

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**TEMA:**  
**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN ESCENARIO DE UNA RED PON QUE  
USA UN MÉTODO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE LONGITUD DE  
ONDA**

**AUTOR:**  
**FAUSTO FERNANDO ALARCÓN ALARCÓN**

**TUTOR:**  
**JOSÉ LUIS AGUAYO MORALES**

**Quito, enero del 2016**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo Fausto Fernando Alarcón Alarcón, con documento de identificación N° 1719310813, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN ESCENARIO DE UNA RED PON QUE USA UN MÉTODO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE LONGITUD DE ONDA ”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Fausto Fernando Alarcón Alarcón

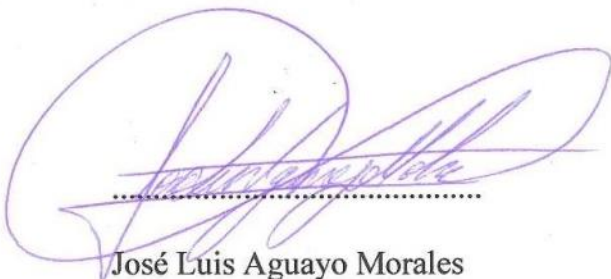
Cédula: 1719310813

Fecha: 2015 - 11 - 27

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN ESCENARIO DE UNA RED PON QUE USA UN MÉTODO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE LONGITUD DE ONDA realizado por Fausto Fernando Alarcón Alarcón, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, noviembre del 2015



José Luis Aguayo Morales

1709562597

## **DEDICATORIA**

Este artículo académico se lo dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres Fausto y Yolanda por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Jorge, Gladys y Viviana por estar siempre presentes, acompañándome y aconsejándome en todas mis decisiones. Y una dedicatoria especial a mi enamorada Carolina quien ha sido y es una motivación, una inspiración y una gran felicidad en mi vida.

Fausto Fernando Alarcón Alarcón

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Politécnica Salesiana, porque en sus aulas recibí el conocimiento académico y humano de cada uno de los docentes que conforman tan prestigiosa institución.

Un agradecimiento especial a mi tutor del artículo académico el Ing. José Luis Aguayo Morales por sus acertados consejos y amistad.

Gracias a todas las personas que me ayudaron de una manera directa e indirectamente en la realización de este artículo.

# Análisis y simulación de un escenario de una red PON que usa un método de asignación dinámica de longitud de onda

Fausto Fernando Alarcón Alarcón<sup>#1</sup>, José Luis Aguayo Morales<sup>\*2</sup>

*Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador*

<sup>1</sup>falarcon@est.ups.edu.ec

<sup>2</sup>jaguayo@ups.edu.ec

**Resumen**— En la fibra óptica monomodo al tener un número limitado de las longitudes de onda que pueden viajar a través de ella, es necesario una repartición eficiente de estas para proveer servicios si hay más ONU que longitudes de onda disponibles en una red PON. En este artículo se realizó un método que permite una asignación dinámica de longitud de onda para el escenario de una red TDM/WDM PON con dos tipos de prioridad para tres longitudes de onda diferentes y cuatro ONU las cuales tenían un encabezado dentro de su trama que se envió hacia un router óptico, el cual lo leyó e indicó si la ONU tenía o no prioridad, para ello se programó un algoritmo en Matlab 2013 a, como componente de OptiSystem 7, obteniendo una asignación dinámica de frecuencias a las ONU después de verificar la prioridad que tenían estas, además se realizó una comparación entre un escenario con y sin asignación dinámica de longitud de onda, donde se determinó que la red con DWA pudo tener dos clases de servicio, mientras que para la red sin DWA, ninguna ONU tiene prioridad, lo cual verificó la asignación dinámica de longitud de onda por medio de las diferentes clases de servicio dadas a las ONU dentro de una PON.

**Palabras clave**— Algoritmo, Asignación, Co-simulación, OLT, ONU, PON, TDM, WDM.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un rápido crecimiento en el volumen de tráfico de internet y se espera que esta tendencia continúe en el futuro [1]. La problemática actual como lo dice [2] es que se desea brindar multiservicios a usuarios localizados a distancias tales que no es posible brindarlos con tecnologías de cobre (xDSL) por sus limitaciones técnicas, o que deben estar cerca a los nodos (xDSL), entonces se tornan atractivas las tecnologías de acceso mediante fibra óptica hasta el domicilio del cliente, es decir FTTH (Fiber To The Home) [2-3].

Una buena solución para implementar una FTTH es la red óptica pasiva (PON), dado que la PON es una red de acceso óptico punto a multipunto y es considerada como la solución más prometedora debido a los bajos costes de despliegue, de recursos y de operación. Por explotación del medio, existen tres tipos principales de PON: PON Multiplexada por división de tiempo (TDM), PON

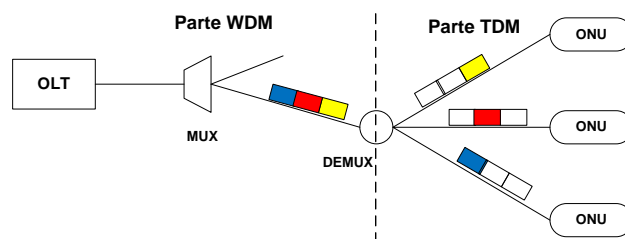
Multiplexada por longitud de onda (WDM) y un híbrido TDM/WDM PON [4] [5].

En TDM/WDM PON es necesario un esquema de asignación de longitud de onda para la distribución de estas a las unidades de red ópticas (ONU) [6]. En general hay dos esquemas de asignación de longitud de onda: estática y dinámica. En el esquema de asignación estática de longitud de onda (SWA), una longitud de onda específica se dedica a cada ONU; por lo que el número de ONU se limita a la cantidad de longitudes de onda disponibles. El esquema de asignación dinámica de longitud de onda (DWA) asigna una longitud de onda a una ONU por petición de servicio, permitiendo usar de manera más eficiente los recursos de la red [7]. Este trabajo estudia un método de asignación dinámica de longitud de onda en una PON.

## II. METODOLOGÍA

Para el análisis y la simulación se diseñaron tres escenarios, una red TDM/WDM PON básica sin un método de asignación y dos redes con un método de asignación dinámica de longitud de onda en una topología tipo árbol, es decir, la línea óptica terminal (OLT) se conectará con las ONU a través del router óptico programable [1].

Los parámetros para la simulación del láser dentro de la OLT, en los tres escenarios, son: láser de onda continua, a 10 MHz, con modulador Mach-Zehnder y señal NRZ.



**Figura 1.** Arquitectura de la Red TDM/WDM PON y Primer escenario de simulación.

### A. Red TDM/WDM PON sin DWA.

Esta red se divide en dos partes: WDM y TDM como muestra la Figura 1. En la parte de WDM se tiene un arreglo de lasers de onda continua para la transmisión con un multiplexor, luego un canal de fibra óptica hasta un demultiplexor donde inicia la parte TDM que termina al llegar a las ONU. Se la simula con OptiSystem. Cada señal posee dos secuencias distintas de bit por frecuencia, como muestra la Tabla 1.

TABLA I.  
TABLA DE FRECUENCIAS Y POTENCIAS PARA EL ESCENARIO SIN DWA.

Frecuencia	Potencia dBm	Longitud de Onda nm	Nº de Secuencias de bits por frecuencia
193.1 THz	0	1552,52	2
193.2 THz	0	1551,72	2

### B. Red TDM/WDM PON con DWA.

La red comunica a la OLT con las ONU por medio de un router óptico programable, donde se simula con OptiSystem en co-simulación con Matlab, Figura 2. En el router óptico, componente de Matlab, se programa el algoritmo de asignación dinámica de longitud de onda (DWA).

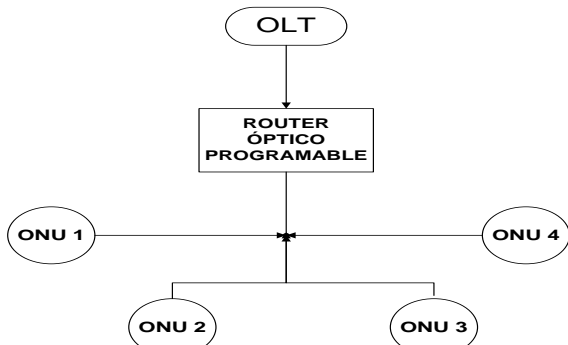


Figura 2. Configuración básica de la Red TDM/WDM PON.

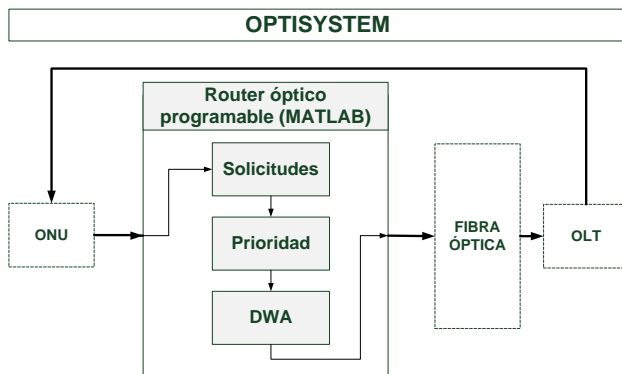


Figura 3. Diagrama de bloques de la arquitectura de una red PON con DWA en OptiSystem en co-simulación con Matlab.

### C. Asignación Dinámica de Longitud de Onda.

De los cuatro escenarios presentados en [8] se selecciona Pr-WR "The Priority Wavelength Release Scenario" (Escenario de Liberación de Longitud de Onda por Prioridad), en el cual se considera que la WDM/TDMA PON soporta K clases de servicios que se distinguen en dos grupos prioritarios: el grupo de alta prioridad y el grupo de baja prioridad.

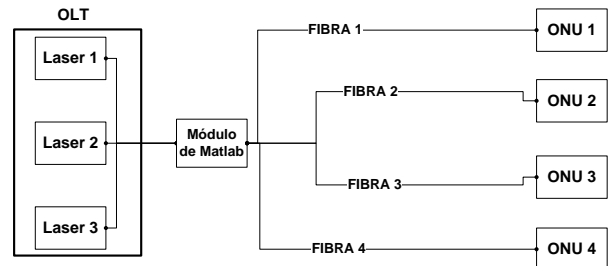


Figura 4. Representación del segundo escenario de simulación de una red TDM/WDM PON con DWA.

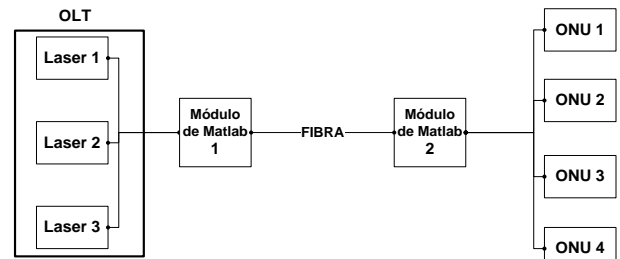


Figura 5. Representación del tercer escenario de simulación de una red TDM/WDM PON con DWA.

El algoritmo desarrollado para esta investigación se basa en una adaptación de Pr-WR, pero se diferencia en la ONU con y sin prioridad, a estas últimas no se les bloquea el servicio, sino que se les asigna una longitud de onda sin prioridad.

Como se menciona en [9] un algoritmo de asignación dinámica de longitud de onda permite establecer un camino de luz en una conexión netamente óptica entre un par de nodos, no precisamente adyacentes, de la red. La ventaja del empleo de caminos de luz es que la transmisión entre los nodos origen y destino no solicita ningún tipo de procesamiento electrónico ni almacenamiento en los nodos intermedios. Es posible que diversos caminos de luz utilicen el mismo canal, peculiaridad que se conoce como reutilización espacial de longitudes de onda. La asignación dinámica de longitud de onda (DWA) asigna una longitud de onda a una ONU basado en la prioridad, permitiendo así que cada unidad ONU pueda compartir los recursos de la red de una manera eficiente.

Para el análisis de DWA la Figura 3 muestra la arquitectura mediante bloques donde indica que bloques serán modelados en OptiSystem y cuales en Matlab. La Figura 4 representa una Red TDM/WDM PON la cual posee un solo módulo de Matlab, el cual multiplexa, asigna y demultiplexa las frecuencias hacia las ONU, por diferentes fibras. La Figura

5 representa una Red TDM/WDM PON la cual posee dos componentes de Matlab, el primero multiplexa las frecuencias de cada laser dentro de la OLT que estan configurados como muestra la Tabla 2, mientras que el segundo módulo demultiplexa las frecuencias, realiza la DWA y transmite usando solo una fibra. Los escenarios 2 y 3 usan el mismo algoritmo DWA.

TABLA II.

TABLA DE FRECUENCIAS CON Y SIN PRIORIDAD CON SUS RESPECTIVAS POTENCIAS PARA ESCENARIOS CON DWA.

Frecuencia	Potencia dBm	Longitud de Onda nm	Prioridad	Nº de Secuencias de bits por frecuencia
193.1THz	0	1552,52	SI	1
193.2THz	0	1551,72	SI	1
193.3THz	-10	1550,91	NO	2

### III. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS

#### A. Primer escenario de Red TDM/WDM PON sin asignación dinámica de longitud de onda.

En el escenario sin DWA se presentan cuatros ONU con dos frecuencias diferentes y cuatro secuencias (mensajes) distintas en una trama de 128 bits, dos secuencias por cada frecuencia. La secuencia de bits es fija y no pseudo-aleatoria. No usa ningún componente de Matlab y se verifica el TDM solo con el OptiSystem.

#### B. Segundo escenario de Red TDM/WDM PON con asignación dinámica de longitud de onda y múltiples fibras ópticas.

En el segundo escenario con DWA se muestran cuatros ONU con tres frecuencias diferentes y cuatro secuencias distintas, dos secuencias diferentes en la frecuencia de 193.3 THz sin prioridad, para verificar el TDM, como se indica en la Tabla 2.

Para este escenario se realizaron tres casos:

1. Todas las ONU poseen prioridad.
2. Ninguna ONU poseen prioridad.
3. Solo una ONU posee prioridad.

El resultado del DWA se verifica por el componente de Matlab y los instrumentos de OptiSystem.

#### C. Tercer escenario de Red TDM/WDM PON con asignación dinámica de longitud de onda con una sola fibra óptica.

El tercer escenario es similar al segundo escenario con la diferencia que utiliza una sola fibra óptica, pero con dos componentes de Matlab, para multiplexar y demultiplexar los mensajes transmitidos. Solo el componente de Matlab

muestra el funcionamiento del algoritmo DWA y los instrumentos de OptiSystem no muestran nada.

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer escenario, TDM/WDM, mostró su funcionamiento al simularlo con OptiSystem, por medio del analizador BER y el analizador de espectros, se verificó que las señales transmitidas corresponden a las recuperadas con un BER de cero, un factor Q de 112.378 y un threshold de  $8.0644e-5$ .

En el segundo escenario se asignan dinámicamente las longitudes de onda, destacando que el componente de Matlab reporta que en la asignación del DWA. en el caso 1, al tener todas las ONU prioridad, a las dos primeras que transmiten, las asigna una frecuencia con prioridad y a las otras ONU se asigna una frecuencia en común, sin prioridad. Esto permanece hasta que nuevamente se ejecute la simulación y cambien las prioridades de las ONU, para que cambien las asignaciones de las frecuencias a prioridad o postergación.

Con el componente de Matlab se emuló un router óptico donde se programó al algoritmo DWA para el segundo y tercer escenario.

En el caso 2, a todas las ONU se les asigna la misma frecuencia sin prioridad pero recibiendo cada ONU una secuencia distinta, Matlab muestra que todas están a la misma frecuencia y las identifica por sus diferentes secuencias que son ratificadas por los osciloscopios del simulador.

En el caso 3, cuando una sola ONU tiene prioridad se le asigna una frecuencia con preferencia y a las demás ONU se les asigna una frecuencia sin prioridad. Idénticamente, al caso anterior, se verifica la asignación de frecuencias con Matlab y OptiSystem.

En los tres casos el BER es cero, pero las ONU con prioridad muestran mejores características (factor de calidad de 397.578 y threshold de 0.00029) respecto a las ONU sin prioridad (factor de calidad de 50.115 y threshold de  $2.862e-5$ ).

En el tercer escenario la DWA usa el mismo algoritmo del segundo escenario, verificando que las asignaciones fueron correctas pero los resultados fueron reportados solo por el componente de Matlab y no se pudo determinar ni el BER, ni el factor Q, ni el threshold. Debido a que los valores en OptiSystem se expresaban como matrices compuestas por el tipo de señal, la frecuencia y otros parámetros, mientras que Matlab solo reportaba una matriz con el valor de la frecuencia, entonces los instrumentos de medición del simulador óptico no podían procesar los resultados del componente de Matlab.

La simulación exigía tener siempre una frecuencia que recibir, ya que ni matlab ni OptiSystem podían interpretar una ONU sin servicio, por lo que siempre se les asigno una frecuencia que de forma predeterminada era una sin prioridad.

Matlab asignaba las frecuencias al leer la trama de petición de servicio enviada por la ONU, donde si la cabecera y el trailer eran idénticos, entonces se reconocía como prioritaria y entonces se le asignaba una frecuencia preferencial.

En la simulación a las ONU con prioridad se asignan las frecuencias de 193.1 THz y 193.2 THz; a las ONU sin



prioridad se asignó una frecuencia de 193.3 THz y se multicanalizó con TDM para que cada ONU reciba una secuencia de bits diferente.

Una limitación del Optisystem fue que solo manda una trama de 128 bits con una cabecera y cola asignada cada vez que se corre la simulación para el segundo o tercer escenario.

Las mediciones de potencia en la simulación mostraron que una frecuencia con prioridad posee mejor potencia que una sin prioridad, ya que el espectro de frecuencia con prioridad tiene -2.35 dBm y la potencia del espectro con frecuencia sin prioridad fue de -14.33 dBm.

#### V. CONCLUSIONES

En el presente estudio se usa un algoritmo que permite la asignación dinámica de longitud de onda dependiendo de la prioridad del servicio donde se pudo analizar, simular y comparar una red TDM/WDM PON con y sin DWA.

En una red TDM/WDM PON con una asignación dinámica de longitud de onda se pudo tener dos clases de servicio, uno con prioridad y otro sin prioridad, dependiendo de las peticiones de las ONU al router óptico emulado con el componente de Matlab.

En el primer y segundo escenario el BER es nulo, mostrando la inexistencia de errores en las tramas.

En el escenario sin DWA no se pueden leer las tramas de prioridad mientras en la red con DWA se puede leer tramas y encabezados porque usa el componente de Matlab.

Se evidencia el DWA a través de la calidad de servicio, en donde en la red con DWA pudo tener dos clases de servicio, mientras que para la red sin DWA ninguna tiene prioridad.

#### REFERENCIAS

[1] M. Amoroso, H. Ávila, *Aplicación de las técnicas de agrupamiento para la distribución cuasi-óptima de una red híbrida WDM-TDM PON en cascada multinivel que*

*da soporte a una Smart grid o Smart city*, Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador, Cuenca, Febrero, 2015

- [2] M. Abreu, A. Castagna, P. Cristiani, P. Z. Zunino, E. Roldós y G. Sandler, «Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH),» Univesidad de Montevideo, p. 9, 2009.
- [3] J. PRAT, *Next-Generation FTTH Passive Optical Networks*, Springer. Barcelona, 1era Ed. 2008
- [4] R. POBORIL1, J. LATAL1, P. KOUDELKA1, J. VITASEK1, P. SISKA1, J. SKAPA1, V. VASINEK, *A Concept Of A Hybrid Wdm/Tdm Topology Using The Fabry-Perot Laser In The Optiwave Simulation Environment*, University of Ostrava, University of Ostrava, vol. 9, n° 4, p. Czech Republic December, 2011.
- [5] V. Jisha, N. Sunaina, *Performance Analysis of Hybrid WDM/TDM PON*. T K M Institute of Technology Kollam, India.
- [6] Guannan Zheng, Odile Liboiron-Ladouceur, David V. Plant, Jian Wu, and Jintong Lin, *A Novel Hybrid WDM/TDM GPON Topology with Central Bandwidth Allocation and QoS Support*, Beijing University of Post & Telecomm. China.
- [7] E. Yetginer, *Dynamic wavelength allocation in Ip/wdm metro access networks*, Bilkent University. Department of Electrical and Electronics Engineering, June, 2008.
- [8] J. S. Vardakas, I. D. Moscholios, M. D. Logothetis, V. G. Stylianakis, and F. Rock, *Evaluation of Dynamic Wavelength Allocation Scenarios in WDM-TDMA PONs Servicing ON-OFF Traffic of Finite Sources*, University of Peloponnese. Dept. of Telecommunications Science and Technology, 2011.
- [9] I. de Miguel, F. González, J.C. Aguado, P. Fernández, R. M. Lorenzo, J. Blas, E. J. Abril, M. López, *Un Algoritmo Iterativo para Encaminamiento y Asignación de Longitudes de Onda en Redes WDM Multifibra*, E.T.S.I. Telecomunicación. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática.