Tecnologías de acceso ópticas para la migración de la red de cobre a fibra

Dilber Rosabal Montero, Manleys Rodríguez Torres

Resumen

El rápido desarrollo de las tecnologías de acceso ópticas ha permitido el despliegue de redes de alta velocidad para garantizar los requerimientos de los servicios triple play. La mayoría de las redes de acceso en Cuba están soportadas sobre el par de cobre, a través del cual se brindan los servicios de comunicaciones, por tanto, la planta externa del operador de telecomunicaciones necesita ser actualizada por una infraestructura de fibra óptica. En esta investigación se presentan las características de las redes ópticas activas y pasivas, se abordan las especificaciones técnicas de las tecnologías que pueden ofrecer una solución para la migración de la red de acceso de cobre a fibra. Además se analiza la evolución de las redes ópticas pasivas a partir de la tecnología GPON y su coexistencia con otras tecnologías ópticas descritas por los sistemas NG-PON, que constituyen una solución para el continuo desarrollo de las redes de telecomunicaciones y satisfacen la demanda cada vez más creciente de los servicios de banda ancha en las redes de fibra hasta la casa.

***Palabras claves**:* banda ancha, FTTx, red de acceso óptica, PON

Optical access technologies for migration from copper to fiber network

Abstract

The development of optical access technologies has allowed the deployment of high-speed networks for ensuring the triple play service requirements. In Cuba, the access networks are supported on the copper pair, through which the communication services are provided. Therefore, the outside plant of telecommunication operators needs to be upgraded to an optical fiber-based infrastructure. In this research, the characteristics of passive and active optical networks are exposed and the technical specifications of technologies that can provide a solution for the migration from copper to fiber network are explained. Also the evolution of passive optical networks starting with the Gigabit-capable Passive Optical Network technology and its coexistence with other optical technologies described by Next Generation Passive Optical Network systems are discussed, which constitute a solution to the continuous development of telecommunication networks and they meet the increasing demand of broadband services in the fiber to the home networks.

Keywords: broadband, FTTx, optical access network, PON

Introducción

El auge de las tecnologías de acceso de banda ancha ha posibilitado la evolución de los servicios brindados por los operadores de telecomunicaciones a una arquitectura de servicios integrados de voz, video y datos, denominados triple play. En la actualidad se pueden ofrecer aplicaciones como [1]: televisión de alta definición (HDTV, *High Definition Television*), telemedicina y otras, que necesitan altas velocidades de transmisión y mayor calidad de servicio.

La comisión de banda ancha para el desarrollo digital, creada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, *International Telecommunication Union*), en el reporte sobre su estado en el 2014 [2], considera que los países deben usar estrategias y políticas para que la banda ancha sea costeable y esté disponible como herramienta vital para el desarrollo flexible y sostenido de la sociedad moderna del conocimiento. Su uso en la vida diaria permitirá el acceso a los servicios de educación, cultura, entretenimientos, salud, servicios comerciales y financieros en formato digital.

Las redes de acceso estuvieron basadas en el par de cobre para la transmisión de voz y datos sobre la red telefónica pública conmutada; las tecnologías de línea de abonado digital (DSL, *Digital Subscriber Line*) han permitido la extensión de la vida útil de la red de cobre y todavía tienen gran predominio para soportar la banda ancha. Estas surgieron con el objetivo de reutilizar la infraestructura en explotación y aprovecharla de manera más eficiente.

Existen varios tipos de redes xDSL como ADSL, ADSL2+, VDSL, VDSL2 y otras, cada una con sus características específicas en cuanto a ancho de banda utilizado, velocidad de transmisión en sentido de descarga, subida, alcance máximo y las aplicaciones que soportan. A pesar de que ADSL2+ se ha desplegado ampliamente en la red de acceso, hoy en día es reemplazada por VDSL2 la cual ofrece una mayor tasa de transferencia en ambos sentidos de la comunicación [3] y ha evolucionado mediante el empleo de técnicas de aceleración de DSL (*vectoring*), que también se emplea en un nuevo estándar para alcanzar velocidades de 1 Gbps sobre el par de cobre, denominado G.fast [4].

El principal inconveniente de las tecnologías referidas está dado por la disminución de la velocidad de transmisión con el aumento de la distancia del cable de cobre entre el equipo del cliente, modem DSL y el multiplexor de acceso de línea de abonado digital (DSLAM, *Digital Subscriber Line Access Multiplexor*), en la central telefónica [5], por lo cual se están convirtiendo en obsoletas [6].

Aunque las líneas de cobre poseen importantes limitaciones en cuanto a la velocidad de transmisión de datos con el aumento de la distancia, han coexistido con otras tecnologías soportadas sobre cable

coaxial y fibra óptica. En este sentido, se han utilizado los cables coaxiales en la red de distribución para proveer el acceso a Internet y la transmisión de televisión a través de la red híbrida de fibra coaxial (HFC, *Hybrid Fiber-Coaxial*), con lo que se obtiene una relación costo-beneficio superior [7]. No obstante, los medios anteriores se han visto superados por las ventajas del uso de la fibra óptica en las redes de telecomunicaciones.

Los requerimientos de los servicios de banda ancha y la infraestructura de las redes FTTH deben ser garantizados por las redes de acceso ópticas de próxima generación (NGOA, *Next Generation Optical Access*) que utilizan la fibra óptica como medio de transmisión en la última milla. A partir de sus posibilidades, las redes ópticas se han convertido en una opción tecnológica para el acceso, pues se alcanzan largas distancias, se reducen los problemas de ruido, atenuación e interferencia, al emplear como fuente de energía los emisores de luz y permite atender a una mayor cantidad de usuarios al utilizar la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*). Todo lo anterior es una motivación para el cambio de las redes tradicionales desplegadas en Cuba sobre par de cobre por una infraestructura basada en fibra óptica denominada FTTx.

Existen varios organismos internacionales como el FTTH *Council Europe* que promueven el despliegue de fibra óptica hasta el hogar o sus inmediaciones a través de las tecnologías FTTx. Ellas se pueden clasificar como: fibra hasta el hogar (FTTH, *Fiber to the Home*), fibra hasta el edificio (FTTB, *Fiber to the Building*), fibra hasta la acera (FTTC, *Fiber to the Curb*), entre otras [8], [9]. También se agrupan según las características del equipamiento de red ubicado entre la central telefónica y el equipo del usuario final, como red óptica activa (AON, *Active Optical Network*) y red óptica pasiva (PON, *Passive Optical Network*) [10], [11]. De acuerdo con la topología de interconexión pueden ser punto a punto (P2P, *Point to Point*) y punto a multipunto (P2MP, *Point to MultiPoint*) [8].

El objetivo de la investigación consiste en valorar las tecnologías de acceso ópticas que pueden ofrecer una solución viable para la migración de la red de acceso de cobre a una infraestructura de fibra óptica y para posibles actualizaciones tecnológicas de la red de fibra en funcionamiento.

Despliegue de redes FTTx

Las redes FTTx son implementadas por los operadores de telecomunicaciones de acuerdo con sus requerimientos técnicos y funcionalidades. Por medio del despliegue de la red FTTH se ofrecen los servicios de banda ancha sobre fibra óptica hasta el hogar; en escenarios FTTB la fibra llega hasta el equipo terminal localizado en el interior de los edificios multifamiliares y de negocios, a partir de este

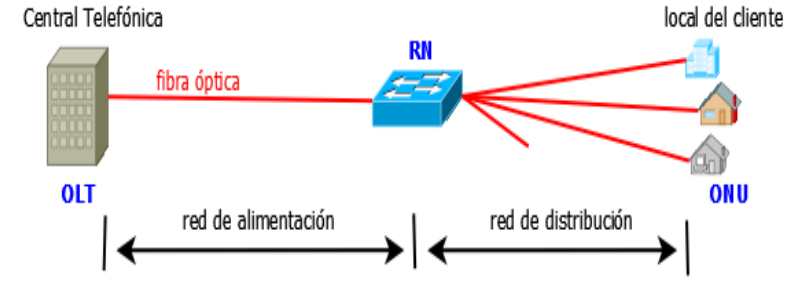
punto se ofrecen los servicios de telecomunicaciones mediante tecnologías xDSL y la LAN empresarial, respectivamente; con la red FTTC se llega con fibra hasta un gabinete que posee concentradores multiservicios cercanos al usuario y se aprovecha el resto de la red de cobre existente, a través del empleo de tecnologías xDSL como ADSL2+ y VDSL2.

Para el estudio del escenario de despliegue de las tecnologías FTTx se pueden considerar 3 categorías, basado en la existencia de infraestructura de telecomunicaciones [8]: la primera, cuando se instala la red en un nuevo sitio conjuntamente con la construcción de las edificaciones, en este caso no se tiene en cuenta la información sobre la red en explotación (*greenfield*); la segunda, para la región en la que ya hay edificios construidos y existe un bajo desarrollo de la red de telecomunicaciones (*brownfield*) y finalmente, el lugar donde se instalan nuevos componentes de red sobre la infraestructura existente (*overbuild*). En esta investigación, los últimos 2 casos se abordan de forma similar como *brownfield*, para el cual el costo de despliegue de la red puede ser menor al reutilizar los elementos de la planta externa en explotación [12]. Por ello su análisis juega un rol fundamental en la elección de la arquitectura y el diseño de la topología de red.

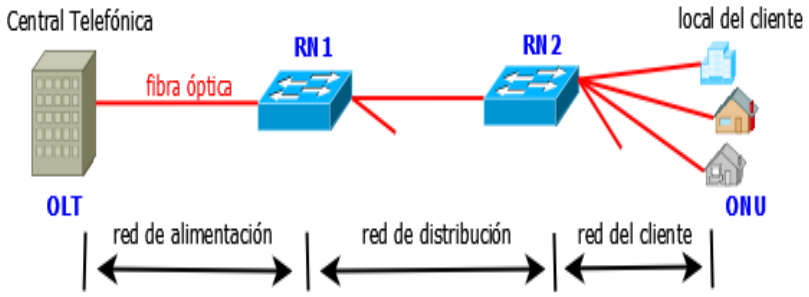
A continuación se presentan las tecnologías de acceso ópticas para el despliegue de la red FTTH/FTTB en escenarios *greenfield* y *brownfield*, las mismas favorecen la modernización de la planta externa (OSP, *OutSide Plant*) soportada sobre par de cobre y permiten las actualizaciones continuas de la red de fibra.

Red de acceso óptica

La red de acceso óptica (OAN, *Optical Access Network*) se puede clasificar de acuerdo con el tipo de dispositivos ubicados entre la central telefónica y el equipo del usuario final en activa y pasiva, así como según la topología de interconexión en punto a punto y punto a multipunto. El esquema general de la OAN se muestra en la Figura 1 (a) y está compuesta por 3 componentes principales [11]: la oficina central (CO, *Central Office*) donde se localiza la terminación de línea óptica (OLT, *Optical Line Termination*), los nodos remotos (RN, *Remote Node*) y la unidad de red óptica (ONU, *Optical Network Unit*) que proporciona la interfaz en el lado del usuario de la red de acceso óptica.



(a)



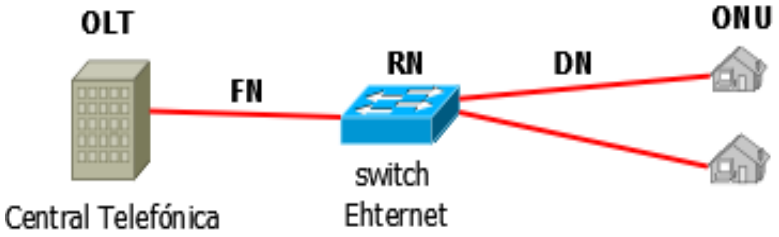
(b)

Figura 1. Componentes de la red de acceso óptica

La OAN representada utiliza una topología en árbol, está compuesta por la red de fibra y los nodos intermedios en el que se localizan los dispositivos ópticos de conmutación o de división de la señal óptica. En la Figura 1 (b), el enlace entre la OLT y el RN1 corresponde a la red de alimentación (FN, *Feeder Network*); el tramo entre los dos RN conforma la red de distribución (DN, *Distribution Network*) y entre el RN2 y la ONU, pertenece a la red del cliente (CN, *Customer Network*), denominada red de dispersión o de acometida.

En la red óptica activa los equipos de interconexión ubicados entre la central telefónica y el usuario requieren energía eléctrica; dichos dispositivos soportan Ethernet para proporcionar la agregación de enlaces por fibra. La AON utiliza una conexión de fibra óptica o longitud de onda dedicada para la comunicación entre la OLT y el equipo del cliente. Asimismo, el área de cobertura es superior respecto a la red óptica pasiva, independientemente del número de clientes conectados, pues la cantidad de usuarios está limitada por los puertos del *switch*.

(a)



(b)

Figura 2. Diagrama lógico de la red óptica activa. (a) *Home run*. (b) Estrella activa

La Figura 2 representa las arquitecturas más comunes empleadas en la AON: *home run* y estrella activa [11]. La primera, se basa en una topología P2P, por consiguiente, resulta menos compleja que las soluciones de medio compartido como la estrella activa y las redes ópticas pasivas; sin embargo, posee un alto costo por cliente como consecuencia del empleo de la fibra y *transceivers* dedicados, por lo que se dificulta su despliegue en áreas de alta densidad de clientes. La segunda, emplea una fibra óptica desde la central telefónica hasta el *switch* Ethernet activo ubicado en el nodo remoto, cuya red de alimentación se caracteriza por ser de uso compartido, de ahí que la arquitectura tiene una topología P2MP; no obstante, tiene un alto costo operacional y de consumo de energía por los componentes activos en la OSP [11]. Ambas tecnologías ofrecen velocidades en el orden de los 10 Gbps por usuario y un alcance de 100 km, superior al de las redes PON.

La red óptica pasiva emplea una conexión P2MP para las transmisiones entre la OLT y las ONUs, las cuales comparten los recursos mediante técnicas de multiplexación. En ella no se requiere de energía para la alimentación de los equipos intermedios. La PON está compuesta por 3 partes principales [23]: la OLT, la ONU y la red de distribución óptica (ODN, *Optical Distribution Network*) correspondiente a cada puerto PON de la OLT; esta última posee los divisores ópticos pasivos (POS, *Passive Optical Splitter*) encargados de dividir la señal óptica hacia cada usuario. Además, utiliza diferentes topologías como: árbol, bus y anillo pasivo [15].

Las tecnologías PON constituyen una alternativa primaria con respecto a las AON para la migración de las redes soportadas sobre par de cobre a fibra óptica. Las PON sustituyen los divisores eléctricos por otros pasivos; de esta manera se reduce la cantidad de dispositivos activos en la planta externa y se minimiza el planeamiento de red, lo cual contribuye a la reducción del costo de inversión (CAPEX, *Capital Expenditure*) y de operación (OPEX, *Operational Expenditure*) [14], [24], formando una económica red de acceso hasta el usuario final.

Redes ópticas pasivas

Entre las redes PON, las de mayor aceptación han sido la red óptica pasiva Ethernet (EPON, *Ethernet Passive Optical Network*) descrita en el estándar IEEE 802.3ah y la red óptica pasiva con capacidad de gigabit (GPON, *Gigabit capable Passive Optical Network*), definida en el ITU-T G.984.1. GPON ha sido elegida por varios operadores de telecomunicaciones y fabricantes en el mundo por sus ventajas sobre EPON [13], por lo cual se ha desplegado en Norteamérica y Europa [14]. Estas se han desarrollado hacia otras tecnologías PON que ofrecen velocidades de transferencia superiores como 10G-EPON [15] y XG-PON [16], [17]; las cuales pueden evolucionar hacia la segunda etapa de las redes ópticas pasivas de próxima generación, NG-PON2 [18].

GPON

El funcionamiento de la red GPON se describe en la serie de estándares ITU-T G.984.x. En ellos se exponen las características generales sobre su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de la señal, razón de división óptica, protección, seguridad y otras. El estándar G.984.1 surgió con el fin de establecer nuevas exigencias a la red. Entre ellas [19]:

- El soporte de los servicios de voz, Ethernet y ATM.
- El alcance físico máximo es de 20 km, aunque puede llegar hasta un alcance máximo de 60 km.
- Incluye velocidades de 2.4 Gbps en el enlace descendente, de la OLT a las terminaciones de red ópticas (ONT, *Optical Network Termination*) y 1.2 Gbps en el ascendente, de las ONT a la OLT.
- El número máximo de usuarios que pueden servir a través de una misma fibra es 64, aunque el sistema está preparado para soportar hasta 128, con 2 niveles de división máximo.

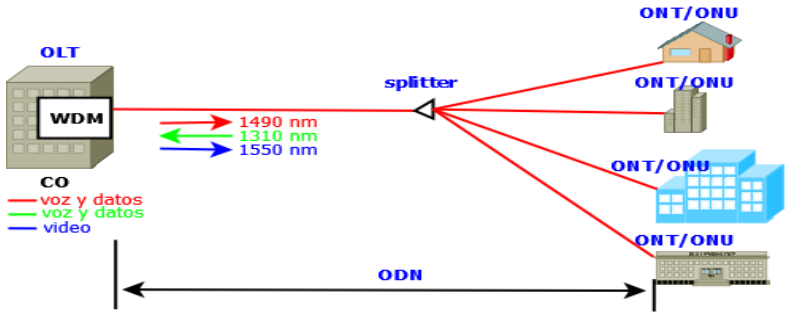


Figura 3. Esquema general de la red GPON

La Figura 3 muestra una red GPON formada por la OLT, ONT/ONU y la ODN con una topología P2MP en la que se localizan los divisores ópticos pasivos. Para la transmisión de voz y datos utiliza el rango de longitud de onda de 1480-1500 nm en el sentido de descarga y en subida, el rango de 1260-1360 nm. La transmisión unidireccional se realiza mediante el empleo de 2 fibras ópticas y la

transmisión bidireccional sobre una sola fibra y en los mismos componentes a través de WDM, que además posibilita el servicio de distribución de video en la banda de 1550-1560 nm.

GPON permite la implementación de una red flexible de acceso sobre fibra óptica capaz de soportar los requisitos de los servicios de banda ancha de los usuarios residenciales y no residenciales mediante FTTH en escenarios *greenfield*. Asimismo, posibilita la convergencia de los servicios de telecomunicaciones sobre una única infraestructura de red, lo que favorece la reducción de los costos para los operadores al no tener que instalar y mantener redes paralelas para cada servicio. La misma constituye una solución primaria para la migración de la red de cobre por fibra óptica en escenarios *brownfield* y es compatible con otras tecnologías PON surgidas para garantizar velocidades de transmisión superiores en la red de acceso.

NG-PON1

La red óptica pasiva de próxima generación fase 1 (NG-PON1, *Next Generation Passive Optical Network phase* 1) posee 2 variantes de arquitecturas denominadas: XG-PON1, la cual opera a una velocidad de 10 Gbps en bajada y 2.5 Gbps en subida, así como XG-PON2, con una razón de transferencia de 10 Gbps de forma simétrica. En general, la red óptica pasiva con capacidad de 10 gigabit (XG-PON, *10-Gigabit-capable Passive Optical Network*) es un sistema que soporta velocidades en el orden de los 10 Gbps en al menos un sentido de la comunicación [17]. Específicamente, XG-PON1 constituye una subclase de las redes NG-PON1; sus parámetros se describen en la serie de estándares ITU-T G.987.x y usa los tipos de fibra estandarizados en la recomendación ITU-T G.652 al igual que GPON.

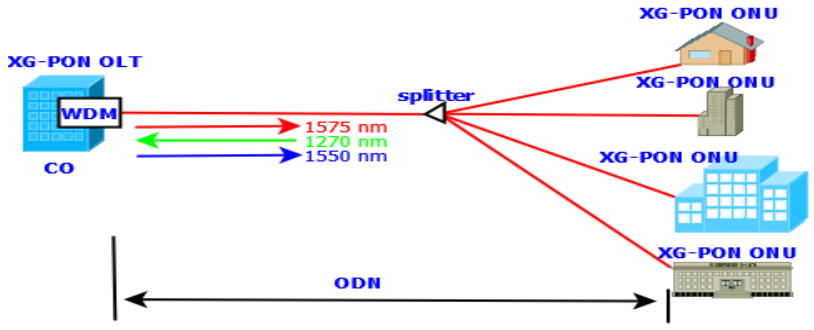


Figura 4. Esquema general de la red de acceso XG-PON

En la Figura 4 se muestra el diagrama lógico de la red de acceso XG-PON cuya ODN representa un segmento simple de distribución óptico pasivo (ODS, *Optical Distribution Segment*), aunque también está compuesta por un grupo de ODS pasivos interconectados con dispositivos para la extensión del alcance de la red óptica (RE, *Reach Extender*).

Para garantizar la compatibilidad con GPON, XG-PON1 utiliza en el sentido de descarga la longitud de onda de 1575 nm del rango de 1575-1580 nm y 1270 nm en subida, perteneciente al rango de 1260-1280 nm. Por tanto, los sistemas GPON y XG-PON funcionan sobre la misma ODN, como se representa en la Figura 5, al adicionar un nuevo componente (WDM1r) el cual es un filtro WDM que puede localizarse en la central telefónica para combinar o separar las longitudes de onda de las señales GPON y los sistemas NGA.

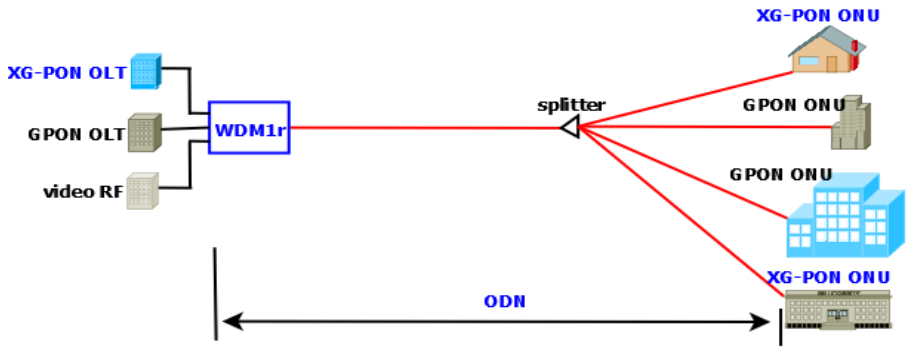


Figura 5. Escenario de coexistencia de GPON y XG-PON

En el estándar se describen 2 posibles escenarios de migración de la red óptica pasiva llamados PON *greenfield* y PON *brownfield* [20]. El primero se refiere a una región donde no se ha desplegado una red PON y resulta viable el cambio de la red de cobre existente por XG-PON1 sin antes desplegar GPON para satisfacer una velocidad de transferencia por usuario igual o superior. En el segundo caso, pueden coexistir XG-PON y GPON sobre una misma fibra; de ahí que el operador debe minimizar las interrupciones del servicio de los usuarios que no participan en el proceso de actualización y la nueva tecnología tiene que soportar todos los servicios existentes con GPON. Asimismo, al utilizar una OSP común se deben instalar las ONT GPON con filtro de bloqueo de longitud de onda (WBF, *Wavelength Blocking Filter*) para eliminar las interferencias de la tecnología XG-PON1.

Aunque las tecnologías TDM-PON analizadas ofrecen una alta razón de transferencia por ONU, se ven limitadas al utilizar un solo par de longitudes de onda compartidas entre todos los usuarios [21]. Además, cada día surgen nuevas aplicaciones las cuales demandan velocidades superiores, por lo que es necesario incrementar el rendimiento de las redes ópticas pasivas mediante el empleo de los sistemas NG-PON2 cuyas tecnologías permiten la asignación de un par de longitudes de onda dedicada por cliente para la transmisión bidireccional.

NG-PON2

La serie de estándares ITU-T G.989.x describe las especificaciones generales de NG-PON2 (*40-Gigabit-capable Passive Optical Networks*) la cual garantiza la variedad de servicios de los usuarios

residenciales, clientes de negocio y las aplicaciones del *backhaul* móvil; incluye las configuraciones de despliegue, migración de escenarios a partir de las PON tradicionales, así como los requerimientos operacionales, de protección y de servicio para una red de acceso flexible que posibilite las aplicaciones actuales [18]. Los sistemas NG-PON2 poseen las siguientes características:

- Arquitectura de multiplexación por división de longitud de onda y de tiempo (TWDM, *Time and Wavelength Division Multiplexing*) de un canal de varias longitudes de onda.
- 4-8 par de canales TWDM, en el que cada uno incluye un canal de longitud de onda de descarga y uno de subida.
- Multiplexación por división de longitud de onda punto a punto (PtP WDM, *Point-to-Point Wavelength Division Multiplexing*) para disponer de una longitud de onda dedicada por ONU en ambos sentidos de la comunicación. Además cada ONU puede ser servida por una o más longitudes de onda dedicadas.
- Capacidad de 40 Gbps en sentido descendente y de 10 Gbps en sentido ascendente, con un alcance de 20 km y una razón de división de 1:64.
- Enlaces simétricos a velocidades de 2.5 Gbps, así como de 10 Gbps, con un alcance de 40 km y una razón de división de 1:32.

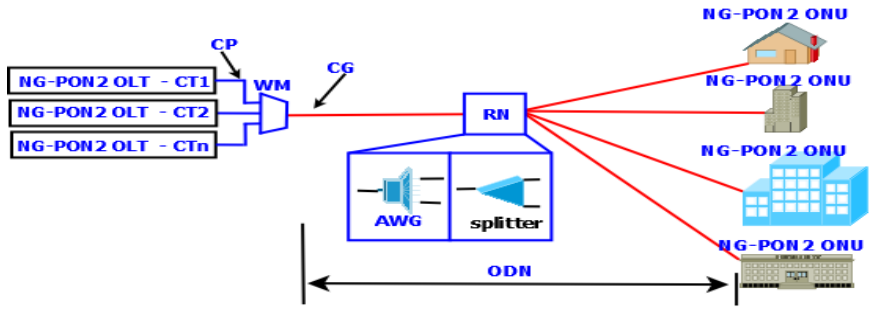


Figura 6. Esquema general del sistema NG-PON2

En la Figura 6 se representa la ODN simple de un sistema NG-PON2 en el que la OLT está conformada por varias terminaciones de canal (CT, *Channel Termination*) OLT conectadas a un multiplexor de longitud de onda (WM, *Wavelength Multiplexor*). Un par de canales de longitudes de onda de descarga y de subida (CP, *Channel Pair*) permite la conexión entre la OLT y una o varias ONU; el conjunto de CP utilizados sobre la misma fibra óptica conforman el grupo de canales (CG, *Channel Group*).

NG-PON2 al igual que XG-PON describe 2 posibles escenarios de migración *greenfield* y *brownfield* de las redes ópticas pasivas [18]. En el escenario PON *greenfield* se puede reemplazar la infraestructura de cobre por los sistemas NG-PON2 o desplegarlos directamente en una nueva área, pues no se necesita

satisfacer los requerimientos de coexistencia con otras tecnologías; a diferencia del escenario PON *brownfield* el cual considera una región con una red de fibra en explotación que puede soportar sobre la misma ODN la operación de NG-PON2 junto a las PON tradicionales como: GPON, XG-PON, GEPON y 10G-EPON.

Las tecnologías ópticas especificadas por NG-PON2 son TWDM PON y PtP WDM PON [21], [22]. TWDM es un sistema PON híbrido en el cual cada canal de longitud de onda puede ser compartido entre varias ONU mediante la utilización de mecanismos de acceso múltiple y multiplexación por división de tiempo; utiliza el rango de longitudes de onda de 1524-1544 nm en descarga y 1596-1603 nm en la banda de subida de gran alcance (*wide range upstream band*). Por su parte, PtP WDM es un sistema PON que permite la conexión punto a punto a través de un canal de longitud de onda dedicado por ONU para cada sentido de la transmisión; emplea las bandas de espectro compartido entre 1603-1625 nm y ensanchado entre 1524-1625 nm, ambas en sentido de descendente y ascendente.

Las tecnologías descritas proporcionan la protección de las inversiones realizadas en los despliegues de las PON tradicionales y facilitan la migración gradual de los subscriptores de dichas redes al nuevo sistema. Además, ellas soportan nuevas ODN las cuales contienen una combinación de divisores de potencia y de longitud de onda, localizados en el nodo remoto; estos últimos, denominados AWG (*Arrayed Waveguide Grating*), contribuyen a un mayor alcance de la red óptica pasiva.

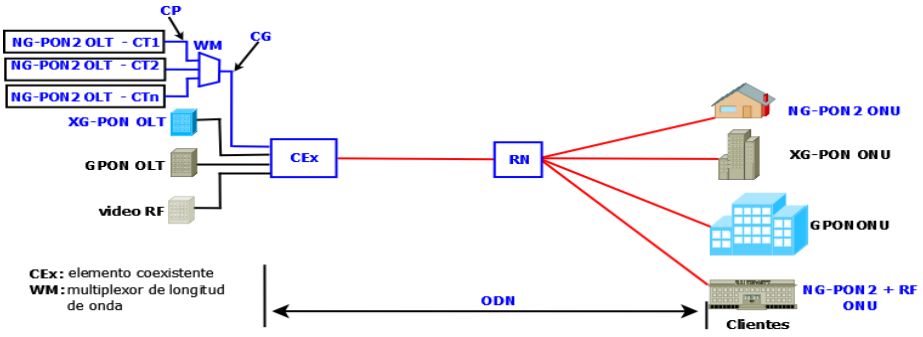


Figura 7. Esquema general con escenario de coexistencia de NG-PON2, XG-PON y GPON

La Figura 7 muestra un esquema general de la red de acceso, en él coexisten NG-PON2 y los sistemas tradicionales. NG-PON2 tiene que ser compatible con las infraestructuras desplegadas: localización de la central telefónica, soterrados, cables de fibras, entre otros. La ODN tiene en funcionamiento los divisores de potencia y un elemento coexistente (CE, *Coexistence Element*), que puede localizarse en la central telefónica para combinar y separar las longitudes de onda de NG-PON2 y las PON anteriores, así como las señales de video.

La Tabla 1 muestra las particularidades de las tecnologías de acceso ópticas analizadas anteriormente respecto a la banda de longitud de onda de operación en el enlace descendente y ascendente, velocidad de transmisión, distancia del enlace sobre fibra óptica y la razón de división de la señal óptica.

Tabla 1. Características de las tecnologías de acceso ópticas pasivas

Parámetros	**GPON**	**XG-PON**	**TWDM PON**	**PtP WDM PON**
Estándares	ITU-T G.984.x	ITU-T G.987.x	ITU-T G.989.x	ITU-T G.989.x
Banda de longitud de onda de operación	descendente: 1480-1500 nm sobre una sola fibra y 1260-1360 nm cuando emplea dos fibras ascendente: 1260-1360 nm	descendente: 1575-1580 nm ascendente: 1260-1280 nm	descendente: 1596-1603 nm ascendente: banda ancha: 1524-1544 nm banda reducida: 1528-1540 nm banda estrecha: 1532-1540 nm	descendente y ascendente: espectro compartido 1603-1625 nm espectro ensanchado 1524-1625 nm
Velocidad de transmisión	descendente/ascendente: 2.4/1.2 Gbps 2.4/2.4 Gbps	descendente/ascendente: XG-PON1 - 10/2.5 Gbps XG-PON2 - 10/10 Gbps	descendente/ascendente: 9.95328/2.48832 Gbps descendente/ascendente: 9.95328/9.95328 Gbps descendente/ascendente: 2.48832/2.48832 Gbps	descendente y ascendente: clase 1: 1.2288 a 1.25 Gbps clase 2: 2.4576 a 2.666 Gbps clase 3: 9.8304 a 11.09 Gbps
Distancia típica del enlace óptico	20 km	40 km	40 km y puede alcanzar 60 km con RE	
Razón de división (usuarios por ODN)	1:64	1:64	1:256	

Por todo lo antes expuesto, se considera que la red óptica pasiva constituye una solución factible para el desarrollo de la OSP con respecto a la red óptica activa, pues minimizan el despliegue de fibra óptica en la última milla al utilizar topologías P2MP que simplifican la densidad del equipamiento en la central y se reduce el consumo de energía en la ODN. La PON contribuye a la migración de la red de acceso soportada sobre par de cobre por medio de la utilización de la fibra óptica en la red de alimentación, distribución y dispersión. Ello favorece la liberación del espacio en las canalizaciones, la fiabilidad y el rendimiento de la red; lo que permite una infraestructura necesaria para garantizar el acceso a los servicios de banda ancha.

Las redes ópticas pasivas de próxima generación, descritas anteriormente, constituyen una posible solución para la actualización de la tecnología GPON, pues soportan la demanda de altas velocidades de transmisión por usuario, una mayor cantidad de clientes y distancias superiores. Todas ellas pueden coexistir en un mismo escenario de forma que garanticen los requerimientos técnicos en diferentes

etapas del despliegue de redes FTTH/FTTB, elemento importante para la continua modernización de la red de acceso.

Conclusiones

Las tecnologías sobre par de cobre han evolucionado a partir de los requerimientos técnicos necesarios para ofrecer los servicios de banda ancha fija, pero su principal inconveniente sigue siendo la disminución de la velocidad de transmisión con el aumento de la distancia del enlace entre la central telefónica y el equipo del cliente.

Las redes de acceso ópticas activas y pasivas constituyen una alternativa para la migración de la red de cobre a fibra óptica. De ellas las PON se presentan como una opción factible desde el punto de vista técnico y económico para satisfacer los requerimientos de los servicios de banda ancha. Específicamente para Cuba, GPON constituye una solución viable para el despliegue de redes sobre fibra óptica hasta el hogar, comercios, instituciones de salud, educación e industrias en escenarios *greenfield* y *brownfield*.

Las tecnologías ópticas especificadas en los estándares XG-PON y NG-PON2 pueden coexistir con los escenarios de despliegue de las redes GPON. Además las tecnologías TWDM PON y PtP WDM PON abordadas posibilitan la actualización de la red de distribución óptica de las redes PON tradicionales para garantizar la demanda de nuevos servicios de banda ancha que requieren velocidades superiores por usuario.

Bibliografía

[1] M. D. Diouf, A. D. Kora, and O. Ringar, "Evolution to 200G Passive Optical Network," *Computer Technology and Application*, vol. 3, pp. 723-728, 2012.

[2] ITU-T, "The State of Broadband 2014: broadband for all," 2014. [Online]. Available: http://www.broadbandcommission.org/documents/reports/bb-annualreport2014.pdf. [Accessed: 10-May-2016].

[3] P. Lafata, "Examination of Multiplexing VDSL2 over ADSL2+ Line," *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 19, no. 8, pp. 123-127, 2013.

[4] ITU-T, "Fast access to subscriber terminals (G.fast) - Physical layer specification," *Recommendation ITU-T G.9701*. 2014.

[5] R. Zhao, W. Fischer, E. Aker, and P. Rigby, "Broadband Access Technologies," *White Paper*, pp. 6-7, 2013.

[6] M. Jensen, J. M. Lopez Guterrez, M. H. Andreasen, and J. M. Pedersen, "Overall Plan for Copper-Fiber Infrastructure Switch-over," *Journal of Infrastructure Systems*, pp. 1-15, 2015.

[7] A. Vergara-Pardillo, "Aplicación del análisis tecno-económico al despliegue de redes de acceso de próxima generación. El caso de la competencia entre plataformas, la regulación y las políticas públicas en España," Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación Universidad Politécnica de Madrid, 2011.

[8] FTTH Council Europe, "FTTH Handbook." 2012.

[9] E. S. Sharma, "A Review of Passive Optical Networks," *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, vol. 2, no. 5, pp. 181-185, 2013.

[10] T. Koonen, "Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?," *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 5, pp. 911-934, 2006.

[11] M. Mahloo, "Transport Solutions for Future Broadband Access Networks," KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2015.

[12] M. Zotkiewicz, M. Mycek, and A. Tomaszewski, "Profitable areas in large-scale FTTH network optimization," *Telecommunication Systems*, pp. 1-18, 2015.

[13] M. López Bonilla, E. Moschim, and F. Rudge Barbosa, "Estudio comparativo de redes GPON y EPON," *Scientia et Technica*, no. 41, pp. 321-326, 2009.

[14] E. Wong, "Next-Generation Broadband Access Networks and Technologies," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 30, no. 4, pp. 597-608, 2012.

[15] D. Law, "IEEE 802.3 Industry Connections Feasibility Assessment for the Next Generation of EPON," 2015.

[16] J.-ichi Kani et al., "Next-Generation PON - Part I: Technology Roadmap and General Requirements," *IEEE Communications Magazine*, pp. 43-49, 2009.

[17] ITU-T, "10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms," *Recommendation ITU-T G.987*. 2012.

[18] ITU-T, "40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements," *Recommendation ITU-T G.989.1*. 2013.

[19] ITU-T, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics," *Recommendation ITU-T G.984.1*. 2008.

[20] ITU-T, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements," *Recommendation ITU-T G.987.1*. 2010.

[21] Y. Zhang, "Implementation of Future Generation Agile Gigabits Passive Optical Network," *Photonics and Optoelectronics (P&O)*, vol. 2, no. 4, pp. 105-109, 2013.

[22] ITU-T, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification," *Recommendation ITU-T G.989.2*. 2014.

[23] N. Ansari and J. Zhang, "Chapter 2 PON Architectures," in *Media Access Control and Resource Allocation: For Next Generation Passive Optical Networks*, Springer, 2013, pp. 11-22.

[24] R. Malhotra and A. K. Garg, "Capacity and delay analysis in Passive Optical Networks (PONs) - A review," *International Journal of Advances in Computing and Information*, pp. 182-187, 2012.