

ESTUDIO COMPARATIVO DE REDES GPON Y EPON.

Comparative Study of GPON and EPON Networks

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio actual de las plataformas tecnológicas GPON y EPON, exponiendo sus principales características técnicas, realizando un análisis comparativo encontrando las ventajas y desventajas entre las dos tecnologías. También se presentan estudios sobre la factibilidad económica y técnica al momento de implantar una red óptica pasiva, hallando y mostrando argumentos válidos tanto económicos como técnicos al momento de establecer y masificar este tipo de redes en una región.

PALABRAS CLAVES: Comunicación Óptica, Comunicación por Fibra Óptica, Redes, Sistemas de Comunicación.

ABSTRACT

This paper presents a current study of the technology platforms GPON and EPON, exposing its major characteristics, making a comparative analysis to find the advantages and disadvantages between the two technologies. It also presents studies on the economic and technical feasibility of developing a passive optical network; finding and showing valid economic and technical arguments at the moment of establish and expand these networks in a region.

KEYWORDS: Communication Systems, Networks, Optical Communication, Optical Fiber Communication.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios de las redes cada vez es mayor, debido al surgimiento de nuevos servicios ofrecidos por las operadoras, entre los cuales destacamos; redes privadas virtuales, telefonía sobre IP, videoconferencia, televisión de alta definición, video sobre demanda, juegos en línea. [1].

DEMANDA DE ANCHO DE BANDA (Mbps)	
Vídeo sobre Demanda (VoD)	15
Redes Privadas Virtuales (VPN)	2
Videoconferencia	1
Navegación en Internet	1,5
Juegos en línea	1
Dos conversaciones telefónicas IP	0,128
Televisión de alta definición (HDTV)	19,2

Tabla 1. Demanda de ancho de banda.

Los avances en el *backbone* de las empresas y en las redes internas de los usuarios, unido al formidable crecimiento del tráfico de Internet, acentuaron el problema presente hoy en las redes de acceso; el ancho de banda disponible, formando un cuello de botella en la última milla de la red (la red de acceso), debido a que las tecnologías usadas actualmente (xDSL, HFC, entre otras) no soportan los nuevos servicios (ver tabla 1) que la

convergencia de las redes ofrecen. Estos servicios solamente pueden ser sustentados en una única red mediante el uso de fibras ópticas, convirtiendo a las fibras en el mejor canal de transmisión en la actualidad, desde el punto de vista de capacidad de información.

Hoy en día la fibra óptica es el único medio de transmisión capaz de soportar las velocidades de transmisión sobre extensas distancias descritas en la tabla 1, de esta manera, jugando un papel esencial convirtiéndose en la solución tecnológica adecuada y dando paso al futuro próximo de las telecomunicaciones: las Redes Ópticas Pasivas PON [2], (*Passive Optical Networks*).

2. GPON (*Gigabit Passive Optical Networks*)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, sector Telecomunicaciones, ITU-T (*International Telecommunications Union – Telecommunication sector*) inició sus trabajos en el estándar GPON en el año 2002. GPON está estandarizado en el conjunto de recomendaciones ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6). Las primeras recomendaciones aparecieron durante los años 2003 y 2004, teniendo continuas actualizaciones en los años posteriores.

GPON proporciona una estructura de trama escalable desde 622 Mb/s hasta 2,5 Gb/s, así como la capacidad de

*MAURICIO LÓPEZ BONILLA

Ingeniero Electrónico, M. Sc.
Universidad Pontificia Bolivariana
bonichas@hotmail.com

*EDSON MOSCHIM

Ingeniero Electricista, Ph.D.
Profesor Titular
UNICAMP
moschim@dsif.fee.unicamp.br

*FELIPE RUDGE BARBOSA

Físico, Ph.D.
Profesor Colaborador
UNICAMP
rudge@dsif.fee.unicamp.br

* **Laboratorio de Tecnología Fotónica (LTF) – UNICAMP-Campinas, SP, Brasil**

soportar tasas de bits asimétricas. La velocidad de transmisión más utilizada por los actuales proveedores de plataformas PON es de 2,488 Gb/s en el canal de distribución (sentido de *downstream*) y de 1,244 Gb/s en el canal de retorno (sentido de *upstream*) [3].

La red de acceso es la parte de la red más próxima al usuario, por lo que se caracteriza por la abundancia de servicios y protocolos. El método de encapsulamiento de la información que utiliza GPON se llama GEM (*GPON Encapsulation Method*) que permite soportar cualquier tipo de servicio, (Ethernet, ATM, TDM, entre otros) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125µs.

El método GEM se basa en el estándar GFP (*Generic Framing Procedure*) del ITU-T G.7041 con modificaciones menores para las tecnologías PON. GPON de este modo no solamente ofrece más ancho de banda que sus tecnologías antecesoras (APON, BPON) sino que también es más eficiente y permite a los operadores continuar brindando sus servicios tradicionales (voz basada en TDM, líneas alquiladas) sin tener que mudar los equipos instalados en las dependencias de los clientes.

Además, GPON implementa capacidades OAM avanzadas (*Operation Administration and Maintenance*), ofreciendo una potente gestión de servicio extremo a extremo. Entre otras funcionalidades incorporadas cabe destacar: monitoreo de la tasa de error, alarmas y eventos, proceso de descubrimiento y *ranging* automático.

La arquitectura básica para una red GPON se muestra en la figura 1 [3].

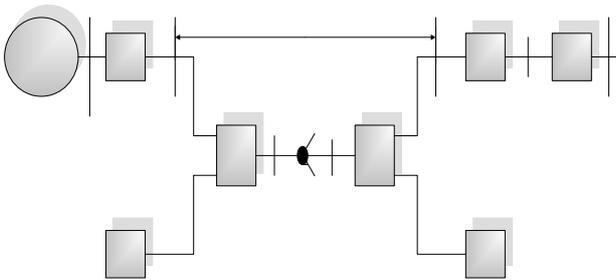


Figura 1. Arquitectura de una red GPON.

Las redes GPON se constituyen por tres elementos básicos:

- OLT: Terminal de Línea Óptica (*Optical Line Terminal*).
- Splitter Óptico (Divisor).
- ONT/ONU: Terminal/Unidad de Red Óptica (*Optical Network Terminal/Optical Network Unit*).

Básicamente GPON apunta a velocidades de transmisión mayores o iguales a 1,2 Gb/s. GPON considera 7 combinaciones de velocidades de transmisión y son las siguientes:

- 155 Mbps (*Upstream*), 1,2 Gbps (*Downstream*).
- 622 Mbps (*Upstream*), 1,2 Gbps (*Downstream*).
- 1,2 Gbps (*Upstream*), 1,2 Gbps (*Downstream*).
- 155 Mbps (*Upstream*), 2,4 Gbps (*Downstream*).
- 622 Mbps (*Upstream*), 2,4 Gbps (*Downstream*).
- 1,2 Gbps (*Upstream*), 2,4 Gbps (*Downstream*).
- 2,4 Gbps (*Upstream*), 2,4 Gbps (*Downstream*).

La red GPON puede ser demultiplexada hasta para 64 usuarios, lo que se convierte en un aspecto muy atractivo para los operadores.

En el canal de distribución (*downstream*), las tramas tienen una duración constante de 125µs para los sistemas de 1,24416 Gb/s y 2,48832 Gb/s, con una longitud de 19.440 Bytes y 38.880 Bytes respectivamente. Lo mismo sucede para el canal de retorno (*upstream*). Las transmisiones en el canal de retorno consisten en una serie de tramas individuales originadas por las ONUs en la GPON. Cada *burst* (ráfaga) contiene un encabezado de la capa física (PLOU: *Physical Layer Overhead of upstream*) y adicional al *payload* (carga útil) del cliente, contiene un campo opcional de PLOAM *upstream* (PLOAMu), un campo de secuencia de nivelador de potencia de *upstream* (PLSu) y un campo de reporte dinámico de ancho de banda. La trama de *upstream* tiene una duración de 125 µs siendo igual a la trama de *downstream*. Cada trama contiene un número arbitrario de transmisiones de una o más ONUs, las tramas son organizadas de cierta forma definida por el campo BWmap. Durante cada período de asignación de transmisión, la ONU puede transmitir una trama de datos de usuario o enviar los campos de control [5].

El modo de encapsulamiento GEM permite mayor flexibilidad y transmisión de paquete IP de tamaño variable a lo largo de enlaces TDM[4]. El encabezado del estándar GEM contiene los siguientes campos:

- Campo PLI, indicador de la longitud del *payload* (*Payload Length Indicator*).
- Campo PORT ID (Identificación del Puerto), se usa para suministrar 4096 indicadores únicos de tráfico, permitiendo eficiencia en la multiplexación del tráfico.
- Campo PTI (tipo de contenido), indica que tipo de datos son transmitidos en la trama GEM, definiendo su administración.
- Campo HEC (protección de error de código), es una combinación del código BCH (39,12,2) y un simple bit de paridad.

3. EPON (*Ethernet Passive Optical Networks*)

El grupo EFM (*Ethernet in the first mile*) presentó el resultado de su estudio en Junio del 2004, culminando en la ratificación del estándar IEEE 802.3ah [6]. Recientemente los usuarios de las redes de acceso basadas en EPON se tornaron en un factor importante en la industria así como en la investigación académica. Los intereses de las industrias se derivan en el hecho en que

EPON es la primera tecnología óptica prometedora para su masificación en la última milla. La finalización del estándar y las predicciones de que la plataforma EPON irá a tener el mismo éxito y proliferación de su antecesora LAN se convirtieron en un factor de impulso para que muchos operadores de telecomunicaciones en el mundo iniciaran las primeras pruebas con las redes EPON o por lo menos comenzar el estudio de la tecnología. Diferente de otros estándares, IEEE 802.3 especifica solamente una pequeña parte de un sistema de comunicaciones (únicamente la capa física y la capa de enlace del modelo OSI) [7].

El estándar IEEE 802.3 define dos modos de operación; en la primera configuración la red puede ser desarrollada sobre un medio compartido usando el protocolo CSMA/CD [6], en la segunda configuración, las estaciones pueden ser conectadas a través de un *switch* usando enlaces bidireccionales (*full-duplex*) punto a punto. El medio EPON no puede ser considerado totalmente compartido o una red punto a punto, por el contrario, es una combinación de los dos. Presenta conectividad de un medio compartido en el canal de distribución y el comportamiento de un medio punto a punto en el canal de retorno [1]

Igual que las redes GPON, EPON se compone también por los mismos tres elementos básicos: OLT, ONU/ONT, *splitter*.

En el canal de distribución los paquetes Ethernet transmitidos por la OLT pasan a través de un *splitter* óptico 1xN o por varios *splitters* en cascada hasta la ONU. El valor de N oscila entre 4 y 32 (limitado por la potencia óptica disponible). Por naturaleza Ethernet usa *broadcast* en el canal de distribución, encajando perfectamente con la arquitectura EPON donde los paquetes son transmitidos por *broadcast* por la OLT y son extraídos por su respectiva ONU de destino. La figura 2 ilustra el proceso.

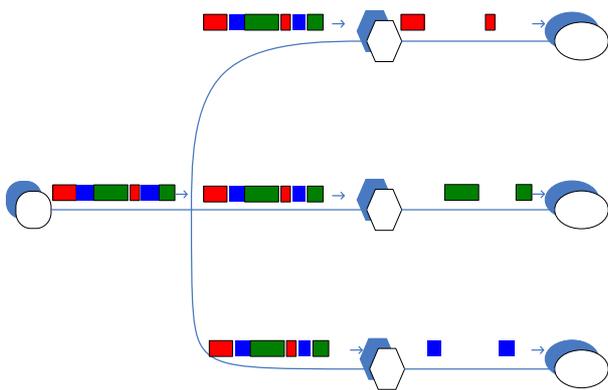


Figura 2. Transmisión de *downstream* en EPON.

En el canal de retorno debido a las propiedades de los combinadores ópticos pasivos (*combiner*), los paquetes viajan exclusivamente desde la ONU hasta la OLT y no alcanzan a las otras ONUs. En la dirección de *upstream*,

el comportamiento de la red EPON es similar a una arquitectura punto a punto, no obstante, al contrario de una red real de este tipo, en EPON todas las ONUs pertenecen a un mismo dominio de colisión, es decir, paquetes de diferentes ONUs transmitidos simultáneamente pueden colisionar, ver figura 3.

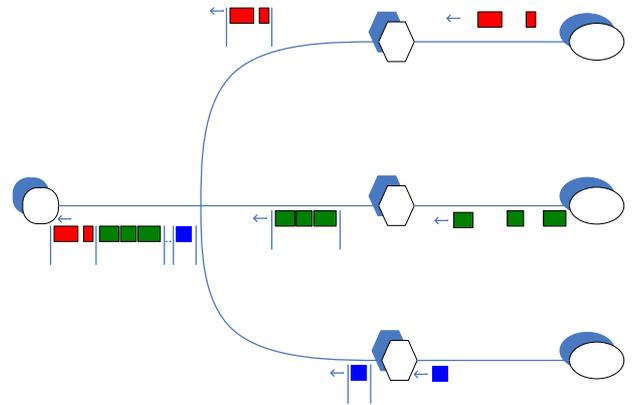


Figura 3. Transmisión de *upstream* en EPON.

El estándar IEEE 802.3ah desarrolló el protocolo de control multipunto (*MPCP: Multi-point control protocol*) que facilita la implementación de varias asignaciones de banda en las redes EPON. El protocolo MPCP fue desarrollado como una función de la subcapa "control MAC (MAC control)". Esta subcapa tiene como objetivo suministrar control en tiempo real y manipulación de la operación de la subcapa MAC. El protocolo MPCP tiene dos modos de operación:

- Modo de asignación de banda: Para mantener comunicación entre la OLT y las ONUs, el protocolo MPCP debe suministrar periódicamente permisos de transmisión para todas las ONUs.
- Modo de auto-descubrimiento: Para descubrir nuevas ONUs adicionadas a la red, el protocolo MPCP debe iniciar el proceso de auto-descubrimiento periódicamente.

Para otras configuraciones la subcapa de control MAC es opcional, pero para EPON es obligatoria debido a que EPON no consigue operar sin MPCP.

4. MERCADO DE LAS REDES GPON y EPON EN EL MUNDO.

Las instalaciones de las redes PON en el mundo continúan creciendo cada día, mayoritariamente en Japón, Corea, Estados Unidos y Europa. Las instalaciones de las Redes Ópticas Pasivas se encuentran divididas en dos tipos: EPON en la región Asiática y Oceanía mientras que GPON en Estados Unidos y Europa.

En Europa y América del Norte, las empresas proveedoras de redes tipo PON están realizando sus instalaciones agresivamente. El modelo de montaje de las

redes en los Estados Unidos usa un dispositivo externo de interface de red (NID) generalmente ubicado fuera del recinto del usuario. En Japón, Corea y Europa la ONU típicamente es instalada en el interior del predio del cliente.

Según un estudio hecho por *FTTH Council*, actualmente 14 países poseen un porcentaje por encima del 1% de hogares con conexiones de fibra óptica. Entre esos 14 países, los 3 primeros son asiáticos (Corea del Sur, Hong Kong y Japón).

El primer país, Corea del Sur, tiene 31.4% de hogares conectados por fibra óptica, Hong Kong con 23.4%, Japón con 21.3% y Suecia con 7.1%. Los otros 10 países son; Taiwán, Noruega, Dinamarca, Estados Unidos, Eslovenia, Islandia, China, Holanda, Italia y Singapur [9].

En América Latina el fenómeno de las redes GPON está llegando al mercado, ciudades como Bogotá, São Paulo, Buenos Aires y Santiago ya cuentan con el servicio de este tipo de redes. En Colombia existe una plataforma desarrollada por una empresa extranjera que ofrece tasas de transmisión de 10Mb/s. Brasil es el único país suramericano que desarrolló una plataforma propia de GPON.

5. COMPARACIÓN ENTRE GPON Y EPON.

Encontrar la tecnología correcta para cubrir la última milla de cualquier red siempre ha sido un desafío para las empresas operadoras. Hallar una solución óptima puede ser un proceso complejo con numerosos factores interviniendo y que deben ser tomados en cuenta.

Un factor determinante en el costo efectivo de una red FTTH es entender las características de desempeño de la tecnología PON (EPON, GPON), tales como, ancho de banda, eficiencia y relación de división.

Las dos tecnologías tienen una diferencia bien marcada en el aspecto de la arquitectura. GPON ofrece redes complejas de la capa 2 en estructura de árbol, basadas en el protocolo ATM y múltiples protocolos que hacen posible soportar la estructura de la tecnología. EPON usa simples redes de capa 2 utilizando IP para datos, voz y video.

La estructura de las redes GPON es soportada mediante una solución de transporte usando diversos protocolos de la capa 2 del modelo OSI. Ese tipo de transporte ofrece un servicio de alta calidad. Los circuitos virtuales son generados para cada tipo de servicio ofrecido en la red. Adicionalmente, los equipos en las redes GPON necesitan de algunas conversiones de protocolos, segmentación, terminación del canal virtual (VC) y del protocolo punto-punto (PPP). Resumiendo, la estructura de la red GPON consiste en múltiples redes de la capa 2 sobre la misma capa física. Cada red tiene un protocolo diferente [3].

EPON suministra conectividad para cualquier tipo de redes basadas en IP [6]. Las redes Ethernet están expandidas por el mundo, desde redes locales, redes

nacionales, inclusive hasta *backbones* de redes internacionales.

Existen también diferencias en términos de eficiencia, alcance, ancho de banda, costo por usuario, gerenciamiento, protección, entre otras.

5.1 Ancho de Banda

Las ofertas de ancho de banda disponible varían entre los dos protocolos; GPON promete tasas de 1.25 Gbps o 2.5 Gbps de *downstream*, y tasas escalables de *upstream* desde 155 Mb/s hasta 2,5 Gb/s. EPON ofrece una tasa simétrica de 1.25 Gb/s. La eficiencia de los sistemas EPON es pobre en comparación con GPON. La tecnología EPON se caracteriza por extensos encabezados en las tramas, que provocan baja eficiencia y consecuentemente, menor número de bits de carga útil (*payload*) contra soluciones GPON. Las dos tecnologías soportan televisión por cable (CATV), lo que demanda altas tasas en la dirección de *downstream* para el servicio de video.

5.2 Sistema de Gerenciamiento

EPON requiere un simple sistema de gerenciamiento, mientras GPON demanda tres sistemas para los tres protocolos de capa 2 que necesita. Factor que significa para EPON un menor costo en la red. Además de eso, EPON no necesita de conversiones de múltiples protocolos, convirtiéndose en otro factor de reducción de costos en la Red.

5.3 Seguridad y Protección

El proceso de encriptación AES (*Advanced Encryption Standard*) forma parte del estándar ITU-T en las redes GPON. Pero, la encriptación en las redes GPON se realiza solamente en el canal de retorno. En las redes EPON, el mecanismo de encriptación no está definido en el estándar. Algunos vendedores de EPON utilizan también AES, además el proceso de encriptación en las redes EPON se realiza en los dos sentidos de transmisión; *downstream* y *upstream*. El servicio de OAM (Operación, Administración y Mantenimiento) también está presente en las dos tecnologías; GPON utiliza PLOAM+OMCI, es decir, PLOAM (*Physical Layer Operations, Administration and Maintenance*): operaciones de la capa física, administración y mantenimiento, más OMCI (*Open Manage Client Instrumentation*): instrumentación y control abierto para el cliente. EPON usa el OAM definido para Ethernet.

5.4 Cantidad de Usuarios por PON

El estándar IEEE 802.3ah EPON, soporta solamente dos tipos de ODN: tipo A (5dB hasta 20dB de pérdidas) y tipo B (10dB hasta 25dB de pérdidas), ofreciendo servicio hasta 32 usuarios, mientras el estándar GPON soporta también ODN tipo C (15dB hasta 30dB de

pérdidas). La ODN tipo C permite a las redes PON extenderse además de los 20Km atendiendo hasta 64 ONTs. Utilizar redes EPON permite a los vendedores eliminar elementos complejos y caros de las redes ATM y SONET simplificándolas de este modo, reduciendo considerablemente los costos en la red.

5.5 Escalabilidad y Flexibilidad

IEEE EPON soporta solamente una única tasa simétrica de bits; 1,25 Gb/s. El estándar GPON es más flexible y escalable, como ya mostramos, GPON permite tasas de *downstream* de 1,25 Gb/s y 2,5 Gb/s y tasas de *upstream* desde 155 Mb/s hasta 2,5 Gb/s. Las dos tecnologías están enfocadas para atender el mercado de las redes de acceso, donde es bien conocido que el tráfico de aquellas redes es asimétrico entre las tasas de bajada y subida, y no existe la necesidad de tener una tasa de 1,25 Gb/s de *upstream*. Mientras GPON permite al vendedor configurar las tasas teniendo en cuenta las necesidades reales y actuales. Mecanismo que no puede ser realizado en las redes EPON [10].

En la tabla 2 presentamos un resumen de las principales características de las redes GPON y EPON.

Características	ITU-T GPON	IEEE EPON
Tasa de bits (Mb/s)	Distribución: 2488, 1244 Retorno: 2488, 1244, 622, 155	Distribución: 1250 Retorno: 1250
Fecha de estandarización	2003	2004
Código de Línea	NRZ	8B/10B
División máxima	1:64	1:32
Alcance máximo	20 Km	10 Km
Protocolo básico	ATM	Ethernet
Estándar	Série ITU-T G984.x	IEEE 802.3ah
Tecnología de acceso	TDMA	TDMA
Seguridad en <i>Downstream</i>	AES	No definida
OAM	PLOAM+OMCI	Ethernet OAM

Tabla 2. Características GPON y EPON.

5.6 Dimensionamiento de redes GPON y EPON

En nuestro estudio dimensionamos una red para atender la demanda de 100.000 usuarios, desde tasas de velocidad de transmisión de 10 Mb/s hasta 100 Mb/s. Para el escenario propuesto se asumirán las siguientes características:

La eficiencia de la red GPON será establecida en 93%, mientras que para EPON será de 70%, lo que implica que para GPON tendremos una utilización de 2333 Mb/s y para EPON de 896 Mb/s. Por simplicidad el tipo de

servicio ofrecido no será considerado, será tenido en cuenta la demanda de ancho de banda por usuario. La relación de división debida a los *splitters* será para GPON de 1:64 y para EPON de 1:32. El precio para las OLTs será el mismo para las dos redes; US\$1800 mientras que para las ONTs asumiremos US\$250 para GPON y US\$200 para EPON (el precio de las ONTs no es el mismo porque GPON soporta servicios TDM; POTS, E1/T1, ofreciendo una característica extra en comparación a EPON). Para facilidad en el análisis, tendremos en cuenta que el costo del cableado e instalaciones será el mismo para ambas tecnologías, por lo tanto será despreciado en nuestro estudio. La tabla 3 muestra el dimensionamiento para las redes planteadas en el escenario anterior.

BW por usuario (Mbps)	10	20	30	40	50
ONTs GPON por PON	64	64	64	58	46
OLTs GPON	1562	1562	1562	1724	2173
ONTs EPON por PON	32	32	29	22	17
OLTs EPON	3125	3125	3448	4545	5882
BW por usuario (Mbps)	60	70	80	90	100
ONTs GPON por PON	38	33	29	25	23
OLTs GPON	2631	3030	3448	4000	4347
ONTs EPON por PON	14	12	11	9	8
OLTs EPON	7142	8333	9090	11111	12500

Tabla 3. Dimensionamiento de redes GPON y EPON.

Como se observa, el número de OLTs necesarias para redes EPON es mucho mayor que las necesarias para las redes GPON, convirtiéndose en una ventaja económica visible. La figura 4 y la figura 5 representan el número de ONTs e OLTs necesarias para dimensionar nuestro escenario de 100.000 abonados.

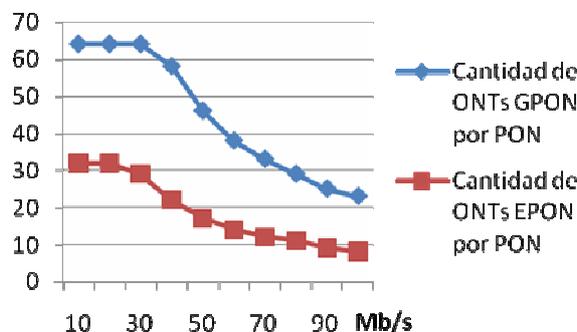


Figura 4. Cantidad de ONT GPON/EPON por cada PON.

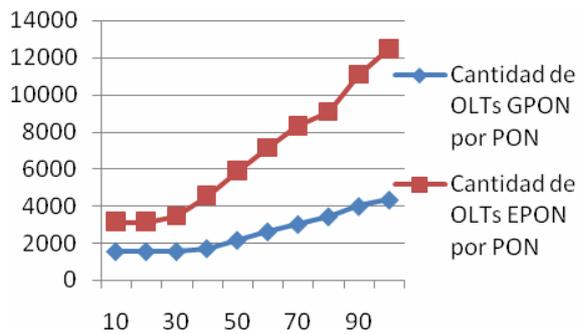
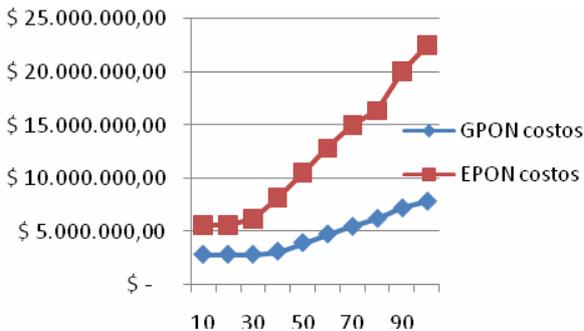


Figura 5. Cantidad de OLT GPON/EPON para 100000 clientes.

Mientras que el ancho de banda demandado por el usuario aumenta, EPON rápidamente agota sus recursos. La figura 6 muestra el costo general de las redes GPON/EPON en función del ancho de banda requerido por los abonados.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio del dimensionamiento de las redes nos muestra una clara ventaja para una determinada red FTTP basada en GPON sobre una red basada en EPON. Esto se debe a la mayor razón de división en la red GPON, a la tasa de transmisión mayor, a la eficiencia y al ancho de banda, lo que resulta en la reducción de OLTs en más de un factor de más de 2 sobre EPON. Basándonos en el escenario anterior es posible alcanzar una mejoría en los ingresos de dos a tres veces por cada PON, utilizando tecnología GPON en lugar de usar EPON. El diseñador de redes debe llevar en consideración el hecho que se necesitan menos sistemas y menos redes PON usando GPON, así, reduciendo significativamente los gastos operacionales para la red. Además de eso, el aumento de la flexibilidad puede ser introducido con GPON usando opcionalmente el largo alcance óptico para aumentar la cobertura hacia alejadas áreas demandantes de servicios, añadiendo también diversos caminos de protección para la confianza de la red de fibra, y permitiendo activar el mecanismo de criptografía para proporcionar ventajas que pueden

simplificar la red sin la necesidad de añadir más equipamientos.

Encontramos que la infraestructura de la red GPON es más robusta, tiene más capacidad y tiene una leve ventaja sobre la red EPON. Actualmente las redes GPON tiene un margen de ventaja en términos de ingeniería y económicos sobre las redes EPON, aunque la mayor parte del tráfico en las redes del mundo sea IP, ideal para Ethernet PON.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. S. Tanenbaum, *Redes de Computadoras*, Editorial Prentice Hall, tercera edición, 1997.
- [2] S. C. Grady, *The book on FTTH From Design To Deployment: A Practical Guide To FTTH Infrastructure*, ADC Telecommunications INC, 2005.
- [3] ITU-T “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics”, ITU-T Recommendation G.984.1, Marzo 2003.
- [4] ITU-T “Generic framing procedure (GFP)”, ITU-T Recommendation G.7041/Y.1303. Marzo 2003.
- [5] ITU-T “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification”, ITU-T Recommendation G.984.2, Marzo 2003.
- [6] IEEE “Telecommunications and Information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific Requirements.—Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specification”, ANSI/IEEE Standard 802.3-2002, edición 2002.
- [7] IEEE 802.3 Grupo de estudio EFM “Ethernet PON (EPON)” [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/3/efm/>
- [8] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, *Optical Networks: Practical Perspective*, Morgan Kaufmann Publisher, 2002.
- [9] FTTH Council [Online]. Available: <http://www.ftthcouncil.org>
- [10] B. Mukherjee, *Optical Communication Networks*, Editorial McGraw-Hill, New York, 1997.