

Banco de pruebas didáctico para implementación y testeo de una red óptica pasiva para acceso banda ancha hasta el hogar¹

Didactic testbed for implementation and testing of a passive optical network to home broadband access

Johan Leandro Téllez Garzón², Ricardo Alvarado Jaimes³, Leonardo Romero Padilla⁴, Gerlein Jaimes Vergel⁵

Artículo recibido en julio 15 de 2021; artículo aceptado en octubre 15 de 2021

Este artículo puede compartirse bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) y se referencia usando el siguiente formato: Garzón, J. L. T., Jaimes, R. A., Padilla, L. R. y Vergel, G. J. (2022). Banco de pruebas didáctico para implementación y testeo de una red óptica pasiva para acceso banda ancha hasta el hogar. *I+D Revista de Investigaciones*, 17(1), 137-148.

Resumen

Las tecnologías de acceso a internet en hogares son imprescindibles para el sector de las Telecomunicaciones, por esta razón, los estudiantes de las instituciones de educación superior deben tener mecanismos eficaces para adquirir competencias en implementación y testeo de redes de acceso banda ancha, más específicamente redes PON para tecnologías FTTH. En este documento se presenta el desarrollo de un banco de pruebas didáctico para un laboratorio de Telecomunicaciones conformado por equipos y elementos asociados a la implementación de una red PON y una secuencia de guías de aprendizaje. Las cuales permiten la asimilación de conocimientos y competencias en temas como: instalación del gestor de administración, operación y mantenimiento de los equipos y configuración de diferentes tipos de servicios. El banco de pruebas propuesto permitió establecer un escenario real de bajo costo para la realización y aplicación práctica en un entorno educativo de los conceptos asociados a redes PON.

Palabras clave: PON, FTTH, Laboratorio de Entrenamiento (tesauro 2021 del IEEE).

Abstract

Internet access technologies in homes are essential for the Telecommunications sector, for this reason, students from higher education institutions must have effective mechanisms to acquire skills in the implementation and testing of

¹ Artículo de investigación, enfoque cuantitativo, resultado de un proyecto de investigación culminado, perteneciente al área Ciencias sociales y Telecomunicaciones, sub-área Telemática, desarrollado en el Grupo de Investigación GNET, de las Unidades Tecnológicas de Santander (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Calle de los Estudiantes #9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX: (+57) 6917700. Fecha de inicio: 24/08/2020. Fecha de terminación: 28/04/2021.

² Doctor en Ingeniería Eléctrica, Universidad Federal de Rio Grande do Sul. Adscrito al Grupo de Investigación GNET, Unidades Tecnológicas de Santander (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Calle de los Estudiantes #9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX: (+57) 6917700. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7262-9148>. Correo electrónico institucional: jtellez@correo.uts.edu.co.

³ Maestría en Ingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana. Adscrito al Grupo de Investigación GNET, Unidades Tecnológicas de Santander (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Calle de los Estudiantes #9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX: (+57) 6917700. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3096-2174>. Correo electrónico institucional: ralvarado@correo.uts.edu.co.

⁴ Tecnólogo en Gestión de Sistemas de Telecomunicaciones, Unidades Tecnológicas de Santander. Adscrito al Grupo de Investigación GNET, Unidades Tecnológicas de Santander (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Calle de los Estudiantes #9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX: (+57) 6917700. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6830-3866>. Correo electrónico institucional: lromerop@uts.edu.co.

⁵ Tecnólogo en Gestión de Sistemas de Telecomunicaciones, Unidades Tecnológicas de Santander. Adscrito al Grupo de Investigación GNET, Unidades Tecnológicas de Santander (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Calle de los Estudiantes #9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX: (+57) 6917700. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7096-6888>. Correo electrónico institucional: gjaimsv@uts.edu.co.

broadband access networks, more specifically networks PON for FTTH technologies. This document presents the development of a didactic test bench for a Telecommunications laboratory made up of equipment and elements associated with the implementation of a PON network and a sequence of learning guides. Which allow the assimilation of knowledge and skills in topics such as: installation of the administration manager, operation and maintenance of equipment and configuration of different types of services. The proposed test bed made it possible to establish a real low-cost scenario for the realization and practical application in an educational environment of the concepts associated with PON networks.

Keywords: PON, FTTH, Training Lab (2021 IEEE Thesaurus).

Introducción

El crecimiento del tráfico de internet motivado por el aumento de usuarios y los mayores requerimientos de ancho de banda de las aplicaciones ha generado desarrollos más intensos en la implementación de redes ópticas en el segmento de acceso de red. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) el 40.5% de los hogares tienen acceso a internet fijo en Colombia, además la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) muestra un crecimiento considerable durante los últimos años relacionado al uso de tecnologías de banda ancha en hogares (International Telecommunication Union (ITU), 2021).

Por otro lado, las tecnologías de fibra al hogar (*Fiber to the Home – FTTH*) son una alternativa cada vez más usada, específicamente, la tecnología de acceso banda ancha conocida como red óptica pasiva (*Passive Optical Network – PON*), que es muy popular por su rentabilidad, eficiencia, bajo consumo energético y simplicidad (Wong, 2012). PON es una topología física punto a multipunto y posee muchos beneficios derivados de su red de distribución óptica (*Optical Distribution Network – ODN*) basada en divisores de potencia pasivos (Horvath et al., 2020).

PON es un tipo de red diseñado para utilizar un único hilo de fibra óptica para proveer conexiones de banda ancha a múltiples usuarios finales simultáneamente mediante una ODN y el uso de divisores de señal (*optical splitters*). La energía sólo es requerida en los extremos, es decir, en la fuente de origen o terminal de línea óptica (*Optical Line Termination – OLT*), ubicado en el proveedor de servicios (*Central Office*), y en el terminal de nodo óptico (*Optical Node Terminal - ONT*), ubicado en el usuario final. La evolución de las redes PON es presentada en Kumari et al. (2018), donde se discuten las diversas velocidades alcanzadas, consiguiendo un valor máximo de 40 Gbps en los estándares más recientes. PON también tiene versatilidad en cuanto a topologías físicas como se analiza en Chan (2007).

La optimización de los costos de cualquier sistema de Telecomunicaciones depende de las competencias de los profesionales que laboran en el área, las redes PON-FTTH no son la excepción ya que requieren personal técnico especializado en la instalación, operación y el

mantenimiento de este tipo de redes. Desafortunadamente, algunos profesionales en formación; por ejemplo, estudiantes de las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS); no disponen de plataformas físicas especializadas en redes FTTH/PON para fortalecer las competencias prácticas y la mayoría de conocimientos se aprenden de forma teórica. Esto sin mencionar la mínima cantidad de plataformas didácticas de enseñanza disponibles. Concretamente, en Młynarczuk & Smoleński (2012) se propone una arquitectura de red Gigabit PON (GPON) para propósitos didácticos y con la finalidad de familiarizar a los estudiantes en el uso cooperativo de PON y la línea de abonado digital (*Digital Subscriber Line – DSL*) como redes de acceso. En Rendon Schneir & Xiong (2014) se realiza un análisis de costos de diferentes arquitecturas FTTH/PON compartidas por varios operadores. En el trabajo de Eltraify et al., (2019) se propone y evalúa experimentalmente una arquitectura centralizada de red PON que usa un conjunto de servidores conectados a diversas OLTs para implementar funciones de conmutación y enrutamiento. En Prat et al. (2011) es definido un banco de pruebas de una arquitectura PON de árboles integrados ópticamente que forman un anillo de acceso para soportar servicios compartidos (multimedia banda ancha) a múltiples operadores. Un laboratorio de comunicaciones ópticas que combina un escenario real de prueba experimental con sesiones simuladas es propuesto en Merayo et al. (2021), donde se establece un banco de entrenamiento a estudiantes de ingeniería en temas de redes ópticas de acceso banda ancha. En el trabajo de Hayes et al. (2013), es presentado un enfoque interesante que usa realidad virtual para proponer un laboratorio educativo en temas de comunicaciones ópticas limitado a aspectos básicos y que no permite las complejas configuraciones de una red FTTH/PON. Nuevamente en Aydin et al. (2019) es definido un enfoque de laboratorio de pruebas que combina experimentos reales con simulaciones para definir una ruta de aprendizaje para temas en comunicaciones ópticas que limita las pruebas FTTH/PON a la simulación. En Merayo et al. (2017) es propuesto un banco de pruebas real para analizar mediante un OTDR parámetros de la capa física de una red GPON como factor Q, diagrama de ojo o tiempos de subida/bajada.

Sin embargo, en los trabajos mencionados no se tiene una ruta clara de aprendizaje práctico que permita al estudiante mejorar sus competencias en cuanto a arquitectura, implementación, operación y mantenimiento de redes FTTH/PON; algunos trabajos no se enfocan en aspectos de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de ingeniería; además algunos aspectos de las redes FTTH/PON son limitados exclusivamente a simulaciones sin profundizar en cuestiones prácticas fundamentales para fortalecer las competencias de los profesionales del área. En este contexto, este trabajo define un banco de pruebas didáctico para implementación y teste de una red FTTH/PON que considera tanto una infraestructura física de equipos relacionados como también un plan específico de enseñanza-aprendizaje de conceptos para fortalecer las competencias de los estudiantes de Telecomunicaciones en el área de FTTH/PON de forma experimental. En este trabajo son presentados secuencial y ordenadamente los siguientes contenidos: metodología, banco de pruebas propuesto, plan de enseñanza-aprendizaje y sus diversas etapas, conclusiones y referencias.

Metodología

Este trabajo es de tipo cuantitativo y enfoque de investigación aplicado para proponer una solución práctica al problema descrito en la introducción mediante la proposición de un banco de pruebas experimental y un plan de enseñanza-aprendizaje aplicado a un entorno educativo. El trabajo se dividió en las siguientes etapas: 1) revisión bibliográfica de la tecnología PON, sus características y estándares para documentar el marco referencial; 2) análisis de requerimientos, costos y equipos para identificación y adquisición de todos los elementos de la infraestructura de red FTTH/PON propuesta; 3) análisis de competencias y conocimientos necesarios para la implementación, operación y mantenimiento de una red FTTH/PON; 4) definición de un plan de enseñanza-aprendizaje formado por siete guías o etapas prácticas con un paso a paso detallado de las diversas configuraciones y conexiones físicas a realizar, considerando también aspectos de gestión de la red; y 5) finalmente se realiza la ejecución de las guías de aprendizaje con algunos estudiantes del programa de

Telecomunicaciones de las Unidades Tecnológicas de Santander.

Resultados

En esta sección se detallan los principales resultados obtenidos con el desarrollo del trabajo: un banco de pruebas didáctico y un plan de enseñanza-aprendizaje; ambos enfocados al tema de las redes FTTH/PON.

Banco de pruebas didáctico

Una red PON es una red óptica punto a multipunto (P2MP) denominada pasiva, ya que los componentes de la red de distribución como lo son la fibra óptica y los divisores de señal no requieren fuente de energía para su funcionamiento. PON es un tipo de tecnología de acceso que utiliza fibra óptica para la transmisión de datos; ofrece un alcance físico de 20 Km y una relación de división que actualmente llega a 1:256, es decir, por cada puerto PON es posible conectar hasta 256 usuarios (XGS-PON). PON fue desarrollada a partir de 1995 y estandarizada por la ITU con las dos primeras generaciones llamadas APON (ATM sobre PON) y BPON (Broadband PON). Actualmente se soportan velocidades de hasta 40 Gbps con el estándar más reciente denominado NG-PON2 (Next Generation PON2). PON permite transportar diferentes tipos de tráfico tanto para redes domésticas como de pequeñas empresas y habilita varios escenarios FTTx, donde la 'x' puede tener cuatro significados posibles: 'C' gabinete, 'H' hogar, 'O' oficina y 'M' móvil. Ethernet sobre red PON (EPON) se basa en el estándar IEEE 802.3ah añadido a la sección 5 del documento 802.3-2005, su capacidad de transmisión es simétrica, alcanza 1000 Mbps y cada puerto PON soporta hasta 64 usuarios conectados (*Split rate* 1:64) en un rango de 20 Km. En contrate por su interoperabilidad y costo-beneficio, la versión más desplegada en redes comerciales es GPON, una red PON con capacidad Gigabit que se encuentra definida en la norma ITU-T G.984.X. La evolución de las redes PON y los diversos desarrollos tecnológicos son presentados en Kumari et al. (2018). Los principales elementos de la topología planteada para el banco de pruebas didáctico mostrados en la Figura 1 permiten a los estudiantes implementar una red FTTH/PON y sus servicios asociados.

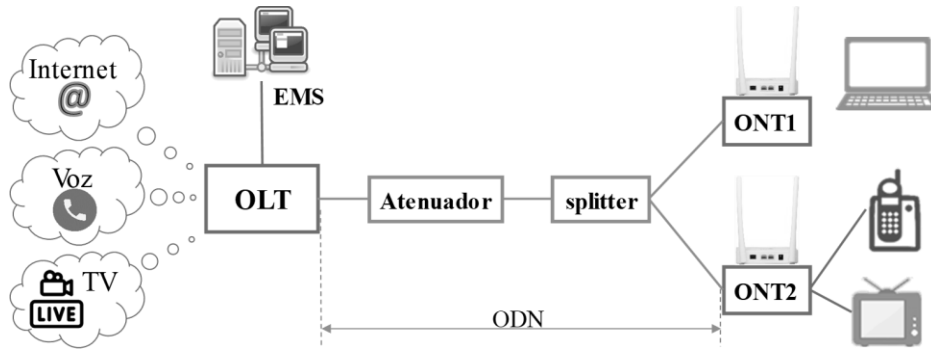


Figura 1. Topología física de la red PON planteada para el banco de pruebas y servicios asociados. Fuente: Autores.

En los extremos finales de la red de distribución ODN se conectan las ONTs (término ITU) u unidades ópticas de red (ONUs) según la terminología del IEEE, que puede ser encontrada en AZadslzone (2018).

Se observa en la Figura 1 un servidor local con la OLT donde se despliega el sistema de gestión de elementos (*Element Management System* – EMS) que está basado en el protocolo simple de administración de red (*Simple Network Management Protocol* – SNMP) y bajo una estructura cliente-servidor permite descubrir, configurar y monitorear la red PON.

En primera instancia la OLT es el núcleo y centro de control de un sistema PON, se considera un dispositivo de agregación localizado en la oficina central del proveedor de servicios y suministra interface en la red de acceso óptico a diferentes tipos de servicio: internet, voz sobre IP, Televisión, entre otros. El banco de pruebas cuenta con una OLT de marca C-DATA (FD1002S) provista con dos puertos EPON (SFP 1000BASE-PX20+), cada uno de los cuales se puede juntar a un *splitter* 1:64 para proporcionar conexión a 128 ONUs. La OLT también está equipada con dos interfaces ópticas SFP y dos interfaces RJ45 SFP que proporcionan conexiones 1000BASE-LX. La distancia máxima de transmisión posible es de 20 Km con velocidad simétrica de 1.25 Gbps operando con longitud de onda de 1490 nm en TX, 1310 nm en RX, potencia óptica de transmisión oscilando entre 2.5 y 7 dBm y sensibilidad en el RX de -27 dBm. Dos módulos ópticos tipo SFP PON PX20++ son parte del banco para conexión a la OLT.

Las ONTs son los equipos de usuario, se encuentran en las instalaciones del cliente final y permiten la conexión de los equipos terminales del usuario sea de forma alamburada o inalámbrica (teléfonos, computadores portátiles, celulares, etc.). El banco de pruebas dispone de cuatro ONTs. Dos ONTs son de la marca C-DATA (FD512XW-X-R310) y vienen equipadas con una interface GPON/EPON, interfaces Ethernet RJ45 y conexión WIFI mediante IEEE 802.11 b/g/n. Otras dos ONTs son de la marca KingType referencia PNF04C y poseen una interface EPON, tres interfaces Ethernet con velocidad de 100 Mbps, una interface Ethernet de 1000 Mbps y una interface WIFI con antena dual que soporta los estándares IEEE 802.11 b/g/n.

Finalmente, los elementos pasivos de la red de distribución óptica del banco de pruebas planteado en la figura 1 son: dos divisores (*splitters*) ópticos 1:8, dos atenuadores ópticos SC/PC y seis *patch cord* SC/PC – SC/APC. Estos elementos pasivos permiten dividir en dos partes el tráfico al conectar dos ONTs a un puerto de la OLT (por medio de un atenuador y un *splitter*) y otras dos ONTs al otro puerto EPON de la OLT haciendo uso de un segundo par *splitter*-atenuador.

En la Figura 2 son mostrados los equipos y demás dispositivos del banco de pruebas propuesto para el laboratorio de Telecomunicaciones de las Unidades Tecnológicas de Santander.

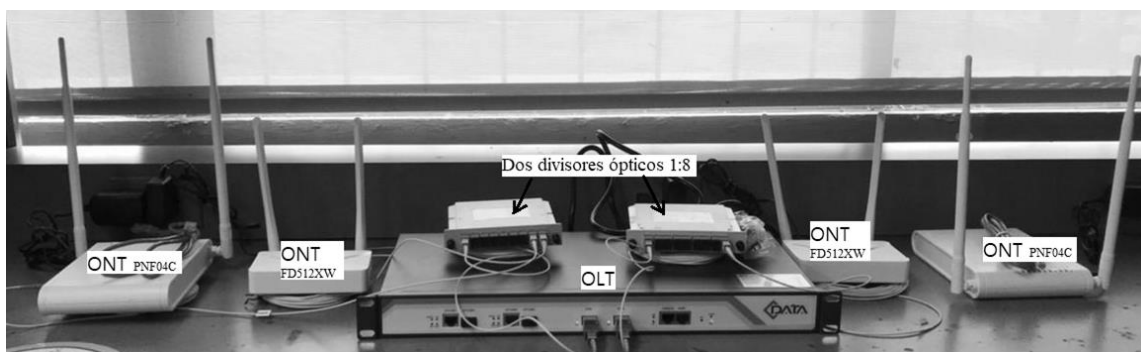


Figura 2. Equipos y dispositivos pasivos de la red PON planteada como banco de pruebas. Fuente: Autores.

Plan de enseñanza-aprendizaje

Como se analizó en la revisión literaria no existe una metodología completa que aborde aspectos prácticos de implementación en equipos reales junto con una guía de enseñanza-aprendizaje. Así, en esta sección se define una guía de enseñanza práctica, coherente y organizada que permite el aprendizaje y fortalecimiento de las competencias de los estudiantes en el área de FTTH/PON.

El plan de enseñanza-aprendizaje está dividido en siete etapas (ver Figura 3) y su objetivo principal es guiar al estudiante de forma sistemática en la configuración, implementación y teste de una red PON para acceso banda ancha en hogares. Las siete etapas se interrelacionan entre si y su complejidad va en aumento a medida que se desarrollan. Las etapas iniciales introducen temas básicos de configuración y conexión de la gestión de la red FTTH/PON mediante EMS, en tanto que, las etapas finales permiten la implementación de una solución completa para proveer servicios de acceso a usuarios finales.

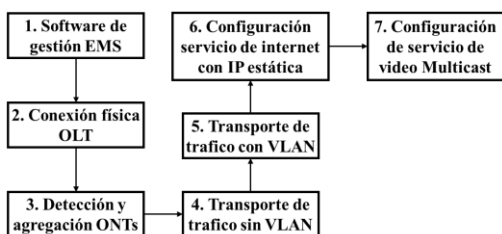


Figura 3. Etapas del plan de enseñanza-aprendizaje planteado para el banco de pruebas didáctico FTTH/PON. Fuente: Autores.

Es importante resaltar que cada una de las etapas del plan de enseñanza-aprendizaje se materializa por parte de los estudiantes de Telecomunicaciones mediante unas guías de laboratorio (Romero & Jaimes, 2021) en formato institucional donde se describen detalladamente los objetivos y procedimientos a realizar, además de esto también se dispone de video-tutoriales que muestran capturas de pantalla de los procedimientos detallados de configuración de los diversos elementos de la red PON.

1. Software de gestión EMS

Esta etapa de aprendizaje tiene como objetivo afianzar competencias relacionadas al establecimiento del servidor de gestión de la red FTTH/PON, así, se guía al estudiante en la identificación y ejecución del proceso a seguir para instalar el software de gestión EMS en un servidor local que por cuestiones prácticas puede ser un computador o portátil disponible en el laboratorio ya que no tiene requerimientos complejos (512MB de espacio en disco, procesador de 2.4 GHz y sistema Win XP o superior). El servidor EMS permite a los profesionales administrar la OLT FD1002S de forma remota usando un cliente EMS para acceso al servidor. Una vez se ejecuta un cliente EMS y se ingresa usando el usuario por defecto, se puede visualizar la red PON desde tres perspectivas: topología, árbol de elementos y log de alarmas como se muestra en la Figura 4.

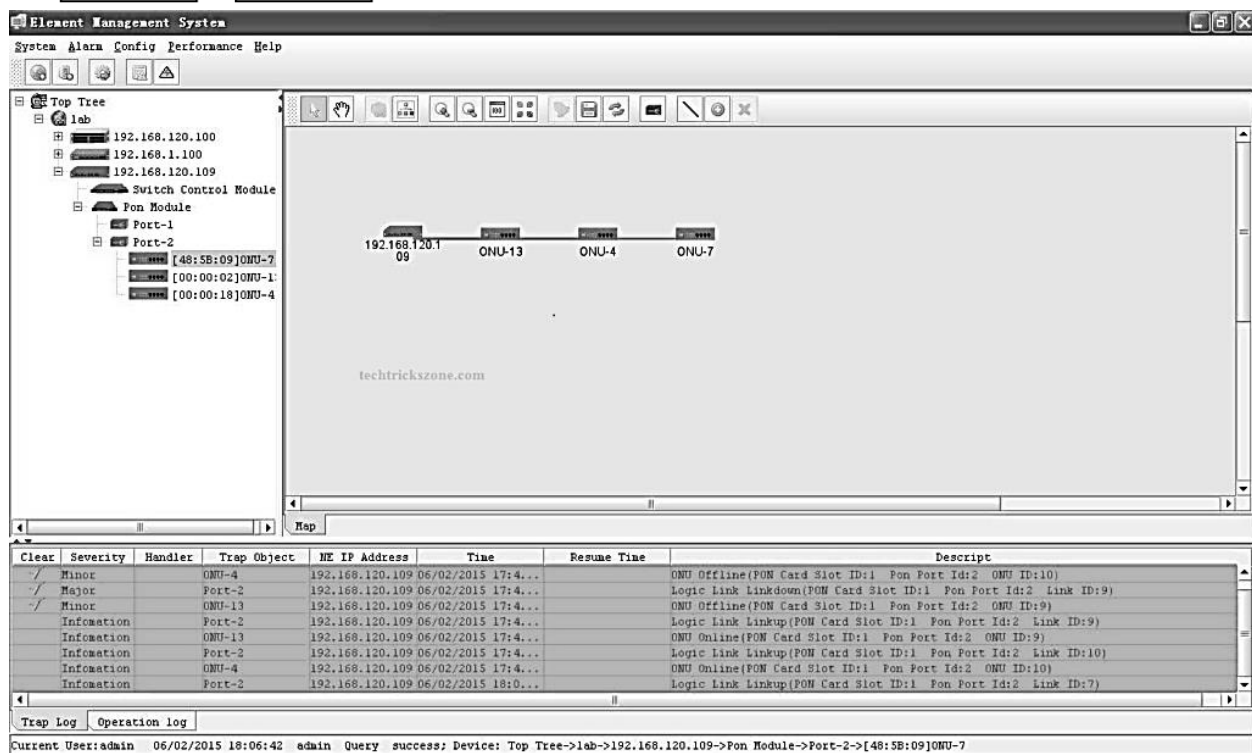


Figura 4. Captura de pantalla de acceso remoto al servidor EMS. Fuente: Tomado de Techtrickszone (2018).

Dentro de esta etapa de aprendizaje también se contempla la administración de cuentas de usuario para acceso a la plataforma EMS permitiendo la creación o eliminación de usuarios, asignación de contraseña y asignación de rol de usuario que proporciona tres niveles de administración, en orden jerárquico: sistema, administrador y visitante.

2. Conexión física OLT

En esta etapa de aprendizaje se definen unos pasos prácticos para que el estudiante pueda realizar una conexión a la OLT usando un software terminal para Telnet/SSH o el mismo EMS. Cuatro tipos de conexiones a la OLT son contemplados a fin de permitir a los profesionales encargados configurar parámetros operaciones de la OLT sea remota o localmente.

El primero es vía cable de consola usando el puerto serial de la OLT, pero para eso, se deben ajustar los siguientes parámetros en el software terminal: puerto COM apropiado, velocidad de puerto de 9600 bits por segundo, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin bit de paridad y sin control de flujo. La guía de aprendizaje de esta etapa motiva al estudiante a utilizar diversos comandos de consola, por ejemplo, *enable* para habilitar el modo de administración que cambia el *prompt* de *epon>* a *epon#*.

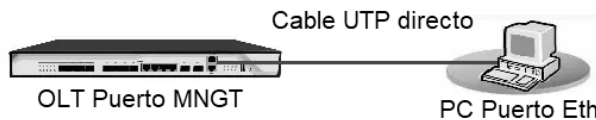


Figura 5. Conexión a la OLT mediante puerto Ethernet fuera de banda (MNGT port). Fuente: Tomado de Romero & Jaimes (2021).

La segunda opción de conexión a la OLT es mediante puerto Ethernet fuera de banda (*MNGT port*), donde un cable UTP directo, como se muestra en la Figura 5, se conecta entre un computador y la OLT. Sin embargo, para que funcione adecuadamente la conexión, la IP configurada en la tarjeta de red del computador debe estar dentro del mismo segmento local de red de la OLT.

Otra opción de conexión es mediante puerto Ethernet en la banda (*UPLINK port*) que permite la configuración de la OLT considerando el esquema de direccionamiento configurado en el puerto *uplink*. También, en esta etapa de aprendizaje se instruye al estudiante para la creación de la OLT mediante el software EMS usando gestión fuera de banda.

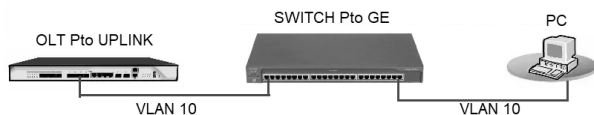


Figura 6. Conexión remota a la OLT mediante VLAN. Fuente: Tomado de Romero & Jaimes (2021).

Finalmente, se puede realizar una cuarta conexión para acceder a la OLT remotamente mediante asignación de VLAN como se detalla en la Figura 6. Sin embargo, previamente debe hacer una conexión fuera de banda directa para configurar dos cosas:

- El ID de la VLAN en la interface de gestión de red, que en el ejemplo de la Figura 6 es 10 (*Net Interface Management* en el EMS).
- El ID en la VLAN de gestión que para el caso es 10, además de seleccionar los puertos de *uplink* por los cuales se propagará la VLAN (*VLAN Management* en el EMS).

Asimismo, para una correcta propagación de la VLAN de gestión es importante configurar la VLAN 10 en el *switch* de acceso mostrado en la Figura 6. De esta forma, se puede ingresar nuevamente al gestor EMS y validar conectividad del gestor con la OLT, la cual estará en línea si todo el procedimiento se realizó correctamente permitiendo así gestionar los módulos OLT y las ONTs vinculadas a través del *switch* de acceso.

3. Detección y agregación de ONTs

La etapa tres tiene como propósito la detección, creación, bloqueo y agregación de las ONTs a la OLT para establecer una comunicación efectiva entre estos elementos de la red PON. En esta etapa de aprendizaje entra en juego la red ODN y todos los elementos pasivos y fibras asociados. En esta etapa de aprendizaje los estudiantes pueden fortalecer competencias en cuanto a los siguientes temas:

- Interacción con los medios guiados y demás elementos pasivos asociados a la red de distribución (*patch-cord*, divisores ópticos y atenuadores) para conectar físicamente las ONTs a la OLT.
- Detección de ONTs en la OLT usando las direcciones MAC mediante la configuración de uno de los métodos posibles de autenticación encontrados en el menú *ONU authority* del EMS que en total son tres:

Non-authority que deshabilita cualquier tipo de autenticación permitiendo que todas las ONTs conectadas a cualquier puerto PON de la OLT se registren automáticamente.

White list que define lista de aceptación donde únicamente la dirección MAC de las ONTs registradas en una lista se registrarán automáticamente cuando se conecten a cualquier puerto PON de la OLT.

Black List que permite la definición de una lista de denegación donde todas las ONTs conectadas a cualquier puerto PON de la OLT se registran automáticamente, a excepción de las ONT cuya dirección MAC se encuentre registrada en esta lista negra.

- c) Gestión de las ONTs conectadas a la red y visualización en línea de las ONTs en el sub-menú *Port* del menú *Pon Module*, el cual presenta aspectos como: dirección MAC, identificador (ONU ID) asignado por la OLT al momento de registrar cada ONT, tipo de dispositivo, versión de hardware, versión de firmware, potencia de RX y potencia de TX.
- d) Personalización de información adicional de las ONTs como se muestra en la Figura 7, donde a través de la opción *Property*, es posible definir aspectos directamente relacionados con el cliente (nombre, e-mail, localización, etc.), que permiten una identificación más sencilla del mismo.

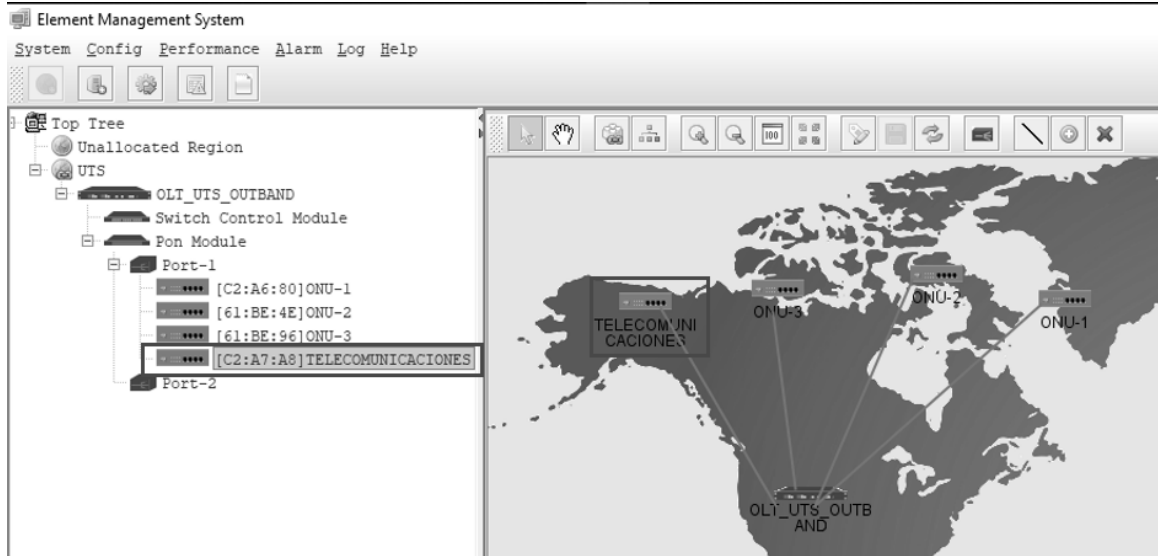


Figura 7. Configuración de propiedades de las ONTs. Fuente: Romero & Jaimes (2021).

4. Transporte de tráfico sin VLAN

Un aspecto fundamental es la habilitación de servicios para el transporte de tráfico de diversos tipos, por tanto, a partir de la cuarta etapa del plan de enseñanza-aprendizaje se proponen aspectos prácticos para mejorar las competencias de los estudiantes en estos temas vitales, ya que se relacionan con la continuidad y calidad del servicio prestado al usuario final.

En la cuarta etapa se propone a los estudiantes, la implementación de transporte de tráfico proveniente de

las ONTs, sin uso de VLAN en la OLT, para esto se requiere que el banco de pruebas se establezca de la forma mostrada en la Figura 8 con dos ONTs que definen dos redes de área local para los clientes.

El direccionamiento IP se especifica como se muestra en la Figura 8, además, se consideran los conceptos ya aprendidos en las etapas 2 y 3 para el acceso a la gestión de la OLT con EMS y la detección de las dos ONTs usando direccionamiento MAC, respectivamente.

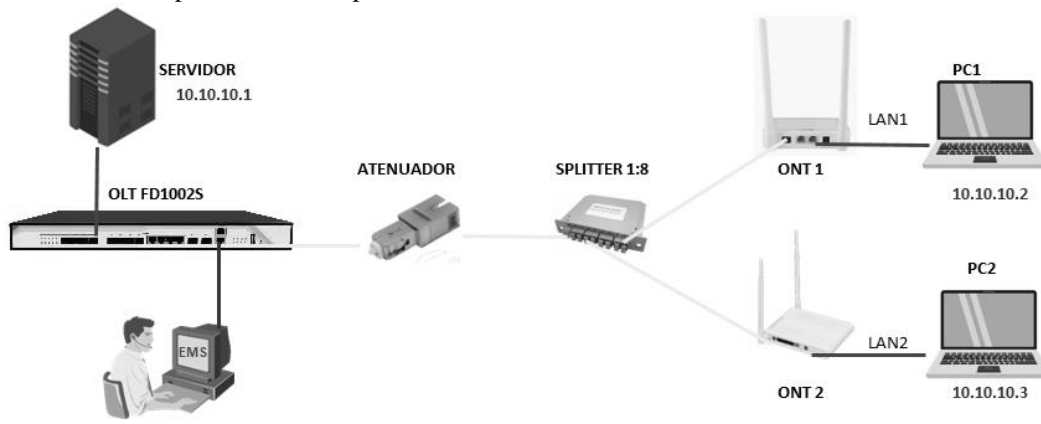


Figura 8. Configuración de tráfico sin VLAN. Fuente: Tomado de Romero & Jaimes (2021).

En esta etapa se tiene un acercamiento de los estudiantes al equipo de usuario, ya que se requiere la configuración

de las ONTs. Concretamente, la implementación del transporte de tráfico transparente en ONT se lleva a cabo

desde la gestión OLT, ingresando a la respectiva ONT y a partir del menú *ONU VLAN*, seleccionando *uniPort1* para el campo *port ID* y *Transparent* para el campo *VLAN Mode*.

Ya de forma local se deben realizar configuraciones a las ONTs mediante la adición de una conexión WAN tipo puente para habilitar el servicio de Internet. Las ONTs usadas son de diferente fabricante (CDATA FD512XW y KyngType PNF04C) para permitir a los estudiantes interactuar con la forma de acceso local (IP, usuario, contraseña, etc) de las dos alternativas de ONT. Pruebas de conectividad usando el comando *ping* permiten verificar la correcta conectividad de las ONTs al servicio sugerido.

5. Transporte de tráfico con VLAN

La quinta etapa pretende crear competencias relacionadas al transporte de tráfico mediante VLAN, es muy parecida a la etapa anterior, solo que se debe considerar el escenario de la Figura 9 y configurar la VLAN 500 en

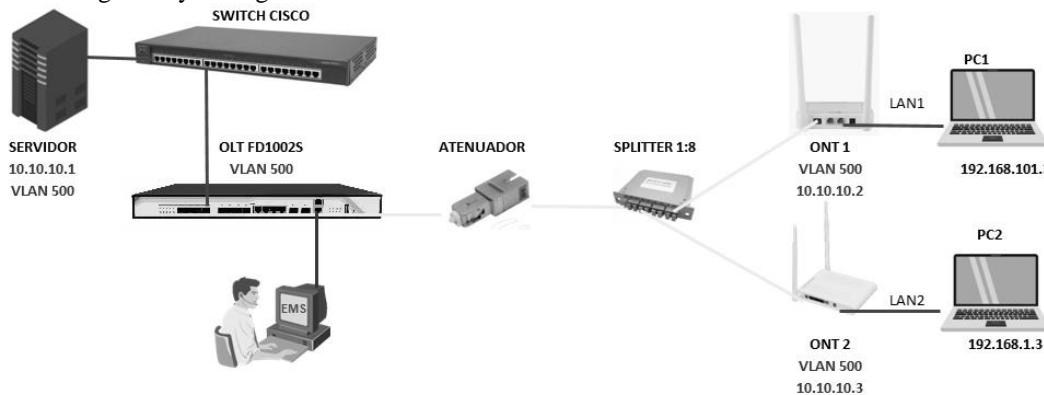


Figura 9. Configuración de tráfico con VLAN. Fuente: Tomado de Romero & Jaimes (2021).

6. Configuración servicio de internet con IP estática

En esta etapa se pretende afianzar competencias en los estudiantes con relación a la configuración de la OLT para aprovisionar servicio de internet con direccionamiento IP fijo.

El escenario a considerar en esta etapa de aprendizaje es el mostrado en la figura 10, el cual efectivamente permite tener un punto de acceso a internet conectado a un puerto del *switch* Cisco.

En esta etapa de aprendizaje se describe la configuración a realizar en la OLT desde el gestor EMS para proveer un servicio de internet desde la OLT y las ONTs. Se detalla la configuración en modo enrutador desde el ambiente

algunos elementos de la red PON. Muchos de los procedimientos son similares a la etapa 4 con excepción que se debe considerar la VLAN 500 para el transporte de tráfico, así, en las ONTs se establecen conexiones WAN tipo puente usando 500 como identificador de VLAN.

La configuración de transporte de tráfico *tagado* en ONT desde la OLT también es considerada en la quinta etapa de aprendizaje. Como se observa en la figura 9, la VLAN 500 debe ser configurada también en otros elementos de red como la OLT, el *switch* CISCO y el servidor de servicios.

Un aspecto adicional que se considera en la quinta etapa es la configuración de las ONTs con conexiones WAN tipo enrutador con la VLAN 500. Usando el comando *ping* se pueden verificar la conectividad de las dos alternativas planteadas tanto conexión WAN en modo puente como en modo enrutador.

gráfico de las ONT con direccionamiento IP fijo y VLAN para validar la salida a Internet.

También son abordados los procedimientos para limitar el ancho de banda en el servicio del usuario final. Dentro de los procedimientos propuestos se indica la verificación de servicios; para esto se requiere que los estudiantes ingresen a la sección diagnóstico de la ONT y ejecuten un *ping* a un dominio conocido en Internet; por ejemplo, al servidor DNS de google.

Asimismo, se define un procedimiento para realizar una prueba de velocidad de subida y bajada desde el cliente asociado a la ONT a fin de verificar el ancho de banda previamente asignado.

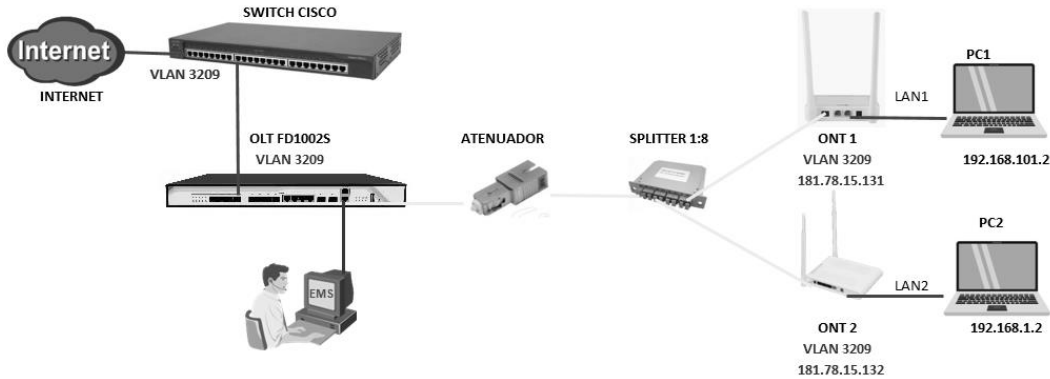


Figura 10. Escenario del banco de pruebas para configuración del servicio de Internet con IP estática. Fuente: Tomado de Romero & Jaimes (2021).

7. Configuración de servicio Multicast de TV

Esta etapa tiene como objetivo mejorar las competencias de los estudiantes en cuanto a la configuración de la red FTTH/PON para proveer servicio de televisión mediante difusión *Multicast*.

El banco de pruebas se conforma como se muestra en la Figura 11, donde se realiza la interconexión entre los diversos elementos de la red de la forma mostrada. En este caso se tiene un sistema de IPTV conectado al *switch* de acceso para proporcionar el servicio de televisión a la red PON. En la etapa de aprendizaje se aborda la configuración de transporte de tráfico *Multicast* en la OLT FD1002S.

Para la propagación de la VLAN 20 para tráfico *Multicast*, el estudiante debe ingresar al módulo de control de *switch* de la OLT, seleccionar el menú *VLAN*

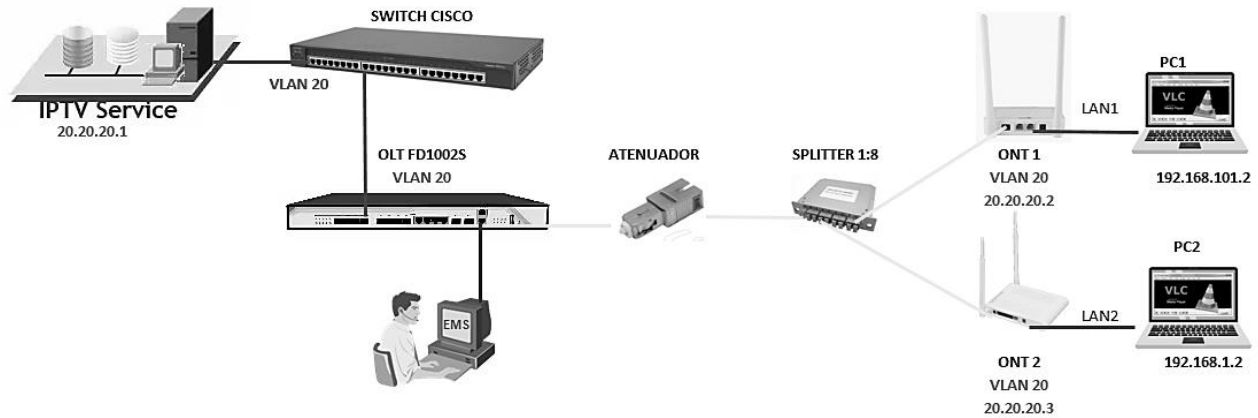


Figura 11. Escenario del banco de pruebas para configuración del servicio de Internet *Multicast* de TV. Fuente: Tomado de Romero & Jaimes (2021).

Conclusiones

El banco de pruebas didáctico propuesto logró cumplir con el propósito del trabajo al establecer un escenario real de bajo costo para la realización futura de pruebas prácticas de los estudiantes en una red FTTH/PON para el laboratorio de Telecomunicaciones de las UTS, permitiendo la interacción con todos los elementos de red

Management, en el campo *VLAN ID* digitar el número 20 correspondiente a la *VLAN* para acceso a Internet, adicionando los puertos de *Uplink1* y *PON5*.

Se consideran aspectos relacionados a la configuración de un servicio de video entre un equipo servidor de video conectado a la OLT y un cliente de video conectado a una ONT, utilizando la *VLAN* determinada. En la ONT se considera la adición de una conexión WAN modo enrutador y la activación de la casilla servidor Proxy IGMP (*Internet Group Management Protocol*). Finalmente, la guía de aprendizaje considera los aspectos de verificación de servicio para evaluar el correcto funcionamiento mediante la difusión de un video en el servidor con protocolo de transporte en tiempo real (UDP/RTP) *Multicast* y realizando *ping* de diagnóstico desde la ONT.

implicados, tanto activos (OLT u ONT) como pasivos, por ejemplo, cables UTP, *patch-cord*, atenuadores o divisores ópticos. Este proyecto ha suministrado la posibilidad de explorar aspectos del área de gestión de la red por medio del software EMS.

Asimismo, este trabajo logra la definición de una ruta clara de aprendizaje para los estudiantes, que es

materializada en el plan de enseñanza-aprendizaje propuesto y que junto con el banco de pruebas permiten fortalecer las competencias de los estudiantes en temas relacionados a la implementación de servicios de Telecomunicaciones a través de redes FTTH/PON. Este plan conformado por siete etapas de aprendizaje consigue llevar al estudiante por un recorrido ordenado y coherente a través de conceptos asociados a redes PON tanto básicos como asuntos de implementación más complejos. Comparada con los enfoques encontrados en la revisión literaria presentada, el banco de pruebas didáctico propuesto presenta algunos puntos favorables ya que pone a disposición del estudiante una infraestructura física de red para la realización de pruebas reales y así mismo define una ruta clara de actividades y procedimientos asociados a la implementación, la operación y el mantenimiento de redes FTTH/PON. Entretanto, se requiere la realización futura de pruebas diagnósticas a los estudiantes que se benefician del banco de pruebas propuesto a fin de evidenciar el perfeccionamiento de las competencias en el área y de trazar estrategias de mejora futura, tanto en los equipos como en el plan de enseñanza-aprendizaje.

Referencias

- AZadslzone (2018). ANÁLISIS DE PON: Qué es OLT, ONU, ONT y ODN. <https://www.adslzone.net/foro/fibra-optica.94/analisis-pon-que-es-olt-onu-ont-odn.461996/>
- Aydin, S., Sarikaş, A., Ak, A., Yayla, A., Kesen, U., & Oral, B. (2019). Fiber optic training program with intensive experiments using both real laboratory and simulation environments. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(6), 1419–1428. <https://doi.org/10.1002/cae.22159>
- Chan, C. C. K. (2007). Protection Architectures for Passive Optical Networks. In *Passive Optical Networks, Principles and practice* (pp. 243–266). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012373853-0.50012-1>
- Eltraify, A. E. A., Musa, M. O. I., Al-Quzweeni, A., & Elmirghani, J. M. H. (2019). Experimental Evaluation of Server Centric Passive Optical Network Based Data Centre Architecture. *21st International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2019-July, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2019.8840571>
- Hayes, D., Turczynski, C., Rice, J., & Kozhevnikov, M. (2013). Virtual-Reality-Based Educational Laboratories in Fiber Optic Engineering. *ETOP Education and Training in Optics and Photonics, Paper EWP40*, 1–6. <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=EWP40>
- Horvath, T., Munster, P., Oujezsky, V., & Bao, N.-H. (2020). Passive Optical Networks Progress: A Tutorial. *Electronics*, 9(7), 1–31. <https://doi.org/10.3390/electronics9071081>
- International Telecommunication Union (ITU). (2021). *Digital Development Dashboard* (pp. 1–2). International Telecommunication Union (ITU). https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/DDD/ddd_CHE.pdf
- Kumari, M., Sharma, R., & Sheetal, A. (2018). Passive Optical Network Evolution to Next Generation Passive Optical Network: A Review. *2018 6th Edition of International Conference on Wireless Networks & Embedded Systems (WECON)*, 102–107. <https://doi.org/10.1109/WECON.2018.8782066>
- Merayo, N., Aguado, J. C., Miguel, C. M., Duran, R. J., de Miguel, I., Fernandez, P., Lorenzo, R. M., & Abril, E. J. (2017). Testbed laboratory for the physical analysis of gigabit passive optical access networks (GPONs). *2017 56th FITCE Congress*, 63–67. <https://doi.org/10.1109/FITCE.2017.8093009>
- Merayo, N., Aguado, J. C., Miguel, I., Durán, R. J., Fernández, P., Lorenzo, R. M., & Abril, E. J. (2021). A testbed and a simulation laboratory for training engineering students in optical access network technologies. *Computer Applications in Engineering Education*, 1–19. <https://doi.org/10.1002/cae.22429>
- Młynarczuk, M., & Smoleński, L. (2012). Design and Implementation of GEPON Architecture in Laboratory Testbed. *XVI Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, PWT*, 81–84. http://pwt.et.put.poznan.pl/PWT_2012/PWT_2012_3976.pdf
- Prat, J., Polo, V., Lazaro, J. A., Bonada, F., Lopez, E., Schrenk, B., Omella, M., Saliou, F., Le, Q. T., Chanclou, P., Leino, D., Soila, R., Spirou, S., Costa, L., Teixeira, A., Tosi-Belleffi, G. M., Klonidis, D., & Tomkos, I. (2011). Test-bed functionality of the SARDANA Hybrid NG-PON. *Access Networks and In-House Communications*, 12–14. <https://doi.org/10.1364/ANIC.2011.AMD1>
- Rendon Schneir, J., & Xiong, Y. (2014). Cost analysis of network sharing in FTTH/PONs. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 126–134. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6871680>
- Romero, L., & Jaimes, G. (2021). *Implementación de un escenario de pruebas PON FTTH para el*

laboratorio de Telecomunicaciones de las Unidades Tecnológicas de Santander [Unidades Tecnológicas de Santander].
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6104>

Wong, E. (2012). Next-Generation Broadband Access Networks and Technologies. *Journal of Lightwave Technology*, 30(4), 597–608.
<https://doi.org/10.1109/JLT.2011.2177960>

Techtrickszone. (2018, March 14). *How to configure Syrotech GEPON OLT and EMS Software installation*. Techtrickszone.
<https://techtrickszone.com/olt-configuration-manual/>