

Como citar este artículo:

J.S. Castellanos-Casas, C.S. Rojas-Piña, & G.A. Puerto-Leguizamón, "Diseño de una red óptica pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha", Rev. Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Vol. 18 [1], pp. 25-33, 2018.

## DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA BIDIRECCIONAL CON PARTICIONAMIENTO ESPECTRAL DE UNA FUENTE DE BANDA ANCHA

### A passive optical bidirectional network design with Spectral partitioning of a wide band Font

Juan Sebastián Castellanos-Casas<sup>1</sup>, Carlos Sebastián Rojas-Piña<sup>1</sup>, Gustavo Adolfo Puerto-Leguizamón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Esp. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Boyacá, Colombia).

Juam.castellanos@uptc.edu.co, carlossebastian.rojas@uptc.edu.co

<sup>2</sup> Ph.D. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). gapuerto@udistrital.edu.co

*(Recibido octubre 22 de 2017 y aprobado noviembre 27 de 2017)*

#### Resumen

Este artículo presenta el diseño de una red óptica pasiva en la cual se aprovecha al máximo el ancho de una fuente de luz para generar diferentes portadoras que pueden ser aprovechadas por una cantidad de usuarios mucho mayor a los que comúnmente tienen redes PON en su hogar, es decir, realizar varias redes en base a una fuente de luz con portadoras de carga y descarga por medio de la misma red, en vez de tener una única fuente de luz para un usuario. Dentro del diseño se aprovecha el particionamiento espectral el cual divide la fuente con una separación de 0,11nm entre portadoras, considerando que el ancho de un LED es aproximadamente 100nm, para así obtener un número alto de portadoras en tercera ventana. Aprovechando dicho fenómeno, se reducen costos en la implementación de una PON.

**Palabras clave:** Particionamiento espectral; AWG; multiplexación por división de longitud de onda óptica; red óptica pasiva.

#### Abstract

This paper presents the design of a passive optical network that approach the totally wide band of a light font in order to generate differents carrier signals that can be approach for a considerable quantity of ussers much better and more like than the actually passive optical networks and realize a variety of network when the principle is a unique light font with download and upload carriers throught the same network instead a unique light font to unique user. Inside the design, the spectral partitionign is approach in the way that divides the light Font with a separation of 0,11nm between the carriers, consider the wide band LED has 100nm of bandwidth, in order to obtain a high number of carriers in the third window. Approaching this fenomenum, the costs in the implementations could be reduced in the PON systems.

**Keywords:** Spectral partitioning; AWG; optic wavelenght divison multiplexing; passive optical network.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las redes ópticas son el medio de propagación comúnmente utilizadas en la actualidad debido a la baja atenuación que tiene por distancia brindando así comunicaciones interoceánicas, dando la posibilidades de generar tipológicas de gran ancho de banda a altas frecuencias de

portadora, la fibra óptica se clasifica en multimodo y monomodo. La fibra óptica tiene varias ventanas de trabajo es decir diferentes tipos de grupos de frecuencias donde se presentan diversos efectos dispersivos y perdidas, en tercera ventana la atenuación es menor por ende la mayoría de las redes y dispositivos se implementan en esta ventana [1].

Este medio de propagación permite implementar redes ópticas pasivas que permite generar enlaces entre los proveedores de servicio y los terminales o usuarios finales [2]; en la actualidad se conocen diferentes topologías de redes ópticas pasivas con gran capacidad como lo son BPON (con una gama amplia de servicios de banda ancha) [3], GPON, EPON (Con WDM y alcance de 20km) [4] y WDM-PON.

El uso de diferentes fuentes ópticas para la implementación de diversos canales en una red óptica pasiva genera altos costos en la implementación de las redes de acceso y distribución por multiplexación por división de longitud de onda, debido al tipo de laser o led usado para cada canal de la topología.

Estos se pueden solucionar o simplificar mediante el uso de ranurado o particionamiento espectral debido a que se pueden generar diversas longitudes de onda a partir de una fuente de luz de banda ancha como un LED (10 -100 nm) por medio de AWGs (Arrayed Waveguide Grating) que en esencia son un arreglo de rejillas de guías de onda, de esta forma se obtienen diferentes longitudes de onda, las cuales se modulan y se inyectan a la fibra [5].

En la red de acceso del usuario se extraerán dos longitudes de onda, una vendrá modulada por el operador para la bajada de datos y la otra estará sin modular, esta segunda longitud se modulara del lado del usuario o abonado para la subida de datos a la red y se volverá a inyectar a la fibra, este proceso se realizara por medio de un AWG en configuración router de longitud de onda. Este planteamiento reducirá la implementación de una red por multiplexación por división de longitud de onda óptica.

## 2. PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DEL PROBLEMA

### 2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Redes PON. Una red PON (Passive Optical Network) es un sistema que establece comunicaciones punto-multipunto entre un router central llamado OLT (Optical Line Network) y equipos de campo ONT o ONUs (Optical Network Terminal) por medio de fibra óptica y diferentes dispositivos ópticos pasivos; solo usan equipos activos en los extremos [2].

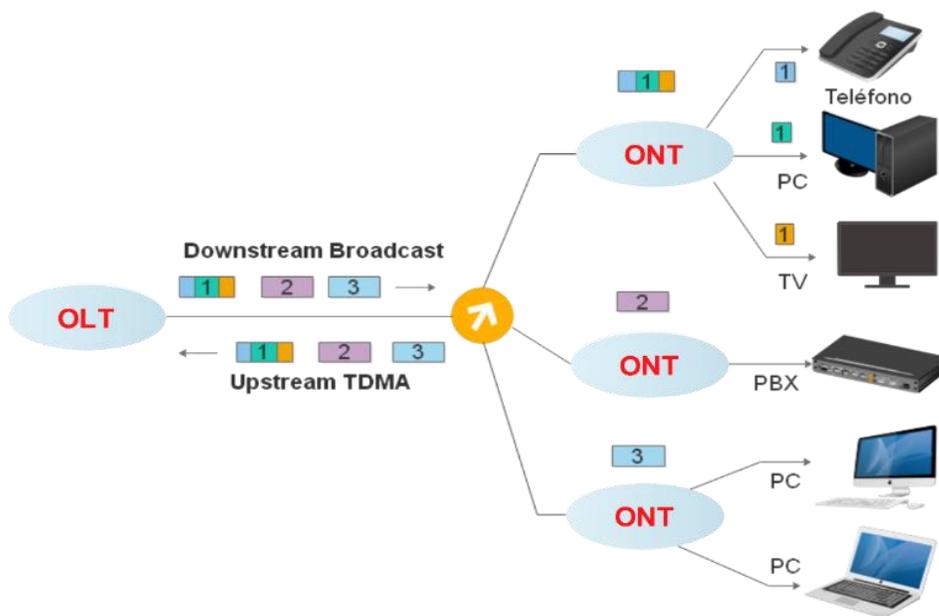


Figura 1. Arquitectura PON [2].

Existen diferentes tipos de tecnologías de red PON como lo son BPON [3], GPON, EPON (Con WDM y alcance de 20km) [3] y WDM-PON.

GPON (Gigabit passive optical network) la mayoría de las redes actuales utilizan GPON establecido por la norma ITU-T es G.984. Entrega 2,488 Gbits /s en sentido descendente y 1,244 Gbits/s en sentido ascendente. GPON utiliza multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM), de modo que se puede utilizar una única fibra tanto para datos de bajada como subida. Un láser en una longitud de onda de 1490 nm transmite datos de subida. Los datos ascendentes se transmiten a una longitud de onda de 1310 nm. GPON utiliza un formato de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para asignar un intervalo de tiempo específico a cada usuario. Esto divide el ancho de banda para que cada usuario obtenga una fracción tal como 100 Mbits /s. GPON pueden manejar paquetes ATM directamente, también utiliza un método genérico de encapsulación para llevar otros protocolos. Puede encapsular Ethernet, IP, TCP, UDP, T1 / E1, vídeo, VoIP, u otros protocolos según lo requerido por la transmisión de datos [3].

EPON (Ethernet passive optical network) IEEE desarrolló otro nuevo estándar PON. Basado en la norma Ethernet 802.3, EPON 802.3ah especifica una red pasiva similar con un alcance de hasta 20 km. Utiliza WDM con las mismas frecuencias ópticas que GPON y TDMA. La velocidad de datos de la línea es de 1,25 Gbits /s tanto en las direcciones de subida y bajada. EPON no utiliza el método de acceso CSMA / CD utilizado en otras versiones de Ethernet [4].

WDM-PON (wavelength division multiplexing PON) se puede utilizar para separar las unidades ópticas de la red (unidades ONU) en varias conexiones virtuales de punto a punto sobre la misma infraestructura física, una característica que permite un uso eficiente de la fibra en comparación con Ethernet. Utiliza una red de difracción de guías de onda (AWG) que separa las longitudes de onda para la entrega individual a las unidades ONU del abonado [6].

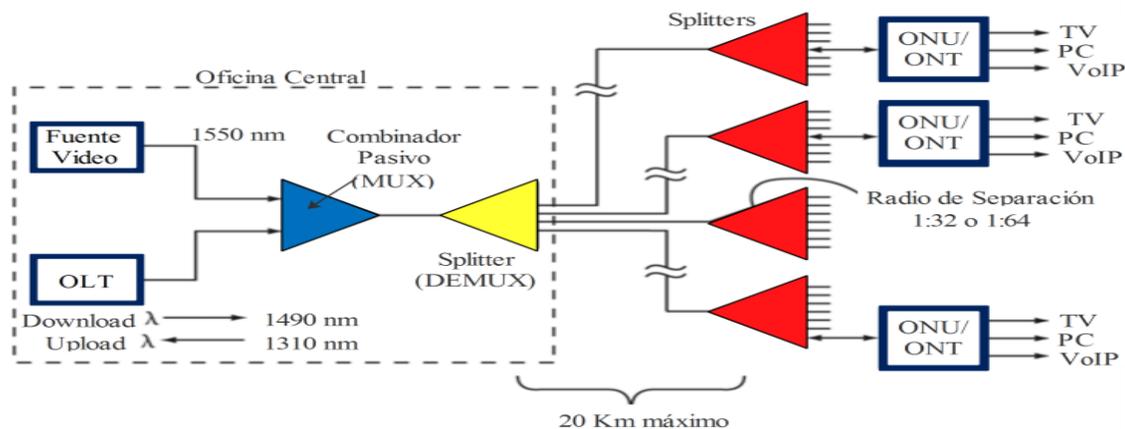


Figura 2. Arquitectura GPON [3]

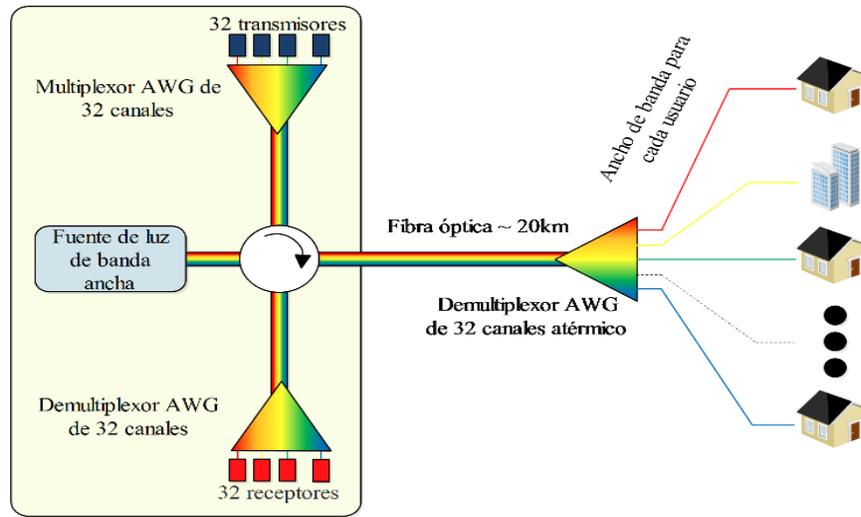


Figura 3. Arquitectura WDM-PON [6]

2.1.2 Particionamiento espectral. Esta técnica tiene como objetivo realizar un fraccionamiento del espectro de una fuente óptica con gran anchura espectral, para obtener fragmentos del espectro con el fin de generar diferentes longitudes de onda para producir diversas fuentes ópticas. Para implementarlo, se utiliza un elemento pasivo como el AWG con el fin de

generar la demultiplexación de la anchura espectral obteniendo como resultado una cadena de longitudes de onda convencionales [7]. Existe una anchura óptima de cada partición la cual depende de la longitud de la fibra, generando un efecto de penalización del receptor. La figura 4 permite observar la dependencia de la penalización del receptor [8].

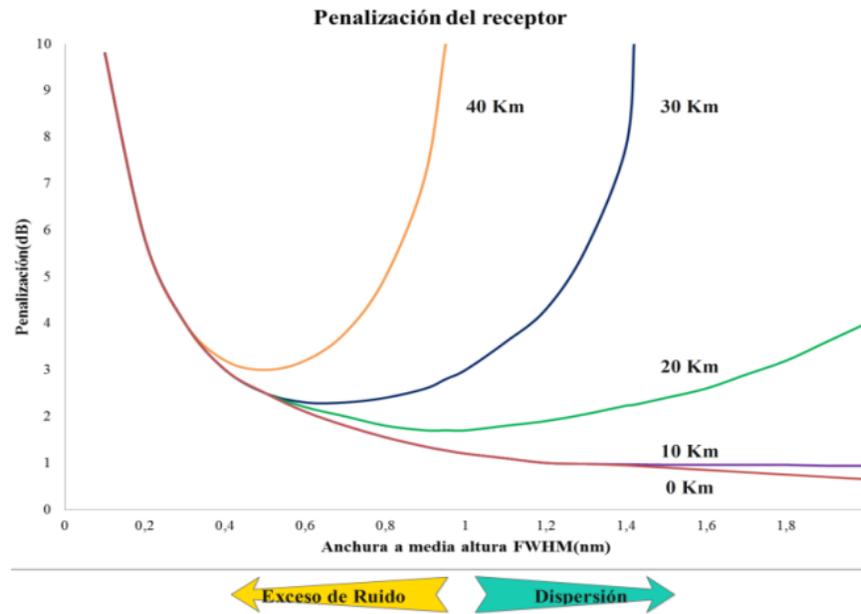


Figura 4. Dependencia de la penalización del receptor de terminal de línea óptica. [8]

Por otra parte, existe otra técnica para extraer diferentes longitudes de onda a partir de una fuente de banda ancha como son las redes de difracción de Bragg. Este procedimiento se basa en la perturbación periódica del índice de refracción  $n$  a lo largo de la longitud de la fibra. Esta perturbación genera una banda de stop en la región de frecuencias en la que se refleja la mayor parte de la luz incidente. La banda de rechazo se centra en la longitud de onda Bragg que se define por:

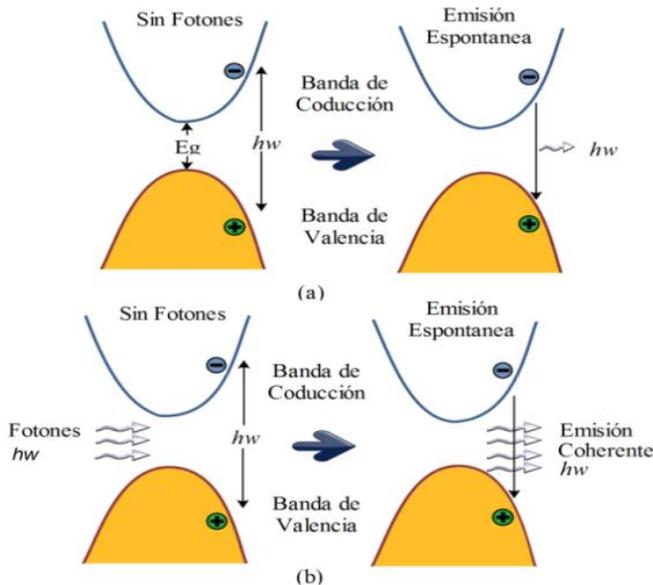
$$\lambda_B = 2 \cdot n \cdot \Lambda \quad (1)$$

Donde  $\Lambda$  es el período de particionado y  $n$  es el índice de modo promedio. El comportamiento periódico de las variaciones de índice de refracción genera acoplamiento de las ondas de propagación hacia adelante y hacia atrás en longitudes de onda cercanas a la longitud de onda Bragg. [12]

Una de las principales ventajas de esta tecnología es su capacidad de multiplexación intrínseca. Es posible inscribir cientos de redes de Bragg en una misma fibra óptica, con separaciones de unos pocos milímetros o de varios kilómetros. Con un acondicionamiento adecuado, cada una de estas estructuras puede hacerse sensible a parámetros distintos de la temperatura o la deformación.

En el artículo Arquitectura reconfigurable basada en redes de difracción de Bragg para redes convergentes indoor ópticas (G. Puerto-Leguizamón, 2016) muestra un enfoque donde la arquitectura reconfigurable hace parte de la puerta de enlace donde todos los servicios descendentes procedentes de la red de acceso son clasificados y asignados a diferentes longitudes de onda para ser distribuidos en consecuencia en el segmento interior.

2.1.3 Fuente de luz de banda ancha. Se basa en un proceso llamado emisión espontánea, la cual consiste principalmente en el hecho de que un electrón se recombina con un hueco sin la presencia de fotones en uniones p-n directamente polarizadas recombinándose de forma radiante en bajos niveles de inyección, causando emisión de fotones. A altos niveles de inyección, el diodo laser permite que el proceso de emisión se determine como emisión estimulada, la cual da como resultado una alta pureza espectral de la señal, con fotones coherentes y una alta velocidad de respuesta [10].



**Figura 5.** (a) Emisión espontánea: el par electrón-hueco se recombina en ausencia de fotones para emitir otro fotón. (b) Emisión estimulada: el par electrón-hueco se recombina en presencia de fotones de energía adecuada para emitir fotones coherentes [10].

2.1.4 AWG's. Los AWG's (Arrayed waveguide grating). Son dispositivos basados en arreglos de guías de onda planos con propiedades ópticas y dispersivas que permiten funcionalidad tanto de multiplexación como de demultiplexación

convirtiéndose así en los filtros más importantes dentro de las redes WDM. En la figura 6 se observa la estructura de un AWG y un sistema óptico equivalente.

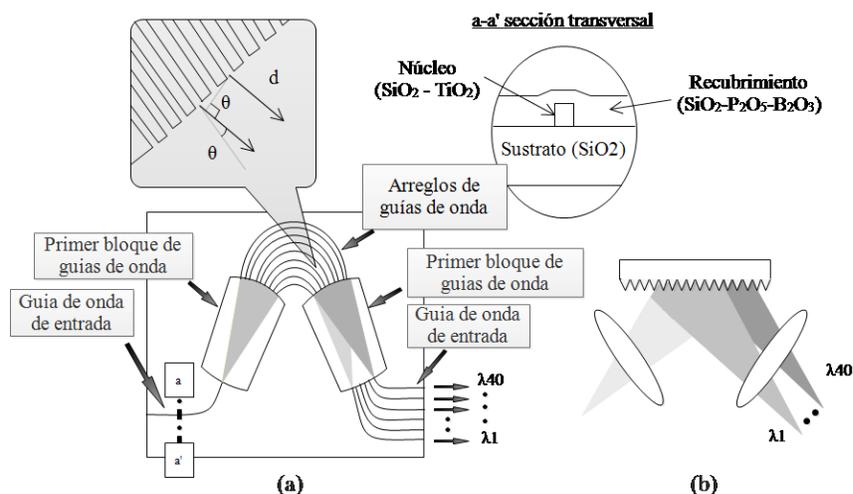


Figura 6. a). Estructura AWG. b). Sistema óptico equivalente. Tomado de [5].

Los dos bloques de fibra son equivalentes en su funcionamiento como el de los lentes y los arreglos de guías de onda funcionan como un enrejado (Figura 6 b). Cuando la luz es lanzada dentro de una guía de onda, esta se extiende en el primer bloque y es capturada por el arreglo de guías de onda, luego de atravesarlo cada haz de luz óptica interviene destructiva o constructivamente dependiendo de la configuración de fase. Al finalizar este proceso los rayos ópticos que intervinieron constructivamente son enfocados a la salida de las guías de onda.

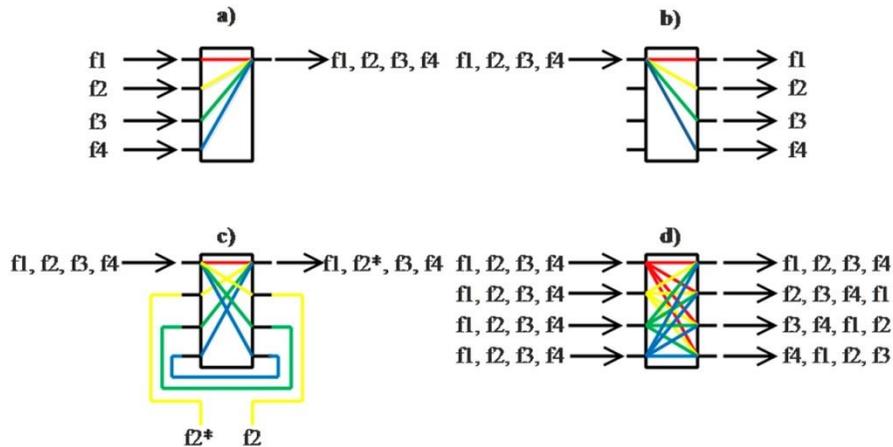
2.1.5 Topologías AWG's. En la figura 7 se muestran las diferentes funciones y aplicaciones de los AWG's las cuales son multiplexor, demultiplexor, multiplexor de inserción/extracción y como un router de longitud de onda de interconexión [8].

## 2.2 Diseño

El esquema de red (Figura 8) parte de un led de 100 nm de banda ancha en tercera ventana al cual se le aplica particionado espectral mediante AWG en configuración demultiplexor el cual tiene la función de separar por longitudes de onda la fuente de luz. De esta forma utiliza los primeros

50nm para la bajada de datos, y la otra mitad para la subida de datos desde el abonado o usuario final. En el diseño el componente más importante es el AWG debido a que es un elemento pasivo que genera múltiples funciones que aportan al esquema planteado. Tras la separación por longitudes de onda se seleccionan dos para cada usuario, donde la primera la modula el prestador de servicios después de la demultiplexación y la otra longitud de onda no estará cargada de información.

Esta longitud se modula desde el abonado para la carga o subida de datos. De esta forma las dos longitudes por usuario se inyectan a la fibra mediante un AWG en configuración multiplexor, el cual vuelve a unir las diferentes portadoras; la separación entre las portadoras es aproximadamente 0,1 nm como es acorde a la tabla 1 de la ITU-T G.694.1 [11] en la cual se tiene una fuente de banda ancha y se muestra la separación entre las particiones. Si no se tiene en cuenta esta distancia se tiene penalizaciones por ruido y dispersión, la distancia de la fibra óptica desde el multiplexor a los abonados es de 20 Km para evitar las penalizaciones mencionadas.



**Figura 7.** Topologías de aplicaciones de los AWG. (a) Multiplexor. (b) Demultiplexor. (c) Multiplexores de subida y bajada. (d). Enrutador de longitudes de onda. [8].

En las zonas de acceso se tiene un AWG como demultiplexor, en este punto se tienen las longitudes de onda para cada abonado. Como se mencionó anteriormente, a cada terminal llegan dos portadoras, la de bajada de datos del usuario los cuales se demodulan mediante un fotodetector para convertir señales ópticas a señales eléctricas. Del lado del abonado se tendrá un modulador, en el cual se tiene la longitud de onda que no se ha modulado en primera instancia y los datos del usuario. Mediante el proceso de modulación se generan datos de subida del usuario. Este proceso para llevar la portadora de subida al usuario y volver a inyectar la señal modulada se hace mediante un AWG en configuración de router, cuyo fin es volver a inyectar los datos de terminal a la red. En el terminal final se cuenta con amplificadores ópticos para mejorar la señal de las dos portadoras que llegan al usuario, con el fin de garantizar una calidad en potencia adecuada en este punto de la topología.

La fibra usada en la topología es monomodo en la parte de distribución desde el proveedor de servicio, mientras que visto desde el acceso de usuario, es decir, la fibra que lleva las dos portadoras, es multimodo reduciendo así los

costos en cuanto al medio de propagación, con lo cual se resuelve el problema del uso de diferentes fuentes ópticas para la implementación de diversos canales en una red óptica pasiva ya que genera altos costos en la implementación de las redes de acceso y distribución WDM, a causa al tipo de laser o led usado para cada canal de la topología. La figura 8 permite observar el diseño realizado para satisfacer los problemas expuestos anteriormente, como lo es la reducción de costos y el uso de una fuente óptica única.

### CONCLUSIONES

La arquitectura de red diseñada permite tener una gran cantidad de usuarios a partir de una fuente de banda ancha de tercera ventana, por medio de la técnica de particionamiento espectral donde se usan dos portadoras una para la subida de datos y la otra para la bajada de datos, la primera se modula desde el proveedor de servicios y la otra desde el abonado para el intercambio de datos en la red, esto se logra gracias a las diferentes configuraciones de los AWG's como elemento fundamental en el diseño. De esta forma se reduce costos en cuanto a la cantidad de fuentes ópticas que se usarían en un esquema óptico tradicional.

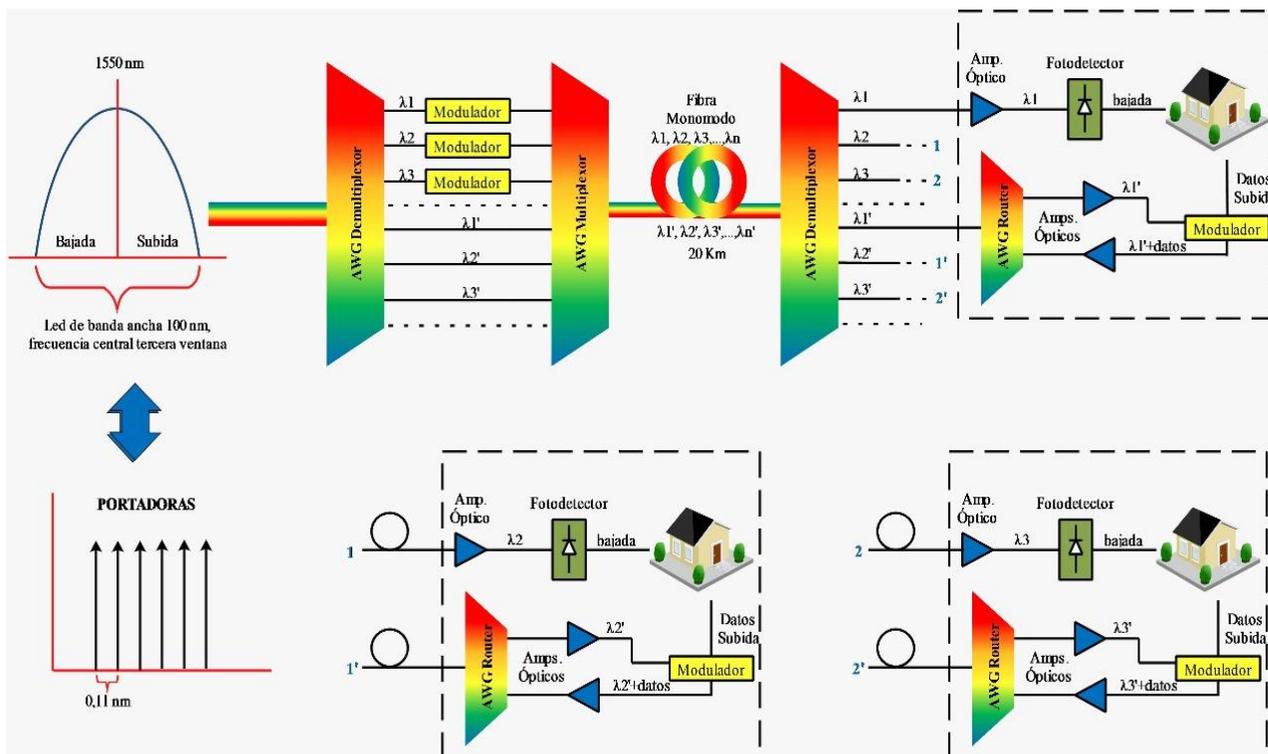


Figura 8. Diseño del esquema de red.

REFERENCIAS

[1] L. R. Villareal, "Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas", Tesis de Msc, Universidad Autónoma de Nueva León, San Nicolás de los Garza, NL, México, Junio 1997.

[2] Fibra Optica, Ciencia y Tecnología, "¿Qué es una PON, passive optical network?", Septiembre 2017, [Online], Disponible: <http://lafibraoptica Peru.com/que-es-una-pon-passive-optical-network/>.

[3] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas", UIT-T G.983.1, 2005

[4] L. Frenzel, "¿What's the difference between Epon and Gpon optical fiber networks?", *Electronic Design*, Enero 2014.

[5] H. Uetsuka, "Awg technologies for dense wdm applications", *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, 10(2):393–402, 2004, Septiembre 2017. [Online]. Disponible:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/1303588/>

[6] M. Pearson, "Wdm-Pon: A Viable Alternative For Next Generation Fttp", Enablencc, *Enablencc*, Marzo 2010.

[7] L.P. Hernández, E.J Vanegas, "Evaluación del fragmentado espectral como técnica de generación de portadoras ópticas", Tesis Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, CUN, Colombia, Febrero 2017.

[8] J. N. Silva, "Diseño y Análisis de una Red de Acceso Tipo WDM-PON por Medio del Particionamiento Espectral de una Fuente de Luz de Banda Ancha", Tesis Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, CUN, Colombia, 2016.

[9] G. J. Pendock y D. D. Sampson, "Transmission performance of high bit rate spectrum-sliced wdm systems", *IEEE*, Octubre 1996.

[10] E. Sanchis y J. B. Ejea. "Emisión Espontánea y Estimulada", Universitat de Valencia, Valencia, España, Noviembre de 2008.

- [11] International Telecommunication Union, "Transmission media and optical systems characteristics – Characteristics of optical systems". ITU-T G.694.1, 2012
- [12] G. Puerto-Leguizamón, W.R. López-Sanchez, C.A. Suárez-Fajardo, "Reconfigurable architecture based on fiber bragg gratings for convergent optical indoor networks", *Rev. Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 (1), Enero, 53-60, 2016. doi: <https://doi.org/10.19053/1900771X.4618>