

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

**PROPUESTA DE UNA ARQUITECTURA DE RED WDM-PON
RECONFIGURABLE MEDIANTE EL USO DE REDES DE BRAGG**

**MAILOR ROJAS RAMOS
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**DIRECTOR
Andrés Felipe Betancur Pérez**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
MARZO, 2015**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

RESUMEN

En este proyecto de investigación se presenta una arquitectura de red **WDM-PON** (multiplexación por división de longitud de onda - Red óptica pasiva) que permitirá por medio de esta tecnología multiplexar varias señales sobre una sola fibra óptica de manera flexible, según las demandas subyacentes de información de los abonados de la red mediante la sintonización de las rejillas de Bragg mediante deformación y el uso de los amplificadores ópticos de semiconductor reflectivos.

En primer lugar se estudia el estado del arte en redes **WDM-PON**. Luego definimos en qué consiste el modelo WDM-PON. Para ello estudiamos sus principales características y las arquitecturas que podríamos emplear. Más tarde, mostramos un estudio detallado de la propuesta de simulación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer a mis amigos y en especial a mi familia por el apoyo que me brindaron durante toda mi carrera. Fueron muchos años que sin su soporte no hubiera podido realizar mi objetivo de convertirme en un ingeniero de telecomunicaciones.

Le estoy muy agradecido a mi tutor de proyecto, Andrés Felipe Betancur Pérez, por haberme dedicado parte de su preciado tiempo y haberme guiado a lo largo de esta investigación, ayudado del mismo y en la elaboración del informe. Sin lugar a duda su colaboración y consejos fueron cruciales y fundamentales para lograr los resultados obtenidos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

ACRÓNIMOS

WDM multiplexación por división de longitud de onda

PON Red óptica pasiva

LED diodo emisor de luz

OLT Terminal de Línea Óptico

ONUs Unidades de Red Óptica

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	2
Reconocimientos.....	3
Acrónimos.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos	
General	7
Específicos	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Redes WDM-PON	9
2.2. Tipos de redes WDM-PON.	10
2.3. Arquitectura de WDM-PON	11
3. METODOLOGÍA.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1. Multiplexor óptico reconfigurable	16
4.2. Rejilla de Bragg en fibra óptica (FBG)	16
4.3. Estructura interna del multiplexor óptico reconfigurable y arquitectura de red WDM-PON.....	18
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	20
REFERENCIAS.....	21

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo está enfocado en el problema del uso ineficiente del ancho de banda en las redes de acceso ópticas, ya que el tráfico de datos de los usuarios de la red es impredecible y en muchas veces la red no es usada debido a la ausencia de peticiones hechas por los abonados cada vez que visitan una página web. La reciente formulación de esquemas de asignación dinámica de longitudes de onda para redes ópticas pasivas (PON) multiplexadas por longitud de onda (WDM) plantea la necesidad de construir dispositivos ópticos que permitan a las unidades de red óptica (ONUs) compartir las portadoras ópticas cuando estas no estén siendo usadas.

En este trabajo se propone un multiplexor reconfigurable y una arquitectura de red WDM-PON dinámica de ancho de banda en una red PON híbrida con multiplexación tanto por división de tiempo como por división de longitud de onda (TDM/WDM).

OBJETIVOS

General

- Proponer una arquitectura de red WDM-PON que permita prescindir de fuentes ópticas en las ONU que habilite la capacidad de asignar dinámicamente longitudes de onda mediante la sintonización de rejillas de Bragg.

Específicos

- Definir una arquitectura adecuada para el multiplexor óptico reconfigurable mediante la revisión del estado del arte en bases de datos bibliográficas de alto nivel en investigación.
- Definir la estructura interna de un multiplexor óptico reconfigurable basado en rejillas de Bragg para redes WDM-PON.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

- Disminuir el costo de la red mediante la propuesta de una arquitectura de red WDM-PON que permita prescindir de fuentes ópticas en las ONUs.

2. MARCO TEÓRICO

Los proveedores de servicios de Internet (*ISP: Internet Service Provider*) son entes que deben estar al tanto de la demanda de información que posean sus abonados. Según (Wong, 2009), la demanda de video (videoconferencias, video bajo demanda por ejemplo) está creciendo de manera vertiginosa a nivel mundial, y se pronostica que seguirá incrementándose para el 2014 en 23 veces, además del tráfico global de cualquier naturaleza (páginas Web, archivos, email, etc). Como consecuencia de lo anterior, las redes PON hoy en día han sido la elección de las ISP para cubrir la demanda debido a que aumentan la velocidad de transmisión y reducen los costos operativos, ya que es una red con dispositivos ópticos pasivos que no necesitan mantenimiento recurrente (*a diferencia de los activos como: switches, hubs, modems, routers*).

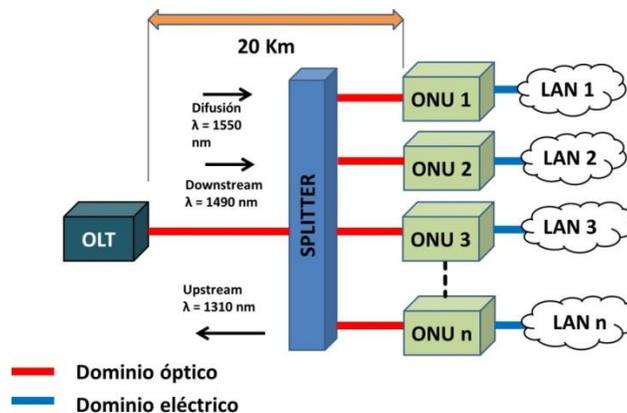


Fig 1. Arquitectura de una red TDM/PON

Las redes PON son redes de arquitectura punto-multipunto que conectan a los usuarios finales con la oficina central (ver figura 1), y están conformadas por varios elementos clave como: La fibra óptica mono-modo, las OLT (*Optical Line Terminal*) ubicados en la oficina central, las ONU (*Optical Network Unit*) ubicadas cerca a los usuarios, y los Splitters ubicados en las vecindades del usuario para distribuir la potencia entre todas las ONU. En estas redes, la fibra óptica es común en el tramo entre la OLT y el Splitter para todos los abonados, de modo que para evitar la interferencia entre las señales que transmite y recibe la ONU, se emplea una longitud de onda de 1310nm para la transmisión upstream y una longitud de onda de 1490nm para la transmisión downstream (*existe también*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

unalongitud de onda de 1550nm para difusión de televisión). En upstream, el acceso al medio es controlado por la OLT usando TDM (*Time Division Multiplexing*) y en downstream se transmiten todos los paquetes de información a todos los usuarios y solo aquel con el identificador especificado la procesa. Estas redes poseen una arquitectura que actualmente suplen las necesidades actuales con una técnica de control de acceso basada en TDMA (*Time Division Multiple Access*), sin embargo, gran parte del espectro no se usa y por ende, la fibra óptica es subutilizada. Por lo anterior, las redes WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing PON*) se plantean, no como una arquitectura distinta y de mejores prestaciones sino como una extensión de las actuales redes ópticas PON basadas en TDM. Las redes WDM-PON son redes que emplean la multiplexación por división de longitud de onda para distribuir en la red de acceso la información. Son una propuesta para aprovechar más el canal de comunicación y ofrece dos enfoques: Asignación estática y asignación dinámica de longitudes de onda (Iwatsuki, 2010)., donde la primera tiene la desventaja de desaprovechar el ancho de banda ya que asignar una longitud de onda dedicada por ONU implica que esta no se utilice cuando los usuarios no estén transmitiendo y/o recibiendo información, aunque la seguridad de la información es mayor debido a la ortogonalidad entre portadoras ópticas y permite enlaces de larga distancia por prescindir de splitters. La asignación dinámica de longitudes de onda aprovecha el espectro eficientemente ya que permite asignar portadoras ópticas a cada ONU cuando estén disponibles para aumentar la tasa de bits efectiva de los usuarios que acceden a la red y reutilizan el splitter como dispositivo de distribución pero está limitado a los 20Km empleados en las redes PON convencionales.

El escenario de investigación entonces, son las redes WDM-PON con estructura para asignación dinámica de longitud de onda. El informe entonces, plantea en primera instancia realizar un bosquejo del estado actual en redes WDM/PON. A continuación se propone una estructura para desarrollar un multiplexor óptico sintonizable que permita la asignación dinámica de longitudes de onda. Luego se expondrán los resultados obtenidos mediante simulación y experimentos de una red WDM-PON. Por último se concluye y se plantean los trabajos futuros.

2.1. Redes WDM-PON

En los próximos años se pronostica un incremento exponencial del tráfico y es por tal motivo que WDM/PON resulta atractivo como una tecnología a prueba de futuro (Das et al., 2005)-(An et al. 2003). La arquitectura de una red WDM/PON se ilustra en Fig. 1.

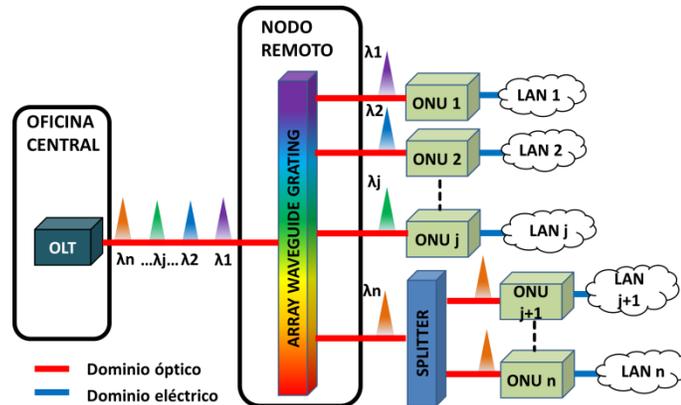


Fig 1. Arquitectura de una red WDM/PON

WDM/PON es una red que provee un acceso al medio a través de la multiplexación por división de longitud de onda. Como se puede apreciar en la Fig. 1, la OLT (*Optical Line Terminal*) provee un conjunto de longitudes de onda que viajan sobre la misma fibra hasta el multiplexor denominado AWG (*ArrayWaveguideGrating*) que se encarga de dividir la señal y enviar cada longitud de onda a su respectiva ONU (*Optical Network Unit*) destino. Una característica a tener en cuenta de WDM/PON es que se comporta como un conjunto de redes PON basado en TDM (*Multiplexación por División de Tiempo: Time Division Multiplexing*), ya que se puede conectar después del AWG un Splitter (*o Divisor de potencia*) para subdividir la longitud de onda entre otro subgrupo de usuarios mediante TDM

2.2. Tipos de redes WDM-PON

Las redes WDM-PON poseen dos enfoques como lo ilustra la Fig. 2 (Iwatsuki, 2010).

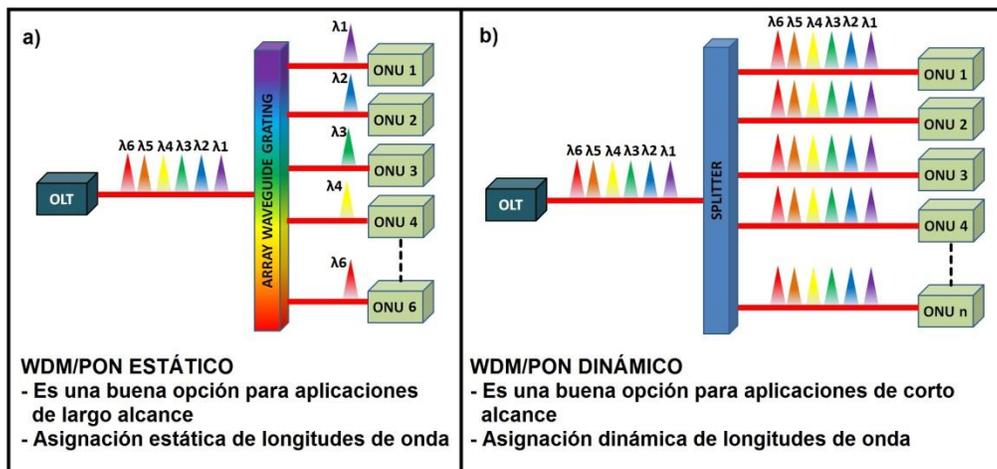


Fig 2. Enfoques de WDM/PON

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

En el enfoque descrito en la figura 2a se emplea un AWG que distribuye a las ONUs respectivas las longitudes de onda y este es un enfoque útil para topologías de largo alcance ya que las longitudes de onda no pasan a través de un splitter. Debido a que las redes WDM-PON estáticas se pueden describir como un conjunto de topologías virtuales de conexión punto a punto, estas proveen mayor seguridad, lo cual los hace soluciones adecuadas para compañías que gestionan información crítica. En el enfoque descrito en 2b se da uso del Splitter de potencia de las redes PON actuales ya que estos no dependen de la longitud de onda, permitiendo que todas las longitudes de onda lleguen a cada ONU, lo cual hace de este tipo de red WDM-PON una topología atractiva porque se puede adaptar fácilmente a la infraestructura actualmente desplegada y permite aprovechar de manera eficiente el ancho de banda de la fibra óptica (Iwatsuki, 2010).

Para habilitar la asignación dinámica de longitudes de onda es necesario tener presente dos elementos claves: Un enrutador de longitudes de onda reconfigurable y un protocolo en la capa de enlace que lo controle. En la literatura se han trabajado en varios protocolos para la asignación dinámica de longitudes de onda y ancho de banda en redes WDM/PON. Protocolos como el SIPACT (*Simultaneous Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time*) y WDM-IPACT (*WDM Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time*) han sido demostrados teóricamente y presentan un gran desempeño en cuanto a la latencia de la red (Clarke et al., 2006)- (Zhou et al., 2009). Aun así es necesario contar con un dispositivo que permite asignar físicamente las longitudes de onda a cada ONU.

2.3. Arquitecturas de WDM-PON

En (Hsueh et al., 2005). se propuso una arquitectura de red WDM-PON (ver figura 3) que permite la asignación dinámica de longitudes de onda (*DWA: Dynamic Wavelength Allocation*) utilizando un arreglo de multiplexores AWG y láseres sintonizables (*TL: Tunable Lasers*) en las instancias de la oficina central (*CO: Central Office*). Del lado del cliente se emplean receptores modo ráfaga y filtros WDM de banda ancha para separar el tráfico downstream del upstream. Dicha arquitectura es denominada SUCCESS-DWA PON y brinda la posibilidad de que cada OLT alcance a cualquier usuario en la red tan solo sintonizando los láseres pertinentes para llegar a la red PON respectiva del usuario. Esta arquitectura permite escalar la red a más usuarios mediante la inclusión de más TL y más AWG. Cada red PON puede ser desplegada físicamente mediante distintas topologías como bus, estrella, estrella multi-etapa, híbrida estrella-bus.

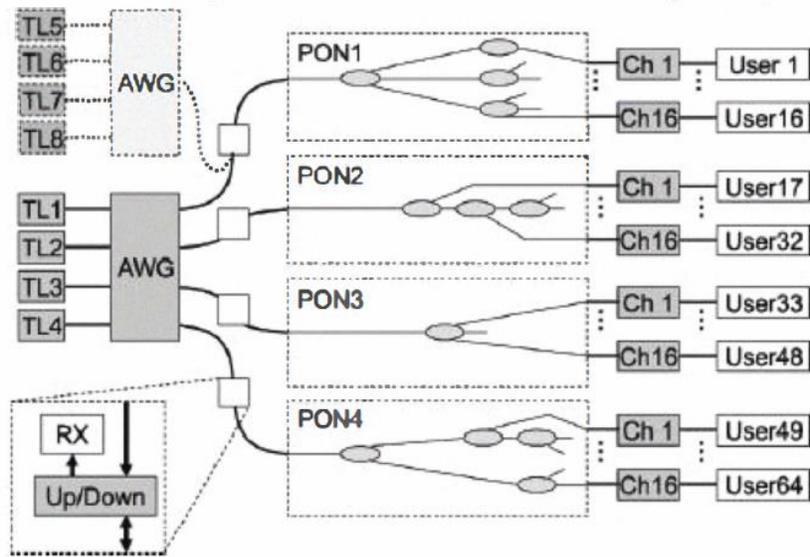


Fig 3.Arquitectura SUCCESS DWA PON (Hsuehet at., 2005).

Otro enfoque de red WDM PON es el descrito en(Shin, 2005). En esta arquitectura se emplea un generador de luz de banda ancha (BLS: Broad-Band Light Source) cuyo espectro es limitado mediante un filtro pasabanda para reducir el ruido ASE (*Amplified Spontaneous Emission*) generado por los amplificadores de fibra dopada con Erblio (EDFAs) empleados para amplificar la luz del BLS. El espectro del BLS es rebanado mediante un AWG cuya banda pasante es de 0.6nm y espaciamiento entre cada canal de 100GHz (ver figura 4). El propósito de generar múltiples portadoras a partir de una sola fuente es reducir los costos que implica utilizar varias fuentes en una red WDM. Por otro lado, esta es una arquitectura en la que se suministra de una portadora virgen a las ONU para que ellas las modulen con su información y luego la envíen en dirección upstream, enganchando diodos láser de FabryPerot con las portadoras generadas en la CO, y esto con el propósito de simplificar y centralizar la operación y el mantenimiento. Sin embargo en este esquema no se pueden usar mecanismos de DWA.

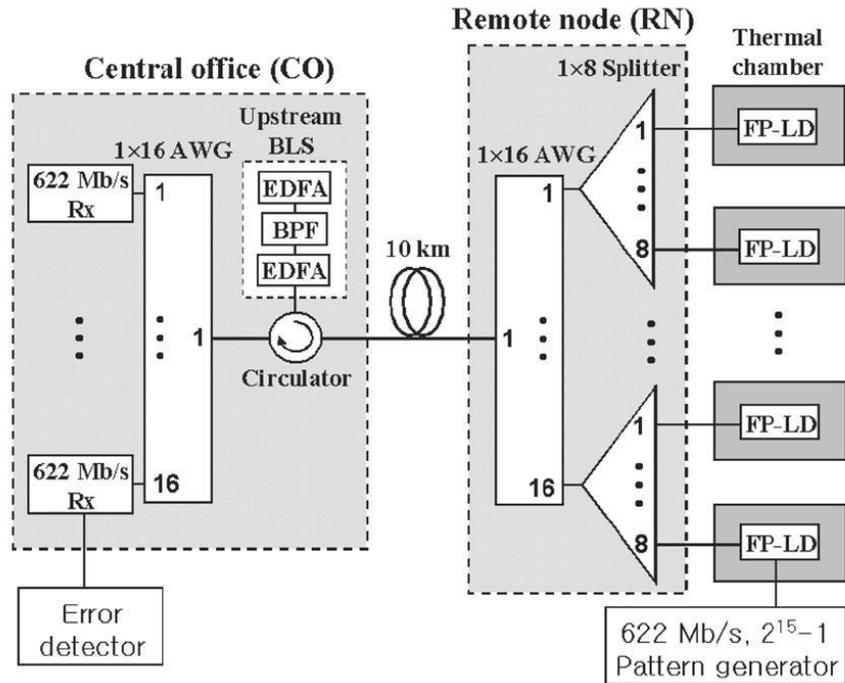


Fig 4. Arquitectura de red WDM-PON con inyección de portadoras ópticas para transmisión upstream (Shin, 2005).

En (Song et al., 2006).

se evaluó una arquitectura orientada a cumplir la calidad de servicio (QoS: Quality of Service) de los usuarios conectados a la red WDM-PON. A cada ONU se le asigna una longitud de onda dedicada y la red posee otro conjunto de longitudes de onda que pueden ser compartidas. Las longitudes de onda dedicadas están ubicadas en la banda C y las compartidas en la banda L de la fibra óptica. La OLT revisa si las colas están llenas y de ser así, programa algún flujo de datos en las colas empleadas para transmitir en las longitudes de onda compartidas. Para separar el tráfico entre las longitudes de onda compartidas y las dedicadas, se emplean filtros CWDM (Coarse WDM) y se emplean varias fuentes láser. Para programar las colas compartidas, existen 2 estrategias en donde una de ellas programa los flujos sin importar su naturaleza en las longitudes de onda compartidas disponibles. La otra estrategia clasifica los flujos por “alta prioridad” o por “mejor esfuerzo” (o tráfico de baja prioridad) para asegurar la calidad de servicio. En la figura 5 se ilustra la arquitectura de longitudes de onda compartidas para QoS.

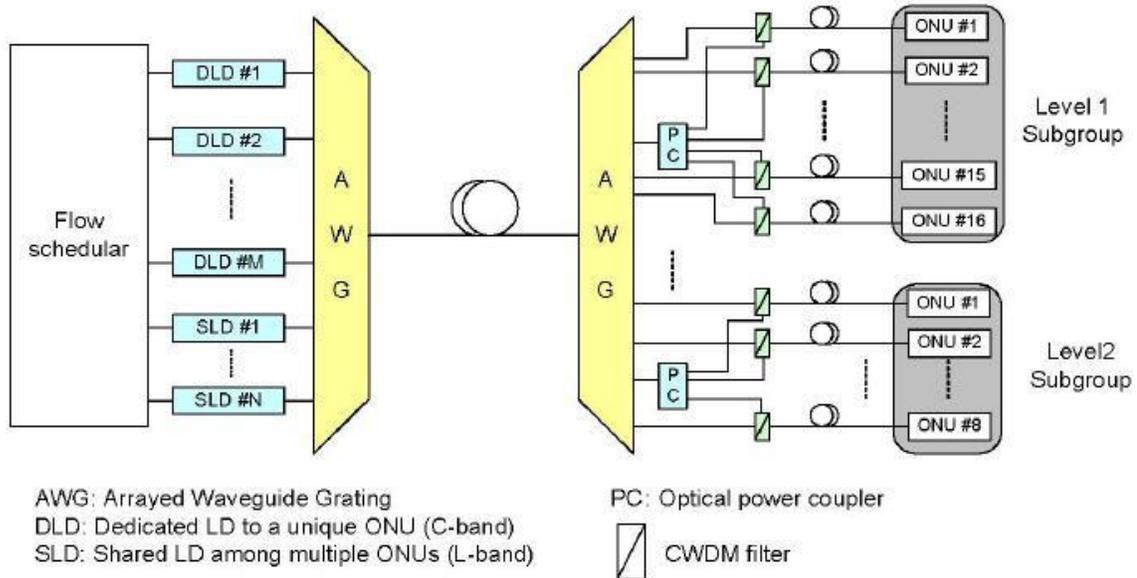


Fig 5. Arquitectura de longitudes de onda compartidas para QoS(Song et at., 2006).

El acercamiento que resulta más común en varias investigaciones es el de centralizar la generación de la luz y suministrarla a las ONU para que estas las modulen a su antojo. En una propuesta la OLT cuenta con fuentes ópticas de rápida sintonización y además brindan una fuente de luz láser de onda continua para que las ONU puedan modularlas y enviar su información en dirección upstream. Brindar una fuente de luz externa para las ONU permite ahorrar costos de implementación, ya que se centraliza en un solo dispositivo la fuente en vez de disponer en cada ONU, una fuente laser. Las arquitecturas que utilizan RSOA (*Reflective Semiconductor Optical Amplifier*) resultan muy atractivos debido a su reducido tamaño y a que permite las arquitecturas de fuentes ópticas centralizadas en la CO. Entre las arquitecturas con RSOA se pueden diferenciar dos métodos: Una es conocida como la técnica de remodulación que consiste en tomar la misma señal downstream y modularla con la información que va en dirección upstream(Cho et at., 2009). La otra técnica consiste en generar portadoras ópticas y enviarlas sin modularlas a la ONU para que con el RSOA se module con la información que va en dirección upstream(Talli et at., 2007). En la técnica de remodulación se debe tener en cuenta los efectos del Crosstalk ya que se emplea una misma longitud de onda en sentido opuesto para enviar la información de la ONU a la OLT. Este efecto puede reducirse programando el flujo de datos de downstream junto con el flujo upstream mediante TDM (*Time Division Multiplexing*) sin embargo esto impacta en la latencia de la red ya que se debe programar los datos en sentido downstream de cierto canal, de tal forma que no se interfiera con la información upstream en el mismo canal. En la técnica empleada en (Talli et at., 2007). el efecto de Crosstalk se reduce ya que la portadora óptica suministrada a la ONU no porta información. En la figura 6 se puede apreciar el esquema con inyección de portadora óptica. Otro trabajo realizado con RSOA sobre WDM-PON puede ser visto con mayor detalle

en [Brenot et al. 2007].

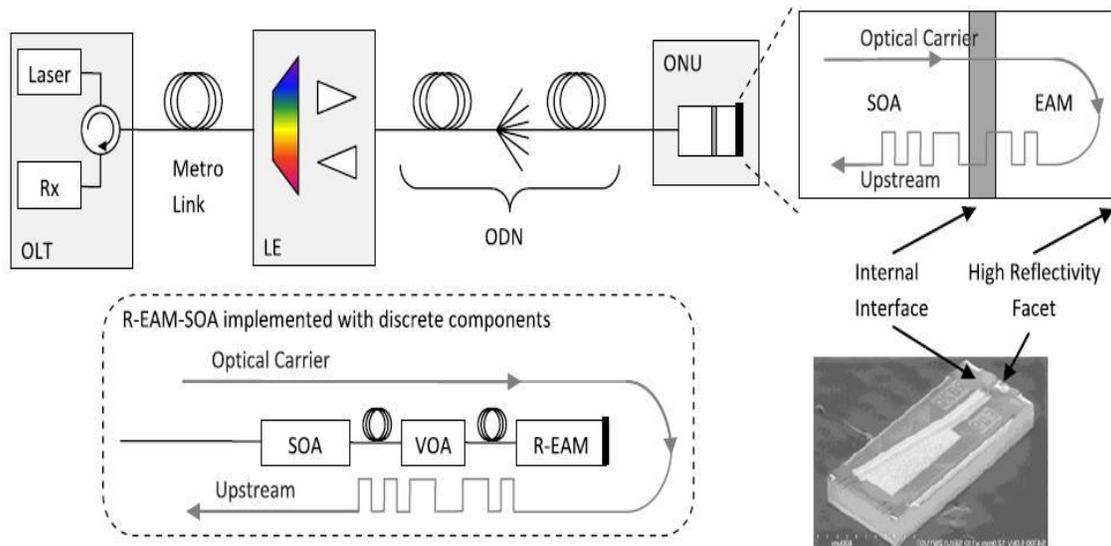


Fig6. Arquitectura WDM-PON basado en RSOA con inyección de portadora óptica (Talli et al., 2007).

La arquitectura de WDM-PON tomada en cuenta para realizar las pruebas del filtro óptico sintonizable propuesto en la investigación será la planteada en (Talli et al., 2007). Este esquema brinda simplicidad para asignar longitudes de onda para transmisión upstream, ya que las portadoras ópticas inyectadas no contienen información y suprime la necesidad de una fuente óptica en las ONU, lo que hace de este esquema rentable.

3. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizará el planteamiento del problema para realizar la formulación del proyecto. Después se llevará a cabo una indagación sobre el estado de las telecomunicaciones en el entorno global, buscando información sobre las redes de comunicaciones ópticas utilizando tecnología WDM-PON.

Se realizará una búsqueda exhaustiva en bases de datos bibliográficas como la IEEE Xplore, sobre redes WDM-PON que tengan la posibilidad de realizar asignación dinámica de longitudes de onda, clasificando aquellas que tengan un mejor desempeño y a

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

continuación se propondrá una arquitectura que permita atacar los inconvenientes que tengan las redes halladas en la literatura

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor limitación que tienen ahora las redes WDM-PON es el costo de los LASER en cada una de las ONU. Teniendo en cuenta esta limitación se observó en el estado del arte en redes WDM-PON que aquellas arquitecturas en donde se empleaban los amplificadores ópticos de semiconductor reflectivos eran las más indicadas para atacar esta limitación. A continuación se ilustra la propuesta.

4.1. Multiplexor óptico reconfigurable

Los multiplexores ópticos son dispositivos fundamentales para permitir el funcionamiento de los sistemas WDM. Estos dispositivos permiten inyectar en una fibra óptica las longitudes de onda que recibe en sus puertos de entrada, sin embargo, estos dispositivos al ser artefactos de precisión, no tienen la posibilidad de reconfigurarse de acuerdo a las condiciones de la red óptica de acceso. Para permitir que los multiplexores ópticos tengan la habilidad de reconfigurarse, en este proyecto se investigó las rejillas de Bragg en fibra óptica (*FBG: FiberBraggGrating*) que son variaciones periódicas del índice de refracción inducidas en una fibra óptica. Estas rejillas permiten reflejar ciertas longitudes de onda dependiendo de la periodicidad de la rejilla. Dicha periodicidad puede sintonizarse mediante calor y mediante este mecanismo, el proyecto de investigación se basó para habilitar multiplexores ópticos reconfigurables. A continuación estudiaremos las FBG y luego se presentará el diseño del multiplexor óptico reconfigurable.

4.2. Rejillas de Bragg en fibra óptica (FBG)

Son fibras ópticas con una variación periódica del índice de refracción a lo largo de un segmento del núcleo. Para crear este tipo de dispositivos se emplea una fibra óptica fotosensible a la luz ultravioleta y se hace incidir sobre él un patrón de interferencia con dicha luz para inducir permanentemente una variación periódica del índice

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

derefracción del núcleo en la misma dirección de propagación de la fibra (Pendock&Sampson, 1996). En la figura 7 se puede apreciar el interior de la FBG en donde λ_1 es reflejada debido a la variación de índices n_1 y n_2 . La longitud de onda λ_2 sigue su trayectoria como si la rejilla no existiera. Tomando como referencia la figura 7, para que una longitud de onda específica sea reflejada, debe cumplir con la condición $\lambda_1 = 2n_{\text{eff}}\Lambda$ en donde Λ es el periodo longitudinal de la rejilla y n_{eff} es el promedio ponderado entre n_1 y n_2 .

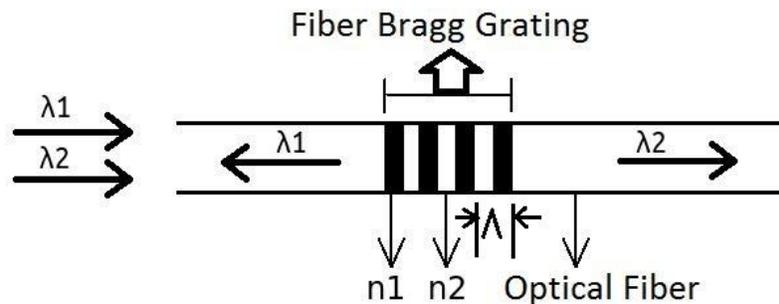


Fig7. Estructura interna de una rejilla de Bragg

La longitud de onda que la FBG refleja se denomina como longitud de onda de Bragg (λ_B) y esta puede cambiar si sobre la FBG se inducen ciertas modificaciones. En la ecuación 1 se puede apreciar la dependencia del cambio de la longitud de onda de Bragg ($\Delta\lambda_B$) ante cambios de temperatura y/o tensión, el primer término está relacionado con la tensión aplicada y p_e es el coeficiente tensión-óptica. El segundo término está relacionado con el cambio de la temperatura externa ΔT , α es el coeficiente de expansión térmica del silicio y ξ es el coeficiente termoóptico. A una λ_B de 1550 nm y sin perturbación mecánica se calcula un corrimiento espectral de ~ 1 nm por cada 100 °C, lo que muestra la posibilidad de sintonización espectral a partir de perturbaciones térmicas. Usando FBG se construyen filtros para diferentes aplicaciones en tecnología WDM, ecualizadores de ganancia, compensadores de dispersión, codificadores y decodificadores, además de sensores ópticos para aplicaciones específicas (Das et al., 2005).

$$\left[\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} \right] = (1 + p_e)\epsilon + (\alpha + \xi)\Delta T \quad (1)$$

4.3. Estructura interna del multiplexor óptico reconfigurable y arquitectura de red WDM-PON

La estructura interna del multiplexor óptico reconfigurable se ilustra en la figura 8.

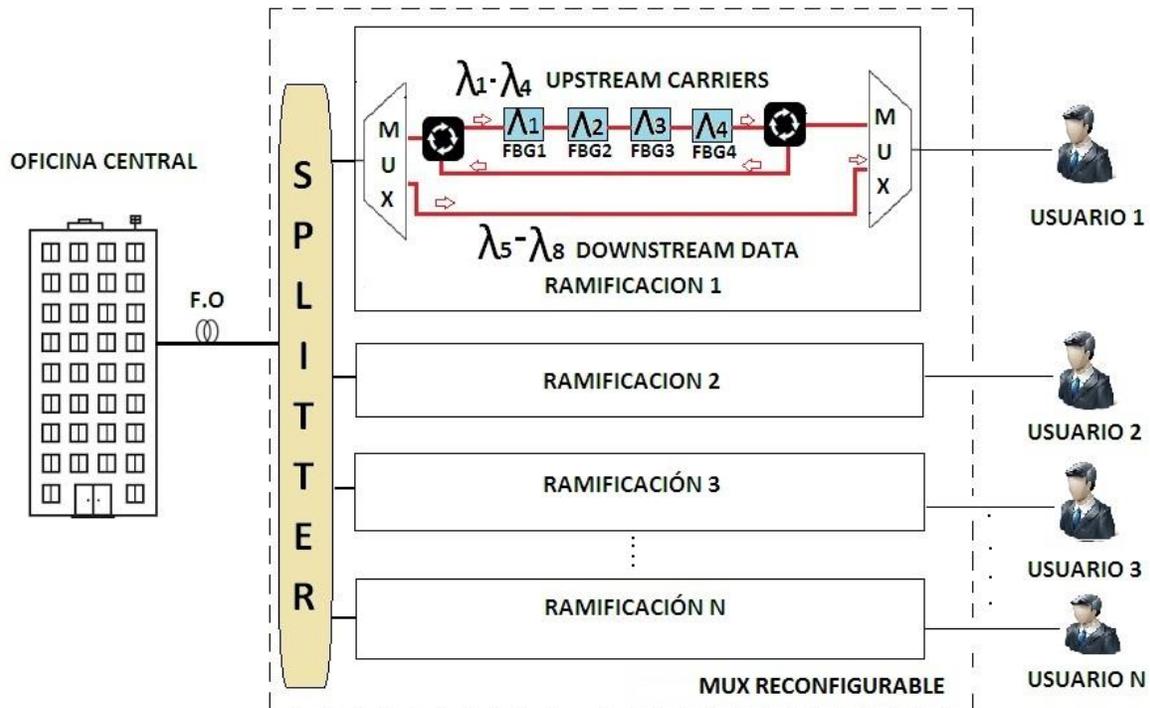


Fig8. Estructura interna del MUX Reconfigurable

Como se puede observar en la figura, los datos Downstream son demultiplexados de manera tal que no sean filtrados por su trayectoria. Las portadoras que serán empleadas en la ONU para que estas puedan transmitir, pasarán por una serie de rejillas de Bragg en cascada en donde cada una tendrá la capacidad de filtrar una longitud de onda específica. Estas rejillas serán sintonizadas mediante deformación mediante un piezoeléctrico. Una vez que las portadoras ópticas sean moduladas y enviadas hacia la OLT, estas tomarán un camino en donde no serán filtradas nuevamente y de este modo, el multiplexor óptico tendrá la capacidad de permitir el paso a voluntad de las portadoras ópticas para la

transmisión Upstream según la demanda actual del tráfico de datos. En la figura 9 se ilustra la arquitectura de la red WDM-PON empleando el multiplexor reconfigurable.

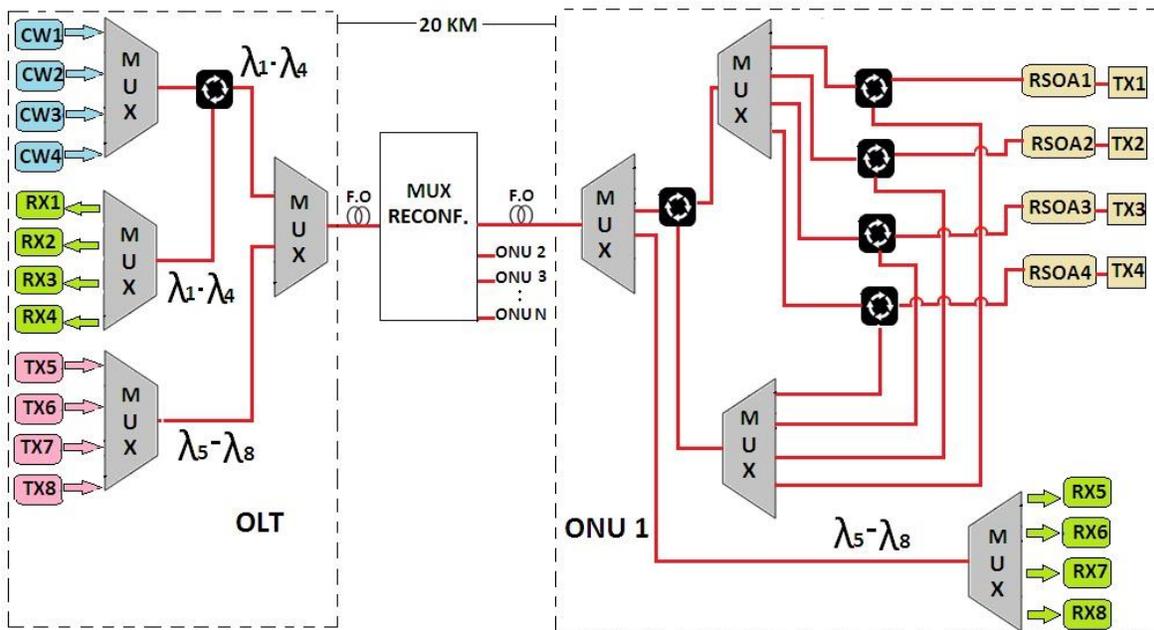


Fig9.Arquitectura de red WDM-PON propuesta

En esta arquitectura se aprovecha la capacidad de los amplificadores ópticos de semiconductor reflectivos (RSOA) para prescindir del uso de LASERs en las ONU y permitir la centralización de estas fuentes ópticas en las instalaciones del proveedor de servicios de telecomunicaciones.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Las arquitecturas de redes WDM-PON que emplean RSOA resultan prometedoras por permitir la centralización de las portadoras ópticas en las instalaciones de la oficina central del proveedor de servicios, aun así, el uso de un splitter de potencia en el multiplexor óptico reconfigurable sugiere que el tema de la potencia de las canales que van en dirección upstream sean evaluados ya que estos deben recorrer dos veces el enlace, lo que en consecuencia lleva a evaluar el desempeño del RSOA como amplificador para que el enlace de cada abonado de la red tenga alta confiabilidad.

Este trabajo abre las puertas a varios temas de investigación. Entre los temas a investigar esta el de estudiar el desempeño de la red propuesta con dos señales ubicadas en la misma longitud de onda pero propagándose en sentido opuesto lo que lleva a sugerir que es posible que la diferencia de potencia entre lo que es un 1 y un 0 se reduzca notablemente, sin embargo, simulaciones y experimentaciones posteriores darán respuesta a tal inquietud. Otro tema a analizar es el de emplear una sola fuente óptica para generar todas las portadoras ópticas requeridas por la red WDM-PON. Esto podría lograrse mediante esquemas de generación de Combs ópticos y este sería un posible trabajo a futuro.

REFERENCIAS

An et al. (2003). *Evolution, challenges and enabling technologies for future WDM-based optical access networks*. Cary, North Carolina. pp. 26–30 (An, et al., 2003).

Brenot, R., Provost, J., Legouezigou, O., Landreau, J., Pommereau, F., Poingt, F., Legouezigou, L., Derouin, E., Drisse, O., Rousseau, B., Martin, F., Lelarge, F., & Duan, G. (2007). *High modulation bandwidth reflective SOA for optical access networks*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

Cho, K., Lee, Y., Choi, H., Murakami, A., Agata, A., Takushima, Y., & Chung, Y. (2009). *Effects of Reflection in RSOA-Based WDM PON Utilizing Remodulation Technique*. vol. 27, no. 10, pp. 1286-1295.

Clarke, F., Sarkar, S., & Mukherjee, B. (2006). *Simultaneous and Interleaved Polling: An Upstream Protocol for WDM-PON*. Proc. IEEE OFC

Das, G., Lannoo, B., Jung, H., Koonen, T., Colle, D., Pickavet, M., & Demeester, P. (2009). "A New Architecture and MAC Protocol for Fully Flexible Hybrid WDM/TDM PON."

Hsueh, Y., Rogge, M., Yamamoto, S., & Kazovsky, L. (2005). *A Highly Flexible and Efficient Passive Optical Network Employing Dynamic Wavelength Allocation*. vol. 23.

Iwatsuki, K. (2010). *Application and technical issues of WDM-PON*. vol. 7620, p. 76200C.

Kwong, K., Harle, D., & Andonovic, I. (2004). *Dynamic bandwidth allocation algorithm for Differentiated services over WDM EPONS*. Proc. IEEE ICCS

Li, W., & Yao, J. (2009). *Optical frequency comb generation based on repeated frequency shifting using two Mach-Zehnder modulators and an asymmetric Mach-Zehnder interferometer*. Opt. Express, vol. 17, no. 26, pp. 23712–23718)

Pendock, G., & Sampson, D. (1996). *Transmission performance of high bit rate spectrum-sliced WDM systems*. Journal of Lightwave Technology, vol. 14, no. 10, pp. 2141–2148

Shin et al, D. (2005). *Hybrid WDM/TDM-PON with Wavelength-Selection-Free Transmitters*. vol. 23, no. 1

Song, H., Mukherjee, B., Park, Y., & Yang, S. (2006). *Shared-Wavelength WDM-PON Access Network for Supporting Downstream Traffic with QoS*

Talli, G., Naughton, A., Porto, S., Antony, C., Ossieur, P., & Townsend, P. (2014). *Advantageous Effects of Gain Saturation in Semiconductor Optical Amplifier-Based Integrated Reflective Modulators*. vol. 32, no. 3, pp. 392-401

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

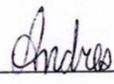
Wong, E. (2011). *Current and next-generation broadband access technologies*. Los Angeles

Zhou, L., Cheng, X., Yeo, Y., & Ngoh, L. (2010). *Hybrid WDM-TDM PON Architectures and DWBA Algorithms*. CHINACOM, 5th International ICST 2010

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

FIRMA ESTUDIANTES 

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: 02- MARZO- 2015 _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO__ ACEPTADO__ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

 Institución Universitaria	GUIA No. 1 FUNCIONES O COMPETENCIAS DE DESEMPEÑO	Código	FDE 074
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

PRÁCTICA PROFESIONAL
Evaluación diligenciada por la empresa

MODALIDAD:

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio

Contrato de Aprendizaje Práctica Social

Nombres y apellidos: MAIOR ROJAS RAMOS

Cédula: 1003.931.351 Carné: 11121033

Teléfonos: 311 249 4240 218 0298

Programa: INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

Inicio del contrato: 15-08-2014 Terminación de contrato: _____

Empresa: ITM Sector Productivo: INVESTIGACIÓN

Dirección: LABORATORIO DE ÓPTICA (ITM) Teléfono: 301 732 3460

Coordinador en la empresa: ANDRÉS F. BELTRÁN P. Cargo: _____

E - Mail: ANDRESFBP@gmail.com Fecha: 29-08-2014

Total horas semanales en la empresa: 12

Diligencie el siguiente campo con una de las dos opciones:

A. Información del tecnólogo:
Funciones y/o actividades asignadas por la empresa: al estudiante

B. Información del Ingeniero:
Resumen ejecutivo: (Es un breve análisis de los aspectos más importantes del proyecto, describe el producto o servicio y sus beneficiarios, el contexto, los resultados esperados, las necesidades de financiamiento y las conclusiones generales.)

A. Simulación de multiplexor óptico Reconfigurable
Redacción de artículo.

B. el Mux óptico reconfigurable dará pie a redes de acceso flexibles. En la investigación se pretende medir su desempeño en una red de acces WDM-PON con 4 longitudes de onda. Una vez los resultados estén listos se procederá a publicar los resultados en una revista indexada. Se usará el software licenciado VP

Nota: Entregar a los 8 días

Firmas:

Andrés
Coordinador en la empresa

[Firma]
Estudiante

J. J. Sánchez P.
Prácticas profesionales ITM

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

 <small>Institución Universitaria</small>	GUIA No.2 SEGUIMIENTO A LOS ESTUDIANTES DE LA PRACTICA PROFESIONAL	Código	FDE 075
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Evaluación diligenciada por la empresa

MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL:

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio Contrato de Aprendizaje
 Práctica Social

Nombres y apellidos: MAILOR ROJAS RAMOS

Programa: INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

Empresa: LAB. DE ÓPTICA Fecha: 16-09-2014

Para el ITM es de gran importancia el proceso de formación integral, igualmente la valoración que ustedes como empresa realicen sobre el desempeño de los estudiantes que participan en la dinámica empresarial.

Valore con las siguientes categorías los factores enunciados:

E = EXCELENTE, B = BUENO, A = ACEPTABLE, D = DEFICIENTE, NE = NO EVALUABLE

FACTORES A EVALUAR					
Saber Ser					
	E	B	A	D	NE
Pensamiento crítico		X			
Interés, motivación y compromiso con la práctica		X			
Proactividad y creatividad en su puesto de trabajo			X		
Comunicación asertiva		X			
Puntualidad y cumplimiento		X			
Presentación personal		X			
Adaptabilidad al puesto de trabajo		X			
Respeto por los demás	X				
Saber Disciplinar					
Conocimientos básicos del programa a aplicar			X		
Autonomía		X			
Deseo y capacidad de actualizar sus conocimientos	X				
Capacidad de investigación y aplicación al puesto de trabajo		X			
Manejo de los aplicativos internos de su puesto de trabajo		X			
Diseña estrategias para el mejoramiento de los procesos			X		
Conoce y comprende la normatividad de los procesos empresariales		X			
Saber hacer					
Habilidad y flexibilidad para aceptar los cambios internos de la Organización					X
Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones		X			
Recursividad		X			
Calidad del trabajo realizado		X			
Capacidad de trabajo en equipo		X			
Responsabilidad en las tareas encomendadas		X			

Andrés
Coordinador en la empresa

LUBEL BAZTEZ
Prácticas Profesionales ITM

Entregar al mes

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

 Institución Universitaria	GUIA No.3 EVALUACIÓN DEL ESTUDIANTE EN SU PRACTICA PROFESIONAL	Código	FDE 076
		Versión	02
		Fecha	2012-07-25

Evaluación diligenciada por el Estudiante

MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio Contrato de Aprendizaje
Práctica Social

Nombres y apellidos: MAILOR ROJAS RAMOS
 Teléfonos: 3112494240 2180298
 Programa: INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
 Nombre de la empresa: Practica Laboratorio DE ÓPTICA ITM
 Dirección: _____ Teléfono: _____

Para fortalecer el proceso de aprendizaje interinstitucional (EMPRESA – ITM), le solicitamos a usted como estudiante su aporte sobre los siguientes aspectos:

E = EXCELENTE, B = BUENO, A = ACEPTABLE, D = DEFICIENTE

Como contribuye la práctica profesional a la construcción de su proyecto de vida para:

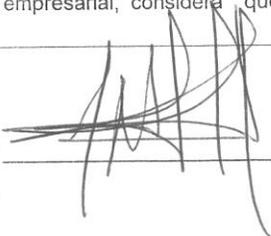
ÍTEMS	E	B	A	D
Su desarrollo como persona	X			
Su proyección a futuro	X			
Fortalece sus relaciones interpersonales	X			

Como contribuye la práctica en su formación profesional en cuanto a:

ÍTEMS	E	B	A	D
Fortalece el desarrollo de sus competencias y el objeto de su formación profesional	X			
Aplica sus conocimiento profesionales durante la realización de la práctica	X			
Las prácticas profesionales fortalecen las actitudes y aptitudes personales para actuar en el entorno laboral	X			
Al finalizar su experiencia empresarial, considera que cumplió los objetivos	X			

FIRMA DEL ESTUDIANTE _____

Fecha _____



Esperanza

Entregar a los 3 meses

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

 <small>Institución Universitaria</small>	Guía No. 4 EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	Código	FDE 077
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Evaluación diligenciada por la empresa

MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio Contrato de Aprendizaje
 Práctica Social

Nombres y apellidos: MAILOR ROJAS RAMOS
 Programa: INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
 Empresa: Faceta Laboratorio de Optica Fecha: _____

Solicitamos a usted evaluar en forma objetiva las funciones y actividades del practicante para determinar su avance en la Empresa

E: Excelente Calificación 5.0	B: Bueno Calificación de 4.0 a 4.9	A: Aceptable Calificación de 3.0 a 3.9	D: Deficiente Calificación de 1.0 a 2.9	NE: No Evaluable
---	--	--	---	-------------------------

Seleccionar con una X

FACTORES A EVALUAR					
Saber Ser					
	E	B	A	D	NE
Pensamiento crítico	X				
Interés, motivación y compromiso con la práctica	X				
Proactividad y creatividad en su puesto de trabajo		X			
Comunicación asertiva	X				
Puntualidad y cumplimiento	X				
Presentación personal		X			
Adaptabilidad al puesto de trabajo		X			
Respeto por los demás	X				
Saber Disciplinar					
Conocimientos básicos del programa a aplicar		X			
Deseo y capacidad de actualizar sus conocimientos	X				
Autonomía		X			
Capacidad de investigación y aplicación al puesto de trabajo	X				
Manejo de los aplicativos internos de su puesto de trabajo	X				
Diseña estrategias para el mejoramiento de los procesos		X			
Conoce y comprende la normatividad de los procesos empresariales	X				
Saber hacer					
Habilidad y flexibilidad para aceptar los cambios internos de la Organización		X			
Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones	X				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

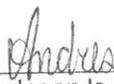
 <small>Institución Universitaria</small>	Guía No. 4 EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	Código	FDE 077
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

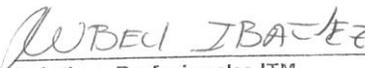
Recursividad	X				
Calidad del trabajo realizado	X				
Capacidad de trabajo en equipo	X				
Responsabilidad en las tareas encomendadas		X			

EVALUACION FINAL: Evalúe de (1 a 5), el desarrollo final de experiencia realizada por el aprendiz durante el período laborado en la empresa. (Véase escala de valoración definida en la parte superior)

CALIFICACIÓN	
NÚMERO	LETRAS
4	cuatro

Observaciones y Sugerencias para complementar la formación del programa académico al cual pertenece el estudiante


 Coordinador en la empresa


 Prácticas Profesionales ITM

Nota:

Esta evaluación debe ser entregada a la Oficina de Prácticas un mes antes de finalizar la experiencia en la empresa.	Solicite en la empresa una carta con la constancia de la realización de Prácticas indicando fecha de iniciación y finalización.
--	---

*El ITM agradece a la empresa la acogida que les brindaron a nuestros estudiantes en el proceso de formación integral.
 Además ustedes contribuyeron en la proyección de nuestros jóvenes para actuar con autonomía académica y reconocer la trascendencia de la vida y el trabajo.*