

**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 LOS EFECTOS NO LINEALES
CAUSADOS POR EL FENÓMENO DE DISPERSIÓN INELÁSTICO EN LA
CAPA FÍSICA EN UNA RED PON DE NUEVA GENERACIÓN**

**AUTOR:
JULIO ANDRÉS LAYEDRA ALBÁN**

**DIRECTOR:
LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

Quito, octubre del 2014

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, octubre de 2014

Julio Andrés Layedra Albán
CC: 1718719311

DEDICATORIA

En primera instancia quiero expresar mi fraterno agradecimiento a mis padres; Julio y Concepción, por brindarme todo el apoyo y respaldo durante toda mi carrera universitaria siendo el mejor ejemplo de perseverancia y dedicación que sin ello nada hubiese sido posible; a mis adorados hermanos Daniel y Michelle por respaldarme en todo momento así como también a mi abuelito papá Albinito, a mi querida tía Poly y mi tío Vicente, a mis primas Anita y Gaby, así como también mi novia María Elisa un agradecimiento especial porque siempre estuvieron a mi lado dándome ánimo para seguir adelante y por último pero lo dedico al nuevo miembro de mi familia mi hermoso y querido sobrino Julián.

Julio Andrés Layedra Albán

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana y al Director de Carrera Msc. Germán Arévalo por apoyar este trabajo de investigación.

A mi tutor el Ing. Luis Germán Oñate, por compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

Julio Andrés Layedra Albán

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Problema a resolver.....	3
1.2 Antecedentes	3
1.3 Pregunta	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.	5
1.5 Justificación.....	5
1.6 Alcances	6
1.7 Metodología de la investigación	6
1.7.1 Investigación bibliográfica y análisis del estado del arte.....	7
1.7.2 Desarrollo de la simulación.....	7
1.7.3 Documentación.	7
CAPÍTULO 2.....	8
ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1 Red NGN.....	8
2.2 FTTH.....	8
2.3 Red PON	9
2.4 Red TDM-WDM.....	10
2.4.1 TDM-PON.	10
2.4.2 WDM-PON.	11
2.5 Efectos no lineales.....	13
2.5.1 Dispersión estimulada de Brillouin.....	13
2.5.2 Dispersión estimulada de Raman.	16
CAPÍTULO 3.....	19
SIMULACIÓN DE LA RED WDM/TDM-PON	19
3.1 Introducción a la herramienta OPTSIM.....	19
3.2 Simulación de la red TDM-WDM-PON sin efectos de dispersión.....	20
3.2.1 Bloque Transmisor	20
3.2.2 Enlace de fibra.....	24
3.2.3 Bloque receptor	25

CAPÍTULO 4	28
PRUEBAS, RESULTADOS Y CALCULOS DE POTENCIA.....	28
4.1 Pruebas de la red TDM-WDM-PON sin efectos de dispersión	28
4.1.1 Resultados de la red TDM-WDM-PON sin efectos de dispersión.	36
4.2 Pruebas de la red TDM-WDM-PON con efectos de dispersión	41
4.2.1 Efecto Raman.....	41
4.2.2 Efecto Brillouin.....	47
4.3 Cálculos de potencia en la red WDM/TDM-PON	53
4.4 Cálculos de potencia en la red WDM/TDM-PON efecto Raman	55
4.5 Cálculos de potencia en la red WDM/TDM-PON efecto Brillouin.....	56
CAPÍTULO 5	57
ANÁLISIS DE COSTOS	57
5.1 Costos de equipos.....	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
LISTA DE REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Arquitectura de una red PON.....	9
<i>Figura 2.</i> Arquitectura de una red TDM- PON.....	11
<i>Figura 3.</i> Arquitectura básica de WDM-PON	12
<i>Figura 4.</i> Dispersión estimulada de raman	17
<i>Figura 5.</i> Diagrama de la red TDM-WDM-PON	20
<i>Figura 6.</i> Transmisor	21
<i>Figura 7.</i> Transmisores bloque TDM_1	22
<i>Figura 8.</i> Red WDM/TDM-PON.....	24
<i>Figura 9.</i> Enlace de fibra.	25
<i>Figura 10.</i> Bloque de receptores TDM	25
<i>Figura 11.</i> Grupo de receptores TDM	26
<i>Figura 12.</i> Receptor	27
<i>Figura 13.</i> Espectro de frecuencia a 192.7 THz.	28
<i>Figura 14.</i> Espectro de frecuencia	29
<i>Figura 15.</i> Espectro de frecuencia de la TDM-WDM en el awg-mux 2.	30
<i>Figura 16.</i> Espectro de frecuencia a la salida de la fibra compensadora.....	30
<i>Figura 17.</i> Espectro de frecuencia a la salida del filtro óptico.	31
<i>Figura 18.</i> Potencia de la señal recibida a la salida del filtro óptico.	32
<i>Figura 19.</i> Datos recibidos.....	32
<i>Figura 20.</i> Diagrama de ojo en el receptor	33
<i>Figura 21.</i> Dato filtrado	34
<i>Figura 22.</i> Diagrama de ojo del dato filtrado	35
<i>Figura 23.</i> Gráfica distancia vs BER con velocidad de transmisión de 10 Gbps	36
<i>Figura 24.</i> Gráfica distancia vs BER con una velocidad de transmisión de 20 Gbps	37
<i>Figura 25.</i> Gráfica velocidad de transmisión vs BER a 20Km.....	38
<i>Figura 26.</i> Gráfica distancia vs BER a 20Km a 30 Gbps	38
<i>Figura 27.</i> Gráfica de distancia vs potencia de salida a 10 Gbps	39
<i>Figura 28.</i> Gráfica velocidad de transmisión vs potencia de salida a 20 Km.....	39
<i>Figura 29.</i> Gráfica velocidad de transmisión vs potencia de salida a 30 Km.....	40
<i>Figura 30.</i> Grupo de frecuencias a la salida de la fibra compensadora	41
<i>Figura 31.</i> Gráfica de potencia vs BER efecto Raman.....	42
<i>Figura 32.</i> Gráfica de distancia vs BER efecto Raman a 60mW a 10 Gbps	43
<i>Figura 33.</i> Gráfica de velocidad de transmisión vs BER efecto Raman a 60mW	43
<i>Figura 34.</i> Gráfica de distancia vs BER efecto Raman a 60mW a 20Gbps	44
<i>Figura 35.</i> Gráfica de distancia vs BER efecto Raman a 60mW a 30 Gbps	45
<i>Figura 36.</i> Gráfica de distancia vs potencia de salida a10 Gbps	45
<i>Figura 37.</i> Gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida.....	46
<i>Figura 38.</i> Gráfica de distancia vs potencia de salida a 20 Gbps	46
<i>Figura 39.</i> Grupo de frecuencias a la salida de la fibra compensadora	47
<i>Figura 40.</i> Gráfica de potencia vs BER efecto Brillouin.....	48

<i>Figura 41.</i>	Gráfica de distancia vs BER efecto Brillouin a 30mW a 10 Gbps	49
<i>Figura 42.</i>	Gráfica de velocidad de transmisión vs BER efecto Brillouin a 30mW.	49
<i>Figura 43.</i>	Gráfica de distancia vs BER efecto Brillouin a 30mW a 20Gbps	50
<i>Figura 44.</i>	Gráfica de distancia vs BER efecto Brillouin a 30mW a 30 Gbps	51
<i>Figura 45.</i>	Gráfica de distancia vs potencia de salida efecto Brillouin	51
<i>Figura 46.</i>	Gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida efecto Brillouin	52
<i>Figura 47.</i>	Gráfica de distancia vs potencia de salida efecto Brillouin	52
<i>Figura 48.</i>	Diagrama enlace óptico.....	53
<i>Figura 49.</i>	Medidor de potencia a la salida del filtro óptico.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Frecuencias de transmisión para cada grupo.....	23
Tabla 2. Potencia de cada elemento del enlace óptico.....	53
Tabla 3. Potencia de cada elemento del enlace óptico.....	55
Tabla 4. Potencia de cada elemento del enlace óptico.....	56
Tabla 5. Costos de equipos	57
Tabla 6. Costos de instalación.....	57
Tabla 7. Costo total del proyecto	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de Brillouin.....	13
Ecuación 2. Ecuación de Brillouin.....	14
Ecuación 3. Fórmula de la ganancia Brillouin.....	14
Ecuación 4. Potencia en el láser de onda continua.....	14
Ecuación 5. Potencia SBS con modulación NRZ.....	15
Ecuación 6. Fórmula de longitud efectiva en la fibra óptica.....	15
Ecuación 7. Fórmula del área efectiva en la fibra.....	16
Ecuación 8. Potencia de umbral SRS.....	17
Ecuación 9. Fórmula de la ganancia raman.....	17
Ecuación 10. Cálculos pérdidas de potencia.....	53
Ecuación 11. Cálculos pérdidas de potencia en db.....	54
Ecuación 12. Cálculos pérdidas de potencia.....	55
Ecuación 13. Cálculos pérdidas de potencia en db.....	55
Ecuación 14. Cálculos pérdidas de potencia.....	56
Ecuación 15. Cálculos pérdidas de potencia en db.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.OLT	64
Anexo 2.ONU HG8010.....	65
Anexo 3.Amplificador.....	66
Anexo 4.Filtro óptico	67
Anexo 5.AWG Mux/Demux Module.....	68
Anexo 6.Cable de fibra monomodo	70

RESUMEN

Los usuarios debido al apareamiento de servicios como: voz, datos, video en alta definición, televisión ip, comunicaciones móviles advance (avanzadas), juegos online necesitan utilizar medios de alta velocidad de transmisión necesarios para satisfacer estos requerimientos. PON (Red óptica pasiva) es una prometedora arquitectura de red de acceso óptico en términos de costo-efectividad debido a la ausencia de componentes activos entre la red de distribución. TDM (Multiplexación por división de tiempo) es una técnica donde se llega a un mayor número de usuarios, sin embargo, su ancho de banda es limitado, WDM es una técnica que ofrece un mayor ancho de banda pero sus costos son elevados. WDM/TDM-PON es una técnica híbrida en donde se puede llegar a un mayor número de usuarios con un mayor ancho de banda siendo esta la antesala hasta poder migrar hacia la red WDM-PON. Se simuló una red WDM/TDM-PON sin efectos no lineales de dispersión inelástico como son: SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman). Se realizaron pruebas en la red a diferentes distancias, velocidades y potencias.

Al simular los efectos no lineales en la red WDM/TDM-PON el efecto Raman causa problemas al superar una potencia de 60 mW a una distancia de 30Km y una velocidad de transmisión de 10 Gbps, se obtuvo tasa de bit errado de 3.11×10^{-9} , El efecto Brillouin causa problemas al superar una potencia de 30 mW a una distancia de 20 Km y velocidad de transmisión de 10 Gbps, se obtuvo una tasa de bit errado de 7.48×10^{-12} .

ABSTRACT

Users due to the emergence of services such as voice, data, high definition video, IP TV mobile communications advance, online games need to use high-speed equipment to satisfy these requirements. PON (Passive Optical Network) is a promising network architecture for optical access in terms of cost-effectiveness due to the absence of active components from the distribution network. TDM (Time Division Multiplexing) is a technique where you reach a greater number of users but its bandwidth is limited, WDM is a technique that offers higher bandwidth but costs are high. WDM / TDM-PON is a hybrid technique where you can reach a larger number of users with higher bandwidth up being the prelude to migrate to the WDM-PON. A WDM / TDM-PON without non-linear inelastic scattering effects such as SBS (Stimulated Brillouin Scattering) and SRS (Stimulated Raman Scattering) were simulated. Network tests at different distances, speeds and powers were made.

By simulating the nonlinear effects in WDM / TDM network-PON effect Raman cause trouble overcoming a power of 60 mW at a distance of 30 km and a transmission rate of 10Gbps, the obtained bit rate was $3.11 \times 10e^{-9}$, the Brillouin effect causes problems to overcome a power of 30 mW at a distance of 20 Km and transmission rate of 10Gbps, the obtained bit rate was $7.48 \times 10e^{-12}$.

INTRODUCCIÓN

Dada la creciente demanda de los abonados de servicios tales como: voz sobre ip (VoIp), Internet , video en HD (Alta definición),televisión ip, datos de comunicaciones móviles advance(Avanzadas) que requieren un mayor ancho de banda, las redes NGN (redes de nueva generación) basadas en fibra óptica permiten usar estos servicios al usuario. Existen diversas tecnologías disponibles y topologías implementables a fin de realizar un despliegue de acceso mediante fibra hasta el hogar como son: Las redes PON son redes de fibra óptica cuyos componentes son enteramente pasivos. Existen técnicas de transmisión para las redes PON tales como: TDM (Multiplexación por división de tiempo) es una técnica en la cual, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante un intervalo de tiempo, esta técnica tiene ciertas limitaciones con el ancho de banda debido al concepto de división de tiempo. Una manera de incrementar su ancho de banda es el uso de la técnica WDM (multiplexación por división de longitud de onda), es una técnica donde cada usuario tiene una longitud de onda dedicada con lo cual tiene un mayor ancho de banda, sin embargo, una de las limitaciones de esta técnica es su alto costo. En técnica híbrida WDM/TDM-PON varios usuarios comparten una longitud de onda dedicada de esta forma se puede llegar a más usuarios con un mayor ancho de banda, sin embargo, existe una falta de balance de potencia para agrandar el número de longitudes de onda asignado a cada canal y la relación de división de tiempo respectivamente. WDM/TDM-PON es la antesala hasta que los costos de la red WDM-PON bajen.

La red analizada WDM/TDM-PON se basa en el artículo científico Migration to the next generation optical Access networks using hybrid WDM/TDM-PON de (Ahsan, Lee, Newaz, Asif, 2011) .Se simuló una red WDM/TDM-PON sin efectos no lineales, posteriormente se simularon los efectos causados por el fenómeno de dispersión inelástico como son: SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman) en la red antes mencionada, se realizaron pruebas a diferentes velocidades, distancias y potencias. Se obtuvieron gráficas de distancia vs tasa de bit errado (BER), velocidad de transmisión vs BER y potencia de salida vs BER.

En el primer capítulo se describe: el problema a resolver, los antecedentes, los objetivos de la investigación, la justificación, los alcances, metodología de la investigación.

En el segundo capítulo se describe el estado del arte en relación a las redes NGN (redes de nueva generación), redes PON (red óptica pasiva), la Dispersión estimulada de Brillouin (SBS) y la Dispersión estimulada de Raman (SRS).

En el tercer capítulo se describe la implementación en el simulador WDM/TDM-PON.

En el cuarto capítulo se describe las pruebas que se realizaron en la red WDM/TDM-PON sin efectos no lineales y con los efectos no lineales inelásticos SBS Y SRS, además se muestran los resultados que se obtuvieron al probar la red a diferentes distancias, velocidades de transmisión, potencia y por último los cálculos de potencia.

Por último se describen las conclusiones, recomendaciones y este trabajo de titulación incluye las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo, se analiza el problema a resolver, los antecedentes, los objetivos, justificación, alcance del proyecto y por último la metodología de investigación.

1.1 Problema a resolver

Debido a la constante necesidad de implementar nuevas redes que faciliten la transmisión de datos con un mayor ancho de banda, los diferentes proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones buscan soluciones en relación a redes convergentes en la última milla. (Gutierrez , Espinosa, Hernández, 2011, pág. 86)

Las redes PON de nueva generación son redes que trabajan a velocidades de transmisión que superan los 2.5 Gbps, estas presentan un conjunto de problemas que es preciso resolver. Estos problema antes no eran considerados ya que la velocidad de transmisión de datos no superaba los 2.5 Gbps, ni la potencia total que pasaba por el enlace de fibra no superaba los milivatios. Con la aparición de las NGN (Red de nueva generación)-PON (Red óptica pasiva) surge una serie de efectos no lineales presentes en la capa física que son necesarios considerar de forma ineludible, estos son: SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman), ya que alteran de manera significativa las características de las señales que se envían a través del enlace de fibra óptica. Estos efectos estaban presentes antes en los enlaces de fibra, pero su incidencia en la transmisión de datos no era lo suficientemente significativa como para que se los tomara en cuenta. (Pereda, 2004)

1.2 Antecedentes

En la actualidad existen artículos publicados en la red de Internet cuyos fundamentos teóricos contribuyen al desarrollo de este proyecto a continuación mencionaremos algunos de estos.

TDM-PON (Multiplexacion por división de tiempo-red óptica pasiva) es una técnica que permite la transmisión de señales digitales en la cual, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante un intervalo de tiempo, esta técnica tiene ciertas limitaciones con el ancho de banda debido al concepto de

división de tiempo. Una manera de incrementar su ancho de banda es el uso de la técnica WDM (multiplexación por división de longitud de onda), el problema de usar esta técnica WDM-PON (multiplexación por división de longitud de onda- red óptica pasiva) es que genera grandes pérdidas de potencia debido a los divisores de potencia usados en las redes WDM-PON. Una técnica híbrida TDM-WDM-PON sería una solución para este problema, sin embargo existe una falta de balance de potencia para agrandar el número de longitudes de onda asignado a cada canal y la relación de división de tiempo respectivamente. Otro método para anular este desbalance de potencia es aumentando la energía insertada en la red, una de las principales limitaciones es que surge un efecto no lineal llamado SBS (Dispersión estimulada de Brillouin), este dispersa toda la potencia después de que la energía insertada supere cierto límite o el umbral. (Łašuks, 2010, pág. 105)

La Dispersión estimulada de Brillouin surge de la interacción de la luz con las ondas de densidad de propagación o fonones acústicos. Cuando se alcanza el umbral de SBS, toda la luz de bombeo o la energía insertada se dispersa, y no hay posibilidad de insertar potencia extra en la fibra óptica. Este problema genera muchas complicaciones en redes de larga distancia tales como las redes PON. (Łašuks, 2010, pág. 105)

1.3 Pregunta

¿Los efectos no lineales SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman) causan pérdidas de potencia en una red TDM-WDM-PON?

1.4 Objetivos

A continuación se describen el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto.

1.4.1 Objetivo general.

- Analizar y simular los efectos no lineales causados por el fenómeno de dispersión inelástico en la capa física de una red PON de nueva generación que utiliza técnica de transmisión TDM-WDM para determinar las pérdidas de potencia en el enlace de fibra óptica.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Analizar el estado del arte de los efectos no lineales causados por el fenómeno de Dispersión inelástico de Raman y Brillouin en la capa física en una red PON de nueva generación.
- Implementar una simulación en computadora de una red PON de nueva generación y de los efectos no lineales de Raman y Brillouin.
- Determinar las pérdidas de potencia causados por el fenómeno de dispersión inelástico en la fibra óptica de una red NGN-PON.

1.5 Justificación

Las redes de nueva generación(NGN) brindan servicios de voz, datos y video, además de servicios adicionales como televisión ip, datos de comunicaciones móviles LTE, llevando estos servicios o incluso otros más pudiendo ofrecer varios servicios (n-play) a los abonados, para cumplir dicho objetivo es necesario utilizar medios de transmisión de alta velocidad, la fibra óptica, es el medio de transmisión que tiene las velocidades necesarias para satisfacer los requerimientos de las redes NGN-PON, sin embargo, a velocidades mayores de 2.5 Gbps, aparecen efectos no lineales en la fibra óptica.

La importancia de este proyecto radica en determinar el nivel de pérdida de potencia en la fibra óptica de una red NGN-PON mediante simulación por computadora, causada por los efectos no lineales inelásticos de Raman y Brillouin, mediante los cuales se podrá determinar si son o no un factor crítico para la transmisión de datos en una red NGN-PON.

También generará material útil para para los estudiantes de la UPS en temas relacionados a fibra óptica, y redes PON de nueva generación.

1.6 Alcances

Este proyecto realiza lo siguiente:

- Se simulará una red WDM/TDM-PON sin efectos no lineales inelásticos así como también un red WDM/TDM-PON con efectos no lineales inelásticos.
- Se determinará el BER, la distancia, velocidades de transmisión y potencia causadas por los efectos no lineales de Dispersión inelástico SRS y SBS en el enlace de fibra.
- No se propondrá una técnica en particular para evitar penalizaciones de potencia en una red TDM-WDM-PON.

1.7 Metodología de la investigación

En el siguiente apartado se detallan los pasos que se han planteado para la realización de nuestro proyecto, esta investigación se basa en tres ejes fundamentales, los cuales son: en primer lugar, la recopilación de información y el análisis del estado del arte de los efectos no lineales de dispersión inelástico SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman).

En segundo lugar se realizará la simulación en computadora de la red NGN-PON (red óptica pasiva de nueva generación) sin efectos no lineales, luego se simularan los efectos causados por el fenómeno de dispersión inelástico SBS y SRS para posteriormente analizar si o no factor limitante para la transmisión de datos.

1.7.1 Investigación bibliográfica y análisis del estado del arte.

Se realizará la investigación acerca de redes PON de nueva generación, como funcionan, cuáles son sus características, velocidades a las que trabajan, medios y técnicas utilizadas para la transmisión, así como también de los efectos no lineales presentes en estas mismas que pueden ser o no un factor limitante para la transmisión de datos.

Posteriormente se desarrollará el análisis del estado del arte de los efectos no lineales SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman), se indagará en la técnica que vamos a usar la cual es TDM-WDM (multiplexación por división de tiempo-multiplexación por división de longitud de onda), para el desarrollo de la simulación de nuestra red.

1.7.2 Desarrollo de la simulación.

En primer lugar se desarrollará la simulación de una red TDM-WDM PON sin efectos de dispersión, luego como segundo punto simularemos una red TDM-WDM PON con efectos de dispersión para el posterior análisis entre las dos redes simuladas.

1.7.3 Documentación.

Se redactará un texto que corresponde al desarrollo de este proyecto de investigación, mismo que dará a conocer de una manera clara y ordenada, todos los resultados que se obtuvieron a partir de esta investigación.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, se analizará los fundamentos teóricos de las redes NGN (Red de nueva generación) y de la técnica de transmisión TDM-WDM. Además se analizará el estado del arte de los efectos no lineales causados por el fenómeno de dispersión inelástico SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (Dispersión estimulada de Raman).

2.1 Red NGN

“Es una red convergente basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte”. (ITU-T Recommendation Y.2001 (12/2004) - General overview of NGN, 2004) Permite a los usuarios el acceso a múltiples servicios como: voz, datos, video en alta definición, comunicaciones LTE, juegos online, sin embargo son redes que requieren trabajar grandes velocidades y con un mayor ancho de banda. La fibra óptica es el medio de transmisión que puede satisfacer estos requerimientos y una red PON es una red de nueva generación apta para estos desafíos.

2.2 FTTH

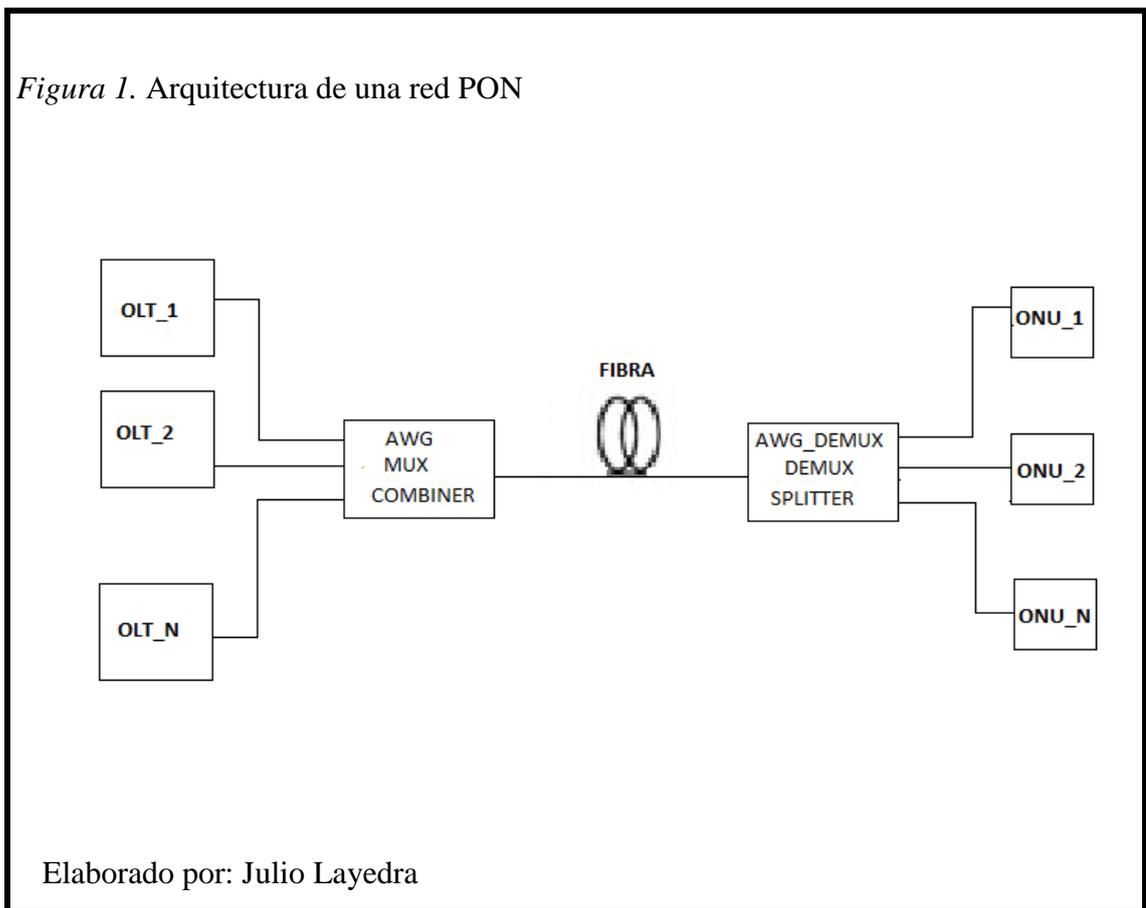
Con la creciente demanda de los abonados residenciales de acceso a servicios que requieren un gran ancho de banda, la tecnología de acceso basada en fibra óptica FTTH (fibra hasta la casa) surge como una atractiva tecnología capaz de brindar estos servicios. Dependiendo de la profundidad de la fibra, FTTx puede clasificarse como: FTTB (Empresariales / edificación), FTTN (Barrio / nodo), FTTP (Locales) y FTTH (Home).

Existen diversas topologías que pueden ser implementadas para el despliegue de FTTH una de ellas es: “las redes pasivas basadas en fibra óptica cuyos componentes son enteramente pasivos en la red de distribución (no en la central y domicilio del cliente), Estas se denominan PON (Red óptica pasiva), permite compartir una misma fibra entre varios usuarios” (Abreu, Castagna, Cristiani, Zunino, Roldós, Sandler, 2009, pág. 38) .

2.3 Red PON

Una red óptica pasiva es una red punto a multipunto, esta contiene una unidad óptica de línea terminal (OLT) ubicada en una oficina central y un grupo de unidades de red ópticas (ONU) localizadas en los nodos terminales donde se encuentran los usuarios. La ONU y la OLT están conectados por un enlace de fibra óptica y uno o más multiplexores y demultiplexores ópticos, (Vukovic, Maamoun, Hua, Savoie, 2007)

Una de las características de una red PON (Red óptica pasiva) es que no utiliza elementos activos como fuentes de alimentación, repetidores de señal. Al tener sólo elementos pasivos en una red PON disminuye sus costos operativos y de mantenimiento. En la figura 1 se observa la arquitectura básica de una red PON. (Vukovic, Maamoun, Hua, Savoie, 2007)



Los elementos de una red PON son: OLT (Línea óptica terminal); es un elemento activo que se encuentra situado en la oficina central, de donde parte la fibra óptica hacia los divisores ópticos que son dispositivos que se usan para dividir la señal de

entrada en N ramas de salidas con mínimas pérdidas; ONU (Unidad óptica terminal) es un elemento activo que lleva la señal óptica al usuario este elemento transforma la señal óptica en señal eléctrica

2.4 Red TDM-WDM

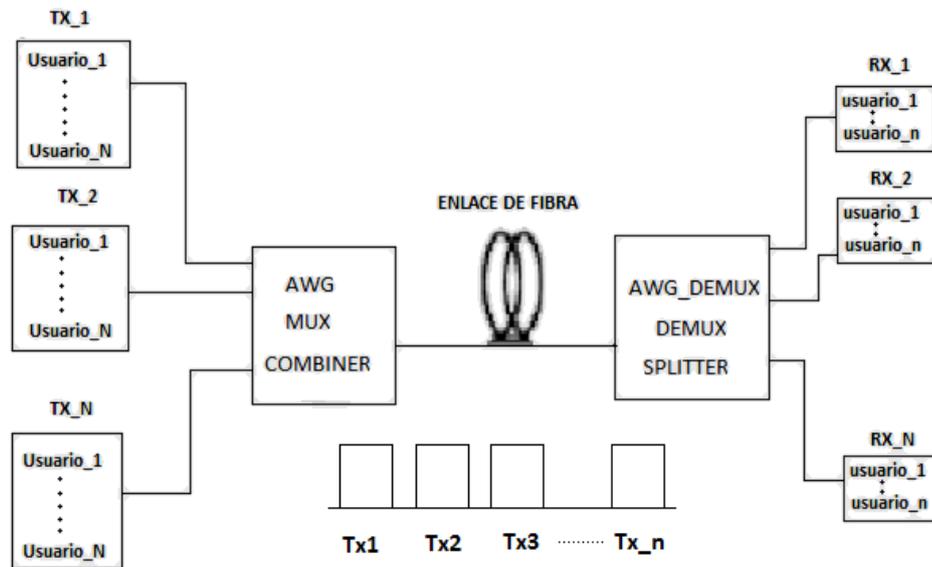
A continuación se describe los fundamentos teóricos de la red híbrida TDM / WDM.

2.4.1 TDM-PON.

Actualmente, una solución de acceso óptico con amplia aceptación es el multiplexado por división de tiempo (TDM), TDM - PON combina la alta capacidad proporcionada por la fibra óptica para la transmisión de datos con el bajo costo de instalación y mantenimiento de una infraestructura pasiva. (Hsueh, Rogge, Yamamoto, Kazovsky, 2005, pág. 277)

Esta técnica de transmisión a cada OLT se le asigna una longitud de onda por la cual se va a transmitir los datos, sin embargo a cada usuario se le asigna un intervalo de tiempo determinado para la transmisión, de esta manera una sola longitud de onda la comparten varios usuarios haciendo que el ancho de banda para cada usuario final ubicado en las ONU sea limitado. (Das, Lannoo, Dixit, Colle, Pickavet, Demeester, 2011) En la figura número 2 se observa la arquitectura de una red TDM/WDM-PON donde una sola longitud de onda la comparten varios usuarios, los datos de cada usuario son enviados desde la OLT hacia un MUX, AWG o COMBINER donde los datos son combinados para transportarlos a través del enlace de fibra, pasan por el AWG, DEMUX o SPLITTER donde son divididos y cada dato llega a cada abonado situado en la ONU.

Figura 2. Arquitectura de una red TDM- PON.

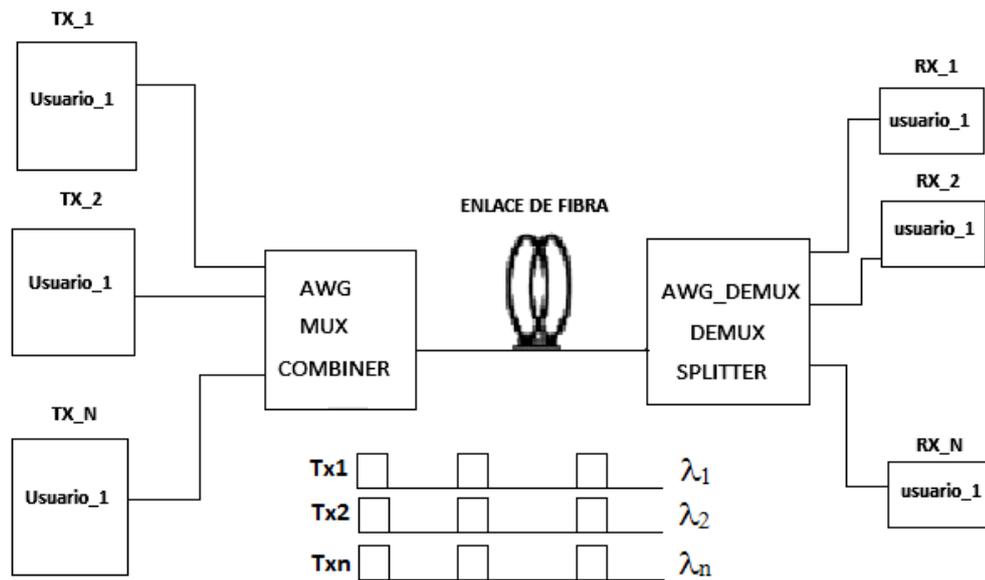


Elaborado por: Julio Layedra

2.4.2 WDM-PON.

WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) es una técnica de transmisión donde cada ONU (Unidad de red óptica) tiene una longitud de onda (λ) dedicada. WDM-PON crea enlaces punto a punto entre la oficina central (CO) y cada usuario por lo que no se necesita compartir el canal, transmitiendo información a velocidades dedicadas y simétricas a cada usuario. (Vukovic, Maamoun, Hua, Savoie, 2007) (Hsueh, Rogge, Yamamoto, Kazovsky, 2005, pág. 277) En la figura 3 se puede observar la arquitectura básica de una red WDM-PON donde cada usuario tiene una longitud de onda dedicada, los datos del usuario van desde la OLT hacia un AWG, MUX o COMBINER donde los datos de cada usuario son combinados, pasan a través del enlace fibra hasta un AWG, DEMUX o SPLITTER y son divididos hacia a cada abonado situado en su respectiva ONU.

Figura 3. Arquitectura básica de WDM-PON



Elaborado por: Julio Layedra

Una de las principales limitaciones de una red WDM-PON son sus costos de implementación en particular los láseres, ya que al utilizar un láser dedicado para cada longitud de onda representaría un elevado costo y un desperdicio de los recursos de la red. (Ahsan, Lee, Newaz, Asif, 2011, pág. 19)

TDM-WDM-PON es la antesala hasta que los costos de instalación de la red WDM-PON sean más accesibles es decir la demanda por estos componentes aumente y comience a aumentar la producción de los mismos abaratando los costos, con TDM-WDM-PON se reducen los costos ya que se pueden llegar a más usuarios y tener mayor ancho de banda. (Ahsan, Lee, Newaz, Asif, 2011, pág. 19)

2.5 Efectos no lineales

La Dispersión en la fibra óptica es un proceso causado por la interacción de la luz con las fluctuaciones de densidad en la fibra esto quiere decir que al fabricar la fibra existen regiones con mayor y menor densidad molecular, cuando el tamaño de la fluctuación de densidad o defecto de la fibra, es menos de una décima de la longitud de onda con la que se opera, surge el fenómeno llamado dispersión de Rayleigh que es un proceso elástico del cual se derivan los efectos no lineales SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (la Dispersión estimulada de Raman) que se analizarán en el siguiente apartado. (AGRAWAL, 2002, pág. 58)

La dispersión estimulada de Brillouin y la dispersión estimulada de Raman son procesos inelásticos en los cuales parte de la potencia se pierde a partir de una onda óptica y es absorbida por el medio de transmisión. Los efectos no lineales en fibra óptica se convierten en un problema cuando varios canales coexisten en la misma fibra o cuando los niveles de potencia se incrementan. (AGRAWAL, 2002, pág. 61)

2.5.1 Dispersión estimulada de Brillouin.

Este fenómeno surge de la interacción entre el campo óptico y fonones en la fibra, cuando la potencia de inserción es muy elevada entonces se genera vibraciones en la fibra y estas producen ondas acústicas que cambian la densidad del material del cual está hecha la fibra, y alterando su índice de refracción. Las fluctuaciones del índice de refracción resultantes pueden dispersar la luz. (Saha; Majumder; Soundarya M., 2013, pág. 1245). El efecto Brillouin puede incidir tanto hacia adelante como hacia atrás, afectando solo en el sentido contrario a la onda de luz transmitida. (Pato, Ten, 2012, pág. 2) La Ecuación 1 y la Ecuación 2 muestran cómo incide SBS en la fibra óptica.

Ecuación 1. Ecuación de Brillouin

$$\frac{dI_p}{dz} = -g_B I_p I_s \pm \alpha_p I_p$$

Ecuación 2. Ecuación de Brillouin

$$-\frac{dI_s}{dz} = +g_B I_p I_s \pm \alpha_s I_s$$

Dónde:

I_p = intensidad de la onda incidente

I_s = intensidad de la onda de Stokes

g_B = ganancia Brillouin

α_s = pérdidas en la fibra

α_p = pérdidas en la fibra

En la Ecuación 3 se observa la fórmula de la ganancia Brillouin.

Ecuación 3. Fórmula de la ganancia Brillouin

$$g_B(\Omega) = \frac{g_B(\Omega_B)}{1 + (\Omega - \Omega_B)^2 T^2}$$

Dónde:

g_B = ganancia Brillouin

T_B : Tiempo de amortiguación finito.

Ω_B : Frecuencia Brillouin.

La potencia de umbral de SBS se define como la potencia de entrada que es igual a la potencia dispersada hacia atrás como se observa en la Ecuación 4. (Ļašuks, 2010, pág. 105)

Ecuación 4. Potencia en el láser de onda continua

$$P_{th}^{CW} = \frac{21A_e}{L_{eff}g_B} \left(\frac{\Delta\theta_B + \Delta\theta_S}{\Delta\theta_B} \right)$$

Dónde:

g_B = Ganancia Brillouin

A_e = Área efectiva de la fibra óptica

L_{eff} = Longitud efectiva de la fibra óptica

$\Delta\nu_B$ = Ancho de banda del efecto Brillouin

$\Delta\nu_S$ = Ancho de banda de la onda insertada

En los sistemas digitales que emplean modulación no retorno a cero (NRZ) y donde la potencia de la onda del láser insertada es igual a la potencia CW, el umbral de SBS está dada por la Ecuación 5. (Pato, Ten, 2012, pág. 5)

Ecuación 5. Potencia SBS con modulación NRZ

$$P_{SBS}^{NRZ} = \frac{P_{SBS}^{CW}}{1 - \frac{B}{2\Delta\nu_B} (1 - e^{-\Delta\nu_B/fo})}$$

Dónde:

P_{SBS}^{CW} = Potencia SBS en el láser de onda continua

B = Bit rate

$\Delta\nu_B$ = Ancho de banda del efecto Brillouin

En la Ecuación 6 observamos la fórmula de la longitud efectiva de la fibra óptica tomando en cuenta coeficientes como longitud y pérdidas en la fibra. (Pato, Ten, 2012, pág. 3)

Ecuación 6. Fórmula de longitud efectiva en la fibra óptica

$$L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha}$$

Dónde:

α = Coeficiente de atenuación de la fibra en Km.

L: la longitud de la fibra

La Ecuación 7 muestra la fórmula del área efectiva. (Pato, Ten, 2012, pág. 2)

Ecuación 7. Fórmula del área efectiva en la fibra

$$A_{\text{eff}} = \pi * \omega^2$$

Dónde:

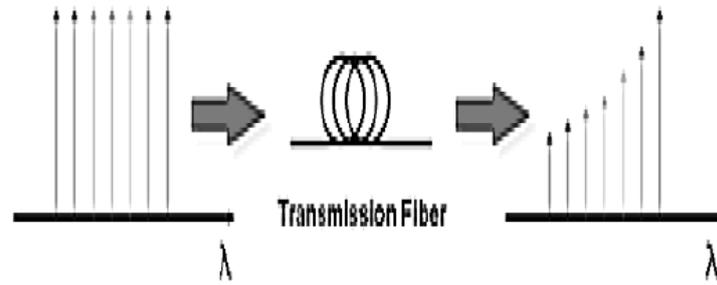
Π = número pi

Ω = Diámetro de la fibra

2.5.2 Dispersión estimulada de Raman.

La Dispersión estimulada de Raman ocurre en la fibra óptica cuando la onda insertada es dispersada por las moléculas de silicio (material del cual está formada la fibra óptica) los fotones de la onda insertada liberan energía para crear otros fotones reduciendo la energía a la onda de la frecuencia más baja, la energía liberada por los fonones es absorbida por las moléculas de silicio quedando en un estado vibracional. (AGRAWAL, 2002, pág. 63) Si dos o más señales a diferentes longitudes de onda se inyectan en una fibra, SRS hace que la energía sea transferida desde el canal de longitud de onda inferior al canal de mayor longitud de onda. (Saha; Majumder; Soundarya M., 2013) A diferencia del efecto SBS la Dispersión de Raman no involucra una onda acústica sino es un proceso isotrópico que se produce en todas las direcciones. Como en el caso de la Dispersión estimulada de Brillouin, la Dispersión de Raman se convierte en estimulada si la potencia inyectada excede el valor de umbral. En el caso de fibras ópticas, el ancho de banda de la ganancia Raman está en torno a los 10 THz. La figura 4 muestra el efecto SRS en sistemas multicanal. (Saha; Majumder; Soundarya M., 2013, pág. 53)

Figura 4. Dispersión estimulada de raman



Fuente: (Saha; Majumder; Soundarya M., 2013)

La Ecuación 8 muestra la fórmula de la potencia de umbral del efecto Raman. (Pato, Ten, 2012, pág. 6)

Ecuación 8. Potencia de umbral SRS

$$P_{SRS} = 16 \frac{A_{eff} k_{SRS}}{g_R L_{eff}}$$

Dónde:

A_{eff} = Área efectiva de la fibra

g_R = ganancia Raman

L_{eff} = longitud efectiva de la fibra

k_{SRS} = factor que depende de la polarización de las ondas de Stokes.

El coeficiente de ganancia Raman depende de las diferentes frecuencias entre canales que intercambian potencia. De manera general asumiendo una aproximación en fibras de silicio tenemos la ganancia Raman representada en la Ecuación 9. (Pato, Ten, 2012, pág. 6)

Ecuación 9. Fórmula de la ganancia raman

$$g_i = \frac{G \Delta f_i}{2 \Delta F}$$

Dónde:

G = coeficiente pico de ganancia raman

ΔF = Ancho de banda de ganancia raman

Δf_i = diferencia entre la frecuencia más alta y la frecuencia más baja

CAPÍTULO 3

SIMULACIÓN DE LA RED WDM/TDM-PON

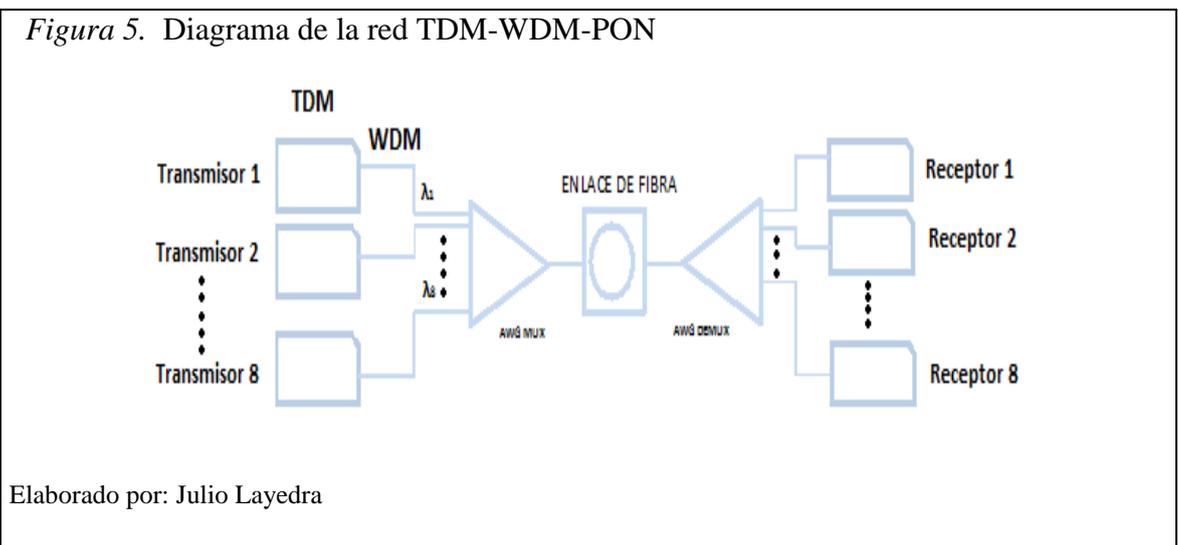
En este capítulo se describe la simulación de una red TDM-WDM-PON, se observa una introducción a la herramienta OPTSIM, se analizará el bloque transmisor, el enlace de fibra óptica, el bloque receptor.

3.1 Introducción a la herramienta OPTSIM

OptSim es una herramienta de software desarrollado por Rsoft para el diseño y simulación de sistemas de comunicación óptica tales como: WDM, TDM y DWDM. Los diseños en OptSim son basados en bloques, que están interconectados mediante cables. La herramienta es útil en el análisis de los efectos no lineales con respecto a la dispersión, el ruido, la vibración, etc. OptSim tiene dos tipos de modos de simulación: Sample mode (modo de ejemplo) y Block mode (modo de bloque). En las simulaciones en modo de bloque, la señal de datos se transmite como un bloque de datos entre los bloques del diseño. Una de las ventajas de modo de bloque es que se puede cambiar fácilmente entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia ya que los datos son enviados como un bloque. En el modo de ejemplo, la señal de datos de entrada se envía a través de los bloques de diseño del modelo en forma de muestra única para cada paso de tiempo. Una de las ventajas de modo de ejemplo es que puede cubrir ilimitada longitud de la secuencia de señal de datos en comparación con el modo de bloque en el que la señal de datos es de longitud limitada ya que es representada como un bloque. Las simulaciones modo de ejemplo se realizan en el dominio del tiempo. El análisis de la simulación se realiza mediante el uso de diagrama de ojo, y parámetros de BER (Tasa de bit errado) y Q factor. Las herramientas utilizadas para la medición de estos parámetros son: analizador de espectro, osciloscopios (eléctricos y ópticos) y analizador de señales. (Beeram, 2006)

3.2 Simulación de la red TDM-WDM-PON sin efectos de dispersión

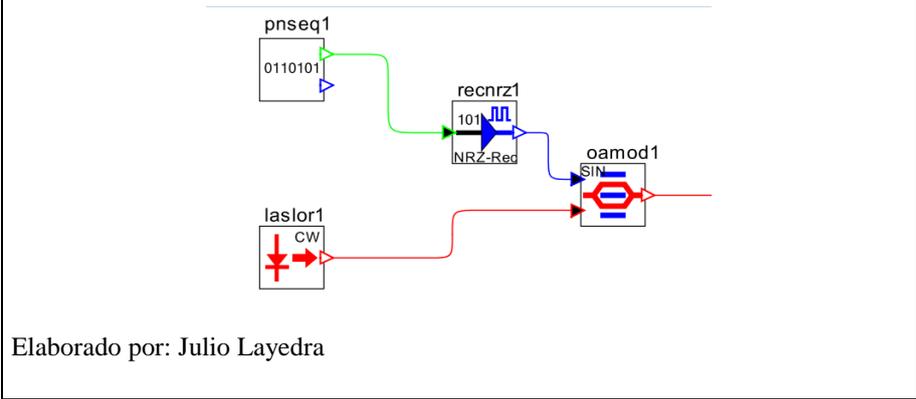
En la figura 5 se observa la arquitectura de la red TDM-WDM-PON que se va a simular. (Talli, Townsend, 2006)



3.2.1 Bloque Transmisor.

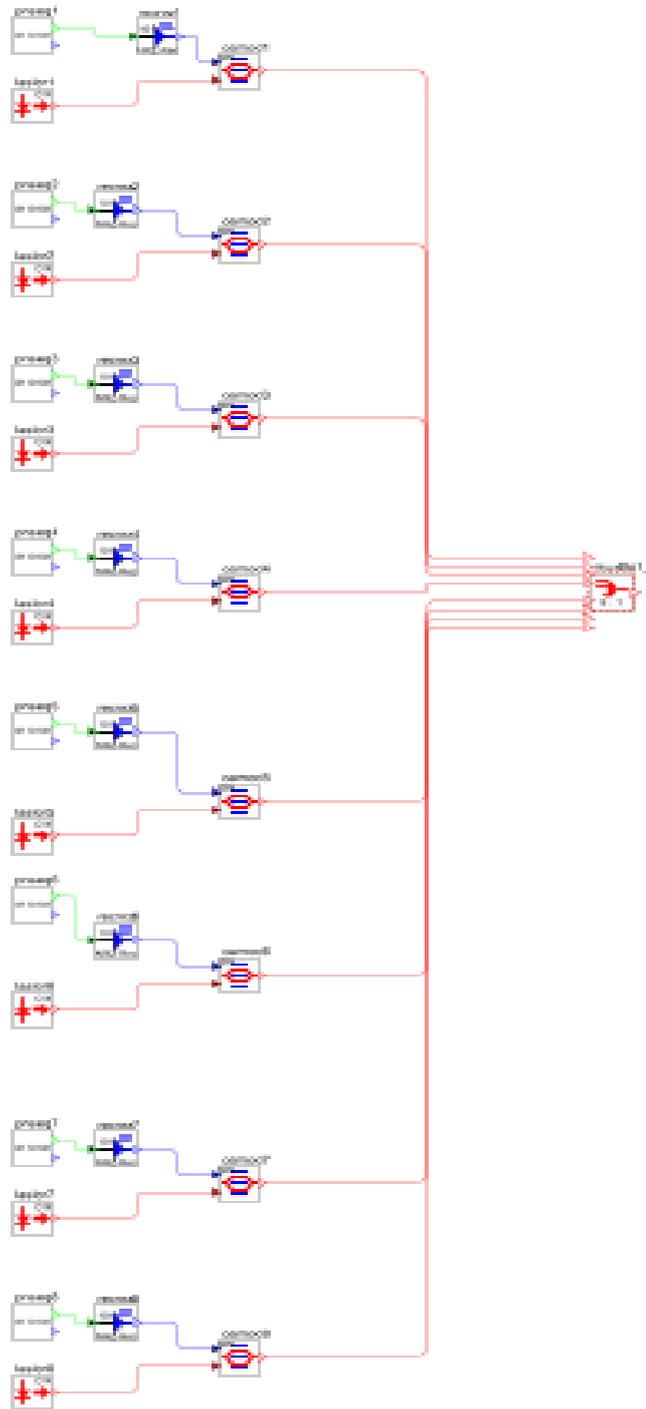
El bloque transmisor está compuesto de un generador aleatorio de datos, un codificador NRZ (No retorno a cero), un láser de onda continua y un modulador de amplitud Mach-Zehnder. El generador de datos aleatorio es un componente que simula una señal lógica aleatoria o determinística, para la simulación del transmisor, se escogió el tipo de secuencia determinístico a una velocidad de transmisión de 10Gbps, este se conecta a la entrada de datos del codificador NRZ, de la salida eléctrica de este componente se conecta a la entrada eléctrica del modulador de amplitud Mach-Zehnder el cual es un modulador electro-óptico utilizado para modular la onda de luz con respecto a la señal eléctrica transmitida y genera una señal óptica en la salida del modulador. (Beeram, 2006, pág. 28), la salida del láser de onda continua se conecta hacia la entrada óptica del modulador de amplitud Mach-Zehnder, a este láser de onda continua, se observa el transmisor en la figura 6.

Figura 6. Transmisor



En la figura 7 se puede observar el grupo de 8 transmisores que conforman el primer bloque transmisor en la red TDM-PON, el láser de cada uno de los 8 transmisores se encuentran configurados a una frecuencia de 192.7THz, estos se conectan al awg-mux_1, lo que permite enviar los datos de todos los transmisores por un único enlace. Los generadores aleatorios de datos se configuraron a una velocidad de transmisión de 10 Gbps, estos envían un dato diferente simulando un total de 8 usuarios por cada bloque transmisor.

Figura 7. Transmisores bloque TDM_1



Elaborado por: Julio Layedra

Cada bloque TDM-WDM-PON está constituido por 8 transmisores TDM-PON y 1 awg-mux, cada bloque TDM-PON transmite los datos a distintas frecuencias, en la tabla 1 se puede observar la frecuencia de transmisión para cada red TDM-PON.

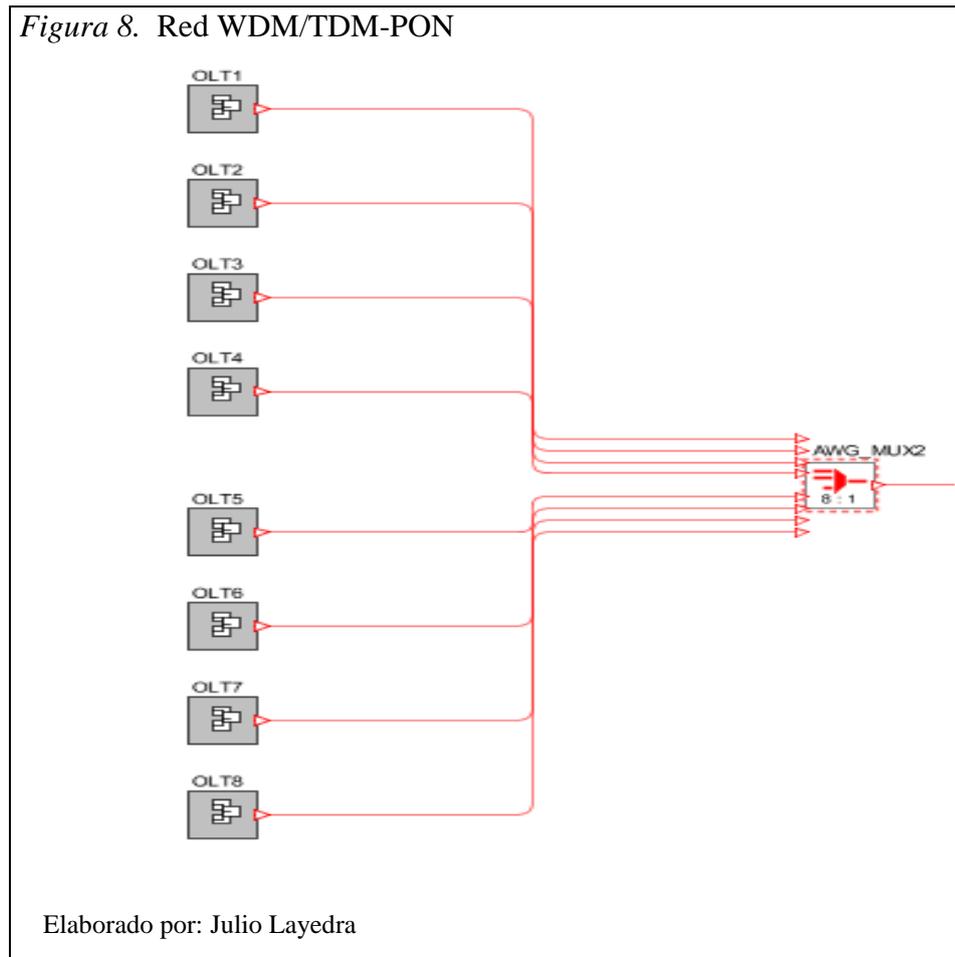
Tabla 1. Frecuencias de transmisión para cada grupo

GRUPO TDM	THz
1	192.7
2	192.8
3	192.9
4	193.0
5	193.1
6	193.2
7	193.3
8	193.4

Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 8 se puede observar la secuencia de bloques donde se encuentran los transmisores de la figura número 7 cada bloque transmisor consta de 8 transmisores configurados a la frecuencia que corresponde, estos se conectan al awg_mux_2 permitiendo enviar los 8 datos de cada bloque transmisor por un único enlace hacia en enlace de fibra, para la simulación de nuestra red utilizamos el canal ITU-T $\lambda_1 = 1550$ nm. (Ahsan, Lee, Newaz, Asif, 2011)

Figura 8. Red WDM/TDM-PON



3.2.2 Enlace de fibra.

La señal óptica que sale del `awg_mux_2` del transmisor WDM/TDM-PON se conectó a un enlace de fibra óptica cuyos componentes son: amplificador óptico con una ganancia de 10 db, la fibra óptica tiene los siguientes parámetros: longitud de 20 km , pérdidas por atenuación de 0.2 db/km , dispersión de $-20 \text{ ps}^2/\text{km}$, a la salida de la fibra se conectó a una fibra compensadora de dispersión(ideal grating), La figura 9 muestra el enlace de fibra.

Figura 9. Enlace de fibra.

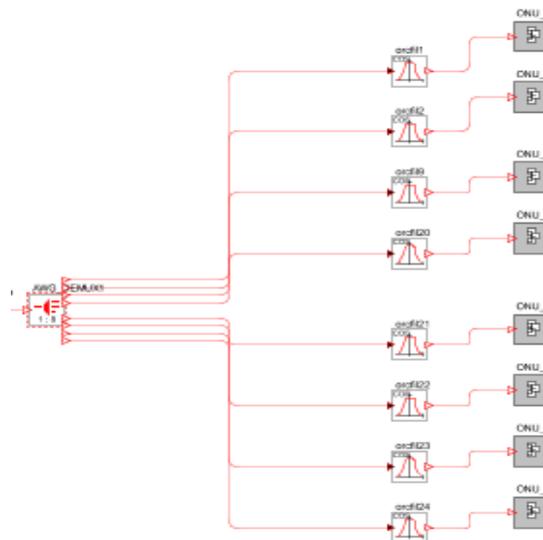


Elaborado por: Julio Layedra

3.2.3 Bloque receptor.

Las señales ópticas que salen de la fibra compensadora de dispersión ingresan a un awg-demux, son separadas hacia su respectiva salida, cada salida del awg-demux se conectó a un filtro óptico tipo pasa banda, de la salida del filtro se conectó a la entrada del bloque receptor WDM/TDM-PON como se muestra en la figura 10 (Ahsan, Lee, Newaz, Asif, 2011).

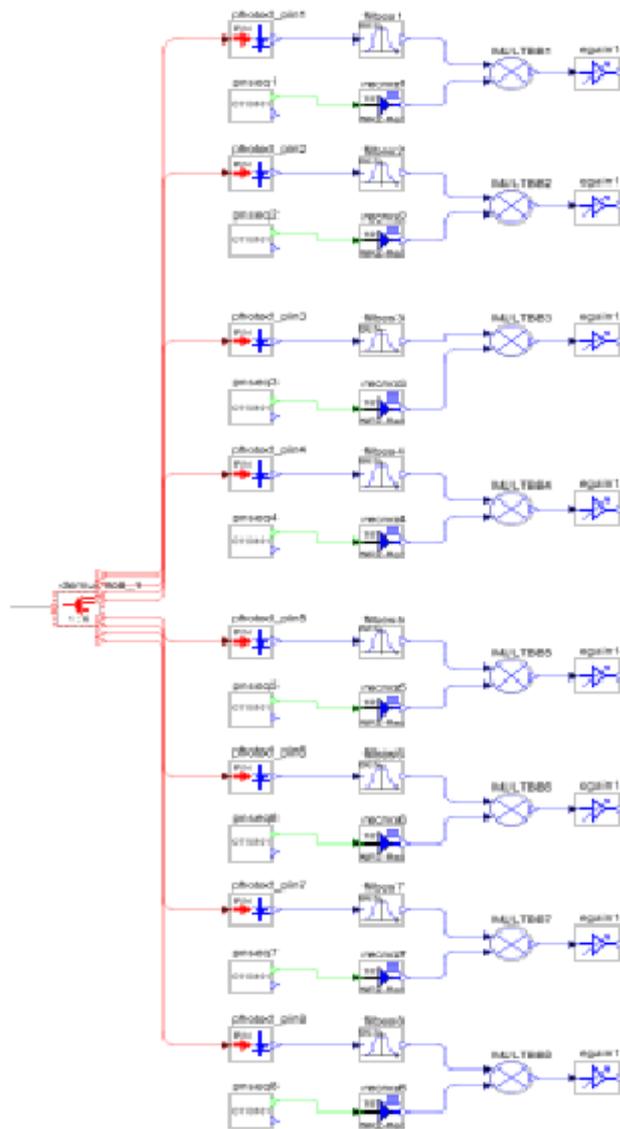
Figura 10. Bloque de receptores TDM



Elaborado por: Julio Layedra

En el awg-demux las pérdidas insertadas son de 3db, el ancho de banda del filtro óptico tipo pasa banda, es de 50GHz. La señal que entra al bloque receptor se conectó a un awg-demux, este separa la señal para cada uno de los 8 receptores, en la figura 11 se puede observar el grupo de 8 receptores que constituyen el bloque receptor TDM-PON.

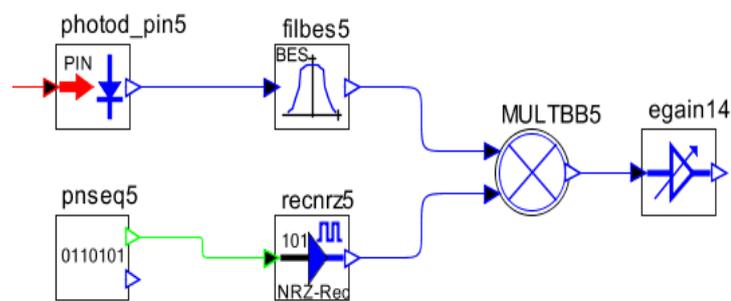
Figura 11. Grupo de receptores TDM



Elaborado por: Julio Layedra

Cada receptor está conformado por: un fotodiodo PIN que es uno de los fotodetectores más comunes, debido a que la capa intrínseca se puede modificar para optimizar su eficiencia cuántica y margen de frecuencia siendo así un material intrínseco semiconductor (Beeram, 2006), un filtro eléctrico tipo Bessel pasa bajos con el fin de filtrar el ruido configurado con un ancho de banda a 20 GHz, un generador aleatorio de datos configurado a una velocidad de 10 Gbps, un codificador NRZ, un multiplicador y un amplificador eléctrico con una ganancia de 52 db, se observa los componentes del receptor en la figura 12.

Figura 12. Receptor



Elaborado por: Julio Layedra

CAPÍTULO 4

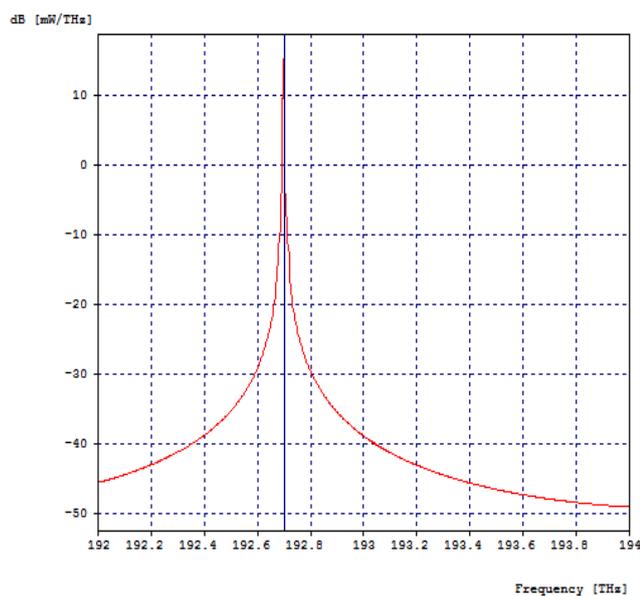
PRUEBAS, RESULTADOS Y CALCULOS DE POTENCIA

En este capítulo se describe las pruebas realizadas sobre la red WDM/TDM-PON sin efectos de dispersión y con los efectos no lineales causados por el fenómeno de Dispersión inelástico SBS Y SRS , y los resultados que se obtuvieron en la red mencionada anteriormente con efectos de Dispersión y cálculos de potencia.

4.1 Pruebas de la red TDM-WDM-PON sin efectos de Dispersión

En la figura 13 se observa el espectro de frecuencia del primer bloque transmisor TDM-PON con una frecuencia $\lambda_1 = 192.7$ THz.

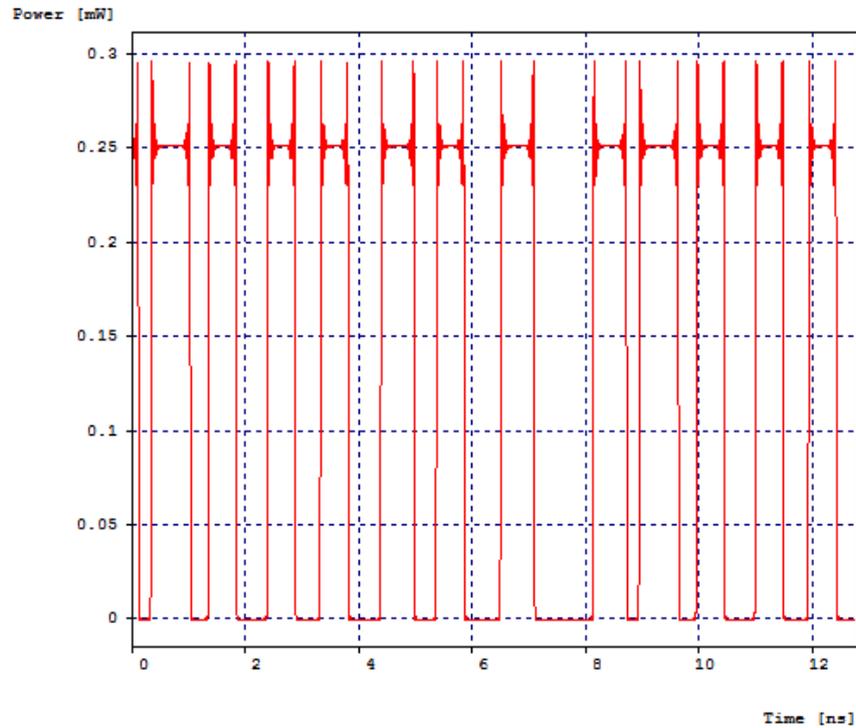
Figura 13. Espectro de frecuencia a 192.7 THz.



Elaborado por: Julio Layedra

La figura 14 muestra cada uno de los 8 datos transmitidos por el primer bloque transmisor y la potencia óptica de este a la salida del awg-mux 1 se observa una que tiene una potencia óptica de 0.25 mW.

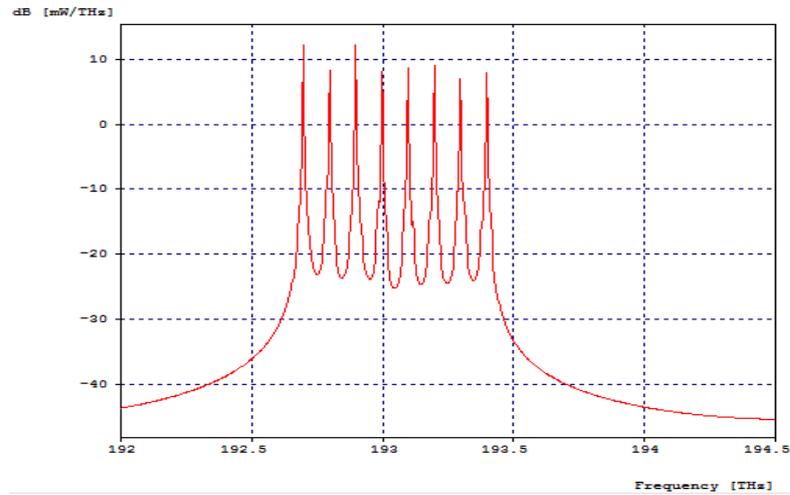
Figura 14. Espectro de frecuencia



Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 15 se observa el grupo de frecuencias a la salida del awg-mux 2 de la red TDM-WDM-PON, antes de ingresar a la etapa del enlace de fibra, es decir que no existen amplificación de la señal óptica ni distorsión a causa de la fibra óptica, se observa que tiene una potencia de 10 db.

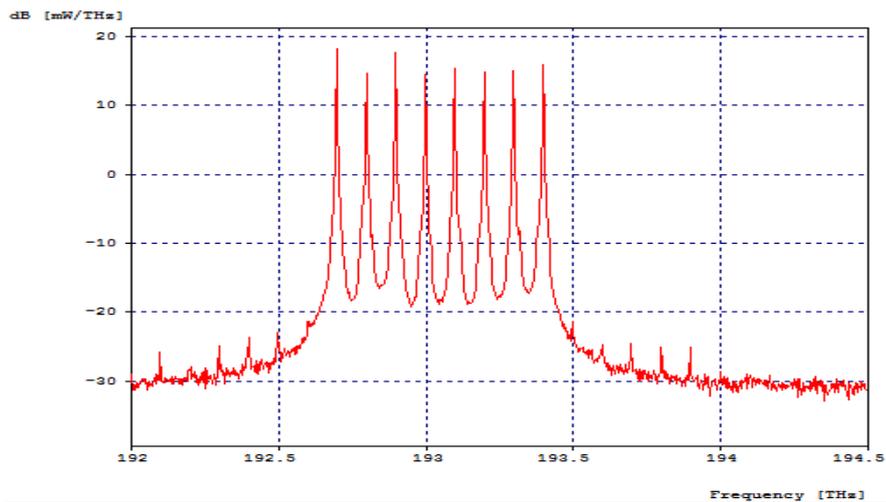
Figura 15. Espectro de frecuencia de la TDM-WDM en el awg-mux 2.



Elaborado por: Julio Layedra

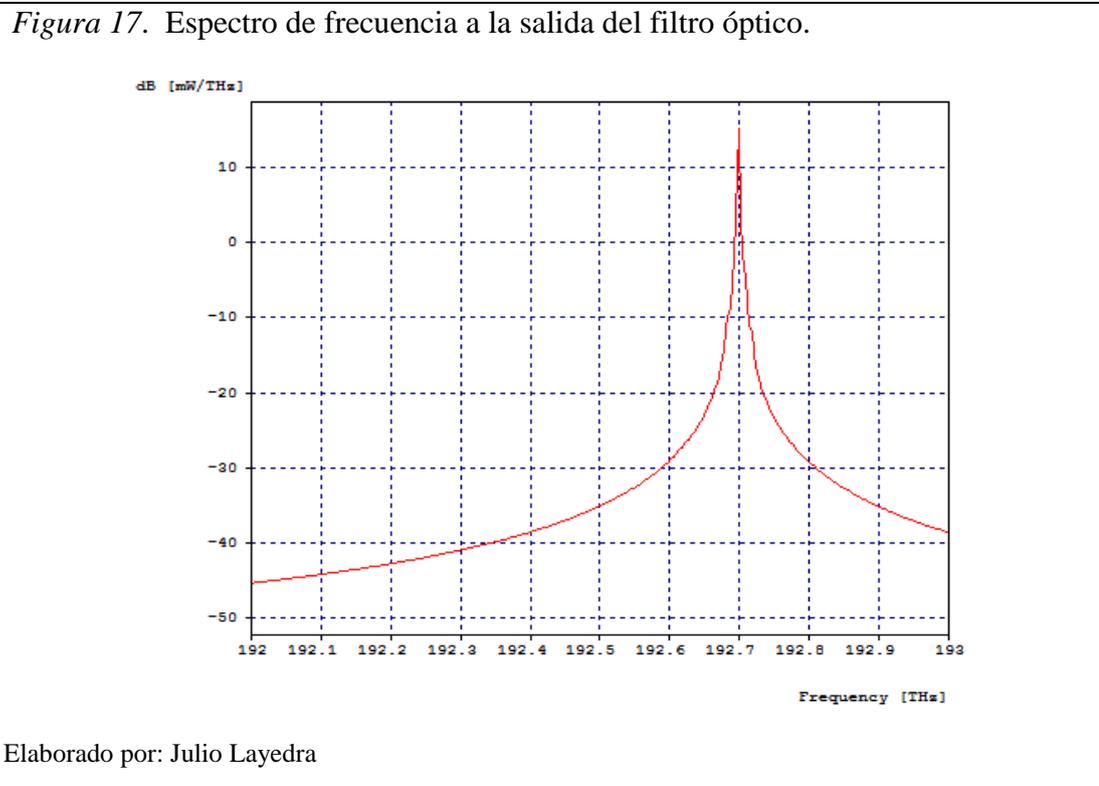
Se observa en la figura 16 el grupo de frecuencias a la salida del enlace de fibra óptica con una potencia de 20 db, la señal óptica pasa a través de la fibra compensadora donde se compensa la distorsión de la señal mediante la inducción de la Dispersión.

Figura 16. Espectro de frecuencia a la salida de la fibra compensadora.



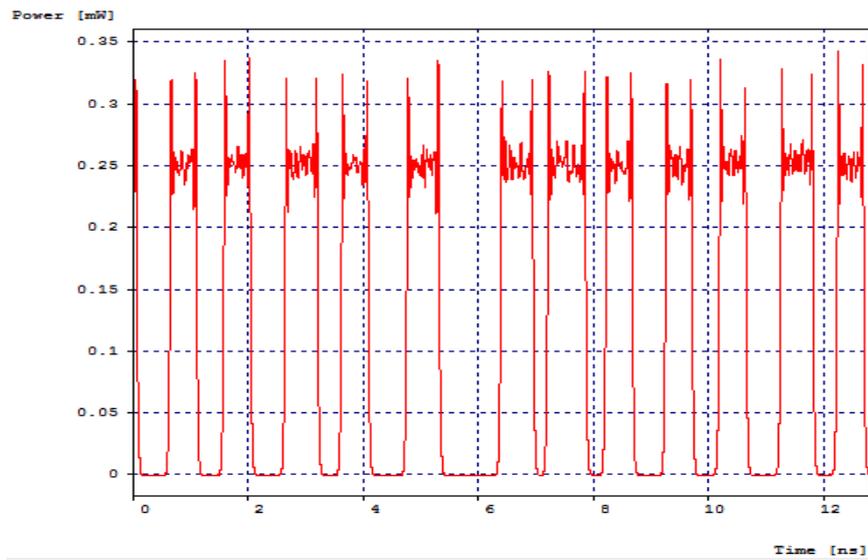
Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 17 se observa el espectro de frecuencia $\lambda_1 = 192.7$ THz a la salida del primer filtro óptico el cual permite reducir al mínimo la interferencia entre símbolos (ISI).



En la figura 18 se muestra, la potencia de la señal óptica recibida en el primer bloque receptor una frecuencia de 192.7 THz. Como se observa en la figura la señal recibida tiene un poco de dispersión debido a los parámetros propios de la fibra óptica tales como: longitud, pérdidas, coeficientes de atenuación etc. La potencia de señal óptica se encuentra a 0.25mW

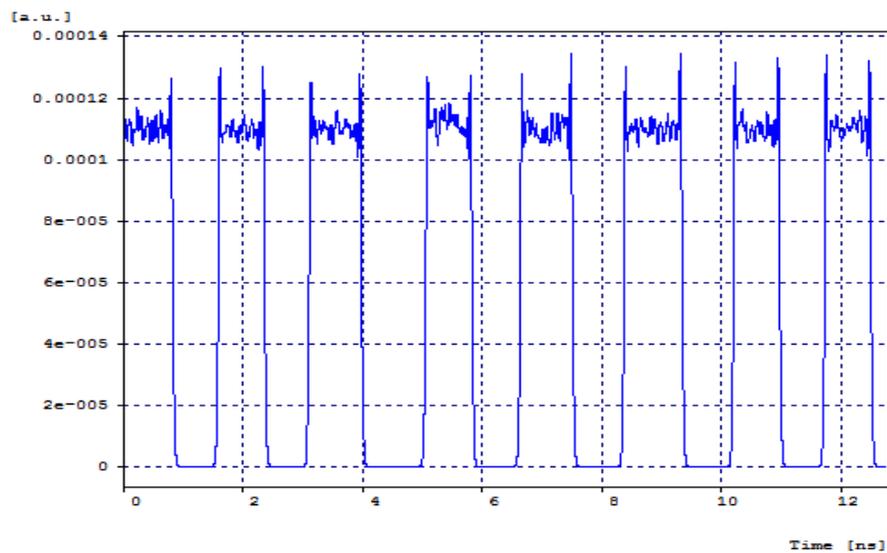
Figura 18. Potencia de la señal recibida a la salida del filtro óptico.



Elaborado por: Julio Layedra

La señal generada por el filtro de paso de banda se envía a un receptor sensible, en este caso un diodo PIN que convierte la señal óptica en señal eléctrica. La señal eléctrica de salida es visualizada mediante un osciloscopio eléctrico. La figura 19 muestra los datos recibidos a la salida del receptor 1.

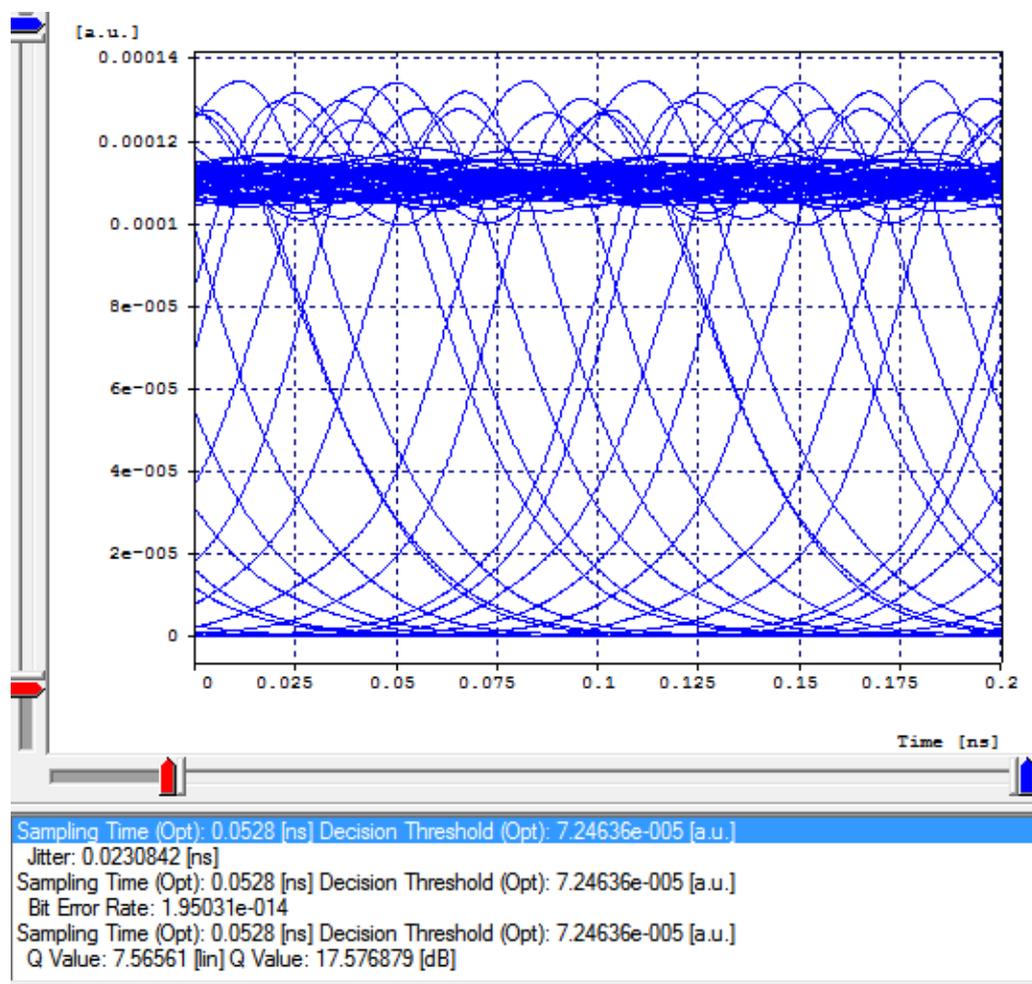
Figura 19. Datos recibidos



Elaborado por: Julio Layedra

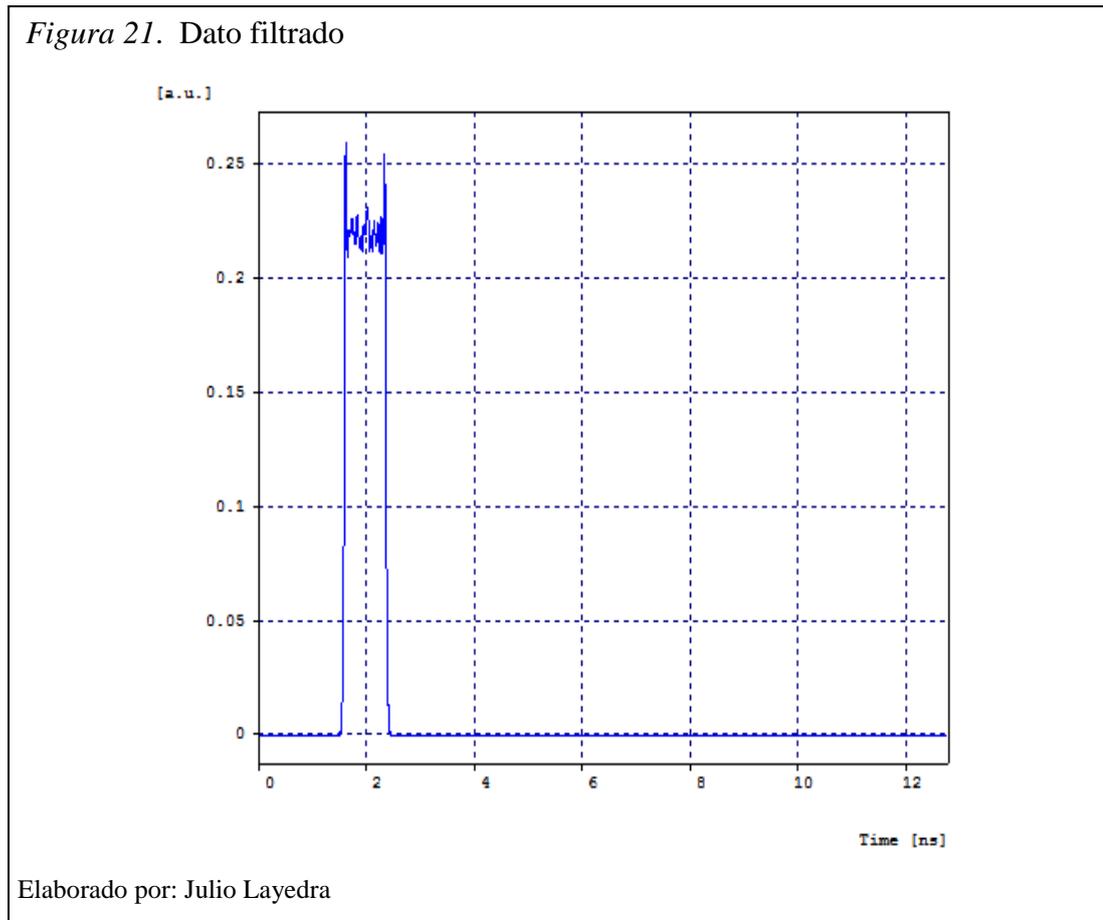
En la figura 20 se observa el diagrama de ojo en el receptor número 1, la tasa de bit errado con un valor de $1.95031e^{-14}$, el factor de calidad (Q factor) con un valor de 17.576879 [db] y por último el desfase (Jitter) igual a 0.0230842 [ns]. Existe un desfasamiento en el diagrama de ojo debido a la atenuación de las señales, es decir, en un canal de transmisión digital, las señales que se propagan, siempre estarán expuestas a atenuación, la cual dependerá principalmente de las distancias asociadas al enlace, sin embargo el patrón generado es aún aceptable y fácilmente un receptor puede recuperar la información de reloj y sincronizarse con el transmisor, además puede mantener una baja tasa de error en la recepción. (Ossa, 2002)

Figura 20. Diagrama de ojo en el receptor



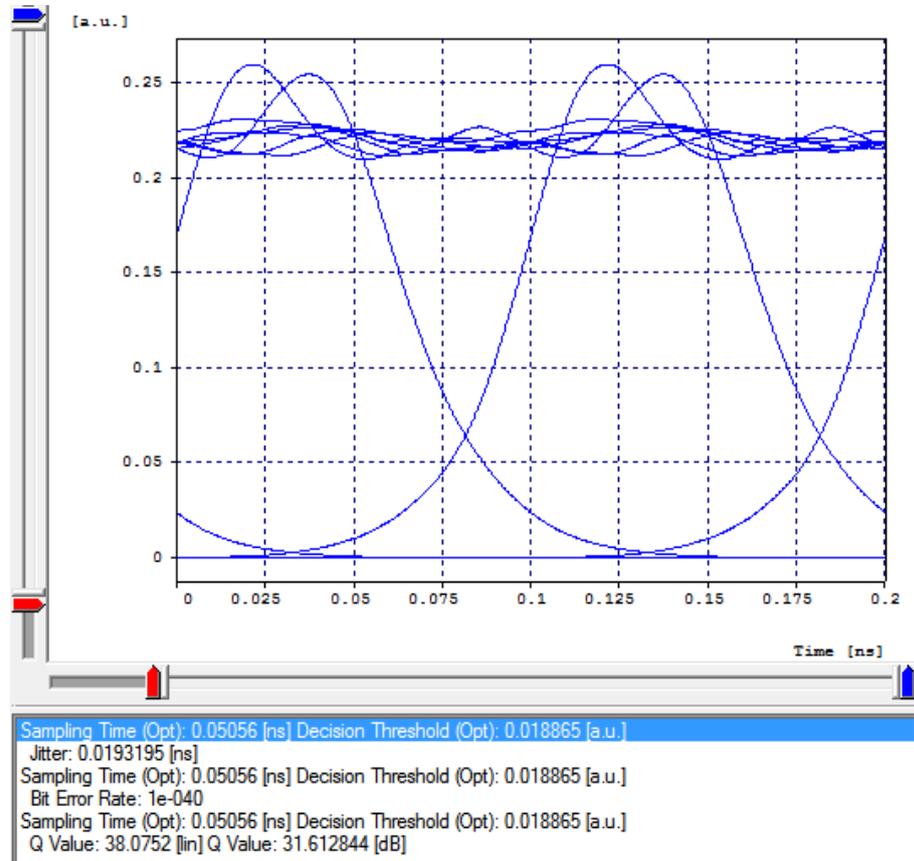
Elaborado por: Julio Layedra

La figura 21 muestra el dato a la salida del receptor 1.



En la figura 22 se muestra el diagrama de ojo del dato a la salida del receptor 1, la tasa de bit errado con un valor de $1e^{-40}$, el factor de calidad (Q factor) con un valor de 31.612844 [db] y por último el desfase (Jitter) igual a 0.0193195 [ns]. Analizando el diagrama de ojo se observa que no existe mayor desviación de fase debido a la baja tasa de jitter que se obtuvo facilitando al receptor la sincronización con el transmisor por ende se ve reflejado en la tasa de bit errado conseguida que es muy baja.

Figura 22. Diagrama de ojo del dato filtrado



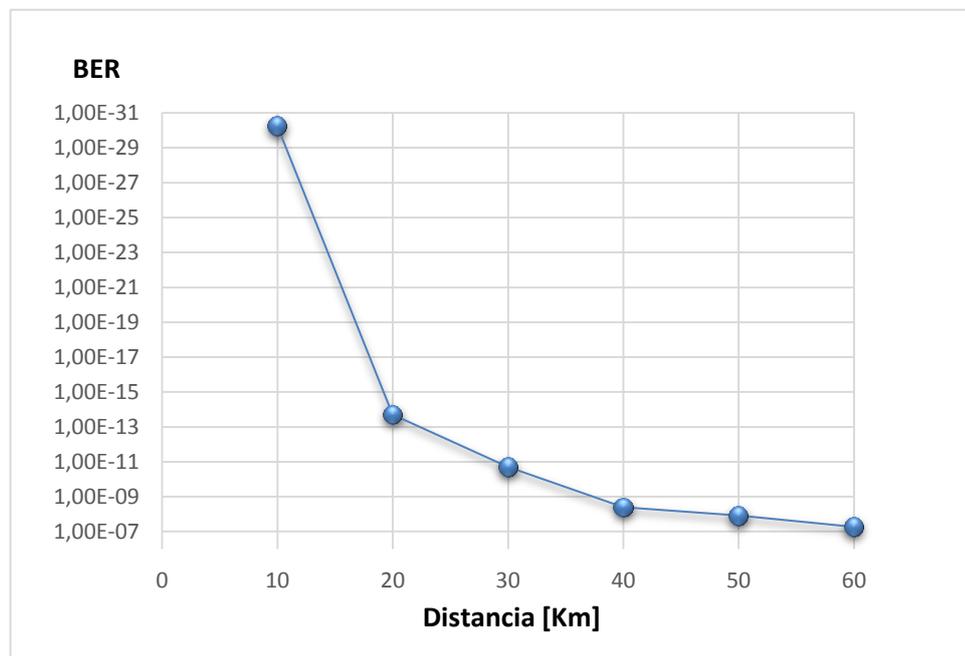
Elaborado por: Julio Layedra

4.1.1 Resultados de la red TDM-WDM-PON sin efectos de Dispersión.

A continuación se observan los resultados obtenidos al simular la red TDM-WDM-PON sin efectos de Dispersión, las curvas que se obtuvieron son: potencia de salida vs BER, distancia vs BER, velocidad de transmisión vs distancia y potencia de salida vs distancia.

La figura 23 muestra una gráfica de BER vs distancia a una velocidad de 10Gbps, se realizaron simulaciones aumentando la distancia de la fibra desde los 10km hasta los 60km en intervalos de 10km. Conforme se fue aumentando la distancia en la fibra óptica aumentó la tasa de bit errado debido a que las señales que se propagan, siempre estarán expuestas a atenuación, la cual dependerá principalmente de las distancias asociadas al enlace es decir mientras más largo sea el tramo de fibra óptica por el cual se propagan las señales, la tasa de bit errado aumentará degradando la eficiencia de la transmisión de datos.

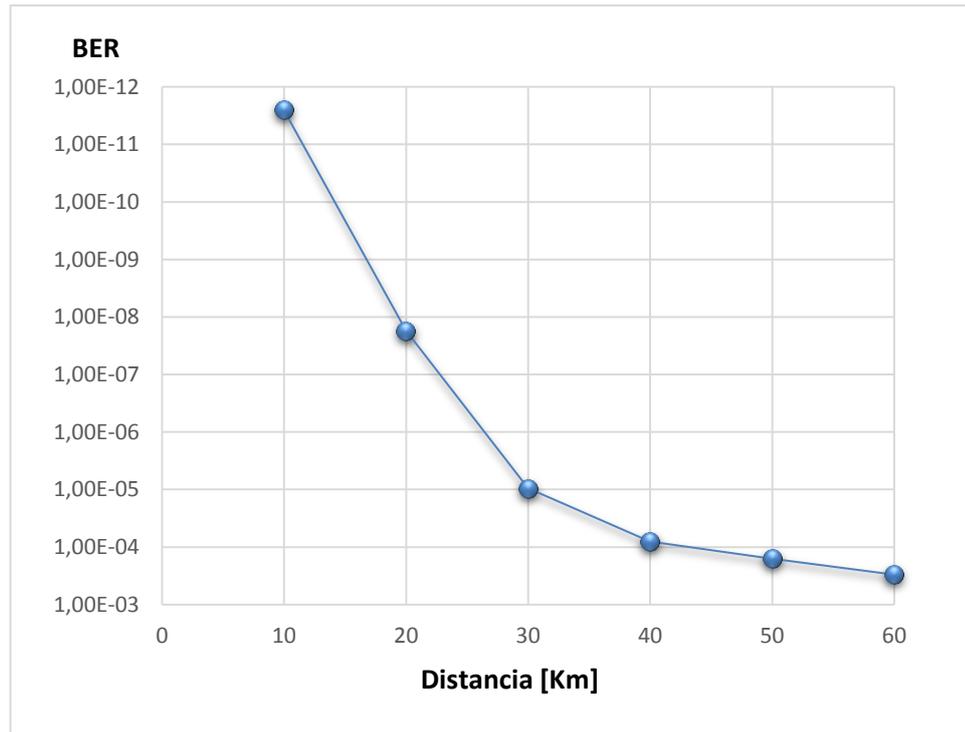
Figura 23. Gráfica distancia vs BER con velocidad de transmisión de 10 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

La figura 24 muestra un gráfico de distancia vs BER con una velocidad de transmisión de 20 Gbps. A medida que se aumentó la distancia en la fibra aumentó la tasa de bit errado. Se observa, claramente un deterioro del patrón de BER obtenido al transmitir con una velocidad de 20 Gbps, lo que muestra una incapacidad por parte del receptor para detectar los símbolos transmitidos. (Ossa, 2002)

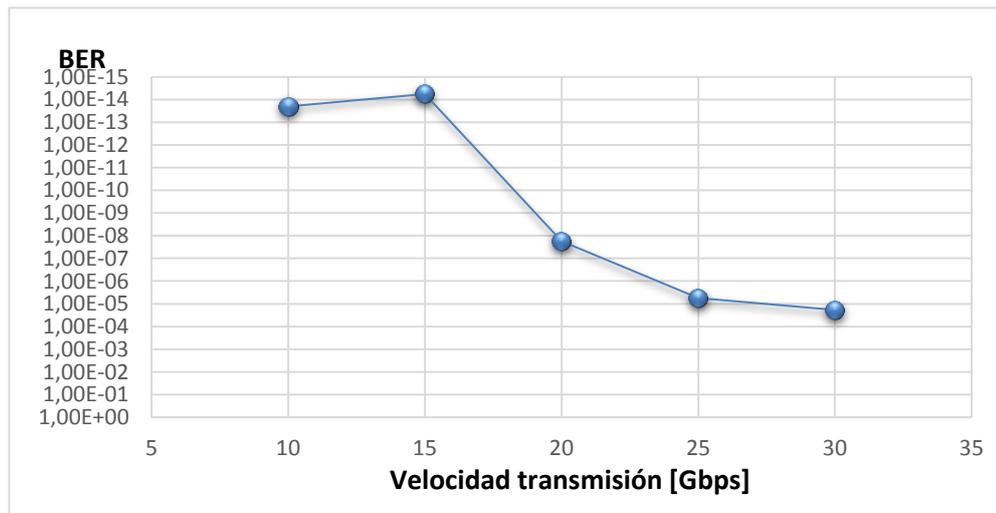
Figura 24. Gráfica distancia vs BER con una velocidad de transmisión de 20 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 25 se observa la gráfica de velocidad de transmisión vs BER con una longitud en la fibra de 20km, se aumentó la velocidad de transmisión desde los 10 Gbps hasta los 30 Gbps en intervalos de 5 Gbps. Al aumentar la velocidad de transmisión la tasa bit errado aumentó. A 25 y 30 Gbps, el receptor no es capaz de discriminar nada, por lo que la tasa de errores en la transmisión será elevadísima, ya que no hay posibilidad de reconocer ni siquiera los niveles intermedios. (Ossa, 2002)

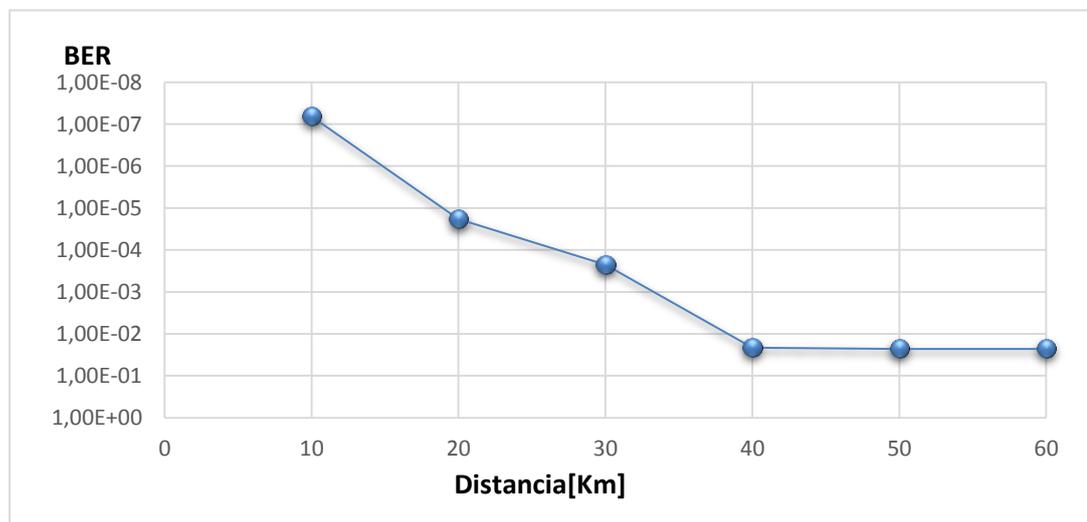
Figura 25. Gráfica velocidad de transmisión vs BER a 20Km



Elaborado por: Julio Layedra

La figura 26 muestra un gráfico de distancia vs BER a una velocidad de transmisión de 30 Gbps. A medida que se aumentó la distancia en la fibra aumentó la tasa de bit errado ya que la tasa de BER depende principalmente de las distancias asociadas al enlace.

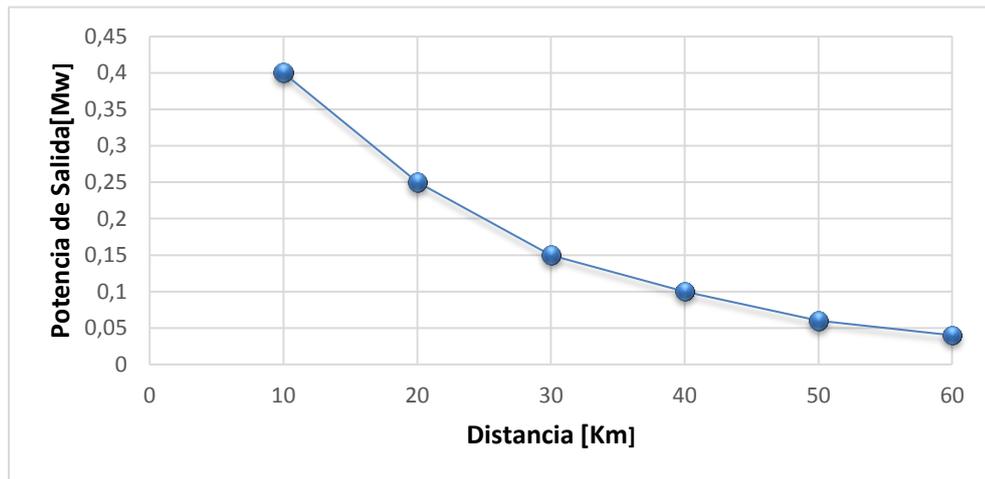
Figura 26. Gráfica distancia vs BER a 20Km a 30 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 27 se observa la gráfica de distancia vs potencia de salida a una velocidad de transmisión de 10 Gbps, medida a la salida del filtro óptico, conforme aumenta la distancia en la fibra óptica disminuye la potencia de salida es decir que entre más larga sea la distancia por la que se propagan los datos la potencia disminuye gradualmente.

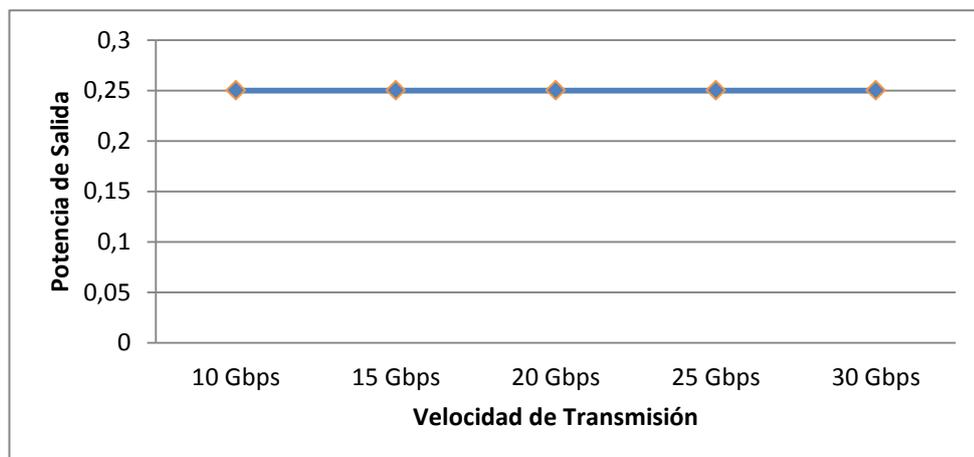
Figura 27. Gráfica de distancia vs potencia de salida a 10 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

La figura 28 muestra la gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida con una longitud en la fibra de 20 km. al aumentar la velocidad de transmisión la potencia de salida se mantiene constante en 0,25 mW.

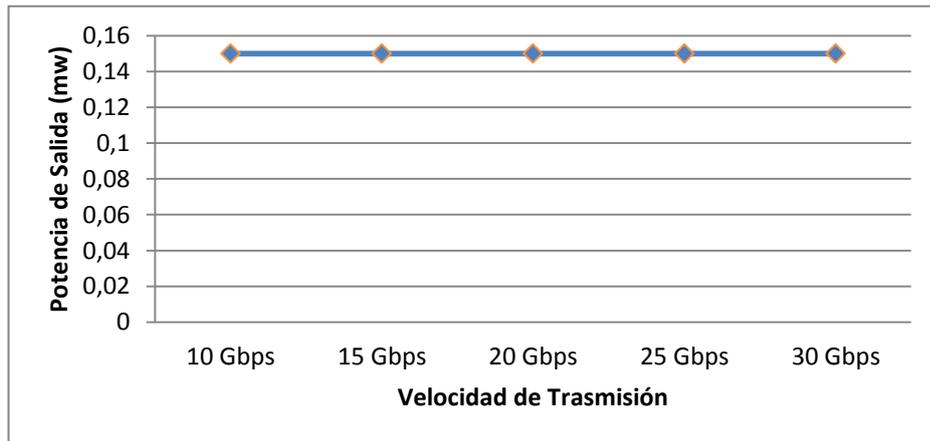
Figura 28. Gráfica velocidad de transmisión vs potencia de salida a 20 Km



Elaborado por: Julio Layedra

La figura 29 muestra una gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida con una longitud en la fibra de 30km. Al incrementar la velocidad de transmisión la potencia de salida se mantiene constante en 0,15 mW lo que indica que la velocidad de transmisión no es un factor determinante con relación a la potencia de transmisión.

Figura 29. Gráfica velocidad de transmisión vs potencia de salida a 30 Km



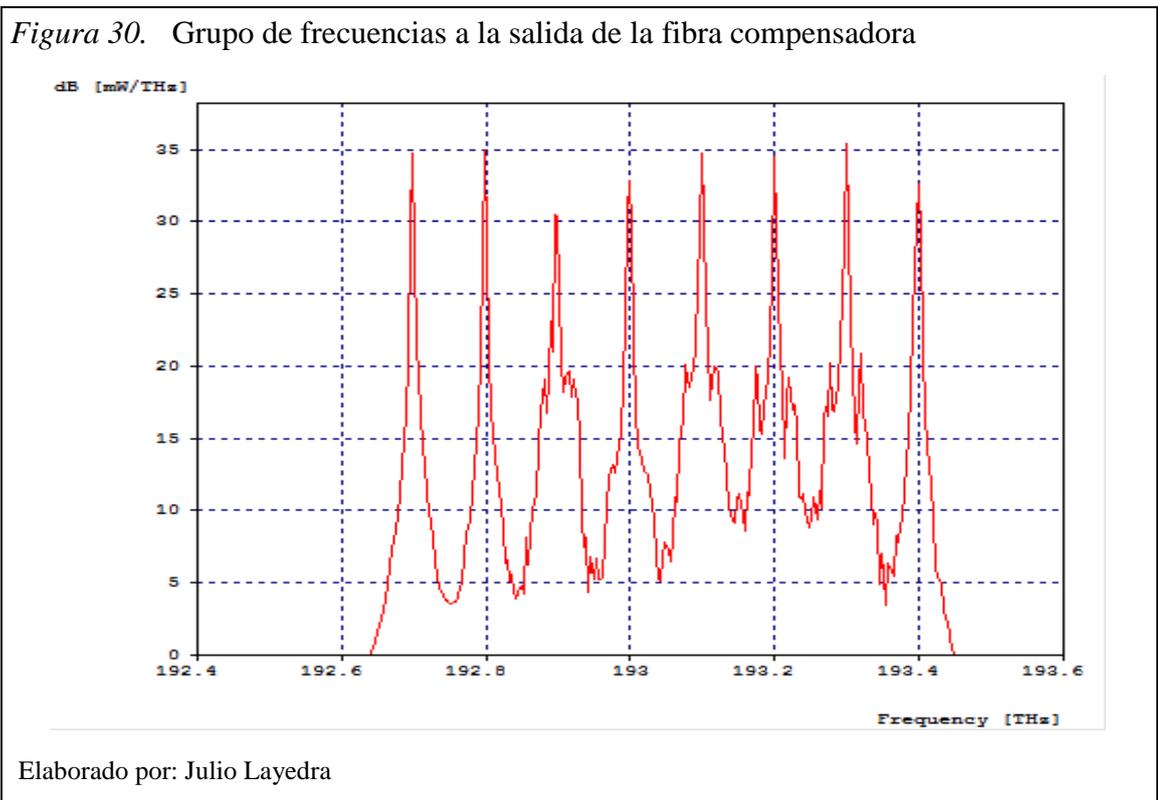
Elaborado por: Julio Layedra

4.2 Pruebas de la red TDM-WDM-PON con efectos de Dispersión

A continuación se analiza las pruebas realizadas sobre la red TDM-WDM-PON con efectos de Dispersión inelástica. La simulación del efecto Raman en la red TDM-WDM-PON, se la realizó aumentando la potencia en el láser de onda continua (ubicado en el bloque transmisor) desde 1mW hasta los 180 mW en intervalos de 10 mW con una longitud en la fibra de 20 Km y una velocidad de transmisión de 10 Gbps.

4.2.1 Efecto Raman.

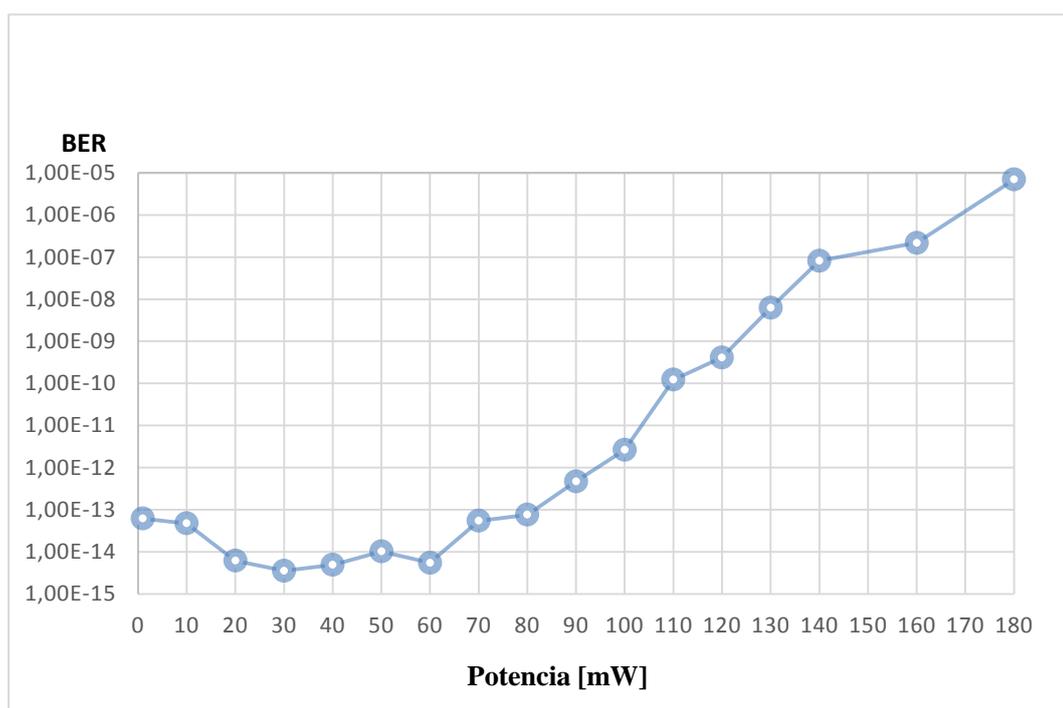
Las pruebas que se muestran a continuación fueron realizadas en la red TDM-WDM-PON con el efecto Raman. En la figura 30 se observa el espectro de frecuencias a la salida de la fibra compensadora, la potencia a la cual comienza a afectar el efecto Raman es de 60 mW.



4.2.1.1 Resultados efecto Raman.

En la figura 31 se observa una gráfica de potencia de entrada vs BER a una velocidad de 10Gbps, con una longitud en la fibra de 20 km simulando el efecto raman. Como se observa en la figura 31 a medida que se fue aumentando la potencia el efecto no lineal aparece en el BER hasta alcanzar los 60 mW donde comienza a aumentar la tasa de bit errado.

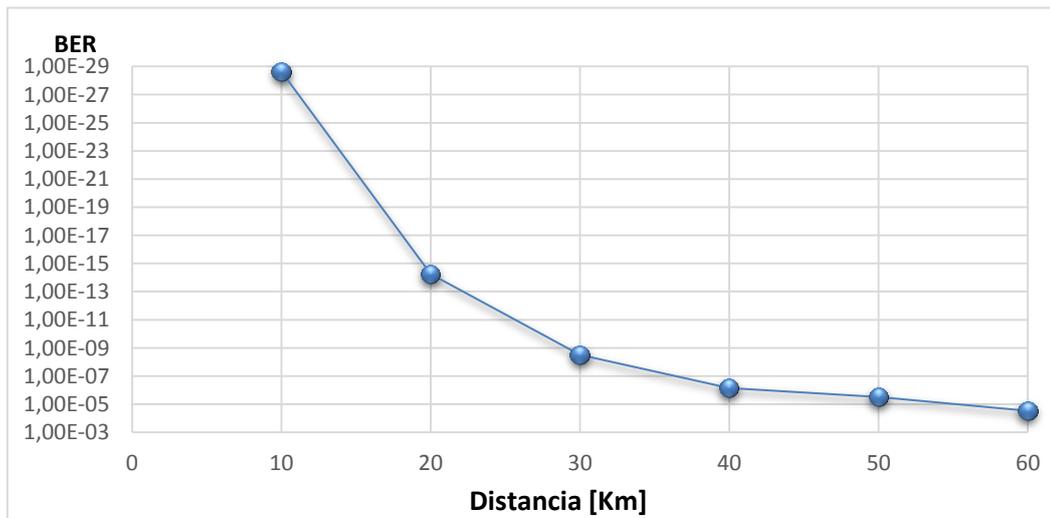
Figura 31. Gráfica de potencia vs BER efecto Raman



Elaborado por Julio Layedra

En la figura 32 se observa una gráfica de distancia vs BER con una velocidad de transmisión de 10 Gbps, una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia en el láser de onda continua de 60 mW, potencia a la cual comienza el efecto Raman en la red TDM-WDM-PON, como se observa en la figura 33 a medida que se aumentó la distancia en la fibra óptica aumentó la tasa de bit errado.

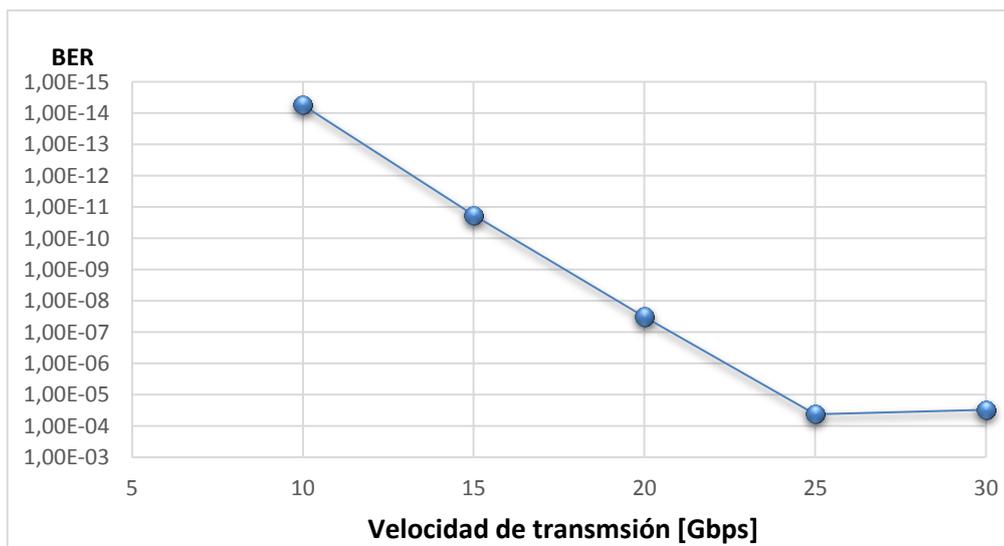
Figura 32. Gráfica de distancia vs BER efecto Raman a 60mW a 10 Gbps



Elaborado por Julio Layedra

La figura 33 muestra una gráfica de velocidad de transmisión vs BER con una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia en el láser de onda continua de 60 mW, se aumentó la velocidad de transmisión desde los 10 Gbps hasta los 30 Gbps en intervalos de 5 Gbps, conforme se aumentó la velocidad de transmisión aumenta la tasa de bit errado hasta llegar a los 30 Gbps donde disminuye la tasa de bit errado.

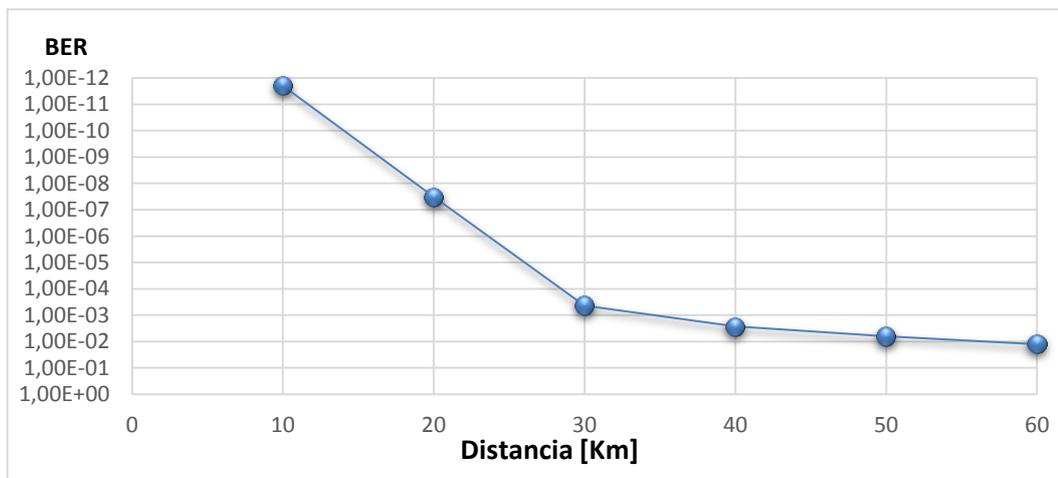
Figura 33. Gráfica de velocidad de transmisión vs BER efecto Raman a 60mW



Elaborado por: Julio Layedra

En la gráfica 34 se observa una gráfica de distancia vs BER con una potencia en el láser de onda continua de 60 mW, una longitud en la fibra de 20 Km y una velocidad de transmisión de 20 Gbps, conforme se aumentó la distancia la tasa de bit errado aumentó, siendo 20Km la máxima distancia a la que se puede transmitir datos. Al superar esta distancia se tiene un BER que no permite una transmisión de datos para servicios de redes ngn.

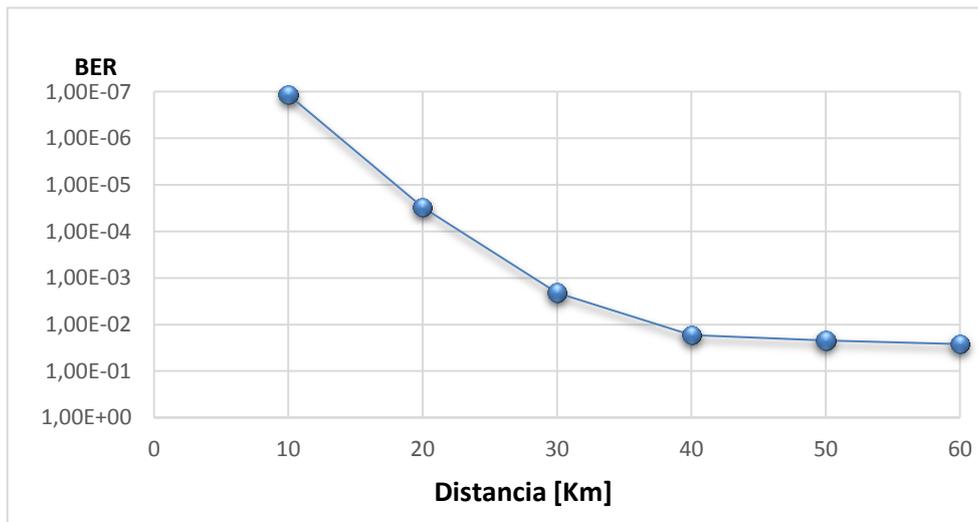
Figura 34. Gráfica de distancia vs BER efecto Raman a 60mW a 20Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

En la gráfica 35 se observa una gráfica de distancia vs BER con una potencia en el láser de onda continua de 60 mW, una longitud en la fibra de 20 Km y una velocidad de transmisión de 30 Gbps, a medida que se aumentó la distancia la tasa de bit errado aumentó

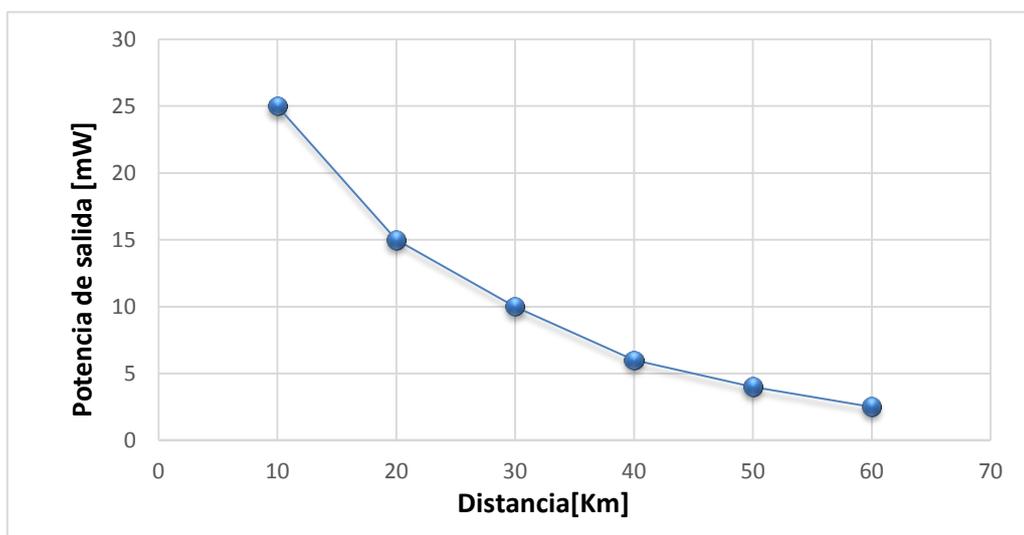
Figura 35. Gráfica de distancia vs BER efecto Raman a 60mW a 30 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 36 se observa la gráfica de distancia vs potencia de salida una velocidad de transmisión de 10, medida a la salida del filtro óptico, una potencia en el láser de onda continua de 60 mW, conforme aumenta la distancia en la fibra óptica disminuye la potencia de salida.

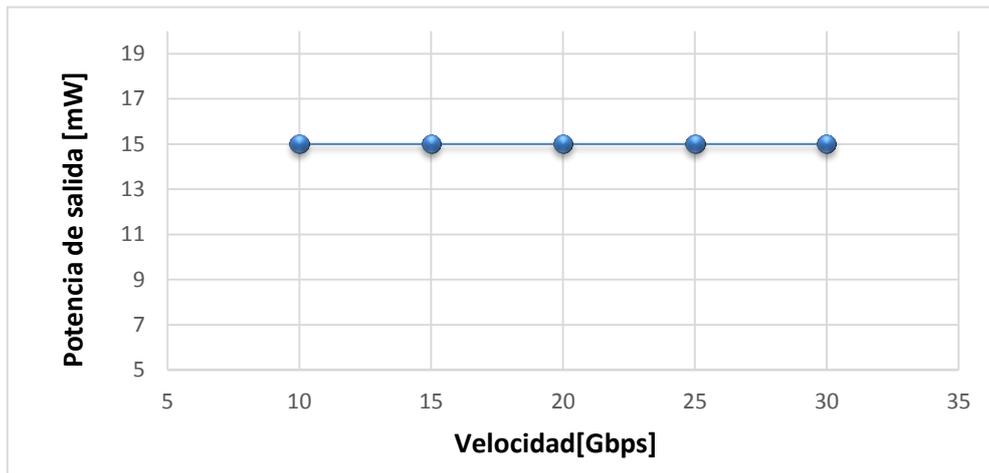
Figura 36. Gráfica de distancia vs potencia de salida a 10 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

La figura 37 muestra un gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida con una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia en el láser de onda continua de 60 mW. A medida que se aumentó la velocidad la potencia de salida medida a la salida del filtro óptico, se mantuvo constante.

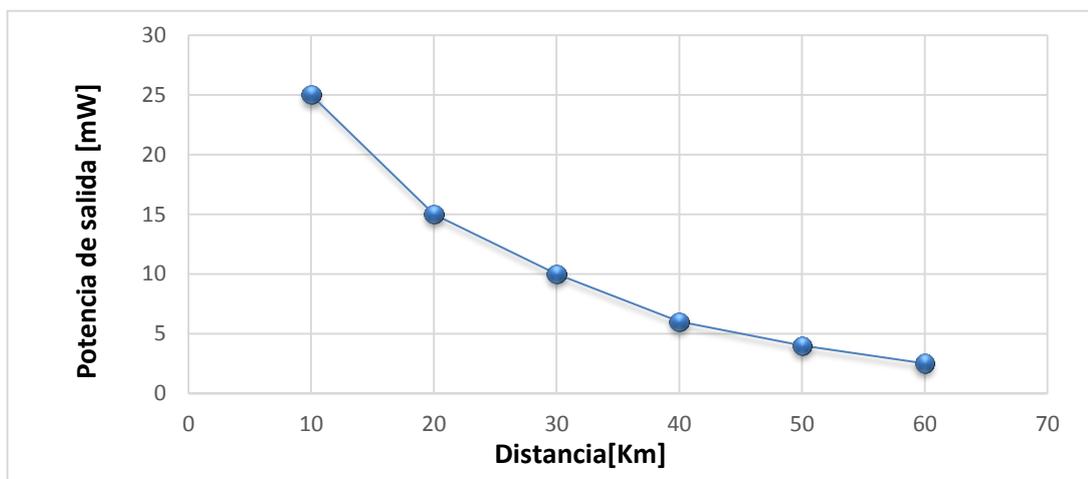
Figura 37. Gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida



Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 38 se observa una gráfica de distancia vs potencia salida con una velocidad de transmisión de 20 Gbps, y una potencia en el láser de onda continua de 60 mW, conforme se aumentó la distancia disminuyó la potencia de salida.

Figura 38. Gráfica de distancia vs potencia de salida a 20 Gbps

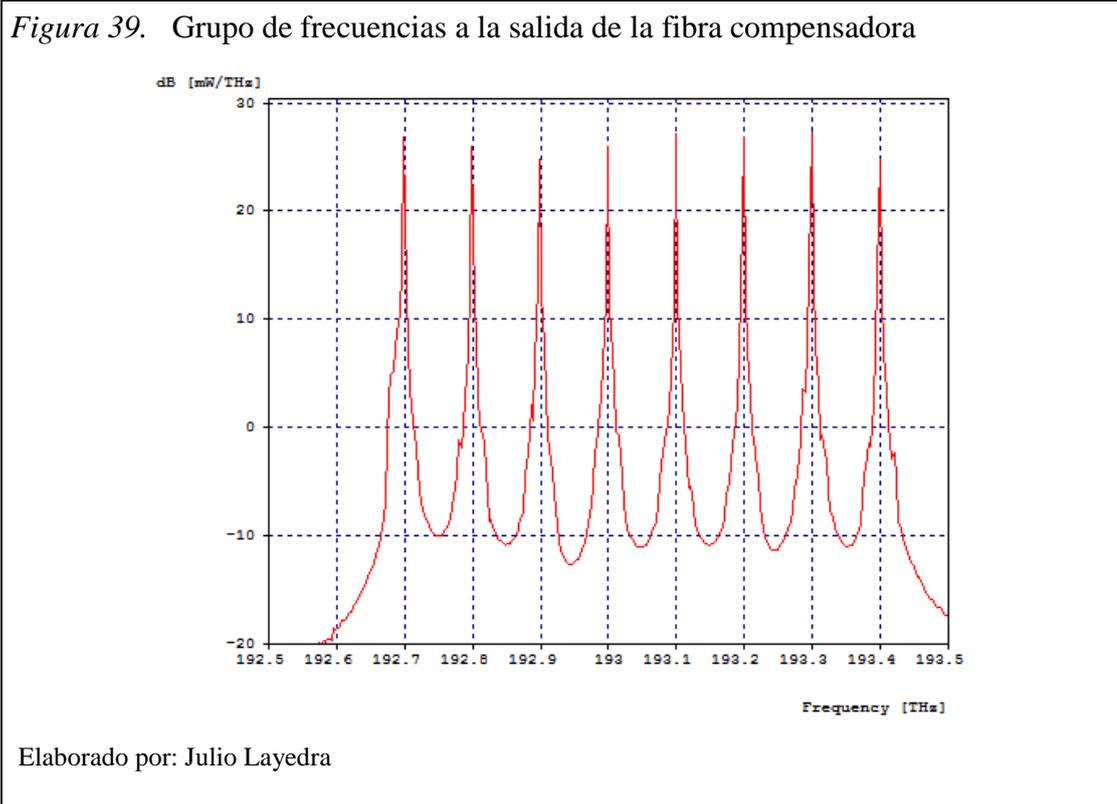


Elaborado por: Julio Layedra

4.2.2 Efecto Brillouin.

En el siguiente apartado se describe las pruebas realizadas sobre la red TDM-WDM-PON con el efecto Brillouin. La simulación del efecto Brillouin sobre la red TDM-WDM-PON se la realizó al activar el parámetro “SBS” de off a on, de igual manera se realizaron pruebas aumentando la potencia en el láser de onda continua activado el parámetro del efecto Brillouin. Las pruebas se realizaron con una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una velocidad de transmisión de 10 Gbps, los resultados se muestran a continuación.

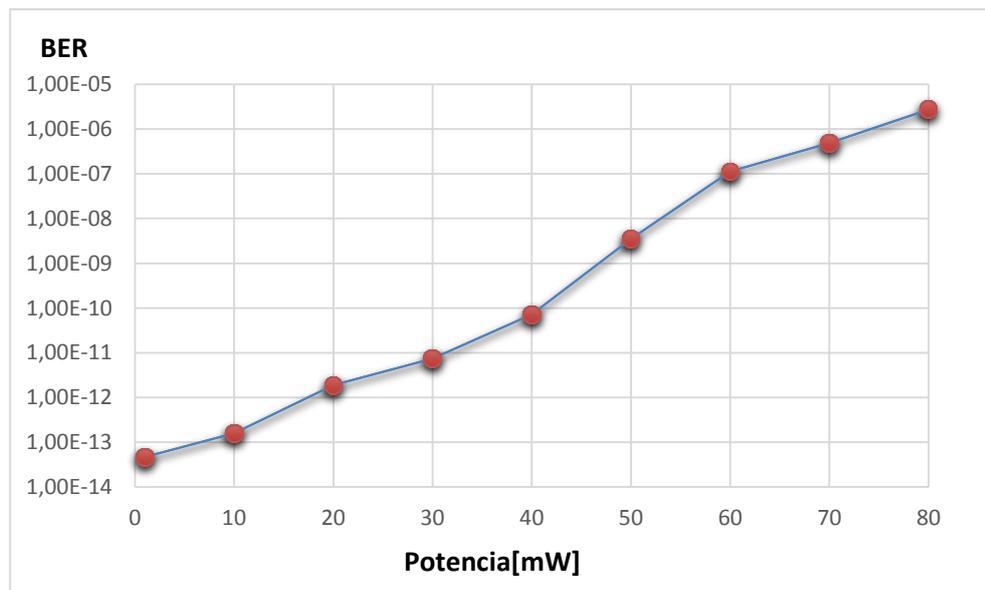
En la figura 39 se observa el espectro de frecuencias a la salida de la fibra compensadora, la potencia límite a la cual se observa cómo perjudica el efecto Brillouin en el grupo de frecuencias es de 30 mW.



4.2.2.1 Resultados efecto Brillouin.

En la figura 40 se observa una gráfica de potencia insertada vs BER a una velocidad de 10Gbps, con una longitud en la fibra de 20 km simulando el efecto brillouin a medida que se fue aumentando la potencia de entrada con el efecto Brillouin accionado “ON” la tasa de bit errado aumentó.

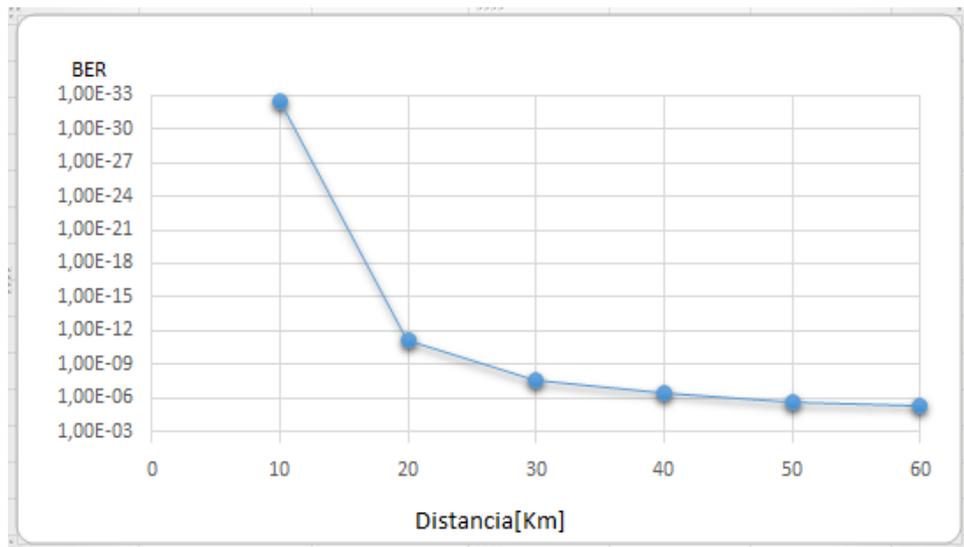
Figura 40. Gráfica de potencia vs BER efecto Brillouin



Elaborado por: Julio Layedra

En la figura 41 se observa una gráfica de distancia vs BER con una velocidad de transmisión de 10 Gbps, una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia en el láser de onda continua de 30 mW, potencia límite para el efecto Brillouin en la red WDM/TDM-PON, como se observa en la figura 43 a medida que se aumentó la distancia en la fibra óptica aumentó la tasa de bit errado.

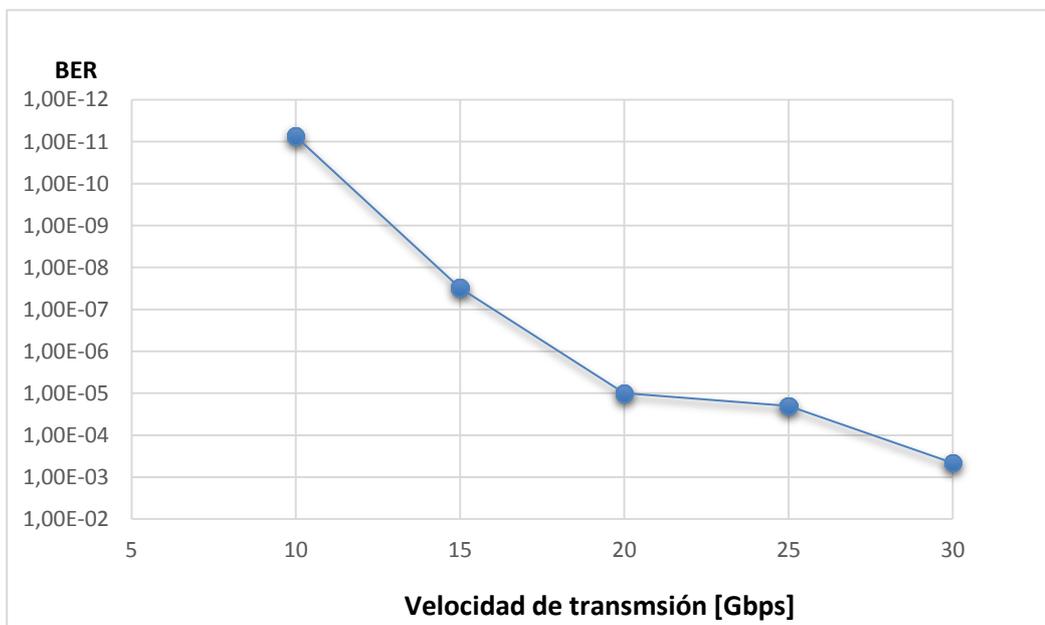
Figura 41. Gráfica de distancia vs BER efecto Brillouin a 30mW a 10 Gbps



Elaborado por Julio Layedra

La figura 42 muestra una gráfica de velocidad de transmisión vs BER con una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia en el láser de onda continua de 30 mW, se aumentó la velocidad de transmisión desde los 10 Gbps hasta los 30 Gbps en intervalos de 5 Gbps, conforme se aumentó la velocidad de transmisión aumentó la tasa de bit errado.

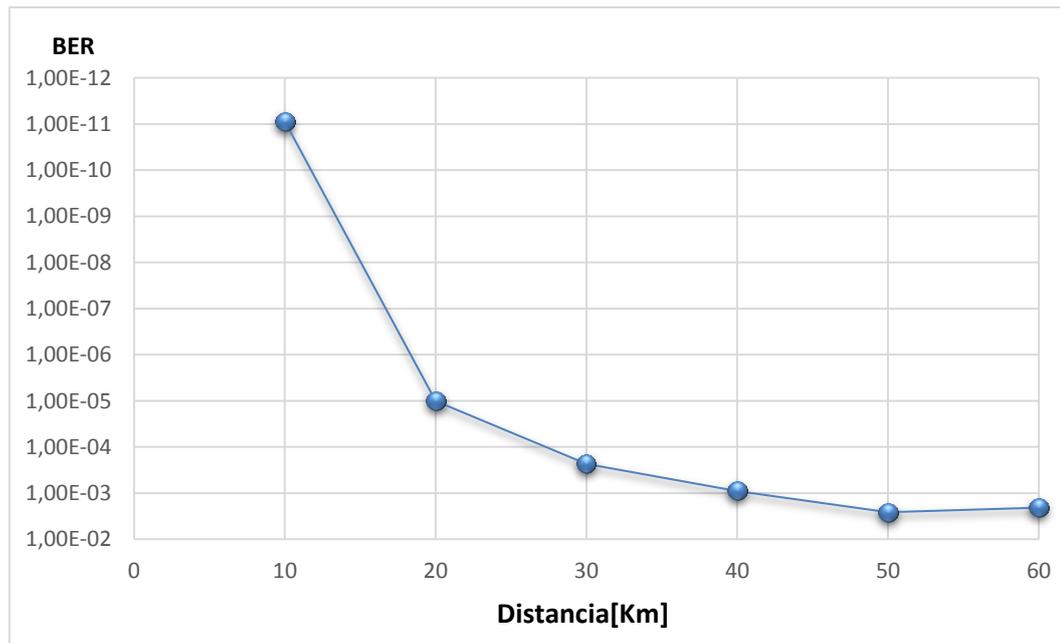
Figura 42. Gráfica de velocidad de transmisión vs BER efecto Brillouin a 30Mw



Elaborado por: Julio Layedra

En la gráfica 43 se observa una gráfica de distancia vs BER con una potencia en el láser de onda continua de 30 mW, una longitud en la fibra de 20 Km y una velocidad de transmisión de 20 Gbps , conforme se aumentó la distancia la tasa de bit errado aumentó.

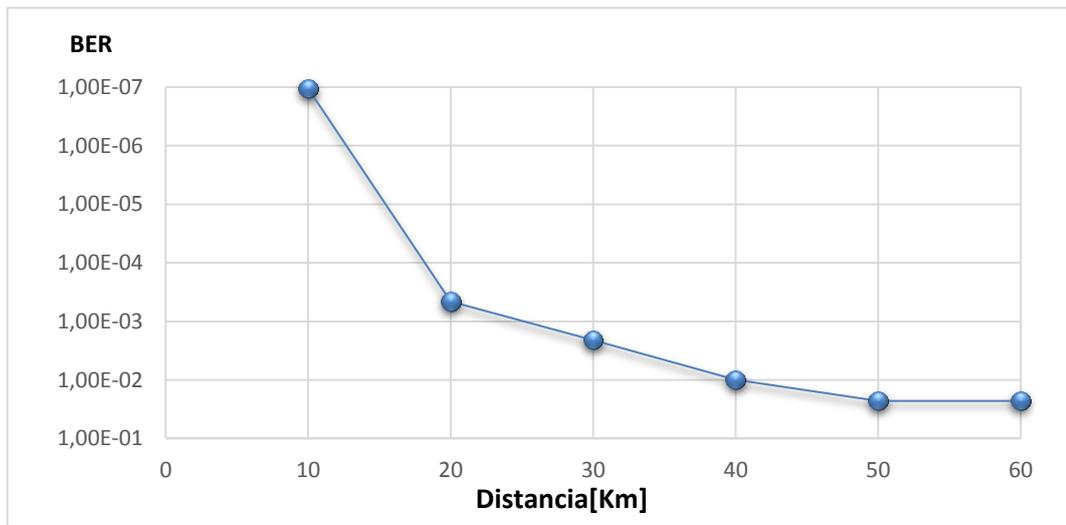
Figura 43. Gráfica de distancia vs BER efecto Brillouin a 30mW a 20Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

En la gráfica 44 se observa una gráfica de distancia vs BER con una potencia en el láser de onda continua de 30 mW, una longitud en la fibra de 20 Km y una velocidad de transmisión de 30 Gbps , a medida que se aumentó la distancia la tasa de bit errado aumentó.

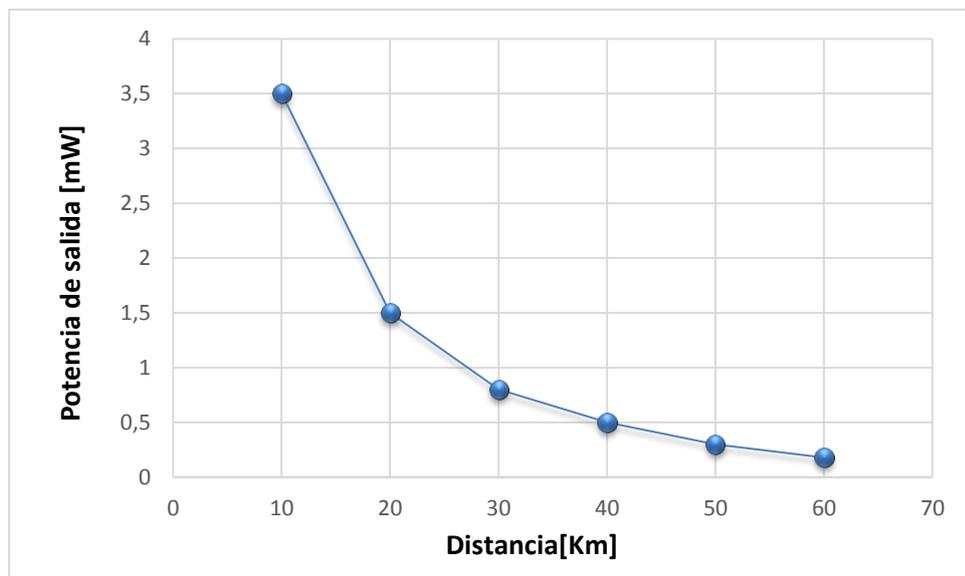
Figura 44. Gráfica de distancia vs BER efecto Brillouin a 30mW a 30 Gbps



Elaborado por: Julio Layedra

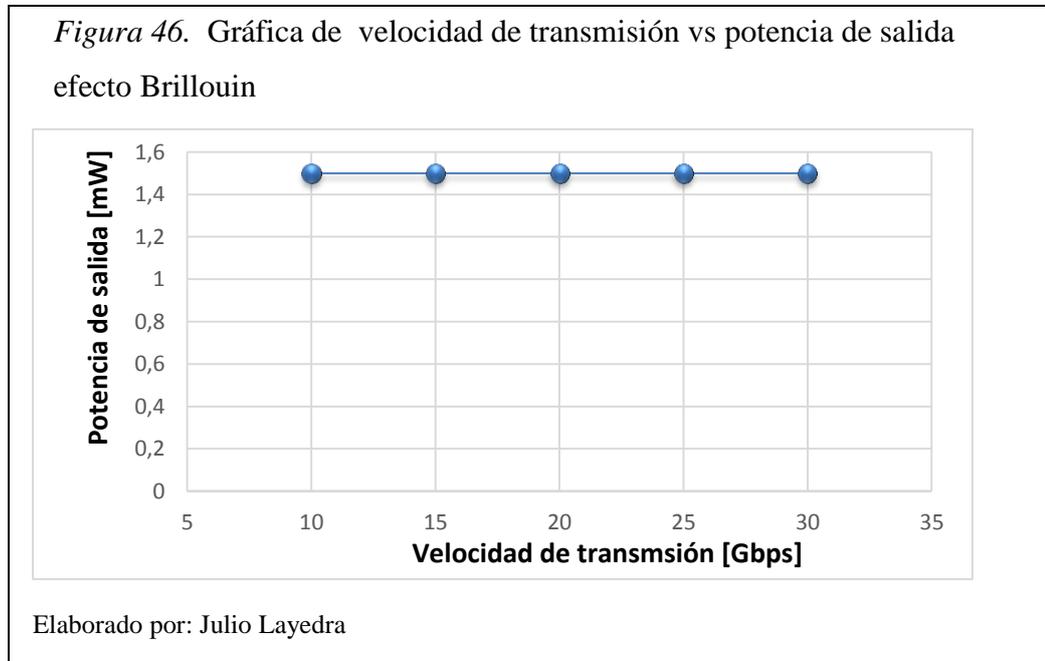
En la figura 45 se observa la gráfica de distancia vs potencia de salida una velocidad de transmisión de 10 Gbps, medida a la salida del filtro óptico, una potencia en el láser de onda continua de 30 mW, conforme aumenta la distancia en la fibra óptica disminuye la potencia de salida.

Figura 45. Gráfica de distancia vs potencia de salida efecto Brillouin

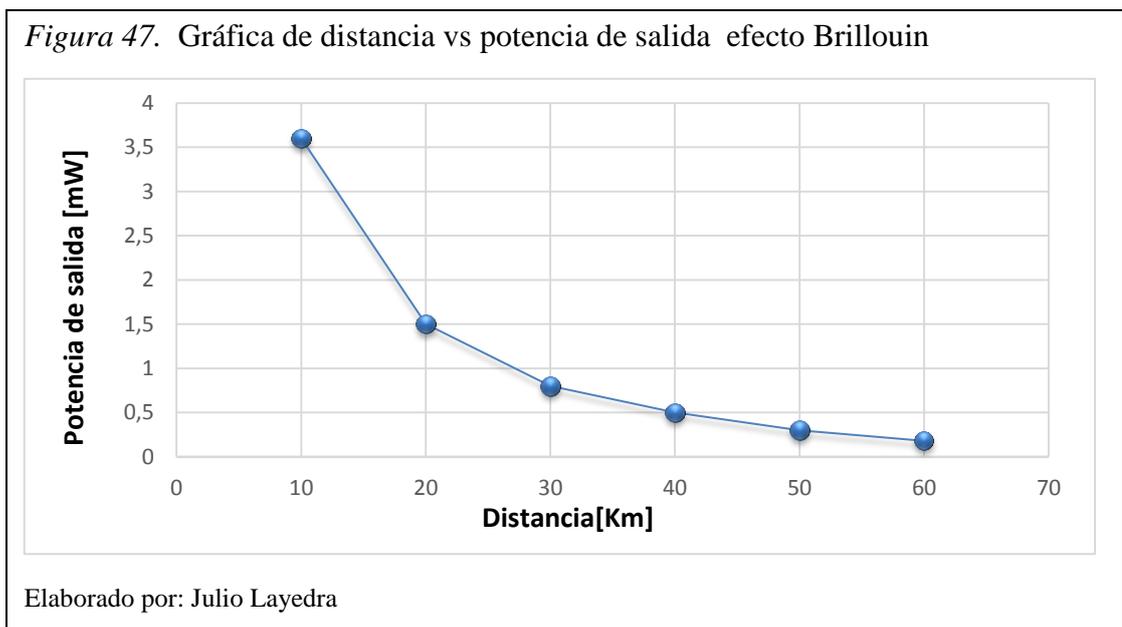


Elaborado por: Julio Layedra

La figura 46 muestra un gráfica de velocidad de transmisión vs potencia de salida con una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia en el láser de onda continua de 30 mW. A medida que se aumentó la velocidad la potencia de salida medida a la salida del filtro óptico, se mantuvo constante.

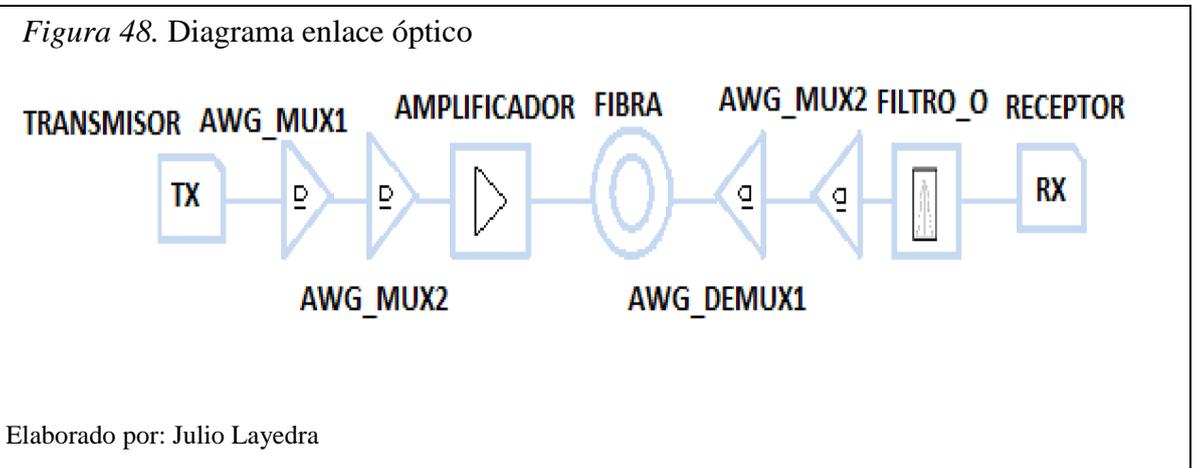


En la figura 47 se observa una gráfica de distancia vs potencia salida con una velocidad de transmisión de 20 Gbps, y una potencia en el láser de onda continua de 30 mW, conforme se aumentó la distancia disminuyo la potencia de salida.



4.3 Cálculos de potencia en la red WDM/TDM-PON

En la figura 48 se puede observar el diagrama del enlace óptico mediante el cual se realizará los cálculos de pérdida de potencia en la red TDM-WDM-PON.



La Ecuación 10 muestra la potencia de cada componente en el enlace óptico.

Ecuación 10. Cálculos pérdidas de potencia.

$$P_{TRANSMISOR} - P_{AWG-MUX1} - P_{AWG-MUX2} + P_{AMPLIFICADOR} - P_{FIBRA} - P_{AWG-DEMUX1} - P_{AWG-DEMUX2} - P_{FILTRO \text{ ÓPTICO}} = P_{RECEPTOR}$$

La tabla 2 muestra la potencia en dbm de cada componente.

Tabla 2. Potencia de cada elemento del enlace óptico.

Componente	dbm
Transmisor	0
AWG_MUX1	-3
AWG_MUX2	-3
AMPLIFICADOR	10
FIBRA	-4
AWG_DEMUX1	-3
AWG_DEMUX2	-3
FILTRO ÓPTICO	-3

Elaborado por: Julio Layedra

Remplazando los valores de cada componente en la Ecuación 1 se obtiene el valor de la potencia en dbm en el receptor como se observa en la Ecuación 11.

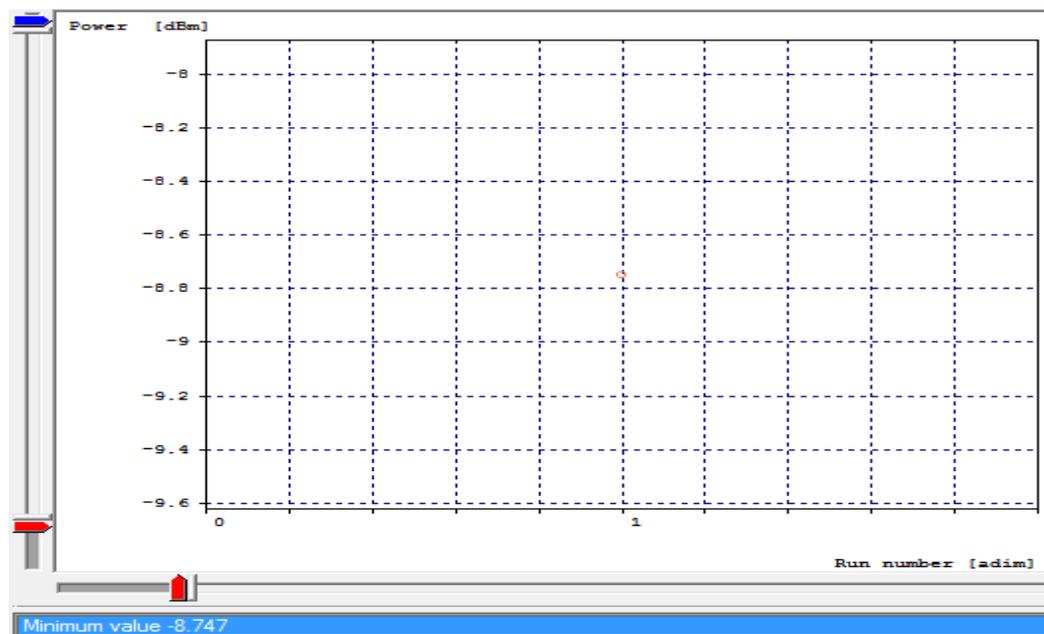
Ecuación 11. Cálculos pérdidas de potencia en db.

$$P_{RECEPTOR} = 0 - 3 - 3 + 10 - 4 - 3 - 3 - 3$$

$$P_{RECEPTOR} = -9dbm$$

En la figura 49 se observa la potencia medida a la salida del filtro óptico con una longitud en la fibra de 20km a una velocidad de transmisión de 10 Gbps, el valor medido es de $-8,747$ dbm lo cual concuerda con el cálculo realizado en la Ecuación 11.

Figura 49. Medidor de potencia a la salida del filtro óptico.



Elaborado por: Julio Layedra

4.4 Cálculos de potencia en la red WDM/TDM-PON efecto Raman

La Ecuación 12 muestra la potencia de cada componente en el enlace óptico.

Ecuación 12. Cálculos pérdidas de potencia.

$$P_{TRANSMISOR} - P_{AWG-MUX1} - P_{AWG-MUX2} + P_{AMPLIFICADOR} - P_{FIBRA} - P_{AWG-DEMUX1} - P_{AWG-DEMUX2} - P_{FILTRO\ ÓPTICO} = P_{RECEPTOR}$$

La tabla 3 muestra la potencia en dbm de cada componente.

Tabla 3. Potencia de cada elemento del enlace óptico.

Componente	dbm
Transmisor	-17
AWG_MUX1	-3
AWG_MUX2	-3
AMPLIFICADOR	10
FIBRA	-4
AWG_DEMUX1	-3
AWG_DEMUX2	-3
FILTRO ÓPTICO	-3

Elaborado por: Julio Layedra

Remplazando los valores de cada componente en la Ecuación 12 se obtiene el valor de la potencia en dbm en el receptor como se observa en la Ecuación 13.

Ecuación 13. Cálculos pérdidas de potencia en db.

$$P_{RECEPTOR} = -17 - 3 - 3 + 10 - 4 - 3 - 3 - 3$$

$$P_{RECEPTOR} = -26dbm$$

4.5 Cálculos de potencia en la red WDM/TDM-PON efecto Brillouin

La Ecuación 14 muestra la potencia de cada componente en el enlace óptico.

Ecuación 14. Cálculos pérdidas de potencia.

$$P_{TRANSMISOR} - P_{AWG-MUX1} - P_{AWG-MUX2} + P_{AMPLIFICADOR} - P_{FIBRA} - P_{AWG-DEMUX1} - P_{AWG-DEMUX2} - P_{FILTRO \acute{O}PTICO} = P_{RECEPTOR}$$

La tabla 4 muestra la potencia en dbm de cada componente.

Tabla 4. Potencia de cada elemento del enlace óptico.

Componente	dbm
Transmisor	-14
AWG_MUX1	-3
AWG_MUX2	-3
AMPLIFICADOR	10
FIBRA	-4
AWG_DEMUX1	-3
AWG_DEMUX2	-3
FILTRO ÓPTICO	-3

Elaborado por: Julio Layedra

Remplazando los valores de cada componente en la Ecuación 14 obtenemos el valor de la potencia en dbm en el receptor como se observa en la Ecuación 15.

Ecuación 15. Cálculos pérdidas de potencia en db.

$$P_{RECEPTOR} = -14 - 3 - 3 + 10 - 4 - 3 - 3 - 3$$

$$P_{RECEPTOR} = -23dbm$$

CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se analiza los costos de implementación de la red WDM/TDM-PON.

5.1 Costos de equipos

En la tabla 5 se observa los costos de los equipos necesarios para la implementación de la red, indicando la cantidad de equipos y el precio unitario.

Tabla 5. Costos de equipos

Cantidad	Descripción	Prec.Unit. \$	Prec.Total. \$
1	OLT	2190	2452
64	ONU	77,28	4945,92
9	Awg-Mux de 8 a 1	996	8964
9	Awg-Demux de 8 a 1	996	8964
8	Filtro Óptico	70	560
1	Amplificador Óptico	1792	1792
20000	Cable de Fibra Monomodo	1,792	35840
200	Conectores de Fibra Óptica	3,64	728
TOTAL \$			64245,92

Elaborado por: Julio Layedra

En la tabla número 6 se observa los costos de instalación de los equipos.

Tabla 6. Costos de instalación

Equipos a instalar	Descripción	Cantidad	Distancia(m)	Precio Unitario. \$	Precio Total. \$
Fibra óptica	Instalación, tendido, fusión de la fibra óptica	1	20.000	1,6	32000
Equipos pasivos	Instalación y configuración de las OLT	1		1800	1800
TOTAL \$					33800 \$

Elaborado por: Julio Layedra

En la tabla número 7 se describe el costo total de los equipos necesarios para la implementación de la red, además de los costos de instalación de la misma.

Tabla 7. Costo total del proyecto

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>COSTO \$</i>
EQUIPOS	64245,92,4
INSTALACIÓN	33800
TOTAL	98045,92 \$

Elaborado por: Julio Layedra

CONCLUSIONES

- En este proyecto se realizó la simulación de una red WDM/TDM-PON para 64 usuarios, siendo 40 Km la máxima distancia con la que se puede transmitir los datos a una velocidad de 10 Gbps con una tasa de bit errado de $4.06 \times 10e^{-9}$ en la red WDM/TDM-PON sin influencia de los efectos no lineales, de igual manera al aumentar la velocidad de transmisión se observó que la máxima velocidad para la transmisión de datos en la red WDM/TDM-PON sin la influencia de los efectos no lineales es de 15 Gbps con una longitud en la fibra óptica de 10 Km, con una tasa de bit errado de $2.52 \times 10e^{-12}$.
- La potencia máxima con la que se puede trabajar en el láser de onda continua para la red WDM/TDM-PON con el efecto Raman es de 60 mW con una tasa de bit errado hasta el valor de $6.25 \times 10e^{-9}$, la máxima distancia con la que se puede transmitir los datos a una velocidad de 10 Gbps y una potencia en el láser de onda continua de 60 mW es de 30 Km, ya que se obtuvo una tasa de bit errado de $3.11 \times 10e^{-9}$, y la mayor velocidad con la que se pueden transmitir datos es 15 Gbps con una potencia de 60mW y una longitud en la fibra de 20 Km y una tasa de bit errado de $1.80 \times 10e^{-11}$.
- La potencia máxima para el efecto Brillouin en la red TDM-WDM-PON es de 30 mW con una tasa de bit errado hasta el valor de $7.48 \times 10e^{-12}$, a partir de esta potencia surgen perturbaciones en la red afectando de manera no lineal siendo 30 Km la máxima distancia con la que se puede transmitir los datos con el efecto Brillouin a una velocidad de 10 Gbps y una potencia en el láser de onda continua de 30 mW ya que se obtuvo una tasa de bit errado de $3.19 \times 10e^{-8}$, con una velocidad de transmisión de 20 Gbps y una potencia en el láser de onda continua de 30 mW por causa del efecto Brillouin, la máxima distancia para la transmisión de datos en la red es de 10 Km, ya que se obtuvo una tasa de bit errado de $8.76 \times 10e^{-12}$, La máxima velocidad con la que se pueden transmitir datos con una longitud en la fibra óptica de 20 Km y una potencia de 30mW simulando el efecto brillouin es 15 Gbps con una tasa de bit errado de $3.11 \times 10e^{-8}$.

- El efecto Brillouin tiene mayor influencia que el efecto raman en la red TDM-WDM-PON ya que la máxima potencia es de 30 mW menor que los 60mW del efecto raman, es decir tanto el espectro de frecuencia a la salida del enlace de fibra y la tasa de bit errado se ven afectados más rápidamente por el efecto Brillouin que por el efecto Raman.

RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos de investigación se podría diseñar un transmisor TDM para 16 o 32 usuarios, además investigar cómo se comportan la red WDM/TDM-PON a velocidades de transmisión mayores a los 30 Gbps.
- En venideros trabajos de investigación se podría simular una red WDM/TDM-PON para 128 usuarios y analizar el comportamiento de la misma, también se podría aumentar un grupo transmisores WDM para el análisis de los efectos no lineales causados por el fenómeno de dispersión inelástico SBS y SRS.

LISTA DE REFERENCIAS

- Ahsan, Lee, Newaz, Asif. (2011). *Migration to the Next Generation Optical Access Networks Using Hybrid WDM/TDM-PON*. Daejeon, Sylhet: Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sylhet International University,.
- Das, Lannoo, Dixit, Colle, Pickavet, Demeester. (2011). *Flexible hybrid WDM/TDM PON architectures using wavelength selective switches*. Belgium: Optical Switching and Networking.
- Hsueh, Rogge, Yamamoto, Kazovsky. (2005). *A Highly Flexible and Efficient Passive Optical Network Employing Dynamic Wavelength Allocation*. palo alto: JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY.
- Pato, Ten. (2012). *Effect of nonlinearities in a 10 Gbit/s EPON system*. Coimbra: Universidad de coimbra.
- Saha; Majumder; Soundarya M. (2013). *Analysis of SRS Effects at Different Number of Channels and Power Levels and on the Performance of DWDM System*. Tamil Nadu, India: International Journal for Scientific Research & Development.
- Talli, Townsend. (2006). *Hybrid DWDM-TDM Long-Reach PON for*. Cork, Ireland: JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY.
- Vukovic, Maamoun, Hua, Savoie. (2007). *Performance Characterization of PON Technologies*. Ottawa: the Broadband Applications and Optical Networking Group, Communications Research Centre (CRC).
- Abreu, Castagna, Cristiani, Zunino, Roldós, Sandler. (2009). *CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR (FTTH)*. Montevideo: Universidad de Montevideo.
- AGRAWAL, G. P. (2002). *Fiber-Optic Communication Systems*. Rochester: NY: John Wiley & Sons, 2010.
- Beeram, N. K. (2006). *Analysis of nonlinear dispersions in optical system*. India : BTech, Guru Nanak Engineering College .
- Gutierrez , Espinosa, Hernández. (2011). *IMPACTO Y MASIFICACIÓN DEL USO DE LAS REDES GPON EN COLOMBIA FRENTE A OTRAS TECNOLOGIAS*. Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”.
- ITU-T Recommendation Y.2001 (12/2004) - General overview of NGN. (12 de 2004). ITU. Obtenido de ITU: <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/ngn/Pages/definition.aspx>

- Łašuks, I. (2010). *The Effect of Stimulated Brillouin Scattering on WDM-PON*.
Lituania: Riga Technical University.
- Ll. Gutierrez, P. Garfias, M. De Andrade, C. Cervelló-Pastor and S. Sallent. (2010).
Next Generation Optical Access Networks: from TDM to WDM. catalunia :
Technical University of Catalonia, icat Foundation.
- Ossa, J. A. (2002). “*Análisis de Diagramas de Ojo*”. valparaiso: Universidad
Técnica Federico Santa María.
- Pereda, J. A. (2004). *Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones* . prentice hall.
- Sławomir Pietrzyk, Waldemar Szczesny, and Marian Marciniak. (1998). *Power
penalty caused by Stimulated Raman Scattering in WDM Systems*. Kielce,
Poland: JOURNAL OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION
TECHNOLOGY.
- Synopsys, I. (2013). *OptSim Models Reference Volume I Sample Mode*. Ossining,
NY 10562: Optical Solutions Group.

Anexo 1. OLT

Características generales

Equipo de central para redes GPON

100% auto-gestionado y autónomo

Evita la necesidad de utilizar equipos de agregación de red

Doble posibilidad del interfaz de transporte: 10G o 4x1000Base-T

Reducción de los costes por puerto GPON

Reducción de la barrera de entrada de inversión en un sistema GPON

Características Ethernet/GPON

Control de acceso de red por usuario

DBA adaptativo, orientado a QoS

Capacidad para asignar ancho de banda para cada TCONT

Traffic granularity: Por segundo/milisegundo

Balanceo del tráfico "sobrante"

Provisionamiento OMCI de cada ONT

802.1ad, 802.1Q, 802.1p soporta diferentes escenarios VLAN

Proxy Multicast IGMPv3

Codificación FEC

Encriptación AES-128 estándar

Interfases

4x Puertos SFP GPON

1x Puerto SFP+ 10G de transporte

4x Puertos GbE eléctrico 1000Base-T de transporte (1 por puerto GPON)

1x Puerto de gestión Ethernet

Ópticas B+ y C+ disponibles.

Características técnicas

Dimensiones: 1UA x 19"

Alimentación: directa con 220V ó -48V



Sistema completo de gestión CLI

Perfiles VLAN extremo a extremo

Perfiles de servicio

Perfiles de ancho de banda

Perfiles de cliente con servicios

Asignación de perfil a nuevo cliente en solo 2 comandos

Gestión de parámetros SIP de cada usuario

Telnet GPON Management System

Acceso y gestión via web a todas las OLTs, PONs y ONTs del operador

Interfaz visual fácil e intuitivo para la gestión de las ONTs del operador

Gestión gráfica e intuitiva de las altas y perfiles de los abonados

Perfiles VLAN extremo a extremo

Perfiles de servicio

Perfiles de ancho de banda

Perfiles de cliente con servicios

Gestión de parámetros SIP de cada usuario

Anexo 2.ONU HG8010

Key Features

GPON features

- Class B+ optical module
- Security authentication mode: SN, password or SN+password
- Upstream/downstream FEC
- GEM port mapping mode: VLAN, 802.1p, VLAN+ 802.1p, IPToS, physical port

Multicast features

- IGMP V2&V3 snooping

Ethernet features

- VLAN filtering and VLAN transparent transmission
- VLAN N:1 aggregation and VLAN 1:1 translation

Maintenance features

- Local management using Web and remote management using OMCI
- Optical power monitoring
- 802.1ag Ethernet OAM

Reliability features

- Dual systems for software Protection
- Type B protection and rogue ONT detection

Green energy-saving features

- Dynamic power consumption adjustment

Product Specifications



Dimensions(W x D x H)	143 mm x 115 mm x 30 mm
Port	1GE
Average power consumption	5.5 W
Operating environment	Temperature: 0°C ~ +40°C; Humidity: 5%–95%, non-condensing
Power supply	Adapter input: 100–240 V AC, 50–60Hz; Adapter output: 11–14 V DC, 1 A
Weight	About 400g (including the power adapter)

Anexo 3. Amplificador

Descripción:

Serie EDFA1500 es un amplificador óptico de CATV, ancho de banda de 1530 ~ 1560 nm. Con poco ruido y alta potencia de salida saturada.

Características

1. Trabajar mucho tiempo.
2. Aprueba JDSU, Fitel y láser Bomba Bookham.
3. Buena estabilidad.
4. Fuente de alimentación, 90V ~ 265V AC o 48 V DC.

Parámetros

Artículos de parámetros	Parameter									
	1500-14	1500-15	1500-16	1500-17	1500-18	1500-19	1500-20	1500-21	1500-22~27	
De salida (dBm)	14	15	16	17	18	19	20	21	22~27	
De salida (mW)	25	32	40	50	63	80	100	125	160~500	
De entrada (dBm)	-3 ~ 10									
Longitud de onda (nm)	1530 ~ 1565									
Estabilidad de salida (dB)	±0.2									
Polarización Sensibilidad	<0.2 dB									
Polarización Dispersión	<0.5 PS									
Pérdida de retorno óptica	≥45 dB									
Conector de fibra	FC/APC or SC/APC									
Figura de ruido (dB)	<4.5(0dBm Optical Input)									
Interfaz de red	RJ45(SNMP) / RS232 / RS486									
Consumo de energía 50 W	50 W									
Fuente de alimentación (V)	220VAC(110 ~240) or -48VDC									
Temp de trabajo (° C)	-20 ~ +85									
Tamaño (")	19* 15* 1.75"									
Peso (Kg)	5									

Anexo 4.Filtro óptico

Características

Especialmente diseñados para cumplir los requerimientos del mercado FTTH.

Aplicaciones: amplificadores, redes de fibra óptica FTTH/Metro/Acceso, y CATV.

Excelentes características ópticas: bajas pérdidas de inserción y alto aislamiento, reducida PDL. Óptima fiabilidad.

Filtra WDM de 3 puertos SM 1310/1490/1550.

Tamaño compacto. Posibilidad de suministro con salidas en fibra a 250 o 900 μm y terminaciones en conectores: SC/PC, SC/APC, ST/PC, FC/PC, FC/APC, LC/PC.

Cumplimiento del estándar RoHS. \emptyset

Filtro WDM

Tamaño $\emptyset 5,5 \times 55 \text{ mm}$

Parámetros	Tipo A	Tipo B
Banda operación	1310 nm 1260—1360 nm	
	1490 nm 1480—1500 nm	
	1550 nm 1540—1560 nm	
Operación filtrado	Pasa 1550 y refleja 1310 & 1490	Pasan 1310 & 1490 y refleja 1550
Pérdidas inserción	Com->Ref $\leq 0,6 \text{ dB}$	$\leq 0,6 \text{ dB}$
	Com-> Pass $\leq 0,8 \text{ dB}$	$\leq 0,8 \text{ dB}$
Aislamiento	Com->Ref $\geq 15 \text{ dB}$	$\geq 15 \text{ dB}$
	Com- \square Pass $\geq 30 \text{ dB}$	$\geq 30 \text{ dB}$
PDL	$\leq 0,1 \text{ dB}$	$\leq 0,1 \text{ dB}$
Pérdida de retorno	$\geq 50 \text{ dB}$	$\geq 50 \text{ dB}$
Directividad	$\geq 50 \text{ dB}$	$\geq 50 \text{ dB}$
Temperatura operación	- 40 / +85 °C	
Temperatura almacenamiento	- 40 / +85 °C	
Potencia máxima	$\leq 300 \text{ mW}$	

Anexo 5.AWG Mux/Demux Module

Parameters							
Channel Space (GHz)		100 (standard)			200		
Channel Number		1*4	1*8&16	1*40	1*4	1*8	1*16
Center Wavelength (nm)		ITU Grid					
Center Wavelength Accuracy (nm)		± 0.05			± 0.1		
Channel Passband (@-0.5dB) (nm)		0.22			0.5		
Fiber Type		SMF-28e with 900um loose tube or customer specified					
IL (dB)		1.8	3.0	3.5	1.7	2.9	3.4
Passband Ripple (dB)		0.35	0.4	0.5	0.35	0.4	0.5
Isolation (dB)	Adjacent Channel	25			28		
	Non-Adjacent Channel	40					
PDL (dB)		0.2					
PMD (ps)		0.1					
RL (dB)		45					

Directivity (dB)	50
Maximum Optical Power (mw)	300
Operating Temperature ()	-40~85
Storage Temperature ()	-40~85
BOX Package (mm)	100*80*10 or 140*115*18
LGX Package	1U,2U
19'' Rack mount Package	1U

Anexo 6. Cable de fibra monomodo

Características ópticas y geométricas

Parámetros ópticos	Fibra		Parámetros geométricos	
	no cableada	Fibra cableada		
Atenuación a 1310 nm	≤ 0,35 dB/Km	≤ 0,37 dB/Km	Diámetro de campo modal 1310 nm	9,20 ± 0,40 μm
Atenuación a 1550 nm	≤ 0,21 dB/Km	≤ 0,24 dB/Km	Diámetro de campo modal 1550 nm	10,50 ± 0,80 μm
Atenuación en 1285-1330 nm	≤ 0,40 dB/Km		Error concentricidad núcleo/cladding	≤ 0,4 μm
Atenuación en 1525 -1575 nm	≤ 0,25 dB/Km		Diámetro cladding	125,0 ± 1,0 μm
Punto de discontinuidad máxima en 1310 y 1550 nm	≤ 0,05 dB		Error concentricidad coating/ cladding	≤ 12 μm
Longitud de onda de corte	1100 - 1300 nm	≤ 1260 nm	No circularidad coating	≤ 10 %
Punto de dispersión cero	1300-1324 nm		Diámetro coating (coloreado)	250 ± 15 μm
Pendiente de dispersión cero	≤ 0,092 ps/nm ² .Km			
Dispersión cromática en 1285 -1330 nm	≤ 3,5 ps/nm.Km			
Dispersión cromática en 1270 - 1350 nm	≤ 5,3 ps/nm.Km			
Dispersión cromática en 1550 nm	≤ 18,0 ps/nm.Km			
PMD fibra individual	≤ 0,15 ps/√Km			
PMDq (Q=0,01%, N=20)	≤ 0,10 ps/√Km			