en la red de acceso local es utilizando la topología punto a punto (P2P), con fibra dedicada que llega desde la central telefónica hasta cada uno de los usuarios finales.

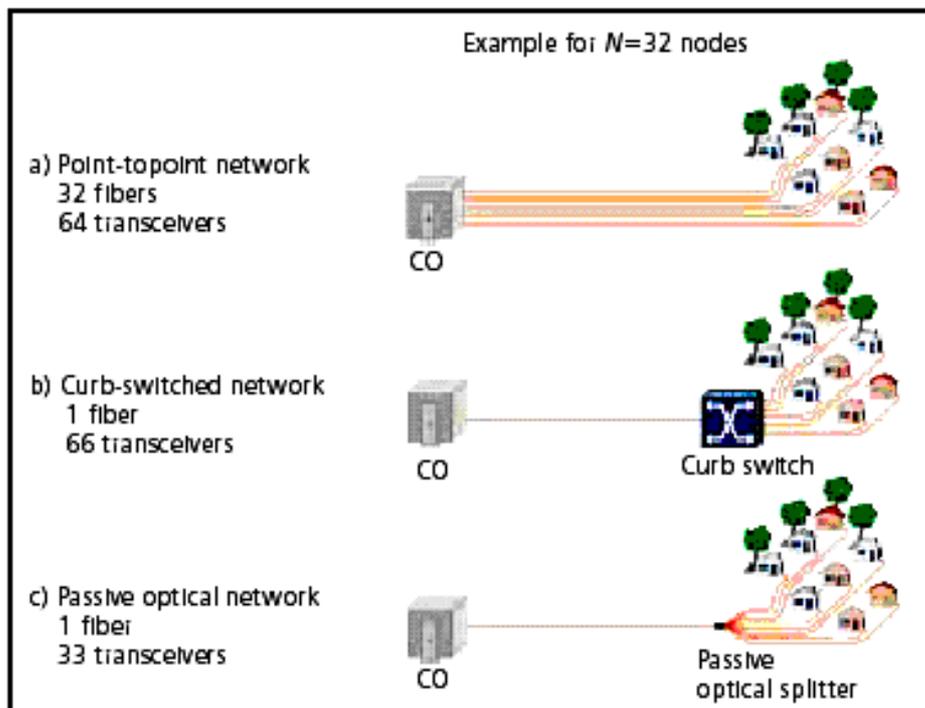


Figura 2. Escenarios de despliegue de la FTTH

Mientras que esto es una arquitectura simple, en la mayoría de los casos el costo es elevado debido al hecho de que requiere un despliegue exterior significativo de

fibra de la planta, así como espacio en la terminación del conector en la central telefónica. Considerando N subscriptores en una distancia promedio de L Km. desde la oficina central, un diseño P2P requiere $2N$ transceivers y $N*L$ longitud total de fibra (asumiendo que la sola fibra se utiliza para la transmisión bidireccional)

Para reducir el despliegue de la fibra, es posible desplegar un concentrador o switch cerca del vecindario. Esto reduce el consumo de fibra solamente a L kilómetros (distancia insignificante asumida entre el switch y los clientes), pero aumenta realmente el número de transceivers a $2N + 2$, puesto que hay más de un enlace agregado a la red. Además, una arquitectura curb-switched requiere corriente eléctrica así como energía de reserva en la unidad del curb. Actualmente, uno de los costos más altos para los portadores de la central telefónica local es de abastecimiento y mantenimiento de corriente eléctrica en el lazo local. Por lo tanto, es lógico sustituir el costoso switch activo del curb-side por un componente óptico pasivo barato.

La red óptica pasiva (PON) es una tecnología vista por muchos como solución atractiva al problema de la primera milla; las PONs reducen al mínimo la cantidad de transceivers ópticos, las terminaciones de oficina central, y el despliegue de fibra. Una PON es una red óptica punto a multipunto sin elementos activos en el recorrido de la señal de la fuente al destino. Los únicos elementos interiores

usados en un PON son componentes ópticos pasivos, tales como fibra óptica, empalmes, y divisores. Las redes de acceso basadas en la sola fibra PON requieren solamente $N + 1$ transceivers y L kilómetros de fibra.

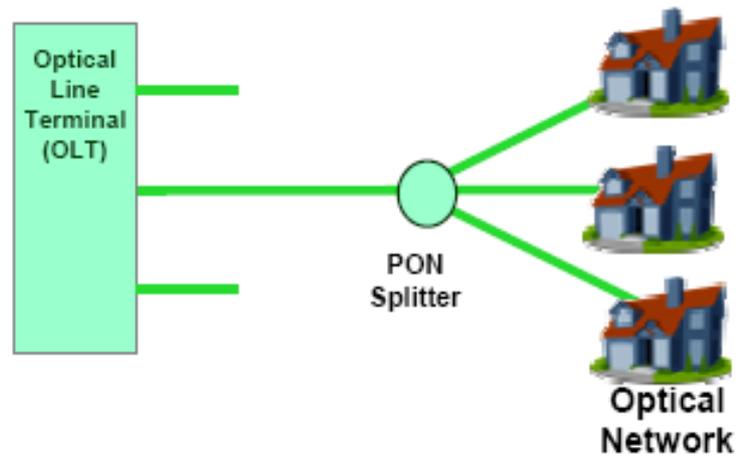


Figura 3. Red PON

3. FIBRA OPTICA

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Esta forma de usar la luz como portadora de información se puede explicar de la siguiente manera: Se trata en realidad de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

El concepto de las comunicaciones por ondas luminosas ha sido conocido por muchos años. Sin embargo, no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico. Estos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente flexible y proveer así un análogo óptico de la señalización por alambres electrónicamente.

El problema técnico que se había de resolver para el avance de la fibra óptica residía en las fibras mismas, que absorbían luz que dificultaba el proceso. Para la comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales luminosas detectables por muchos kilómetros. El vidrio ordinario tiene un haz luminoso de pocos metros. Se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario. Estos vidrios empezaron a producirse a principios de los setenta. Este gran avance dio ímpetu a la industria de fibras ópticas. Se usaron láser o diodos emisores de luz como fuente luminosa en los cables de fibras ópticas. Ambos han de ser miniaturizados para componentes de sistemas fibro-ópticos, lo que ha exigido considerable labor de investigación y desarrollo. Los láser generan luz "coherente" intensa que permanece en un camino sumamente estrecho. Los diodos emiten luz "incoherente" que ni es fuerte ni concentrada. Lo que se debe usar depende de los requisitos técnicos para diseñar el circuito de fibras ópticas dado.

3.1. DEFICION DE FIBRA OPTICA

Antes de explicar directamente que es la fibra óptica, es conveniente resaltar ciertos aspectos básicos de óptica. La luz se mueve a la velocidad de la luz en el vacío, sin embargo, cuando se propaga por cualquier otro medio, la velocidad es menor. Así, cuando la luz pasa de propagarse por un cierto medio a propagarse por otro determinado medio, su velocidad cambia, sufriendo además efectos de reflexión (la luz rebota en el cambio de medio, como la luz reflejada en los cristales) y de refracción (la luz, además de cambiar el módulo de su velocidad, cambia de dirección de propagación, por eso vemos una cuchara como doblada cuando está en un vaso de agua, la dirección de donde nos viene la luz en la parte que está al aire no es la misma que la que está metida en el agua).

Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales), del espesor de un pelo (entre 10 y 300 micrones). Llevan mensajes en forma de haces de luz que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya (incluyendo curvas y esquinas) sin interrupción.

Las fibras ópticas pueden ahora usarse como los alambres de cobre convencionales, tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas

(como los sistemas de largas líneas urbanas mantenidos por compañías telefónicas).

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por dispersión de luz debida a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

Se puede concluir pues diciendo que, la Fibra Óptica consiste en una guía de luz con materiales mucho mejores que lo anterior en varios aspectos. A esto le podemos añadir que en la fibra óptica la señal no se atenúa tanto como en el cobre, ya que en las fibras no se pierde información por refracción o dispersión de luz consiguiéndose así buenos rendimientos, en el cobre, sin embargo, las señales se ven atenuadas por la resistencia del material a la propagación de las ondas electromagnéticas de forma mayor. Además, se pueden emitir a la vez por el cable varias señales diferentes con distintas frecuencias para distinguirlas, lo que en telefonía se llama unir o multiplexar diferentes conversaciones eléctricas. También

se puede usar la fibra óptica para transmitir luz directamente y otro tipo de ventajas en las que no entraré en detalle.

3.2. TIPOS DE FIBRA OPTICA

3.2.1. Fibra Monomodo:

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. La figura 4 muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 μm . Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión que aún se dominan mal.

3.2.2. Fibra Multimodo de Índice Gradiente Gradual:

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, como se puede ver en el dibujo. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 m (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras:

- Multimodo de índice escalonado 100/140 mm.
- Multimodo de índice de gradiente gradual 50/125 m m.

3.2.3. Fibra Multimodo de índice escalonado:

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo

hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

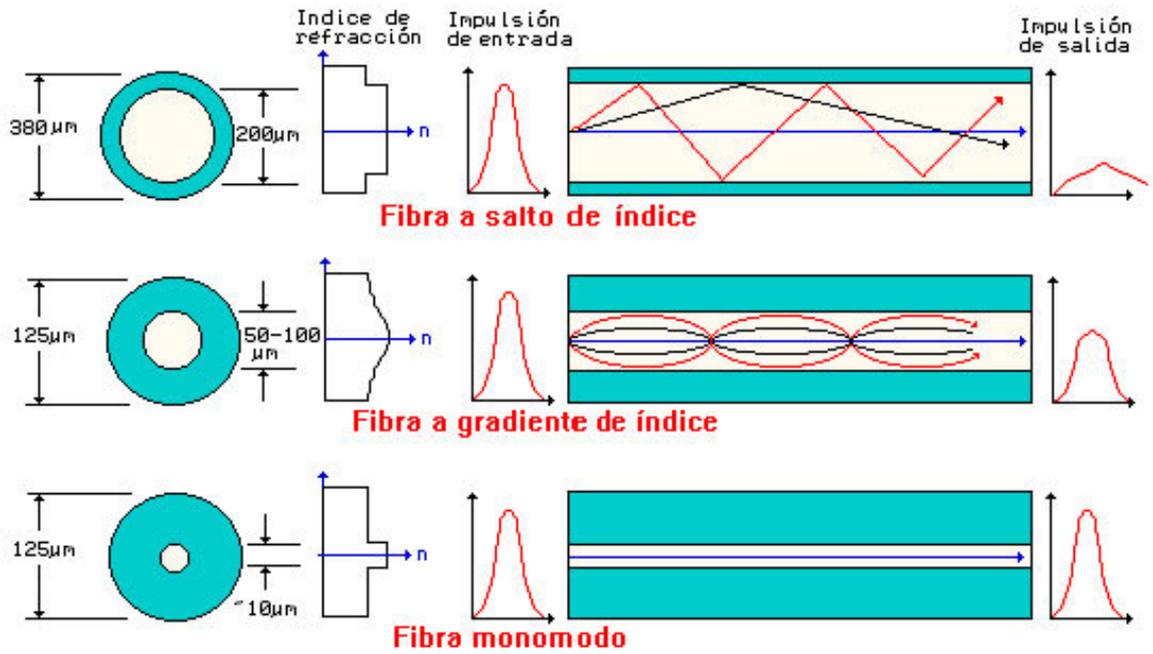


Figura 4. Tipos de fibra óptica

3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

VENTAJAS

- La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de dos millones de bps.
- Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día, sin congestiones.
- Video y sonido en tiempo real.
- Fácil de instalar.
- Es inmune al ruido y las interferencias, como ocurre cuando un alambre telefónico pierde parte de su señal a otra.
- Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es también segura y no puede ser perturbada.
- Carencia de señales eléctricas en la fibra, por lo que no pueden dar sacudidas ni otros peligros. Son convenientes para trabajar en ambientes explosivos.
- Presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes.
- El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, capaz de llevar un gran número de señales.
- La materia prima para fabricarla es abundante en la naturaleza.
- Compatibilidad con la tecnología digital.

DESVENTAJAS

- Sólo pueden suscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.
- El coste es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en megabytes.
- El coste de instalación es elevado.
- Fragilidad de las fibras.
- Disponibilidad limitada de conectores.
- Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de la fibra óptica

3.4. APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA

3.4.1. Internet

El servicio de conexión a Internet por fibra óptica, derriba la mayor limitación del ciberespacio: su exasperante lentitud. El propósito del siguiente artículo es describir el mecanismo de acción, las ventajas y sus desventajas.

Para navegar por la red mundial de redes, Internet, no sólo se necesitan un computador, un módem y algunos programas, sino también una gran dosis de paciencia. El ciberespacio es un mundo lento hasta el desespero. Un usuario puede pasar varios minutos esperando a que se cargue una página o varias horas tratando de bajar un programa de la Red a su PC.

Esto se debe a que las líneas telefónicas, el medio que utiliza la mayoría de los 50 millones de usuarios para conectarse a Internet, no fueron creadas para transportar videos, gráficas, textos y todos los demás elementos que viajan de un lado a otro en la Red.

Pero las líneas telefónicas no son la única vía hacia el ciberespacio. Recientemente un servicio permite conectarse a Internet a través de la fibra óptica.

La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de dos millones de bps, impensable en el sistema convencional, en el que la mayoría de usuarios se conecta a 28.000 o 33.600 bps.

3.4.2. Redes

La fibra óptica se emplea cada vez más en la comunicación, debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia. En las redes de comunicaciones se emplean sistemas de láser con fibra óptica. Hoy funcionan muchas redes de fibra para comunicación a larga distancia, que proporcionan conexiones transcontinentales y transoceánicas. Una ventaja de los sistemas de fibra óptica es la gran distancia que puede recorrer una señal antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad. En la actualidad, los repetidores de fibra óptica están separados entre sí unos 100 km, frente a aproximadamente 1,5 km en los sistemas eléctricos. Los amplificadores de fibra óptica recientemente desarrollados pueden aumentar todavía más esta distancia.

Otra aplicación cada vez más extendida de la fibra óptica son las redes de área local. Al contrario que las comunicaciones de larga distancia, estos sistemas conectan a una serie de abonados locales con equipos centralizados como ordenadores (computadoras) o impresoras. Este sistema aumenta el rendimiento de los equipos y permite fácilmente la incorporación a la red de nuevos usuarios.

El desarrollo de nuevos componentes electro ópticos y de óptica integrada aumentará aún más la capacidad de los sistemas de fibra.

Red de área local o LAN, conjunto de ordenadores que pueden compartir datos, aplicaciones y recursos (por ejemplo impresoras). Las computadoras de una red de área local (LAN, *Local Area Network*) están separadas por distancias de hasta unos pocos kilómetros, y suelen usarse en oficinas o campus universitarios. Una LAN permite la transferencia rápida y eficaz de información en el seno de un grupo de usuarios y reduce los costes de explotación.

Otros recursos informáticos conectados son las redes de área amplia (WAN, *Wide Area Network*) o las centrales telefónicas particulares (PBX). Las WAN son similares a las LAN, pero conectan entre sí ordenadores separados por distancias mayores, situados en distintos lugares de un país o en diferentes países; emplean equipo físico especializado y costoso y arriendan los servicios de comunicaciones. Las PBX proporcionan conexiones informáticas continuas para la transferencia de datos especializados como transmisiones telefónicas, pero no resultan adecuadas para emitir y recibir los picos de datos de corta duración empleados por la mayoría de las aplicaciones informáticas.

Las redes de comunicación públicas están divididas en diferentes niveles; conforme al funcionamiento, a la capacidad de transmisión, así como al alcance que definen. Por ejemplo, si está aproximándose desde el exterior hacia el interior

de una gran ciudad, se tiene primeramente la red interurbana y red provisional, a continuación las líneas prolongadas las cuales aportan tráfico de más baja capacidad procedente de áreas alejadas (red rural), hacia el centro la red urbana y finalmente las líneas de abonado. Los parámetros dictados por la práctica son el tramo de transmisión que es posible cubrir y la velocidad binaria específica así como el tipo de fibra óptica apropiado, es decir, cables con fibras monomodo ó multimodo.

3.4.3. Telefonía

Con motivo de la normalización de interfaces existentes, se dispone de los sistemas de transmisión por fibra óptica para los niveles de la red de telecomunicaciones públicas en una amplia aplicación, contrariamente para sistemas de la red de abonado (línea de abonado), hay ante todo una serie de consideraciones.

Para la conexión de un teléfono es completamente suficiente con los conductores de cobre existentes. Precisamente con la implantación de los servicios en banda ancha como la videoconferencia, la videotelefonía, etc, la fibra óptica se hará imprescindible para el abonado. Con el BIGFON (red urbana integrada de telecomunicaciones en banda ancha por fibra óptica) se han recopilado amplias experiencias en este aspecto. Según la estrategia elaborada, los servicios de banda ancha posteriormente se ampliarán con los servicios de distribución de

radio y de televisión en una red de telecomunicaciones integrada en banda ancha (IBFN).

3.5. COMPARACIÓN CON OTROS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

3.5.1. Comparación con los cables coaxiales

Características	Fibra Óptica	Coaxial
Longitud de la Bobina (mts)	2000	230
Peso (kgs/km)	190	7900
Diámetro (mm)	14	58
Radio de Curvatura (cms)	14	55
Distancia entre repetidores (Kms)	40	1.5
Atenuación (dB / km) para un Sistema de 56 Mbps	0.4	40

Tabla 2. Fibra óptica versus cable coaxial

3.5.2. Comunicaciones por Satélite vs Fibra Óptica

Es más económica la F.O. para distancias cortas y altos volúmenes de tráfico, por ejemplo, para una ruta de 2000 ctos., el satélite no es rentable frente a la solución del cable de fibras hasta una longitud de la misma igual a unos 2500 kms.

La calidad de la señal por cable es por mucho más alta que por satélite, porque en los geoestacionarios, situados en órbitas de unos 36,000 kms. de altura, y el retardo próximo a 500 mseg. Introduce eco en la transmisión, mientras que en los cables este se sitúa por debajo de los 100 mseg admitidos por el CCITT. La inclusión de supresores de eco encarece la instalación, disminuye la fiabilidad y resta la calidad al cortar los comienzos de frase.

El satélite se adapta a la tecnología digital, si bien las ventajas en este campo no son tan evidentes en el analógico, al requerirse un mayor ancho de banda en aquel y ser éste un factor crítico en el diseño del satélite.

4. TOPOLOGÍAS DE PON

Lógicamente, la primera milla es punto-a-multipunto (P2MP), con la oficina central manteniendo típicamente a millares de suscriptores. Hay varias topologías de múltiples puntos convenientes para la red de acceso, incluyendo árbol, árbol-y-rama, anillo, y bus. Usando 1: 2 acopladores ópticos y 1: N divisores ópticos, las PONs se pueden desplegar flexiblemente en cualquiera de estas topologías. Además, las PONs se pueden desplegar en configuraciones redundantes tales como anillos dobles o árboles dobles; o la redundancia se puede agregar solamente a una parte del PON, conocida como troncal del árbol.

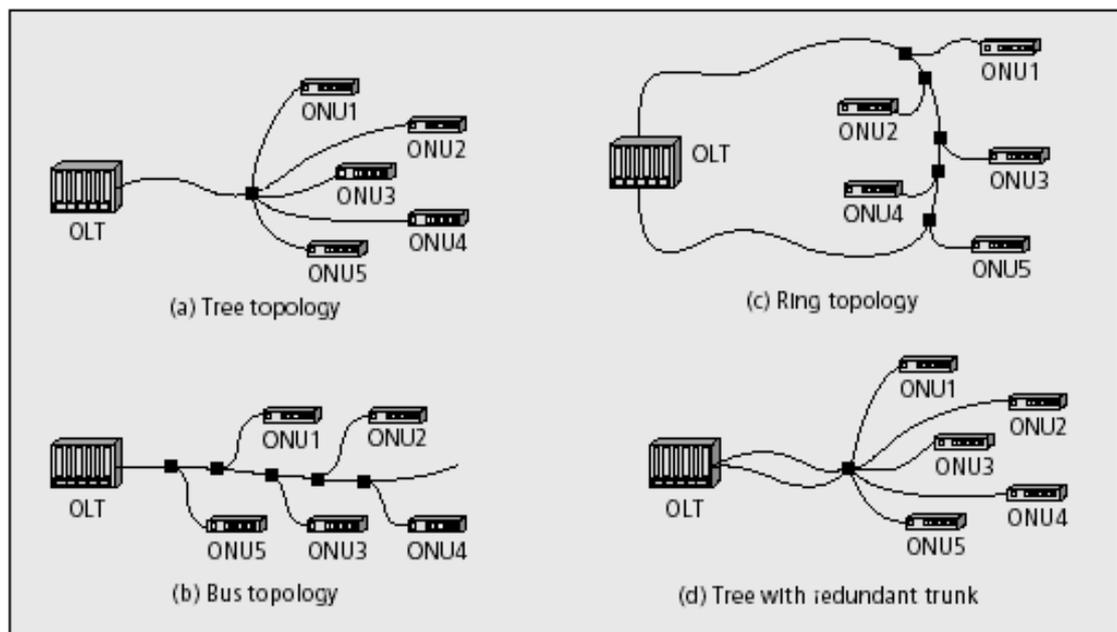


Figura 5. Topologías de PON

Todas las transmisiones en una PON se realizan entre un terminal óptico de línea (OLT) y las unidades ópticas de red (ONU's). El OLT reside en el intercambiador local (sede), conectando la red de acceso óptico con el metro backbone. La ONU está situada en el curb (solución de FTTC, fiber to the curb) o en la localización del usuario final (FTTH y FTTB), y proporciona banda ancha para voz, datos, y servicios de video. En dirección downstream (de OLT a la ONU), una PON es una red punto-multipunto, y en la dirección upstream es una red multipunto - punto.

Las ventajas de usar PON's en redes de acceso al suscriptor son numerosas:

- Las PON's permiten largo alcance entre las sedes y el consumidor local, funcionando a distancias sobre 20 kilómetros.
- Las PON's reducen al mínimo el despliegue de la fibra en la oficina de la central telefónica y en el lazo local.
- Las PON's proporcionan un ancho de banda más alto debido a una penetración más profunda de la fibra, ofreciendo soluciones en Gigabit por segundo.
- Funcionando en sentido Downstream como una red broadcast, las PON's permiten difusión de vídeo, como vídeo IP o vídeo análogo usando diferentes longitudes de onda.
- Las redes PON's no utilizan elementos activos hasta la ONU.

- Siendo ópticamente transparente de comienzo a fin, PON permite actualizaciones en cuanto a velocidades de transferencia de bits y longitudes de ondas adicionales.

5. APON versus EPON

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 desregularización del Mercado de las Telecomunicaciones, y a la aparición de nuevos servicios de banda ancha.

El resultado de estos dos factores se ha traducido en una necesidad de mejores redes de comunicaciones capaces de ofrecer un mayor ancho de banda a un menor coste.

El principal inconveniente para la consecución de este objetivo, aparece en el último tramo de la red de comunicaciones, denominada red de acceso y encargada de ofrecer los servicios a los usuarios finales. En este tramo de red, el ancho de banda está limitado por la tecnología actual utilizada, basada en el uso de pares de cobre, creándose un cuello de botella que se ha dado en llamar el problema de la última milla (last mile).

En este sentido, la tecnología de fibra óptica se presenta como una firme solución al problema, gracias a su robustez, a su potencial ancho de banda *ilimitado* (capaz de soportar un elevado rango de servicios de banda ancha) y al continuo descenso en los costes asociados a láseres, fibra e instalación del cable. Al

desplegar una Red de Acceso Óptica (AON – Access Optical Network), puede adoptarse una arquitectura punto a punto entre cada usuario y el punto de presencia del operador. Sin embargo, para reducir costes, es preferible la opción de compartir la fibra entre varios usuarios, dando lugar a las denominadas Redes Ópticas Pasivas (PON's - Passive Optical Networks) que constituyen una de las infraestructuras de comunicaciones ópticas más atractivas para la red de acceso. Estas redes son propuestas en 1995, como resultado del trabajo de un grupo de operadores y suministradores de equipos que forman el Consorcio FSAN (Full Services Access Network), con el objetivo de definir un sistema común de acceso óptico, efectivo en coste y capaz de soportar servicios interactivos de banda ancha. Se opta por el protocolo de transporte ATM debido a su capacidad de integrar diferentes tipos de tráfico garantizando una determinada calidad de servicio (QoS). En 1998, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU – International Telecommunication Union) adopta en su recomendación G.983, la iniciativa de FSAN sobre redes APON (ATM based PON's). La principal característica de estas redes es que presentan una topología punto a multipunto, pudiendo así el operador compartir el coste de la infraestructura y del equipamiento entre varios usuarios, y pudiendo asignarles el ancho de banda de forma dinámica según la demanda de servicio. El sistema consiste en el equipo Terminación de Línea Óptica (OLT- Optical Line Termination) situada en el punto de presencia del operador, y los equipos de Unidad de Red Óptica (ONU's – Optical Network Units), localizadas en las instalaciones de abonados para una

conexión de fibra hasta el hogar (FTTH – Fiber To The Home). La gran ventaja de las redes PON's radica en que al no utilizar en la planta exterior ningún tipo de componente activo, los costes asociados a alimentación y mantenimiento son muy reducidos. Así mismo, la PON posee una alta flexibilidad al ser independiente de la velocidad binaria, el formato de la señal (digital/ analógico), y el protocolo de transporte empleado (SDH, ATM...). El suministro de nuevos servicios o la inclusión de nuevos clientes, sólo requiere la incorporación de equipos adecuados en cada extremo de la red, manteniéndose la infraestructura de fibra inalterada. El principio de funcionamiento de la red es el siguiente: en el sentido descendente (OLT a ONU's), la información es transmitida mediante Multiplexación en el Dominio del Tiempo (TDM⁵) o multiplexación por división de longitud de onda (WDM), y es difundida hacia todas las ONU's. Cada ONU extraerá la información destinada a ella, mediante la supervisión de ciertos campos de direcciones de ATM⁶. En el sentido ascendente (ONU's a OLT), el acceso al medio se realiza mediante multiplexación en el tiempo (TDMA⁷ - Time Division Medium Access), y es gestionado por la OLT. Para dotar de cierta privacidad al sistema, se realiza un proceso *mezclado* que consiste en la encriptación de los datos en la OLT con una

⁵ TDM, Multiplexación por división de tiempo (MDT) o (TDM), *Time Division Multiplexing*. el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total (intervalo de tiempo).

⁶ ATM Modo de Transferencia Asíncrona o Asynchronous Transfer Mode. En este modo de transferencia la información no se transmite y se conmuta a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de los denominados canales virtuales y trayectos virtuales.

⁷ **TDMA Time Division Multiple Access**. Tecnología que distribuye las unidades de información en alternantes slots de tiempo proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias. TDMA es una tecnología inalámbrica de segunda generación que brinda servicios de alta calidad de voz y datos.

clave distinta para cada ONU. También, para eliminar los efectos negativos de los retardos de propagación asociados a cada ONU y aumentar así la eficiencia del sistema, se realiza un mecanismo de determinación de distancias denominado *ranging*. En el desarrollo comercial de estas redes, uno de los elementos clave es el coste asociado al equipo de abonado u ONU. Estudios realizados en el diseño propio de una ONU para ser utilizada en un entorno de conexión FTTH (con características especialmente adaptadas a los requisitos de servicios a suministrar), han resultado en un coste muy prometedor para el mercado de acceso ya que la consecución de 100 unidades del primer prototipo requeriría la inversión estimada de 1624.63 euros.

Por otro lado, el rápido desarrollo del tráfico de datos conforme a IP, ha provocado que ciertos sectores no apoyen el uso de ATM en la red de acceso. Ello se debe principalmente a que el transporte de este tipo de datos en ATM, requiere una segmentación excesiva de paquetes de datos de longitud variable (máx. 1.518 bytes), en células ATM de longitud fija (58 bytes), lo que conlleva un considerable retardo en la comunicación. Por ello, el organismo IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) está desarrollando un nuevo estándar relativo a redes Ethernet sobre PON's (EPON - Ethernet based PON's), basadas en el protocolo de transporte Gigabit Ethernet, especialmente concebido para el transporte de datos IP. Estas nuevas PON's, desarrolladas por el grupo de estudio 802.3 "Ethernet en la Primera Milla" (EFM), siguen manteniendo la topología y principios

de funcionamiento ya expuestos. A diferencia de las redes APON, las redes EPON proporcionan un mayor ancho de banda (1 Gbps frente a 622 Mbps), y al ser Ethernet uno de los protocolos de redes LAN más extendido en todo el mundo, su adopción en la red de acceso hace innecesaria la conversión entre protocolos requerida en ATM lo cual simplifica notablemente el diseño de la ONU, traduciéndose en un abaratamiento de coste (algo siempre deseable en el sector de acceso muy sensible a los factores económicos). Especialmente, las redes EPON son atractivas en entornos donde la mayor parte de la información intercambiada consiste en paquetes de datos, frente a la mayor utilidad de las redes APON para entornos en los que se desea suministrar a los usuarios un servicio integrado de voz, video y datos, con un alto grado de QoS. Una vez que el estándar EPON haya sido aprobado, este tipo de redes debe experimentar un rápido desarrollo y se constituirá como un firme rival para las redes APON, si bien su mayor o menor aceptación por parte de los usuarios, estará fuertemente ligada al desarrollo de tecnologías como la Telefonía sobre IP y Vídeo sobre IP

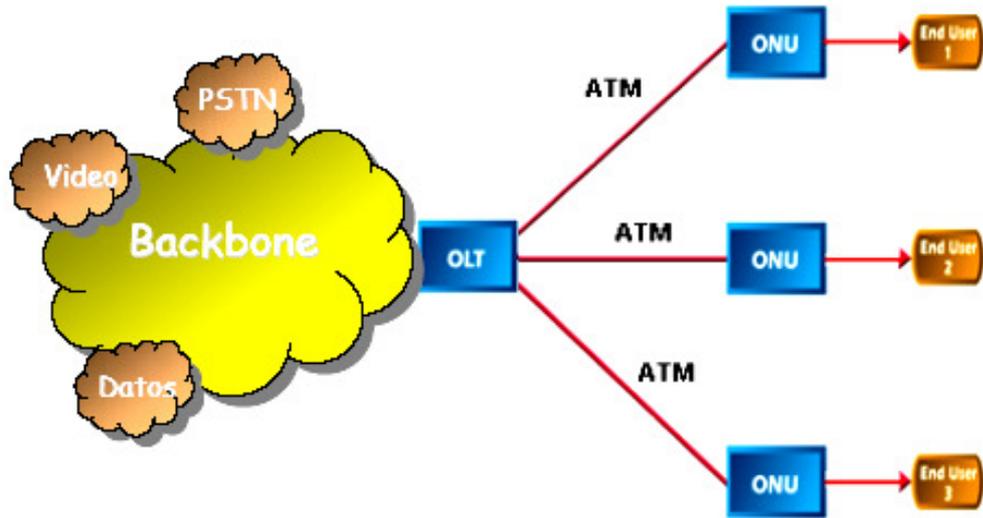


Figura 6. Esquema APON

6. REDES EPON (Ethernet Passive Optical Network)

El estándar IEEE 802.3 define dos configuraciones básicas para una red ethernet. En un caso puede ser desplegado sobre un medio compartido utilizando el protocolo CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection). En otro caso las estaciones pueden ser conectadas a través de un switch usando enlaces full duplex. La propiedades de una EPON son tal que no pueden ser consideradas un medio compartido o una red punto a punto; mas bien, es una combinación de ambas.

En dirección downstream, las tramas Ethernet son transmitidas por la OLT y pasan a través de splitters opticos pasivos de relación 1:N, llegando a las ONU's o unidades ópticas de red. La división en los splitters es típicamente entre 4 y 64. Esta conducta es similar a la de una red de medios compartidos. Debido a que las tramas Ethernet son difundidas por naturaleza, en sentido downstream (de la red al usuario), esta se acomoda a la perfección con la arquitectura de EPON: los paquetes son difundidos por la OLT y extraídos en las ONU's de destino por la dirección MAC.

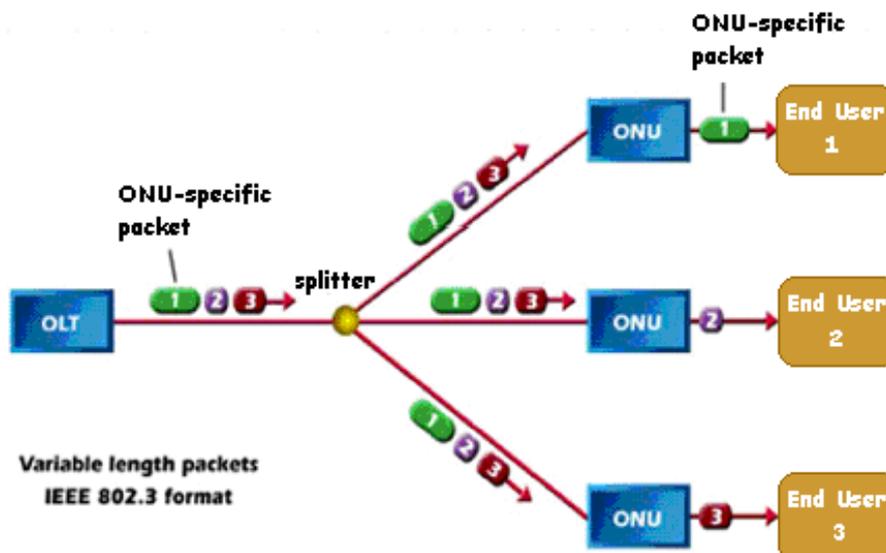


Figura 7. Esquema de envío de paquetes de longitud variable

En dirección upstream, debido a las características direccionales de un splitter óptico, las tramas de datos llegarán solamente a la OLT y no a otras ONU's. En ese sentido, en dirección de upstream el comportamiento de la EPON es similar al comportamiento de una arquitectura P2P (point to point). Sin embargo, diferente a una verdadera red P2P, las tramas de EPON son transmitidas simultáneamente de ONU's diferentes pudiendo así existir colisiones. Así, en la dirección upstream (del usuario a la red), las ONU's necesitan compartir la capacidad y los recursos del canal de fibra.

6.1. ETHERNET EN PON

6.1.1. ENCAPSULADO DE DATOS EN EL MODELO DE REFERENCIA OSI

En la figura No. 8 se detallan las tramas ethernet, notando las diferencias entre los 3 formatos posibles:

ETHERNET II: El cuarto campo contiene el tipo de protocolo que viaja en la parte de datos de la trama (0x800 para IP).

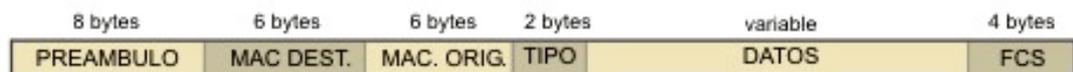
IEEE 802.3 + 802.2 SAP (Service Access Point): el cuarto campo contiene el largo de la parte de datos más el encabezado LLC⁸ (no debe ser mayor de 2048 para mantener la compatibilidad con ethernet II). El encabezado LLC especifica el DSAP y SSAP (*Destination Service Access Point* y *Source Service Access Point*) que son utilizados por algunos protocolos para implementar la funcionalidad de la capa de transporte, y por último un byte de control.

IEEE 802.3 + 802.2 SNAP (Sub-Network Access Protocol): El cuarto campo es el mismo que en el caso anterior, pero el encabezado LLC cambia fijando los contenidos DSAP (170), SSAP (170) y Control y agregando 2 campos: OUI ID (Organization Unique Identifier ID seteado en 0 por defecto) y Tipo de protocolo (IP 0x800, ARP 0x806 ó RARP 0x835).

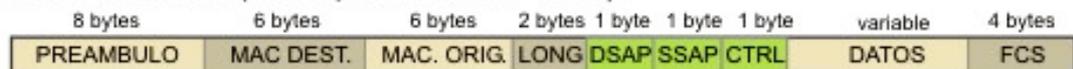
⁸ LLC corresponde a la más alta de las dos subcapas de enlace de datos definidas por el IEEE y la responsable del control de enlace lógico. La subcapa LLC maneja el control de errores, control del flujo, entramado y direccionamiento de subcapa MAC.

En todos los casos se agrega un campo FCS al final (*Frame Check Sequence*) para verificación (CRC).

TRAMA ETHERNET



TRAMA IEEE 802.3 (Subcapa LLC 802.2 - SAP)



TRAMA IEEE 802.3 (Subcapa LLC 802.2 - SNAP)

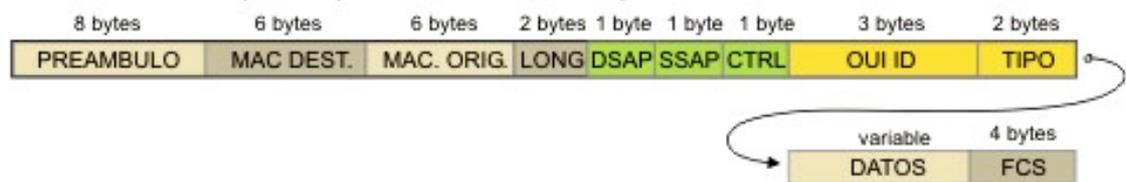


Figura 8. Tramas Ethernet: Diferencias entre los formatos posibles

6.1.1.1. Encabezado IP

Ahora se mostrara de que manera está compuesto un encabezado IP. En la figura 9 se representa el encabezado, separando los campos cada 32 bits.

Los campos que más nos interesan son: versión, tipo de servicio, banderas, tiempo de vida (TTL⁹), desplazamiento y protocolo.

VERSION: identifica la versión del protocolo IP que transporta el datagrama (4 en nuestro caso).

TIPO DE SERVICIO: 3 bits para la prioridad (0 al 7), bit 3 para retardos cortos, bit 4 para alto desempeño y el bit 5 para alta confiabilidad. (los bits restantes permanecen sin uso).

BANDERAS: 3 bits en total. El primero sin uso, el segundo es DF (DONT FRAGMENT), el tercero more fragments (es decir que el datagrama en cuestión no es el último fragmento).

TIEMPO DE VIDA: El número de saltos que podrá realizar el datagrama (un salto equivale al paso por un router). Originalmente se descontaban de este número tantas unidades como segundos le tomaran pasar por un router, actualmente se descuenta una unidad por router.(El valor máximo es 255).

DESPLAZAMIENTO: Distinto de cero cuando se trata de un fragmento (indica el desplazamiento respecto del primer fragmento).

⁹ TTL **Tiempo de Vida** o **Time To Live** es un concepto usado en redes de computadores para indicar por cuántos nodos puede pasar un paquete antes de ser descartado por la red o devuelto a su origen. Este valor va disminuyendo cada vez que un router recibe y reenvía el paquete. Cuando este valor llega a cero, el paquete deja de ser reenviado (se pierde).

PROTOCOLO: Contiene un valor que especifica el protocolo que lleva en la parte de datos del datagrama (UDP¹⁰ ó TCP¹¹ por ejemplo).

Encabezado IP

0	4	8	16	19	24	31
VERSION	HLEN	TIPO DE SERVICIO	LONGITUD TOTAL			
IDENTIFICACION			BANDERAS	DESPLAZAMIENTO DE FRAGMENTO		
TIEMPO DE VIDA	PROTOCOLO		SUMA DE VERIFICACION DEL ENCABEZADO			
DIRECCION IP DE LA FUENTE						
DIRECCION IP DEL DESTINO						
OPCIONES IP					RELLENO	
DATOS						
DATOS						
.....						

Figura 9. Encabezado IP

6.1.1.2. Encabezado TCP

Uno de los protocolos que puede viajar encapsulado por IP es TCP. En el gráfico siguiente vemos el encabezado TCP con el mismo formato que ya utilizamos para el encabezado IP.

¹⁰ UDP es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de Datagramas. Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera.

¹¹TCP protocolo de control de transmisión. Muchos programas dentro de una red de datos compuesta por ordenadores pueden usar TCP para crear conexiones entre ellos a través de las cuales enviarse datos.

En este caso, los primeros campos son los de número de puerto de conexión, y los números de secuencia de los datos que salen y el número de acuse de recibo de los datos ya recibidos.

Un campo importante es el CODE BITS. En el que se activan o desactivan los flags del segmento TCP.

URG : Flag urgente.

SYN: Solicitud de sincronización.

RST: Reset. Final de conexión.

ACK: Acuse de recibo.

FIN: El emisor ha llegado al final de su flujo de octetos.

PSH: Empujar el paquete (priorizar).

Encabezado TCP

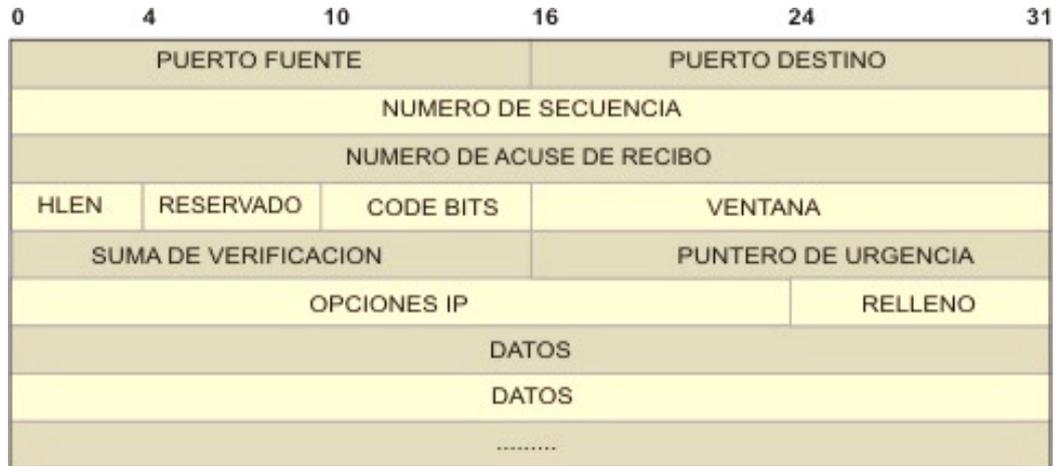


Figura 10. Encabezado TCP

6.2. ARQUITECTURA DE UN RED EPON

Los elementos pasivos de una red EPON están ubicados en la red de distribución óptica (también conocida como planta externa) e incluye cable de fibra óptica monomodo, divisores/acopladores ópticos (splitters), conectores y empalmes. Elementos activos de red (NE's), como la OLT y las múltiples ONU's son ubicadas en los extremos de la PON. Las señales ópticas que viajan a través de la PON son divididas a múltiples fibras o combinadas a una sola fibra con divisores o acopladores ópticos, dependiendo si la luz esta viajando en upstream o en downstream en la PON. La PON es desplegada típicamente en una solo fibra,

topología punto – multipunto, y configuración árbol y rama para aplicaciones residenciales. Una PON también puede ser desplegada en arquitectura de anillo protegido para aplicaciones en negocios o en arquitectura Bus para ambientes de Campus y unidades multi-usuario.

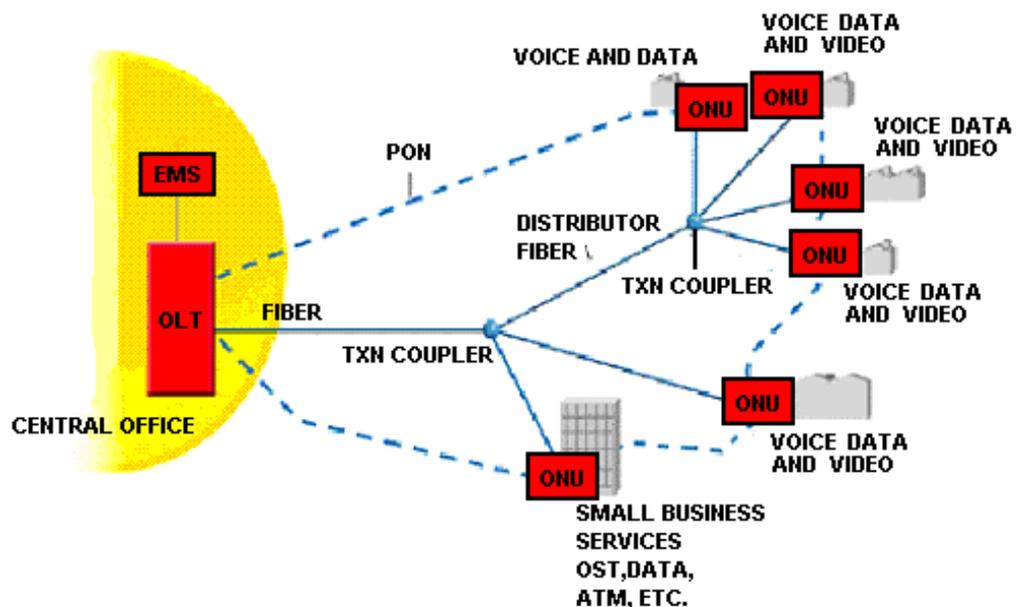


Figura 11. Arquitectura de una Red EPON

6.3. COMPONENTES DE UNA EPON

6.3.1. ONU

Una ONU (optical network unit) suministra una interfaz entre datos del consumidor, video y red telefónica y la PON. La función principal de una ONU es recibir tráfico

en formato óptico y convertirla al formato deseado (Ethernet, IP multicast, POTS, T1, etc). Una característica excepcional de EPON es que, adicional a la terminación y conversión de señales ópticas, una ONU provee funcionalidad en conmutación en capas 2 y 3, lo cual permite enrutamiento interno de tráfico a la ONU. Otra característica importante en una EPON es que puede entregar señales de video CATV análogo, usando una tercera longitud de onda, o video IP.

Debido a que las ONU's, según la arquitectura que maneja una red PON, deben ser ubicadas en la locación del suscriptor y el costo no debe ser compartido por múltiples consumidores, el diseño y costo de una ONU es un factor clave en la aceptación y desarrollo de sistemas EPON. Típicamente, una ONU se estima que en una red EPON equivale a un 70% del costo del sistema en despliegue FTTB, y en despliegue FTTH ese estiman en aproximadamente un 80%.

Características claves y funciones de una ONU:

- Interfaces para POTS¹², T1, DS-3¹³, 10/100BASE-T, IP Multicast, y servicios de longitud de onda dedicada.
- Capacidad de conmutación en capa 2 y 3 y enrutamiento.
- Entrega de datos en 64 kbps incrementados por encima de 1 Gbps.

¹² POTS es el acrónimo de *plain old telephone service* (viejo servicio telefónico), que se refiere a la manera como se ofrece el servicio telefónico análogo por medio de hilos de cobre. En español se denomina RTB

¹³ DS-3 es un servicio de línea privada, dedicada y digital dándole gran capacidad para combinaciones de datos, voz o video. La flexibilidad de DS-3 lo hace ideal para intensivos de datos con grandes aplicaciones en el "backbone" o redes privadas que requieren transporte canalizado.

- Interfaces Ethernet estándar eliminando la necesidad de modem DSL o cable modem.



Figura 12. ONU

6.3.2. CO CHASSIS (CENTRAL OFFICE - OLT)

Una CO CHASSIS suministra una interfaz entre el sistema EPON y el centro de datos, video y telefonía del proveedor de servicios. También enlaza al centro de operaciones del proveedor de servicios con un sistema de elementos de mantenimiento (EMS). Las interfaces WAN de un sistema en el CO CHASSIS típicamente tendrán cierto equipamiento como:

- Pasarela para voz (gateways¹⁴), el cual transporta localmente conmutación TDM/ trafico de voz a la PSTN
- Enrutamiento IP y conmutación ATM, lo cual permite trafico directo hacia la red central de datos.
- Dispositivos de red de video, los cuales transportan video hacia la red central de video.

Funciones clave y características de un CO CHASSIS:

- Interfaces multiservicio a la central WAN
- Interfaz Gigabit Ethernet hacia la PON
- Conmutación y enrutamiento en capas 2 y 3.
- Calidad de servicio y acuerdo de nivel de servicio (SLA¹⁵).
- Hospedaje de OLT's y SCM

¹⁴ Los Gateways son dispositivos dedicados a intercomunicar sistemas de protocolos incompatibles.

¹⁵ Un SLA es un protocolo plasmado normalmente en un documento de carácter legal por el que una compañía que presta un servicio a otra se compromete a prestar el mismo bajo unas determinadas condiciones y con unas prestaciones mínimas.

6.3.3. OLT



Figura 13. OLT

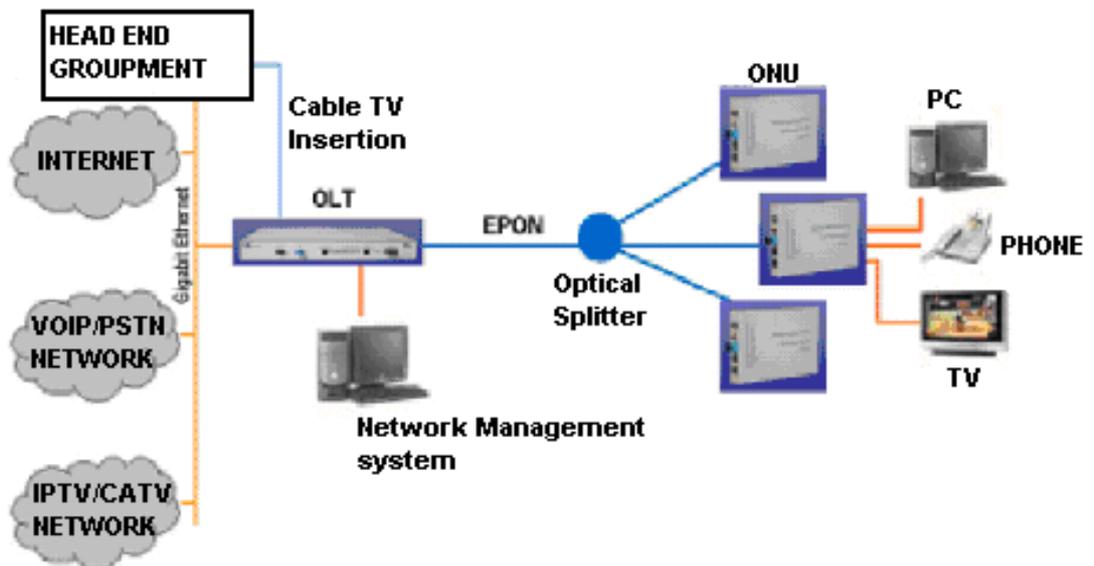


Figura 14. Esquema real de red EPON

6.3.4. SPLITTERS/COMBINADORES OPTICOS



Figura 15. Esquema real de splitter optico

Los splitters/combinadores ópticos están disponible en dos versiones: una versión robusta para fácil manejo y una segunda versión, no tan robusta pero de fácil encajamiento en una caja de empalmes.

6.4. ACCESO MULTIPLE

Una manera posible de separar los canales es usando multiplexación por longitud de onda, en la cual cada ONU opera a diferente longitud de onda.

Los enlaces de comunicación óptica permiten el envío simultáneo de diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra dentro de la banda espectral que abarca los 1300 y los 1600nm. Ésta es una importante característica, posible gracias a la tecnología WDM, que consiste en combinar varias longitudes de onda dentro de la misma fibra.

Los primeros sistemas WDM aparecieron en torno a 1985 y combinaban tan sólo dos señales. Los sistemas modernos pueden soportar hasta 160 señales y expandir un sistema de fibra de 10 Gb/s hasta una capacidad teórica total de 1,6 Tb/s sobre un solo par de fibra.

Si se multiplexan mas de 8 canales, la técnica se llama DWDM (Dense Wavelength división Multiplexing)

DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) es una técnica usada para incrementar la capacidad de transmisión de una fibra óptica, esto se logra transmitiendo múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. Cada señal obtiene una única longitud de onda, o color en el espectro de colores de la luz. Después todas las señales son transmitidas juntas y combinadas como una sola señal.

La longitud de onda está representada por la letra griega lambda representada por λ .

WDM (Wave Division Multiplexing) es una solución ideal para rutas críticas con un alto crecimiento que tienen una necesidad inmediata de más ancho de banda, o incorporar nuevos servicios a la red existente. WDM nos ayuda a disminuir la inversión del capital y los largos tiempos asociados a añadir más fibra.

WDM nos brinda las siguientes ventajas:

- Maximiza la capacidad de la fibra
 - ✓ Incrementa la capacidad de la fibra óptica existente.
 - ✓ Disminuye el número de fibra óptica nueva que se necesita añadir.
 - ✓ Permite un crecimiento gradual de la capacidad a medida que se vaya demandando.

- Transmite una gran variedad de señales ópticas diferentes.
 - ✓ Es capaz de manejar diferentes tipos de señales, por ejemplo OC-48 y/o OC-192 y/o señales asíncronas al mismo tiempo.
 - ✓ Es protocolo independiente, esto quiere decir que sólo transporta señales. Puede transportar FDDI¹⁶, ESCON¹⁷, FICON¹⁸, y o ethernet.

¹⁶ FDDI (Fiber distributed data interface) se define como una topología de red local en doble anillo y con soporte físico de fibra óptica. Puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 100Mbps y utiliza el método de acceso al medio en paso de testigo (token passing).

¹⁷ ESCON, los canales ESCON proporcionan enlaces bidireccionales de 17 Mbit/s en distancias de 3 km sobre fibra óptica.

Una desventaja de WDM es que los componentes ópticos son más caros debido a la necesidad de utilizar filtros ópticos, y láser que soporte una tolerancia a longitudes de onda compactas. Un dispositivo externo de acoplamiento es usado para acoplar la mezcla de las diferentes señales ópticas.

- El multiplexor óptico (también llamado acoplador óptico) multiplexa múltiples longitudes de onda en una misma fibra común.
- El demultiplexor óptico (también llamado filtro o *splitter*) divide las longitudes de onda en señales individuales iguales a las de la estación receptora.

Frecuentemente un dispositivo funciona como multiplexor y demultiplexor.

Hay dos consideraciones que se deben tener en dispositivos de WDM, éstas son:

- **Pérdida de inserción**, es la atenuación de una onda viajando del puerto de entrada al puerto de salida. La pérdida de inserción debe ser tanto baja como uniforme. En un multiplexor / demultiplexor se dice que tiene uniformidad cuando la pérdida de inserción es casi la misma para cada canal multiplexado.
- **Interferencia intercanal**, es la atenuación de onda medida en un puerto de salida no intencionado. Esto básicamente es un problema del receptor.

¹⁸ Los canales FICON proporcionan enlaces bidireccionales de 100 Mbit/s en distancias de más de 20 km sobre fibra óptica y sin repetidores.

6.5. CARACTERÍSTICAS QUE REQUIEREN LOS EMISORES DE WDM

- ✓ Potencias menores a 100 mW
- ✓ Generación precisa de las longitudes de onda de la luz que emiten
- ✓ Capacidad de sintonización dentro del ancho de banda de los amplificadores ópticos tales como los EDFA's¹⁹
- ✓ Rapidez de conmutación de la longitud de onda dependiendo de la aplicación
- ✓ Los láseres empleados en los sistemas WDM necesitan garantizar la estabilidad de la longitud de onda durante el tiempo de vida del dispositivo
- ✓ Que sean sintonizables

¹⁹ EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) amplificador de fibra dopada que se basa en el dopaje con Erbio de una fibra óptica.

6.5.1. TIPOS DE LASERS QUE CUMPLEN ESTOS REQUERIMIENTOS

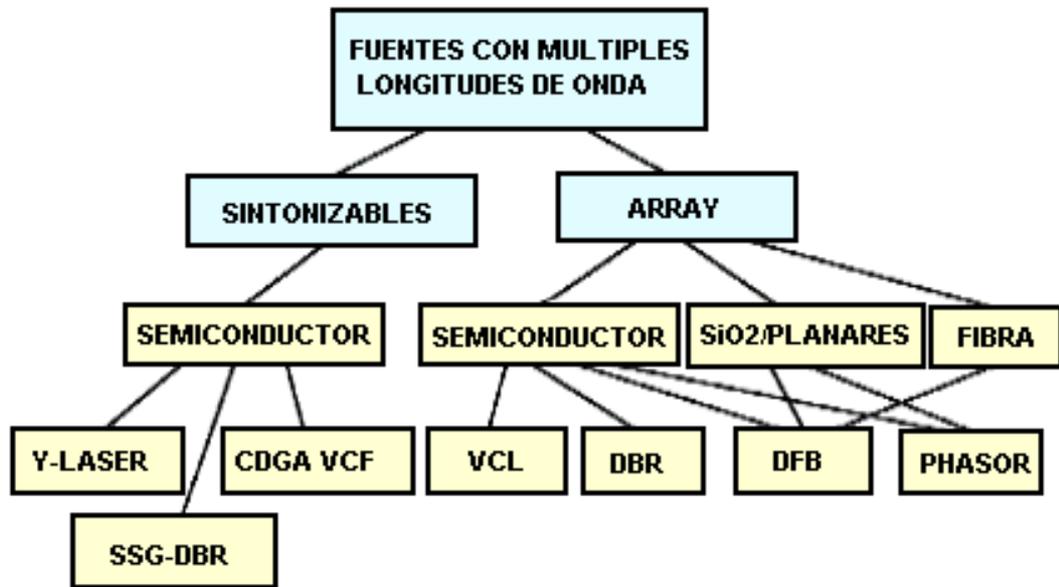


Figura 16. Tipos de Lasers utilizados

- ✓ Lasers de emisión lateral
- ✓ Lasers de cavidad vertical y de emisión superficial (VCSEL's)
- ✓ Lasers de Pozo Cuántico
- ✓ Lasers con DBR
- ✓ Lasers con DFB
- ✓ Lasers de amarre de modos

Todos pueden ser sintonizables

Una solución de multiplexación por división de longitud de onda requeriría en un sistema EPON un receptor sintonizado o un arreglo de receptores en el OLT para recibir canales múltiples. Un problema aun mas serio para los operadores de red seria tener ONU's con longitudes de onda especifica: en vez de tener apenas un tipo de ONU, habría tipos múltiples de ONU's basados en la longitud de onda de su láser. Esto podría ser un problema aun mayor para un usuario incompetente, al cambiar una ONU defectuosa. Usar lasers sintonizados en ONUs es demasiado costoso en el estado actual de la tecnología.

Por esta razón una red WDM PON no es una solución atractiva en el ambiente actual.

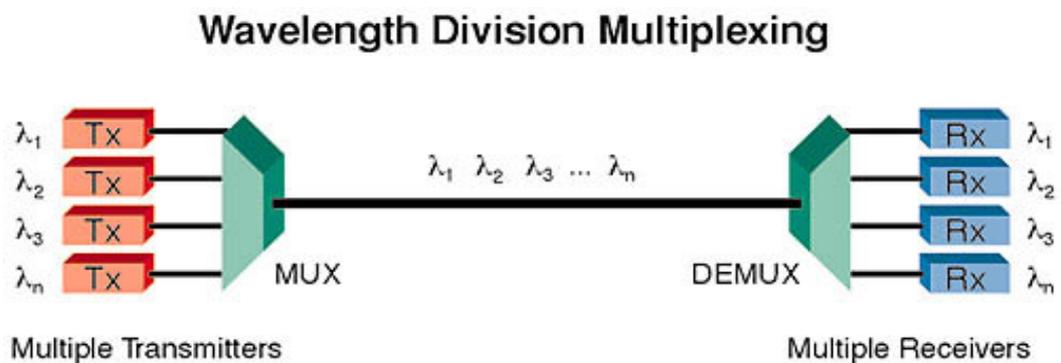


Figura 17. Multiplexación por división de longitud de onda.

El acceso basado en contención de medios (algo similar a CSMA/CD) es difícil de poner en ejecución porque las ONU's no pueden detectar una colisión en el OLT (debido a características direccionales del splitter/combinador ópticos). Un OLT

podría detectar una colisión e informar a las ONU's enviando una señal de atascado, sin embargo, la propagación sufre retrasos en la red PON, la cual puede exceder 20 kilómetros en longitud, y reduce grandemente la eficacia de tal esquema. Los esquemas basados en contención también tienen una desventaja al proporcionar un servicio no determinista; es decir, el rendimiento de procesamiento del nodo y la utilización del canal se pueden describir como promedios estadísticos. En una escala pequeña (comparable al retraso de la propagación) no hay garantía de que un nodo consiga acceso al medio.

Eso no significa gran problema para las redes basadas en CSMA/CD donde los enlaces son cortos y típicamente excedidos, y el tráfico predominante es de datos. Las redes de acceso del suscriptor, sin embargo, además de datos, deben apoyar servicios de voz y de vídeo, y deben proporcionar así algunas garantías en la entrega oportuna de estos tipos del tráfico.

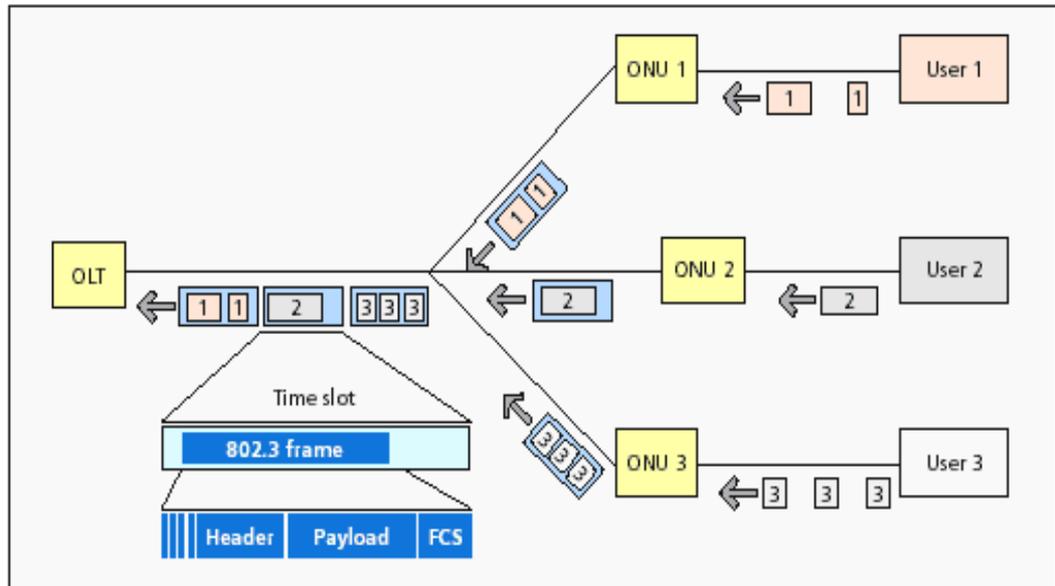


Figura 18. Trafico de datos en EPON

Es posible creer que otra opción como es la división de tiempo sería el método preferido para compartir un canal óptico en una red de acceso, porque permite una sola longitud de onda por flujo de subida (e.g., 1310 nm) y un solo transceiver en el OLT, dando como resultado una solución rentable. Para introducir el determinismo en la entrega de la trama, diversos esquemas sin contención fueron propuestos. La figura anterior ilustra un flujo de datos en tiempo compartido en upstream en una red EPON.

Todas las ONUs se sincronizan a un tiempo común de referencia, y cada ONU es asignada a una ranura de tiempo (time slot). Cada time slot o ranura de tiempo es capaz de transportar varias tramas ethernet. Una ONU debe proteger las tramas recibidas de un suscriptor hasta que llega su ranura de tiempo. Cuando llega a su

time slot, la ONU debe “deshacerse” de todas las tramas almacenadas a la velocidad completa del canal (tasa estándar de Ethernet). Si no hay suficientes tramas en el buffer para llenar completamente la ranura de tiempo, son transmitidas las que están sin utilizar. Los esquemas posibles de la asignación de la time slot podrían extenderse de una asignación estática (acceso múltiple de división de tiempo fijo, TDMA) a un esquema adaptado dinámicamente basado en el tamaño instantáneo de la cola en toda ONU (esquema estadístico de multiplexación). Hay más esquemas posibles de asignación, incluyendo los esquemas que utilizan prioridad de tráfico y QoS (calidad de servicio), y los acuerdos del nivel de disponibilidad (SLAs).

Los accesos descentralizados para implementar un esquema de asignación dinámico de ranura son también posibles, en el cual las ONUs deciden cuando enviar datos y por cuánto tiempo. Estos esquemas son algo similares a un token ring, salvo que en este caso este es un anillo pasivo. En tal esquema, cada ONU, antes de enviar sus datos, enviará un mensaje especial anunciando cuántos octetos está a punto de enviar. La próxima ONU programada supervisará la transmisión de la ONU anterior y medirá el tiempo de su transmisión de modo que llegue al OLT correctamente después de la transmisión de la ONU anterior. Así, no habrá colisión, y no se perderá ancho de banda. Sin embargo, este esquema tiene una limitación importante: requiere la conectividad entre las ONUs. Esto impone algunos apremios ante la topología de PON; particularmente, la red se

debe desplegarse como un anillo o estrella. Este requisito no es deseable puesto que:

- Puede requerir más fibra para ser desplegado.
- La planta de fibra con diversa topología pudo estar ya desplegada.

Un algoritmo preferido apoyará generalmente cualquier topología P2MP de PON. En una red de acceso óptica, podemos contar solamente con conectividad del OLT a cada ONU (tráfico downstream) y de cada ONU al OLT (tráfico upstream); esto es seguro para todas las topologías de PON. Por lo tanto, el OLT sigue siendo el único dispositivo que puede determinarle el acceso por división de tiempo al canal compartido.

El desafío de implementar una OLT basada en un esquema determinista dinámico está en el hecho de que el OLT no sabe cuántos octetos de datos ha protegido cada ONU. El estancamiento del tráfico de los datos imposibilita una predicción de la ocupación de la cola con una exactitud aceptable. Si el OLT está hecho para realizar una asignación de ranura de tiempo exacta, este debería saber el estado exacto de una ONU dada.

Una solución puede ser utilizar un esquema de interrogación basado en mensajes de permisos y peticiones. Las peticiones se envían desde una ONU para reportar cambios en el estado de una ONU. El OLT procesa todas las peticiones y asigna

diversas ventanas de transmisión (time slots) a las ONUs. La información de la asignación de la ranura se entrega a las ONU's usando los mensajes de permiso que inicien la transferencia.

La ventaja de tener inteligencia centralizada para el algoritmo de asignación de la ranura es que el OLT conoce el estado de la red entera y puede cambiar a otro esquema de asignación basado en esa información; las ONUs no necesitan negociar o reconocer nuevos parámetros, ni cambiar los nuevos ajustes síncronos, haciendo ONUs más simple y más barata, y a la red entera más robusta.

Eligiendo el mejor esquema de asignación, sin embargo, no es una tarea trivial. Si todos los usuarios pertenecen al mismo Dominio administrativo, la multiplexación estadística completa tendría sentido; los administradores de la red querrían conseguir el mayor ancho de banda disponible. Sin embargo, las redes de acceso al suscriptor no son LANs privadas, y el objetivo es asegurar el cumplimiento de la SLA para cada usuario individual. Usar mecanismos estadísticos de multiplexación para conseguir a cada usuario el mejor ancho de banda posible puede complicar la facturación y potencialmente puede compensar la impulsión del usuario para aumentar a un ancho de banda más grande. También, los suscriptores pueden acostumbrarse a contar con el funcionamiento que consiguen durante las horas de actividad baja, en que las porciones del mejor ancho de banda están disponibles. Entonces, en las horas pico, los mismos usuarios percibirían el servicio como

insatisfactorio, aun cuando tienen que es garantizado por su SLA. Un algoritmo optimizado para la asignación de ancho de banda dependerá en última instancia del futuro SLA y del modelo de facturación usado por los abastecedores de servicio.

6.6. MANEJO DE TRÁFICO EN UPSTREAM Y DOWNSTREAM EN EPON

En una EPON, el proceso de transmitir datos en downstream de la OLT a múltiples ONU's es fundamentalmente diferente que transmitir datos en Upstream de múltiples ONU's hacia la OLT.

6.6.1. EPON EN DOWNSTREAM

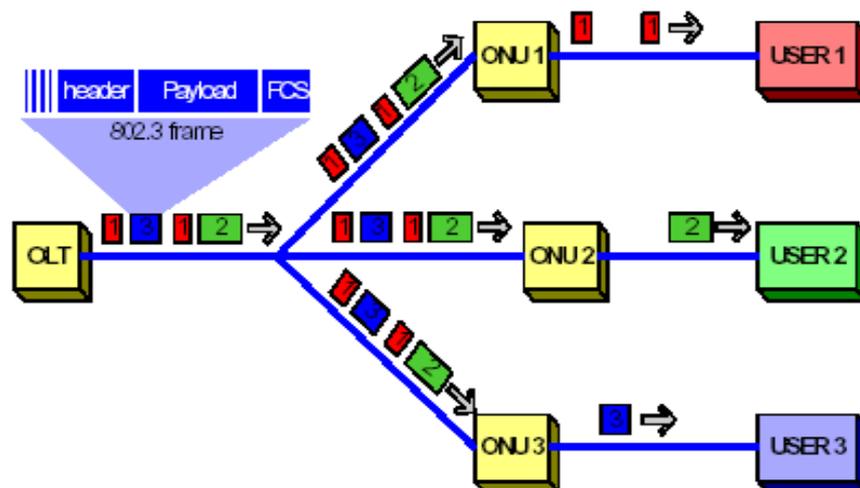


Figura 19. EPON en downstream

Como se observa en la figura los datos en downstream son enviados en broadcast desde las OLT hacia las múltiples ONU's en la red, en paquetes de longitud variable por encima de 1,518 bytes, de acuerdo al protocolo IEEE 802.3. Cada paquete carga una cabecera que únicamente identifica los datos dirigidos a la ONU deseada. Adicionalmente, algunos paquetes pueden ser enviados hacia todas las ONU's (paquetes Broadcast) o un grupo particular de ONU's (paquetes Multicast). En el splitter, el tráfico es dividido en señales separadas, cada una cargando paquetes específicos de todas las ONU's. Cuando los datos llegan a la ONU, esta acepta los paquetes deseados y descarta los deseados por otras ONU's. En downstream la longitud de onda que se maneja esta en el rango de los 1510nm

6.6.2. EPON EN UPSTREAM

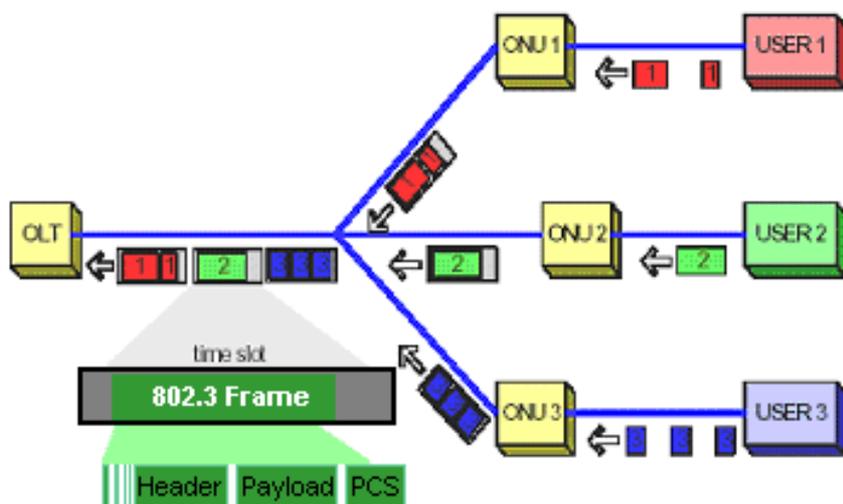


Figura 20. EPON en upstream

El tráfico en Upstream es manejado utilizando tecnología TDM, en la cual la transmisión de ranuras de tiempo son dedicadas a las ONU's. Las ranuras de tiempo son sincronizadas de manera que ningún paquete en upstream proveniente de las ONUs interfiera con cualquier otro cuando los datos se juntan en una fibra común. En upstream la longitud de onda esta en rango de los 1310 nm.

6.6.3. MPCP EN UPSTREAM

Para el control de una red de fibra P2MP, EPON utiliza MPCP (multipoint control protocol).

MPCP mejora la asignación de ancho de banda, elección de ancho de banda, auto-descubrimiento, y alineación o ranging. Este protocolo es implementado en la capa MAC, como un mensaje de control de 64 Bytes:

- GATE es usado para asignación y petición de ancho de banda. Este es enviado a las ONUs por la OLT al objeto de facilitarles la referencia temporal, indicar a cada ONU su intervalo (timeslot) para transmitir, calcular el round-trip time (RTT²⁰),...

²⁰ RTT (Round trip time) se aplica al mundo de las telecomunicaciones y redes informáticas al tiempo que tarda un paquete enviado desde un emisor en volver a este mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino.

- REPORT que es un mensaje de petición de ancho de banda, es enviado por las ONUs (durante su timeslot de transmisión) a la OLT, bien de forma automática o bien bajo solicitud de ésta, para informar sobre su estado (nivel de ocupación del buffer,...) o, durante el período de inicialización (caso de ONUs “nuevas”), informar sobre su dirección MAC, momento de envío (para el cálculo del retardo RTT).
- REGISTER es usado en el control del proceso de auto descubrimiento.

El sentido ascendente (*upstream*, del usuario hacia la red) resulta más complejo, dado que se impone este protocolo al objeto de evitar la colisión, en el tramo comprendido entre el *splitter* y la OLT, de las tramas enviadas por las distintas ONUs.

MPCM para EPON descansa sobre la sincronización entre OLT y ONUs, con la misma referencia temporal, y el mecanismo de *ranging*, que “sitúa” las distintas ONUs a la misma distancia “virtual” de la OLT.

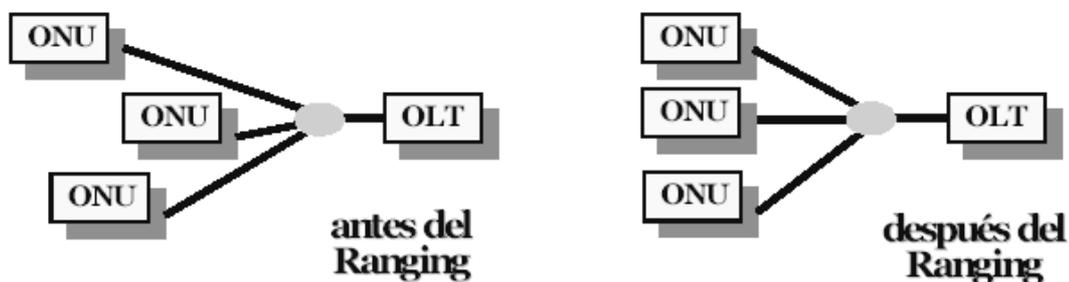


Figura 21. Ranging en MPCP

Además del MPCP, en el caso de EPON se requiere también el concurso de algún protocolo adicional al objeto de alcanzar la compatibilidad con el IEEE 802.1D bridging, soportando así la comunicación entre ONUs a nivel_2 (nivel de Enlace), sin necesidad del nivel_3 (nivel de Red).

Al efecto, se introduce una sub-capa adicional bien tipo **PtPE** (*Point to Point Emulation*) o bien tipo **SME** (*Shared Médium Emulation*) que reside bajo la capa MAC, preservándose así invariante la funcionalidad de ésta. Ambos tipos (PtPE y SME) descansan en el etiquetado de la trama Ethernet, asignando a cada ONU una etiqueta de 16 bits denominada link-ID.

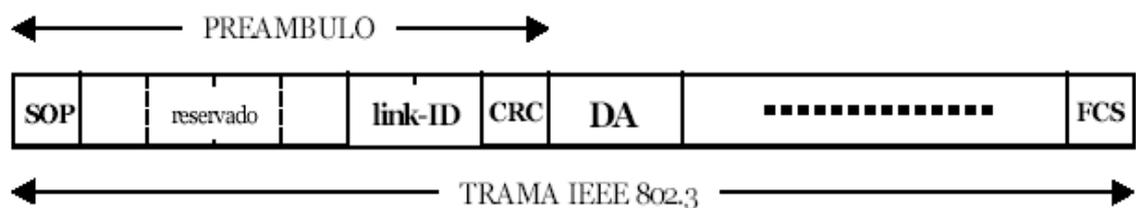


Figura 22. Etiquetado de trama Ethernet para identificación de ONU's

6.7. BENEFICIOS DE LOS TRANSCEIVERS.

Debido a las distancias desiguales entre la central office y las ONU's, la atenuación de la señal óptica en la PON no es igual para cada ONU. El nivel de la energía recibido en el OLT será diferente para cada ONU. La figura siguiente

representa los niveles de la energía recibidos por un OLT a partir de cuatro diferentes ONU's. Como se muestra, una robustez de la señal de la ONU es más baja en el OLT, muy probablemente debido a su larga distancia.

Para detectar correctamente el flujo de bits entrante, el receptor de OLT debe ser capaz de ajustar rápidamente su umbral de cero por cada ranura de tiempo recibida (es decir, debe funcionar en modo de salto). Un receptor con modo de salto es necesario solamente en el OLT. Las ONU's leen un flujo de bits continuo (datos o rellenos) enviado por el OLT y no necesitan reajustar rápidamente.

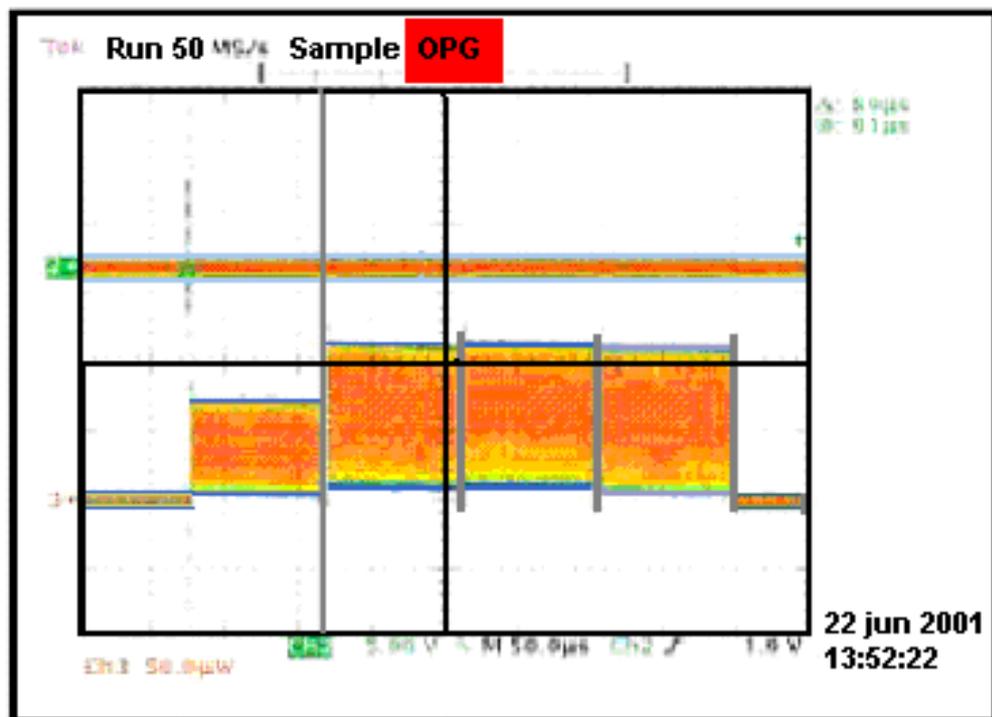


Figura 23. Comportamiento a nivel de energía y potencia en la señal recibida desde cuatro ONU's

Esta ilustración nos muestra como seria el comportamiento a nivel de energía y potencia en la señal recibida desde cuatro ONUs, dependiendo de la distancia a la que estarían ubicadas cada una con respecto a la OLT. Este representa un problema para este tipo de redes.

Una alternativa puede ser permitir que las ONU's ajusten su energía del transmisor tal que los niveles de la energía recibidos por el OLT de todas las ONU's sean iguales. Este método no es favorable particularmente para los diseñadores del transceiver, ya que ello hace el hardware de la ONU más complicado, requiere un protocolo de señalización especial para la regeneración en el OLT a cada ONU, y, lo más importante, puede degradar el funcionamiento de todas las ONUs al de la unidad más distante. Otra cuestión es que no es suficiente solo rechazar ONUs para enviar algunos datos (es decir, enviar solamente los ceros). El problema es que incluso en ausencia de los datos, los lasers generan emisión espontánea de ruido. Esta emisión de varias ONUs situadas cerca del OLT puede oscurecer fácilmente la señal de una ONU distante. Así, una ONU debe cerrar su láser entre las time slots. También, es importante que el láser pueda estabilizarse rápidamente después de ser encendido.

6.8. SEGURIDAD

La seguridad nunca ha sido una parte fuerte de redes de Ethernet. En Ethernet full-duplex del P2P la seguridad no es una cuestión crítica porque existen

solamente dos estaciones que se comunican usando un canal privado. En Ethernet half-duplex compartida, las preocupaciones de la seguridad se reducen al mínimo porque los usuarios pertenecen a un solo dominio administrativo y están conforme al mismo sistema de políticas P2MP de Ethernet. Sin embargo, tiene un diverso sistema de requisitos. EPON tiene un canal downstream de difusión y sirve a usuarios no cooperativos. De hecho, una EPON no se puede considerar como una red par en que las ONUs no pueden comunicarse directamente con las otras o aún, saber de la existencia de cada una. Puesto que una ONU maliciosa puede ser colocada en modo promiscuo y leer todos los paquetes en downstream, los mecanismos de encriptado son necesarios. El encriptado y el desencriptado se pueden implementar en la capa física, la capa de transmisión de datos, o las capas más altas. Poniendo el encriptado sobre la capa del MAC, se cifrará la carga útil de la trama de la MAC solamente, y dejan cabeceras en texto llano. La secuencia de chequeo de trama (FCS²¹) se calcula para la carga útil codificada. En este panorama, una subcapa de la MAC verificará la integridad recibida de la trama antes de pasar la carga útil a una subcapa más alta para el desciframiento. Este esquema evita que las ONUs maliciosas lean la carga útil, pero pueden aun aprender direcciones de la MAC de las otra ONUs.

²¹ FCS (Secuencia de Chequeo de Trama) es un código de detección de errores insertado como un campo en un bloque de datos a ser transmitido. El código sirve para verificar errores durante la recepción de los datos.

Alternativamente, el cifrado se puede poner en la capa física (abreviada como PHY) debajo del MAC. En este esquema, la capa PHY codificará el flujo de bits entero, incluyendo las cabeceras de la trama y el CRC. En el extremo de recepción, la capa PHY descifrará los datos antes de pasarlos a la MAC para la verificación. Puesto que las llaves del cifrado son distintas para las diferentes ONUs, las tramas no destinadas a una ONU dada no descifrarán en una trama correctamente formada y serán rechazadas por el MAC. En este esquema ninguna información puede ser aprendida por una ONU maliciosa. Pero la dificultad es que PHY por definición es una capa sin conexión. Requiriendo la PHY en un OLT para aplicar diversas llaves para diversas ONUs, esta hará conexión. El cifrado en EPON todavía sigue siendo una pregunta abierta.

EPON contempla la utilización del **AES**²² (Advanced Encryption Standard), originalmente diseñado para reemplazar al **DES**²³ (Data Encryption Standard), que permite el uso de claves de 128, 192 y 256 bits. Concretamente, EPON considera la utilización del cuarto octeto del Preámbulo para la identificar la clave a utilizar, incrementando así la seguridad del túnel establecido entre la OLT y cada ONU merced al *link-ID* y la sub-capas PtPE.

²² AES (Advanced Encryption Standard) es un esquema de cifrado por bloque adoptado como estándar de encriptación por el gobierno de los Estados Unidos.

²³ DES (Data Encryption Standard) es un esquema de encriptación simétrico, que se creó con objeto de proporcionar al público en general un algoritmo de cifrado normalizado para redes de ordenadores.

En dicha línea, cada ONU mantiene la clave establecida mediante dicho octeto, que se renueva en cada sesión para mayor seguridad.

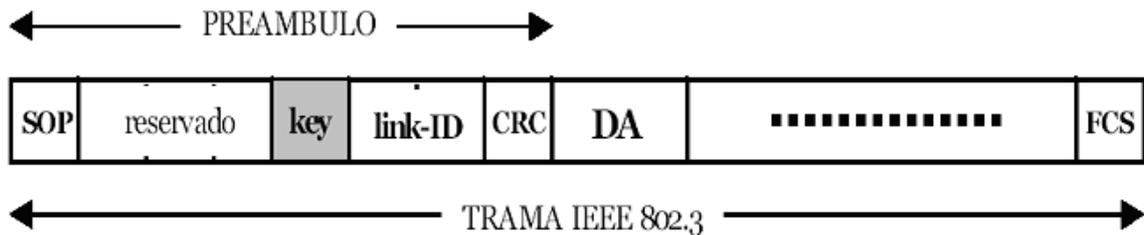


Figura 24. Ubicación del identificador clave

6.9. CALIDAD DE SERVICIO QoS

La migración de las redes de conmutación de circuitos TDM a Redes de conmutación de paquetes IP esta progresando a un ritmo rápido. Sin embargo, aunque la redes de acceso de la siguiente generación será optimizada para el tráfico de los datos IP, equipos tradicionales (cajas RF set-top, aparatos de TV Análogos, etc.) y los servicios tradicionales (T1/E1s, ISDN²⁴, POTS, vídeo análogo, etc) seguirán funcionando en el futuro próximo. Por lo tanto, es crítico para las redes de acceso de la generación siguiente, tales como EPONs, poder proporcionar servicios basados en IP, sensibilidad de jitter²⁵ y servicios habituales de tiempo crítico que tradicionalmente no se han enfocado en ethernet.

²⁴ Siglas de Integrated Services Digital Network. Las líneas ISDN son conexiones realizadas por medio de líneas telefónicas ordinarias para transmitir señales digitales en lugar de analógicas, permitiendo que los datos sean transmitidos más rápidamente que con un módem tradicional.

²⁵ **Jitter** Variación en la cantidad de latencia entre paquetes de datos recibidos.

Afortunadamente, EPON se puede diseñar para llevar eficientemente datos, así como voz y vídeo. Esto se logra típicamente usando las técnicas de QoS tales como priorización, VLAN²⁶ con etiqueta, reservaciones, y aprovisionamiento de ancho de banda. Varios portadores, extendiéndose de las compañías de cable a los portadores grandes, han desplegado el gigabit EPON que entrega voz, datos, y vídeo.

La clave es poner un esquema de emulación de un circuito overpacket en ejecución relacionado con la distribución del reloj. En un esquema, los usuarios proporcionan un reloj a sus ONUs respectivas, que alternadamente se entrega al OLT. Pero puesto que las ONUs no pueden transmitir toda la hora, la información del reloj se debe entregar en paquetes. El OLT regenerará el reloj usando esta información. Es algo trivial imponer un constreñimiento que el OLT debe ser un amo del reloj para todos los dispositivos en ese sentido descendiente de la ONU. En este panorama, las ONUs recuperarán el reloj de su canal receptor, lo utilizan en su canal de transmisión, y lo distribuyen a todos los dispositivos de la herencia como referencia secundaria del reloj.

²⁶ VLAN o red de área local virtual consiste en una red de computadores que se comportan como si estuvieran conectados al mismo cable, aunque pueden estar en realidad conectados en diferentes segmentos de una red de área local.

7. APLICACIONES Y SERVICIOS

7.1. MERCADO PARA EPONS

Aunque muchos sectores de la industria de las telecomunicaciones están sufriendo del retraso en gastos de inversión de capital del proveedor de servicio, los analistas todavía esperan que el mercado de acceso óptico crezca rápidamente. CIBC pronostica el mercado para que los sistemas del acceso de PON alcancen \$1.5 billones antes de 2007 a partir de \$23 millones. A diferencia de la red de backbone, que recibió una gran inversión en las rutas de fibra durante el auge del Internet, la tecnología óptica no se ha desplegado extensamente en la red de acceso. Es posible que EPON de Ethernet óptica ofrezca la mejor posibilidad volcarse en el sector de las telecomunicaciones. Los proveedores de servicio que invierten en tecnologías de acceso óptico permitirán nuevos usos, simultáneamente con el crecimiento del rédito y conducir más tráfico sobre las rutas de backbone. El gran aumento en el ancho de banda de la red de acceso proporcionada por EPONs y P2P de Ethernet óptica, estimulará eventualmente la inversión renovada en el trayecto de las rutas de la fibra.

7.2. APLICACIONES DE EPON

EPON's dirige una variedad de usos para el portador local (ILEC), cable de operadores de sistema múltiple (MSO), building local-exchange carriers (BLEC), los overbuilders (OVB), utilidades, y proveedores de servicio e emergente. Estos usos se pueden clasificar ampliamente en tres categorías:

1. Reducción de costes: reduciendo el coste de instalación, de manejo, y de entrega de servicios existentes
2. Nuevas oportunidades de ingresos: aumentando las oportunidades ingresos a través de la creación de nuevos servicios
3. Ventaja competitiva: competitividad en aumento del portador permitiendo una sensibilidad más rápida a los nuevos modelos u oportunidades del negocio.

7.2.1. Usos de la reducción de costes

EPON brinda oportunidades al proveedor de servicios de reducir el costo de instalación, de manejo, y de entregar propuestas de servicio existentes. Por ejemplo, EPON hace lo siguiente:

- Sustituir los componentes electrónicos activos por los acopladores ópticos pasivos menos costosos que son más simples, más fáciles de mantener, y de larga vida útil.
- Conservar la fibra y el espacio del puerto en la CO (central office)
- Compartir el costo de componentes electrónicos y de lasers activos costosos entre muchos suscriptores
- Entregar más servicios por fibra y reducir radicalmente el costo por megabit
- Prometer las oportunidades a largo plazo de la reducción de costos basadas en el alto volumen y la curva esclonada de precio/funcionamiento de los componentes de Ethernet
- guardar el costo del "truck rolls" porque la asignación del ancho de banda se puede hacer remotamente.

Para los proveedores de servicio el resultado es costes de capital mas bajos, los gastos en inversión de capital reducidos, y márgenes más altos.

7.2.2. Caso de estudio: Reemplazo de T1

Los ILECs hacen que los servicios T1 sean su “pan y mantequilla” en el mercado del negocio. Sin embargo, las líneas T1 pueden ser costosas de mantener y disponer, particularmente donde las limitaciones de la distancia requieren el uso de repetidores. Hoy, la mayoría de los T1s se entregan sobre el cableado de

cobre, pero los abastecedores de servicio han reconocido ya que la fibra es más rentable cuando la demanda en una localización del negocio excede cuatro líneas T1.

EPON proporciona la solución perfecta para los proveedores de servicio que desean consolidar T1s múltiples en una sola fibra rentable. Utilizando una PON, los abastecedores de servicio eliminan la necesidad de la electrónica exterior de la planta, tal como repetidores. Consecuentemente, el costo requerido para mantener los circuitos T1 se puede reducir dramáticamente. En muchos casos, los ahorros de hasta 40 por ciento en mantenimiento se pueden alcanzar substituyendo circuitos T1 repetidos, con T1s basados en fibras.

7.2.3. Nuevas oportunidades de ingresos

Las nuevas oportunidades del rédito son un componente crítico de cualquier plan de negocio del proveedor de servicios. Las mejoras de la infraestructura deben rendir una vuelta en la inversión a corto plazo y permitir a la red ser colocado para el futuro. Las plataformas de EPON hacen exactamente eso, entregando la capacidad mas alta de ancho de banda disponible, de una sola fibra, sin electrónica activa en la planta exterior. La ventaja inmediata del proveedor de servicio es una inversión inicial baja por suscriptor y un costo extremadamente

bajo por megabit. En el de más largo plazo, por el apalancamiento de una plataforma de EPON, los portadores se colocan para conocer la demanda de extensión por ancho de banda tan bien como la migración extensamente anticipada de TDM a las soluciones de Ethernet.

7.2.4. Ventaja competitiva

Desde la llegada del acta de las telecomunicaciones de 1996, la competencia ha estado en aumento. Sin embargo, el estado actual de la competición ha sido afectado por la crisis capital dentro de la comunidad del servicio-proveedor. CLECs se centra hoy cada vez más en los lugares de mercado que proporcionan crecimiento rápido y vuelta en la inversión a corto plazo.

Los portadores titulares deben mantener centrado en capacidades de base mientras que defienden el mercado, y, al mismo tiempo, deben buscar oportunidades de productos nuevos de alto crecimiento. Uno de los lugares más competitivos es el espacio de Ethernet. Ampliamente aceptado como el estándar de hecho para LAN's, Ethernet se utiliza en más de 90 por ciento de computadoras de hoy. De una perspectiva del usuario final, Ethernet es menos complejo y menos costoso de manejar. Los proveedores de servicio, titular y los principiantes, están proporcionando estos servicios como una entrada y como una estrategia defensiva. De la perspectiva del titular, los principiantes que ofrecen la

conectividad barata de Ethernet tomarán la parte del mercado de productos de la herencia. Como estrategia defensiva, los titulares deben resolver el mercado de una manera rentable, agresiva. Los sistemas de EPON son una manera extremadamente rentable de mantener un borde competitivo.

7.2.5. Permitir nuevos modelos de negocios del proveedor de servicios

Los proveedores de servicio de la nueva o siguiente generación saben que una estrategia dominante en el ambiente competitivo de hoy es guardar el coste actual en un mínimo, con una plataforma de acceso que proporcione un cojín de lanzamiento para el futuro. Las soluciones de EPON caben en la cuenta. EPON se puede utilizar para la herencia y el servicio de la generación siguiente, esto permite el despliegue más extenso con lo menos posible encima de la inversión delantera.

Por ejemplo, un nuevo abastecedor de servicios competitivo podría comenzar desplegando un chasis del CO con una sola tarjeta de OLT que alimente una PON y cinco ONU's. Esta arquitectura simple, barata permite la entrega de ocho DS1,

tres DS3²⁷, 46 100/10BASE-T, una Gigabit Ethernet (DWDM), y dos circuitos OC-12 (DWDM), mientras que deja un montón de sitios en el sistema para la extensión. Para un nuevo proveedor de servicios, esto proporciona la ventaja de los costes iniciales bajos de lanzamiento, una amplia gama de nuevos servicios de generación de ingresos, y la habilidad de ampliar la capacidad de la red.

²⁷ DS3 es un servicio de línea privada, dedicada y digital dándole gran capacidad para cualquier combinación de aplicaciones de datos, voz o video. La flexibilidad de DS3 lo hace ideal para usuarios intensivos de datos con grandes aplicaciones en el "backbone" o redes privadas que requieren transporte canalizado.

7.3. VENTAJAS DE EPON

Las redes EPON son más simples, más eficientes, y menos costosas que otras soluciones de acceso de multiservicios. Las principales ventajas de EPON son las siguientes:

- Alto ancho de banda: simétrico hasta los 1.25 Gbps
- Costos mas bajos
- Mayores ingresos: la amplia gama de servicios flexibles ofrecidos significa ingresos más altos

7.3.1. Ancho de banda más grande

EPON ofrece hoy el más grande ancho de banda a los clientes de cualquier sistema de redes ópticas pasivas.

El trafico Downstream de 1 Gbps en el IP nativo se ha alcanzado ya, y el tráfico de vuelta por encima de 64 ONU's puede por encima de 800 Mbps.

El enorme ancho de banda disponible en EPON, proporciona un gran número de beneficios:

- Más suscriptores por PON
- Más ancho de banda por subscritor

- Capacidades de video
- Mejor QoS

7.3.2. Costos más bajos

Los sistemas de EPON están montando la curva escarpada de precio/funcionamiento de los componentes ópticos y de Ethernet. Consecuentemente, EPON's ofrece las características y la funcionalidad del equipo de fibra óptica en los puntos de precios que son comparables a DSL y al cobre T1s. Reducciones de costes más próximas son alcanzadas por la arquitectura más simple, las operaciones más eficientes, y las necesidades más bajas del mantenimiento de una red de Ethernet óptica de IP.

EPON entrega las siguientes oportunidades para la reducción de costes:

- Eliminar los elementos complejos y costosos de ATM y de SONET²⁸, y simplifica dramáticamente la arquitectura de red

²⁸ SONET define una tecnología para transportar muchas señales de diferentes capacidades a través de una jerarquía óptica síncrona y flexible. Esto se logra por medio de un esquema de multiplexado por interpolación de bytes. La interpolación de bytes simplifica la multiplexación y ofrece una administración de la red extremo a extremo

- Los componentes ópticos pasivos duraderos reducen el mantenimiento de la planta exterior
- Las interfaces estándares de Ethernet eliminan la necesidad de módems adicionales de DSL o de cable

7.3.3. Mayores ingresos

EPON puede apoyar un paquete completo de datos, de vídeo, y de servicios de voz, que permite que los portadores incrementen sus ingresos explotando la amplia gama y flexibilidad de las ofrendas de servicio disponibles.

Las oportunidades de ingresos de las EPON incluyen:

- Ayuda para la herencia TDM, ATM, y servicios de SONET
- Adaptación de servicios a las necesidades de cliente con SLA's garantizado
- Respuesta rápida a las necesidades de cliente con aprovisionamiento flexible y la reconfiguración rápida del servicio.

7.4. EL FUTURO DE ETHERNET PON

EPON esta en las fases tempranas del desarrollo comercial con los despliegues iniciales de ensayos anticipados durante los próximos años. Aunque APON tiene una ventaja leve en el mercado, la industria actual tiende a ir incluyendo el crecimiento rápido del tráfico de datos y la importancia del aumento rápido de los servicios de Fast Ethernet y Gigabit Ethernet en las redes ópticas pasivas (PON). Los esfuerzos de la estandarización ya en curso se basan en el establecimiento del grupo de estudio de EFM, y el ímpetu es construido para una mejora al estándar iniciado FSAN de APON.

La etapa se fija para un cambio de paradigma en la industria de las comunicaciones que podría manar resultado en un totalmente nuevo “ciclo de despliegue del equipo,” puesta a tierra firmemente en la adopción basada en el ancho de la fibra óptica y de las tecnologías de Ethernet. Esta arquitectura óptica de IP Ethernet promete convertirse en los medios dominantes de entregar voz liada, datos, y los servicios video sobre una sola red. Además, esta arquitectura es un habilitador para una nueva generación de sociedades cooperativas y estratégicas, que reunirán clientes contentos, proveedores de de servicio, operadores de red, y los fabricantes de equipo para entregar una hospitalidad y un paquete liados de las comunicaciones sin rivalidad por cualquier otro ofrecimiento pasado.

8. CONCLUSIONES

Epon es una tecnología que surge pensando en la evolución de las redes LAN y WAN, y que en un futuro no muy lejano puede convertirse en la solución de los cuellos de botella en la última milla más atractiva para el mercado de las telecomunicaciones, debido a su simplicidad y bajo costo, especialmente si se tiene en cuenta que día tras día son más la cantidad de personas que se suman a los millones de usuarios que actualmente tiene la red pública o Internet, los cuales con el pasar del tiempo demandan mayores velocidades de conexión, anchos de banda superiores para poder soportar el acelerado progreso de las aplicaciones multimedia tales como audio, video, juegos interactivos, etc.

Las redes de acceso al suscriptor están limitadas por el equipo y la infraestructura diseñados no originalmente para transmisión de datos IP de alto ancho de banda. Si se monta en hilos de cobre más cortos o de fibra óptica, Ethernet seguirá emergiendo como el protocolo de banda ancha del futuro, escogido debido a la eficacia de IP, bajo costo, etc. De interés particular están las Ethernet PONs, que combinan el bajo costo de la infraestructura óptica de punto multipunto con el bajo consumo del ancho de banda de Ethernet. La red de acceso de banda ancha futura es probable que pueda ser una combinación de Ethernet de punto a punto, y punto a multipunto, optimizada para transportar datos de IP, así como voz y video de tiempo crítico.

Diferente de la red de backbone, que recibió una abundancia de la inversión en rutas de la fibra transcontinental durante el auge del Internet, la tecnología óptica no se ha desplegado extensamente en la red de acceso. Es posible que EPONs y Ethernet óptico punto a punto ofrezcan la mejor posibilidad de una vuelta en el sector de las telecomunicaciones. Pues los proveedores de servicio invierten en tecnologías ópticas de acceso, esto permitirá nuevos usos, estimulando el nuevo crecimiento y manejando más tráfico sobre las rutas de la backbone. El gran aumento en el ancho de banda de la red de acceso proporcionada por EPONs y el Ethernet óptico punto a punto estimulará eventualmente la inversión renovada en rutas de la fibra del metro y transcontinental.

9. BIBLIOGRAFÍA

- **IEC: Ethernet Passive Optical Networks. Definition EPON**

[http:// www.iec.org/online/tutorials/epon/](http://www.iec.org/online/tutorials/epon/)

- **Ethernet in the first mile. Definicion, esquema EPON Downstream y Upstream**

http://www.ieee802.org/3/efm/public/jul01/tutorial/pesavento_1_0701.pdf

- **Passive optical network. Definicion APON**

<http://en.wikipedia.org/wiki/APON>

- **Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network. Esquema topología PON, descripción de elemento de EPON, Esquema interno de splitter óptico.**

http://networks.cs.ucdavis.edu/~mukherje/links/gk_wiley_bc.pdf

- **Sistemas de acceso ópticos: Estándares EPON/GPON. Definición y esquema de Ranging.**

http://www.gatv.ssr.upm.es/~stel/apuntes/3-Anexo3_EPON+GPON.pdf

- **Optical Access Network. Esquema real de equipos (OLT, ONU)**

<http://www.broadatacom.com/site/PDF/OpticalAccess.pdf>

- **Red óptica pasiva de acceso gigabit ethernet. Jordi Cueva Hernández Ingeniero Superior Telecomunicaciones. Esquema Red EPON**

<http://www.railforum.net/.../Jordi%20Cueva%20-%20REVENGA.pdf>

- **Ethernet in the First Mile: Point to Multipoint Ethernet Passive Optical Network (EPON). Redes EPON**

http://www.ieee802.org/3/efm/public/jul01/tutorial/pesavento_1_0701.pdf.

- **Tendencias Tecnológicas en las Redes de Acceso. Ing. Elizabeth Grust. Universidad Tecnológica Nacional, 25 de Septiembre de 2002.**
Definición y esquema APON
<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/internetworking/apuntes/redesdeacceso/redesdeacceso.pdf>
- **Ethernet Passive Optical Networks EPON. IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group, January 8-9, 2001, Irvine, CA. Gerry Pesavento**
<http://www.rle.mit.edu/cips/documents/EPON.pdf>.
- **Multiple Access Techniques for ePON. Glen Kramer. IEEE 802.3 EFM Study Group Meeting, March 2001. Tecnicas de Acceso multiple**
http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/mar01/kramer_1_0301.pdf
- **IEEE P802.3 ETHERNET IN THE FIRST MILE. JANUARY 8, 9 2001.**
David Closs. Ethernet en primera milla.
http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan01/closs_1_01_2001.pdf