

PON (Passive Optical Networks)

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

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. En la actualidad la tecnología ADSL es la estrella indiscutible en el panorama europeo, una tecnología que sigue explotando el bucle de abonado en cobre.

Por otro lado, la demanda cada vez mayor de los usuarios de un mayor ancho de banda ha hecho replantear a los operadores consolidados y emergentes sus estrategias, comenzando una carrera por la duplicación de la velocidad de sus líneas que a los ojos del profano parece no tener fin. Sin embargo ADSL cuenta con una limitación técnica importante: el máximo ancho de banda que puede ofrecer no supera en ningún caso los 8Mbps en canal descendente y los 4 en canal ascendente. Además estos valores disminuyen drásticamente a medida que el usuario se aleja de la central.

Y aunque nuevas tecnologías como ADSL2 y ADSL+ aportarán un ligero aumento en el ancho de banda ofrecido a los abonados, las limitaciones de distancia, inversamente proporcional al ancho de banda, son un importante cuello de botella que frena la posibilidad de crecer progresivamente en calidad de servicio. Este problema se ha dado en llamar problema de la última milla.

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

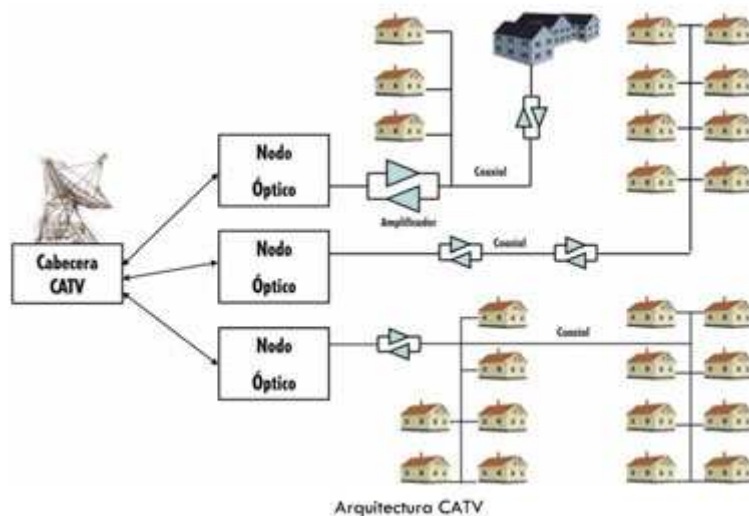
Y si hablamos de arquitecturas de futuro, las redes PON se postulan como una apuesta fiable: su coste contenido en equipamiento electróptico y la eficiencia de las topologías árbol-rama aportan un incentivo adicional frente a los despliegues tradicionales basados en conectividad punto a punto.



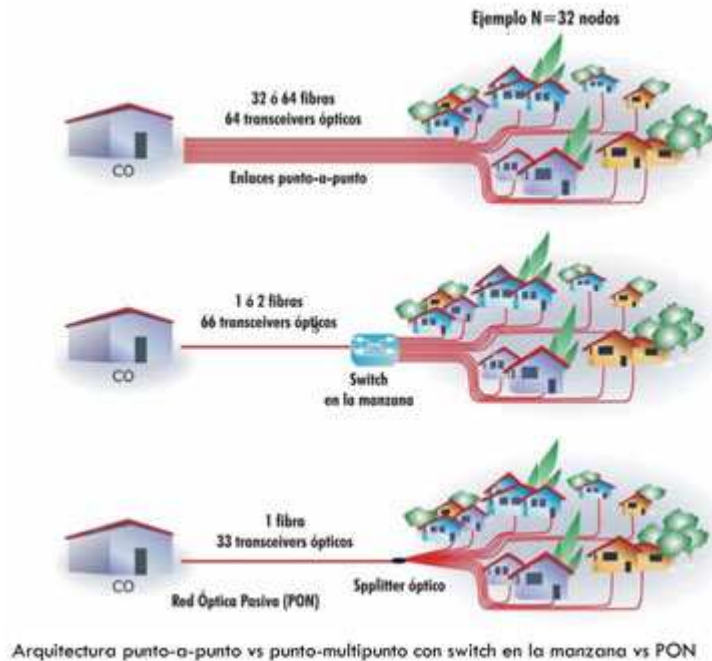
Características comunes de los sistemas PON

Desde 1995, compañías operadoras de telecomunicaciones han venido trabajando en una red de servicios integrada de acceso al abonado, que permitiendo al usuario un acceso en banda ancha a través de fibra óptica, contuviera los costes de un despliegue tradicional punto a punto (como hace ADSL con el bucle de abonado en cobre, o bien en fibra óptica).

Las Redes Ópticas Pasivas toman su modelo de las redes CATV recicladas para ofrecer servicios de banda ancha mediante la habilitación del canal de retorno. Una red CATV está compuesta por varios nodos ópticos unidos con la cabecera a través de fibra óptica, de los cuales se derivan, mediante una arquitectura compartida de cable coaxial, los accesos a los abonados. Habitualmente en CATV cada nodo óptico ataca a un determinado número de usuarios (en función del ancho de banda que se quiere asignar a los usuarios) utilizando cable coaxial y splitters (divisores) eléctricos. Las redes ópticas pasivas sustituyen el tramo de coaxial por fibra óptica monomodo y los derivadotes eléctricos por divisores ópticos. De esta manera, la mayor capacidad de la fibra permite ofrecer unos anchos de banda mejorados, en canal descendente y sobre todo en canal ascendente, superando la limitación típica de 36Mbps de los sistemas cablemodem DOCSIS y EURODOCSIS por nodo óptico.



Esta nueva arquitectura es una evolución de menor coste a alternativas tradicionales como las redes punto a punto o las redes conmutadas hasta la manzana, puesto que reducen el equipamiento necesario para la conversión electroóptica y prescinden del equipamiento de red de alta densidad necesario para la conmutación.



Las arquitecturas PON están centrando la atención de la industria de las telecomunicaciones como una manera de atacar a la problemática de la última milla, puesto que presenta evidentes ventajas:

- Las redes PON permite atacar a usuarios localizados a distancias de hasta 20 Km desde la central (o nodo óptico). Esta distancia supera con creces la máxima cobertura de las tecnologías DSL (máximo 5Km desde la central).
- Las redes PON minimizan el despliegue de fibra en el bucle local al poder utilizar topologías árbol-rama mucho más eficientes que las topologías punto-a-punto. Además este tipo de arquitecturas simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo.
- Las redes ópticas pasivas ofrecen una mayor densidad de ancho de banda por usuario debido a la mayor capacidad de la fibra para transportar información que las alternativas de cobre (xDSL y CATV)
- Como arquitectura punto-multipunto, las redes ópticas pasivas permiten superponer una señal óptica de Televisión procedente de una cabecera CATV en otra longitud de onda sin realizar modificaciones en los equipos portadores de datos (ver apartado: tecnología VPON)
- Las redes PON elevan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red, al ser inmunes a ruidos electromagnéticos, no propagar las descargas eléctricas procedentes de rayos, etc.
- PON permite crecer a mayores tasas de transferencia superponiendo longitudes de onda adicionales.

Aunque las redes PON como concepto existen desde la década de los 90, solo en los últimos dos o tres años han alcanzado una madurez tecnológica que permiten que numerosos operadores comiencen a utilizarlas en forma masiva. En estos momentos parecen la opción

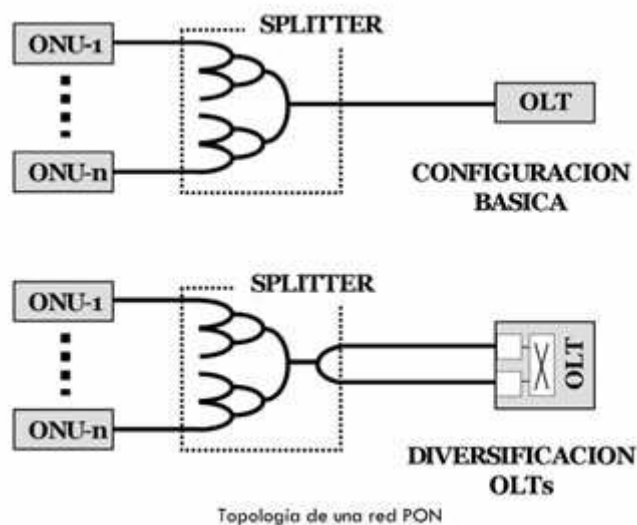
preferida para edificar la futura red de acceso al abonado, una vez agotadas las posibilidades de crecimiento de las tecnologías xDSL.

Breve descripción de las topologías PON

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

Existen varios tipos de topologías adecuadas para el acceso a red, incluyendo topologías en anillo (no muy habituales), árbol, árbol-rama y bus óptico lineal. Cada una de las bifurcaciones se consiguen encadenando divisores ópticos 1x2 o bien divisores 1xN.

En algunos casos, dependiendo de la criticidad del despliegue, a red de acceso puede requerir protección.



Todas las topologías PON utilizan monofibra para el despliegue. En canal descendente una PON es una red punto multipunto. El equipo OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se reparte a los usuarios en intervalos temporales. En canal ascendente la PON es una red punto-a punto donde múltiples ONUs transmiten a un único OLT. Trabajando sobre monofibra, la manera de optimizar las transmisiones de los sentidos descendente y ascendente sin entremezclarse consiste en trabajar sobre longitudes de onda diferentes utilizando técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing). La mayoría de las implementaciones superponen dos longitudes de onda, una para la transmisión en sentido

descendente (1290nm) y otra para la emisión a la cabecera (1310nm) – sentido ascendente-. La evolución de la tecnología óptica ha permitido miniaturizar los filtros ópticos necesarios para esta separación hasta llegar a integrarlos en los transceivers ópticos de los equipos de usuario. Se utilizan estas portadoras ópticas en segunda ventana (en lugar de trabajar en tercera ventana) para contener al máximo los costes de la optoelectrónica.

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

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

APON, BPON y GPON

En 1995, siete operadores de telecomunicaciones vislumbraron las posibilidades de las redes PON y fundaron la Full Service Access Network (FSAN, siglas en inglés de Red de Acceso Multiservicio) con el objetivo de unificar especificaciones para el acceso en banda ancha a los hogares. Además la FSAN agrupa a más de 30 fabricantes de equipamiento.

Los miembros de la FSAN desarrollaron una especificación de una red óptica totalmente pasiva que desde un nodo óptico atacaba a un número definido de usuarios utilizando la tecnología ATM y su protocolo de nivel 2.

La transmisión en canal descendente está formada por ráfagas de celdas ATM estándar de 53 bytes a las que se le añaden un identificador de tres bytes que identifican el equipo ONU generador de la ráfaga. La máxima tasa soportada en canal ascendente suponiendo una única unidad ONU es de 155Mbps. Este ancho de banda se reparte en función del número de usuarios asignado al nodo óptico (número de ONUs).

En canal ascendente la trama se construye a partir de 54 celdas ATM donde se intercalan dos celdas PLOAM donde se introduce información de los destinatarios de cada celda e información de operación y mantenimiento de la red.

Aunque el sistema funciona internamente en modo ATM, lo que permite una mayor eficiencia que utilizando protocolos Ethernet, hacia el exterior, tanto en el lado usuario como en el lado “Central”, tiene interfaces, además del nativo ATM, de tipo TDM (p.e. 2 Mbit/s.) o Ethernet mediante emulación de ambos tipos de señales. Los distintos fabricantes disponen también normalmente tanto de terminales de usuario (ONT/ONU) como del lado núcleo de la red (OLT) con los distintos interfaces de usuarios adaptados a telefonía convencional o cualquier aplicación de datos, video, o telemetría.

Posiblemente APON provee el conjunto más rico y exhaustivo de características de operación y mantenimiento (OAM) de todas las tecnología PON.

Como contrapartida, la interconexión de los equipos de cabecera APON OLT con las redes de transporte se realiza a nivel SDH/ATM, requiriendo una infraestructura de transporte de esta naturaleza. Por otro lado el ancho de banda de los equipos APON está limitado a 155Mbps repartido entre los usuarios que componen en nodo óptico. Posteriormente este límite fue ampliado a 622Mbps.

El termino APON acuñado inicialmente por la FSAN fue reemplazado por BPON (Broadband PON –Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha-) haciendo referencia a la posibilidad de dar soporte a otros estándares de banda ancha, incluyendo Ethernet, distribución de video, VPL (líneas privadas virtuales, virtual private line), etc.

En 1997 FSAN envió las especificaciones al comité ITU. Tras un periodo de siete años ITU-T aprobó las siguientes recomendaciones relacionadas con las redes ópticas pasivas de banda ancha: G.983.1 (descripción general), G.983.2 (capa de gestión y mantenimiento), G.983.3 (calidad de servicio en BPON), G.983.4 (Asignación de ancho de banda dinámico), G.983.5 (Mecanismos de protección), G.983.6 (Capa de control de red OTN), G.983.7 (Capa de gestión de red del ancho de banda dinámico), G.983.8 (soporte del protocolo IP, Video, VALN y VC).

La recomendación original especificada en la recomendación G.983.1 en la arquitectura BPON define una red simétrica de un ancho de banda total de 155Mbps, tanto en canal descendente como en ascendente. Esta especificación fue modificada en 2001 para permitir configuraciones asimétricas (622 descendente y 155 ascendente) y simétricas de mayor capacidad (622Mbps).

BPON no es la última contribución de la FSAN a las redes ópticas pasivas. El incremento del ancho de banda demandado por los usuarios

unido al balanceo del tipo de tráfico exclusivamente hacia tráfico IP, incidieron directamente en el desarrollo de una nueva especificación que se apoyaba en el estándar BPON, altamente ineficiente para el transporte de tráfico IP, que mejorara utilizaba un procedimiento de encapsulación denominado GFP (Procedimiento General de Segmentación –General Framing Procedure-) que aumentaba la eficiencia de la arquitectura, permitiendo mezclar tramas ATM de tamaño variable.

Esta nueva recomendación, estandarizada por ITU-T y denominada Gigabit-capable PON (GPON) fue aprobada en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2 y G.984.3.

- En la Recomendación G.984.1 se describen las características generales de un sistema PON capaz de transmitir en ATM: su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de transferencia de la señal, protección, velocidades independientes de protección y seguridad.
- En la Recomendación G.984.2 se describe una red flexible de acceso en fibra óptica capaz de soportar los requisitos de banda ancha de los servicios a empresas y usuarios residenciales.
- Las técnicas GPON permiten mantener la red de distribución óptica, el plano de longitud de onda y los principios de diseño de la red de servicio integral consignados en las Recomendaciones G.983. Asimismo, aparte de acrecentar la capacidad de la red, las nuevas normas permiten un manejo más eficiente de IP y de Ethernet.

GPON es un estándar muy potente pero a la vez muy complejo de implementar que ofrece:

- Soporte global multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay y muchas más
- Alcance físico de 20km
- Soporte para varias tasas de transferencia, incluyendo tráfico simétrico de 622Mbps, tráfico simétrico de 1.25Gbps y asimétrico de 2.5Gbps en sentido descendente y 1.25 en sentido ascendente.
- Importantes facilidades de gestión, operación y mantenimiento, desde la cabecera OLT al equipamiento de usuario ONU.
- Seguridad a nivel de protocolo (encriptación) debido a la naturaleza multicast del protocolo.

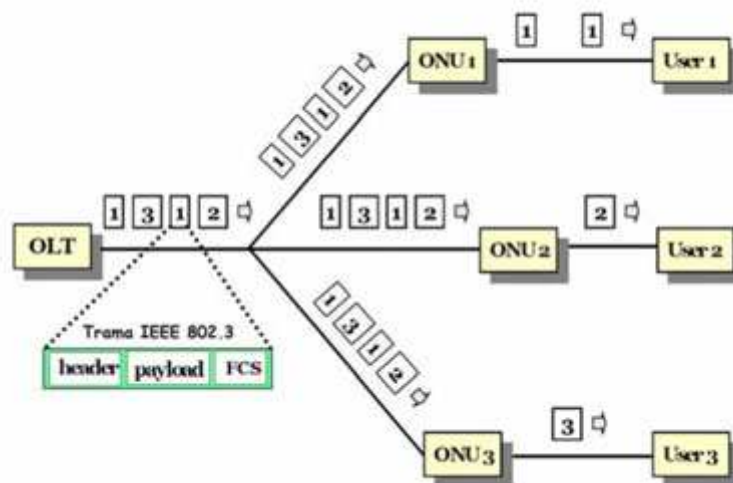
La organización de la red y la terminología utilizada es la misma que en las redes BPON. Se espera no obstante que la normativa GPON aumente todavía mas la interoperatividad entre los distintos fabricantes permitiendo en un mismo sistema utilizar ONUs y OLTs de distintos fabricantes.

Ethernet PON, EPON

En Enero de 2001, el IEEE (Instituto de los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) configuró un grupo de estudio llamado Ethernet en la última milla (EFM). Este grupo tenía como objetivo extrapolar la tecnología Ethernet al área residencial y de negocios llevándola hasta el hogar aprovechando el auge que esta tecnología había experimentado en los últimos años por su simplicidad, rendimiento y facilidad de despliegue.

Este grupo de trabajo generó una nueva especificación de redes ópticas pasivas, denominada Ethernet PON (EPON). Esta nueva arquitectura se diferencia de las anteriores en que no transporta celdas ATM sino directamente tráfico nativo Ethernet. Usa el estándar 8b/10b (codificación de línea) y siempre que es posible, mantiene fielmente el espíritu de la recomendación 802.3, incluyendo el uso full duplex de acceso al medio.

Posiblemente el principal atractivo que presenta esta tecnología es su evidente optimización para el tráfico IP frente a clásica ineficiencia de las alternativas basadas en ATM. Además, la interconexión de islas EPON es mucho más sencilla que la interconexión de APON/BPON, GPON puesto que no requiere arquitecturas SDH para realizar el transporte WAN.



Toda la arquitectura EPON red trabaja a velocidad GigabitEthernet. Por lo tanto, el máximo ancho de banda que se ofrecerá a los usuarios depende del número de ONUs que cuelguen de cada OLT. Si un nodo óptico diera servicio a 10 usuarios, la máxima capacidad del servicio por usuario sería de $1\text{Gbps}/10 = 100\text{Mbps}$. Evidentemente con 100 usuarios por nodo óptico, el ancho de banda por usuarios se reduciría hasta los 10Mbps.

No obstante existen técnicas ópticas –generalizables a todas las arquitecturas PON- (como por ejemplo utilizar múltiples portadoras ópticas de colores diferentes, WDM) para incrementar el ancho de banda por nodo óptico si modificar la infraestructura.

En una arquitectura de medianas dimensiones coexisten varios controladores de cabecera en función del ancho de banda máximo que se quiera garantizar a los usuarios. Un valor recomendado para este tipo de redes puede ser 10 abonados por nodo óptico, pero valores de 64, 100 y 256 también pueden ser posibles. Es posible obtener alcances de 20 kilómetros en fibra desde la cabecera de la red hasta el abonado.

Entre las variaciones de interfaces disponibles para el equipamiento de usuario (ONU o gateway VoIP) se encuentran puertos 10/100 (orientados al mercado doméstico) o bien puertos GigabitEthernet (orientados al mercado empresarial, donde se necesite una granularidad de ancho de banda superior a los 100Mbps)

EPON permite asignar calidad de servicio en canal descendente y en canal ascendente al tiempo que codifica todas las comunicaciones mediante el algoritmo DES.

El uso de EPON permite a los operadores de transporte eliminar los complejos y costosos elementos ATM y SDH, simplificando las redes y, de esta manera, abaratando el coste de implantación a los abonados. Actualmente los costes de EPON por unidad de usuario repercutidos son aproximadamente un 10% menores del coste de equipamiento GPON equivalente.

Por último, IEEE ya anuncia una nueva revisión del estándar que permitirá, utilizando la tecnología 10GbE multiplicar en un factor 10 el ancho de banda de una arquitectura EPON de primera generación. Este esfuerzo de desarrollo se recogerá en la futura especificación GEPON, un nuevo estándar IEEE que tenderá hacia la convergencia con el estándar ITU GPON.

Resumen de los diferentes estándares

El siguiente cuadro resume las principales características de los tres estándares dominantes.

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

Cuadro resumen de las tecnologíasPON

VPON

Gracias a una nueva variedad de transceptores opticos es posible superponer una señal de video junto al tradicional caudal de datos de las redes ópticas pasivas A/B/GPON y EPON. Esta señal, transmitida a 1550nm y modulada en frecuencia desde un láser ultra lineal tipo CATV ubicado en la cabecera de la red, puede transportar el espectro UHF y VHF a todos los equipos ONUs de la arquitectura PON. A través de una sencilla circuitería, esta señal es extraída en los equipos de usuarios por el transceptor óptico, amplificada utilizando un amplificador de banda ancha para el rango V/UHF y, directamente, puede ser introducida al conector de antena de televisores analógicos o decodificadores digitales.



Este esquema de trabajo, denominado Video RF, Video PON o VPON no utiliza el ancho de banda de la señal de datos para encapsular las señales de video, sino que se trata de un esquema mucho más simplificado que

puede ser implementado utilizando una cabecera tradicional analógica de Televisión por Cable disminuyendo de este modo los costes de los codificadores digitales IP de cabecera (y los decodificadores de usuario) para el transporte de las tramas MPEG2.

Comparativas entre EPON y GPON

Claramente hay sustanciales diferencias entre la tecnología EPON y GPON, sobre todo en capa 2. Sin embargo los diseñadores de arquitectura de red también encontraran diferencias en términos de ancho de banda, alcance, eficiencia, coste por usuario y gestión. En este apartado trataremos estas diferencias con mayor detalle:

1. Ancho de banda aprovechable

Los anchos de banda varían entre los dos protocolos. GPON promete 1.25Gbps ó 2.5Gbps en canal descendente y un ancho de banda escalable desde 155Mbps hasta los 2.5Gbps. EPON, por su parte, ofrece un ancho de banda simétrico de 1Gbps donde se desperdician aproximadamente 250Mbps en la codificación 8b/10b (hasta completar la velocidad de línea de 1.25Gbps).

GPON no minora ancho de banda para la codificación, puesto que utiliza un esquema NRZ y un entrelazado de datos típico de las redes SDH. De esta manera, GPON dispone de un ancho de banda superior en un 25% a EPON en canal ascendente.

Sin embargo, cuando se trata de agregar el tráfico de varios controladores de cabecera, lo que parecía en GPON una ventaja en ancho de banda, se pierde al hacer una conversión a los flujos GigabitEthernet que necesitan los conmutadores de cabecera. Es decir, en líneas generales, GPON añade un ancho de banda que no será aprovechado por los operadores cuando la señal GPON se transporte en redes WAN Gigabit Ethernet.

2. Alcance

Como sucede con cualquier otro protocolo, el alcance sobre fibra viene definido por el rango dinámico del enlace óptico. En la actualidad, el alcance de ambos protocolos es aproximadamente de unos 20Km, siendo limitado por el número de ONUs definidos para el nodo.

GPON promete soportar hasta 128 ONUs. Con EPON no existe una limitación en el número de nodos, aunque 256 es un valor máximo adecuado. En estas condiciones de equipado máximo de nodos, evidentemente, el alcance máximo de EPON se reduce frente a GPON al existir mayores pérdidas de inserción derivadas del uso de un número mayor de divisores ópticos.

3. Coste por suscriptor

El uso de EPON elimina completamente los costosos y complejos equipos de transporte ATM/SDH de los operadores de transporte, simplificando sus redes y, por lo tanto, no imputando sus costes a los usuarios. Se ha estimado que EPON repercute un 10% menos que GPON el coste de los equipos de cabecera sobre los usuarios, estando al mismo nivel que otras tecnologías de acceso como VDSL.

4. Eficiencia de cada estándar

Ambos protocolos PON añaden overhead (tráfico no útil) a las tramas del protocolo que encapsulan (IP). EPON es una estándar optimizado para longitud variable de paquete (tramas ethernet de hasta 1518 bytes) según el estándar 802.3 Ethernet. En sistemas PONs ATM (incluido GPON) los datos se transmiten en tramas fijas (celdas) de 53 bytes (48bytes de carga útil y 5 bytes de overhead). Este formato es extremadamente ineficiente para el transporte de tráfico IP cuyos segmentos pueden variar hasta alcanzar tamaños de 64Kbytes.

Los sistemas GPON que transportan tráfico IP deben segmentarlo en tamaños de 48bytes introduciendo la información de segmentación en cabeceras de 5bytes. Este proceso, además de complicado, añade latencia.

Se ha calculado que una encapsulación Ethernet como la que realiza EPON sobre tráfico IP añade una ineficiencia de un 7.42%, mientras que la encapsulación de IP sobre ATM eleva este valor hasta el 13.22%.

Por otro lado, la codificación 8B/10B que realiza EPON y que desperdicia ancho de banda, se convierte en una ventaja a la hora de realizar la conversión electroóptica, puesto que precisa de una electrónica de sincronismo mucho más simplificada y no tan precisa como necesita GPON.

5. Sistemas de gestión

EPON basa su experiencia en sistemas de gestión Ethernet sobre SNMP, mucho más simplificados que los modelos de gestión y mantenimiento de capa 2 de ATM. De esta manera los sistemas de gestión EPON suelen poder integrarse con soluciones que ya dispone el operador, como HPOpenView o similares.

7. Encriptación

GPON utiliza la encriptación definida en ITU estándar. Sin embargo GPON sólo limita la encriptación al canal descendente.

EPON utiliza mecanismos DES para canales ascendentes y descendentes.

8. Protección de red

Ambos protocolos disponen de mecanismos de protección de red específicos de cada implementación por parte del fabricante. Estos mecanismos incluyen protección del tramo de red y del tramo de interconexión con el operador de transporte.