 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Diseño y simulación de una ONU para una red WDM-PON flexible mediante el software OptiSystem.


John Fernando Zea Jiménez

Ingeniería de Telecomunicaciones

Andrés Felipe Betancur Pérez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2015

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Este trabajo se centra en el estudio y simulación de un amplificador óptico de semiconductor reflectivo (RSOA) para el diseño de una unidad de red óptica (ONU) en una red WDM-PON flexible en el software OptiSystem. Se aprovecha la no linealidad de la ganancia de este componente RSOA para modular portadoras ópticas suministradas por la terminal de línea óptica (OLT), también permite el procesamiento de la señal, la conversión en longitud de onda en nodos todo-ópticos WDM o incluso para disponer del amplificador como modulador. Al analizar y comprender la red WDM-PON y las características del RSOA se logra definir los parámetros más relevantes y obtener una tasa de error bit (BER) por debajo de $\times 10^{-9}$ para el diseño óptimo de un buen receptor óptico de la ONU y así en un posible futuro llevar la posibilidad de implementar este diseño a una red de acceso WDM-PON.

Palabras clave: amplificador óptico de semiconductor (SOA), amplificador óptico de semiconductor reflectivo (RSOA), diseño, red óptica pasiva de multiplexación por división de longitud de onda (WDM-PON), simulación, software OptiSystem, unidad de red óptica (ONU).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Gracias a todos los que me han acompañado y respaldado durante este tiempo este informe de trabajo de grado ha sido posible. En primer lugar quiero dar las gracias a mi docente asesor de práctica, Andrés Felipe Betancur Pérez por su apoyo y dedicación. Gracias también a mis Jefes de la empresa Instrumentación S.A., German Rey y Francisco Bravo por los reiterados permisos para hacer posible la elaboración de esta práctica. Tuve además la suerte de poder utilizar el programa OptiSystem del Laboratorio Óptica, Fotónica y Visión Artificial que me facilitó durante la práctica la simulación del trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

BER Tasa de error bit

CW Señal de onda continua

EDFA Amplificadores de fibra dopada con erbio

FTTH Fibra hasta la Casa

NF Figura a ruido

NRZ No retorno a cero

OLT Terminal de línea óptica

ONU Unidad de red óptica

OSA Analizador de espectro óptico

PDG Ganancia de la polarización dependiente

PON Red óptica pasiva

RSOA Amplificador óptico de semiconductor reflectivo

SNR Relación señal a ruido

SOA Amplificador óptico de semiconductor

TDMA Multiplexación en el tiempo

WDM Multiplexación por división de longitud de onda

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1.	Objetivo General	
1.2.	Objetivos Específicos	
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1.	Red Óptica Pasiva (PON).....	
2.2.	Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).....	
2.3.	Amplificador Óptico de Semiconductor (SOA).....	
2.3.1.	Aplicaciones	
2.4.	Amplificador Óptico de Semiconductor Reflectivo (RSOA)	
2.4.1.	Características	
3.	METODOLOGÍA	
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	
4.1.	Primera simulación.....	
4.2.	Segunda Simulación	
4.3.	Tercera Simulación	
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	
	REFERENCIAS	

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En las redes ópticas pasivas (**PON: Passive Optical Network**) se han realizado investigaciones y desarrollos esenciales para soportar a las próximas demandas de diversos servicios, entre los cuales destacamos; redes privadas virtuales, telefonía sobre IP, videoconferencia, televisión de alta definición, video sobre demanda, juegos en línea, entre otros servicios. Entre diversas soluciones, la red óptica pasiva de multiplexación por división de longitud de onda (**WDM-PON: Wavelength Division Multiplexing - PON**) se ha considerado como el siguiente paso a seguir para incrementar la capacidad en la red de acceso. Para una implementación exitosa de WDM-PON, en la unidad de red óptica (**ONU: Optical Network Unit**) situado en las instalaciones del abonado debe ser independiente la longitud de onda, además de ser efectivo en costo para llevar a cabo la implementación masiva. Para este fin, un esquema de WDM-PON que emplea amplificadores ópticos de semiconductor reflectivo (**RSOA: Reflective Semiconductor Optical Amplifier**) en la ONU, es empleado para modular portadoras ópticas suministradas por la terminal de línea óptica (**OLT: Optical Line Terminal**). De este modo se prescinde del uso del LASER en las ONUs para la transmisión upstream. El RSOA empleado en la ONU fue configurado para satisfacer dos necesidades: La amplificación de las portadoras ópticas suministradas por la oficina central y la modulación de estas con la información del usuario para el envío de datos en dirección upstream.

1.1. Objetivo General

Diseñar y simular una ONU para una red WDM-PON flexible mediante el software OptiSystem.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2. Objetivos Específicos

- Definir los parámetros más relevantes del amplificador RSOA, para sintonizarlos acorde a una red WDM-PON flexible.
- Adquirir una tasa de error bit (**BER: Bit Error Rate**) por debajo de $\times 10^{-9}$ en un enlace de red de acceso WDM-PON flexible con portadora óptica suministrada desde la OLT.

Con el fin de presentar el trabajo realizado a lo largo del periodo de investigación, el contenido de este informe se ha estructurado del siguiente modo:

- En el capítulo 2, se presenta el amplificador RSOA y los fenómenos físicos que se producen en él. Para ello, se describe su estructura y los fenómenos no lineales que se utilizarán en las simulaciones llevadas a cabo en el capítulo 4.
- En el capítulo 3, se condensa la información con el cómo fue realizado el informe, los parámetros que se utilizó, sobre qué datos fueron apoyados y que fue lo evaluado.
- En el capítulo 4, se presentan los resultados del informe de una manera clara y precisa.
- Finalmente, en el capítulo 5 se condensan las principales conclusiones alcanzadas a lo largo de este informe. Así mismo, se incluyen las posibles líneas de investigación futuras.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Red Óptica Pasiva (PON)

Una red óptica pasiva (PON) es una red que permite a los usuarios contar con un mayor ancho de banda y mejores servicios al contar con accesos por medio de Fibra Óptica. Además estas redes permiten reemplazar los elementos activos en una red por elementos pasivos, lo que permite que los costos de la red se reduzcan en un gran porcentaje. PON es usada principalmente para redes FTTH (*Fiber-to-the-home - Fibra hasta la Casa*).

Existen dos canales:

Por el canal descendente (downstream) los datos llegan desde cada nodo al divisor donde se dirigen a la unidad óptica terminal del usuario correspondiente. En este procedimiento se utiliza multiplexación en el tiempo (*TDMA: Time Division Multiple Access*).

Por el canal ascendente (upstream), la unidad óptica terminal del usuario envía la información al nodo sin intervención del divisor salvo para controlar el momento en que se da curso a dicha información.

Para que no se produzcan interferencias entre ambos canales (al utilizarse una única fibra para llegar a cada cliente) se utilizan técnicas WDM que permiten el uso de longitudes de onda diferentes sobre la misma fibra.

2.2. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

WDM multiplexa varias señales luminosas sobre una línea de transmisión (fibra óptica) mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, empleando luz procedente de un LASER o un LED.

La luz es otra forma de radiación electromagnética como es la radiofrecuencia, puesto que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales. La diferencia es que en fibra óptica se utiliza frecuencias muy altas.

En la siguiente figura da una visión conceptual de un multiplexador y demultiplexador WDM. Bandas de luz muy estrechas de distintas fuentes se combinan para conseguir una banda de luz más ancha. En el receptor, las señales son separadas por el demultiplexador.

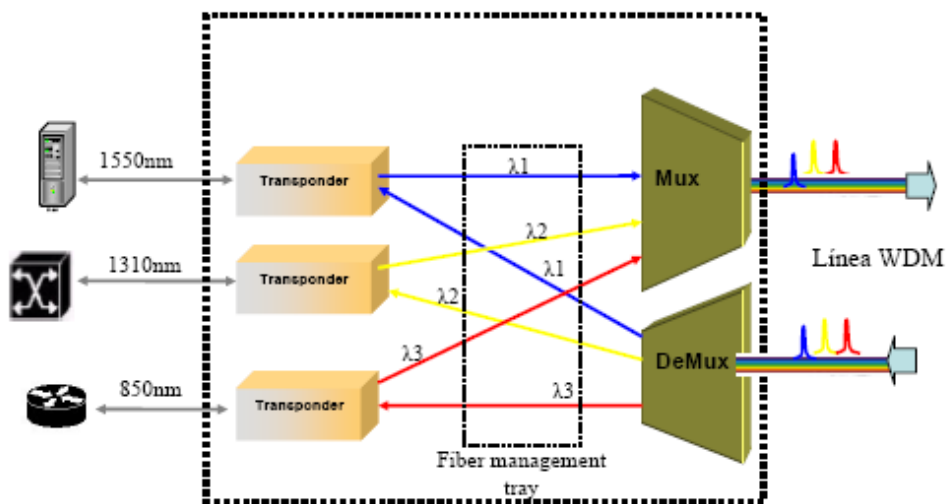


Figura 1. Wave Division Multiplexing (WDM)

El mecanismo de WDM es una tecnología muy compleja, pero sin embargo la idea es muy simple. Se quiere combinar múltiples haces de luz dentro de una única luz en el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

multiplexor y hacer la operación inversa en el demultiplexor. Combinar y dividir haces de luz se resuelve fácilmente un prisma. Como la física básica que un prisma curva un rayo de luz basándose en el ángulo de incidencia y la frecuencia. Usando esta técnica, se puede hacer un multiplexor que combine distintos haces de luz de entrada, cada uno de los cuales contiene una banda estrecha de frecuencia, en un único haz de salida con una banda de frecuencia más ancha.

2.3. Amplificador Óptico de Semiconductor (SOA)

En este capítulo se abordan los conceptos y teorías del amplificador óptico de semiconductor (**SOA: Semiconductor Optical Amplifier**).

El amplificador SOA se utiliza para dos funciones básicas, la amplificación y modulación. Pero fueron apartados por los amplificadores de fibra dopada con Erblio (**EDFA: Erbium Doped Fibre Amplifier**) debido a que la ganancia del SOA tiene un comportamiento no lineal que deteriora la capacidad de transmisión de los sistemas. Sin embargo, este comportamiento no lineal de la ganancia que es dependiente de la potencia óptica de entrada, convierte a estos dispositivos en sistemas con un importante potencial para el procesamiento de la señal. De hecho, han surgido diversas aplicaciones derivadas de esta no linealidad como la conversión en longitud de onda en nodos todo-ópticos WDM o incluso para disponer del amplificador como modulador mediante las variaciones de corriente externa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

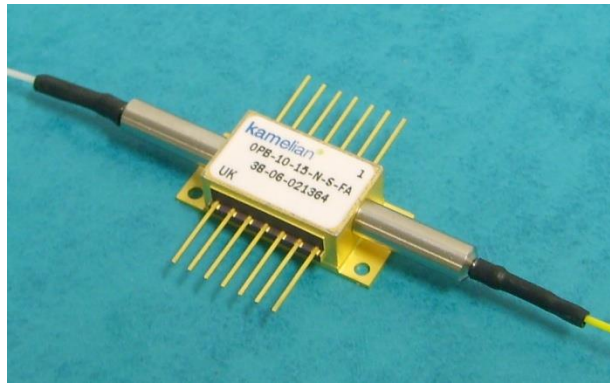


Figura 2. Amplificador óptico de semiconductor

Cuando la potencia de entrada al SOA alcanza cierta potencia de saturación, la ganancia del amplificador disminuye, donde la potencia de saturación P_{sat} viene definida como la potencia a la cual la ganancia decrece 3dB respecto a la ganancia de pequeña señal (ganancia máxima), e indica el límite superior de operación lineal del SOA (Agrawal, 2002). Esto se puede ver en la expresión de la compresión de ganancia que es, según Agrawal:

$$g = \frac{g_o}{1 + \frac{P}{P_{sat}}}$$

Donde g es la ganancia, g_o la ganancia lineal no saturada y P la potencia de entrada al SOA.

La característica no lineal de la ganancia se traduce en que una señal modulada en amplitud, con suficiente potencia media como para saturar el amplificador, experimenta distinta ganancia según su nivel de potencia instantánea. Cuando junto con la señal de bombeo inyectamos al SOA una señal de onda continua (**CW: Continuos Wave**) llamada sonda, a la longitud de onda a la que queremos convertir la señal, esta última se ve afectada por las variaciones de potencia (variaciones de ganancia) de la señal de entrada. Cuando la potencia de la señal de entrada es máxima, la potencia total de entrada al SOA

es máxima, y ambas señales experimentan una ganancia G_S (ver Figura 3). Cuando la potencia de la señal de bombeo es mínima, ambas señales se ven afectadas por una ganancia G_L , donde $G_L > G_S$ debido a la saturación del amplificador. Así pues, cuando la amplitud de la señal modulada es máxima, la sonda se ve afectada por la ganancia mínima G_S ; cuando la amplitud de la señal de bombeo es mínima, la señal continua experimenta ganancia máxima G_L y por tanto máxima amplitud a la salida del SOA. Por esta razón la señal sonda resulta con una modulación de amplitud inversa a la señal de bombeo, es decir, la señal convertida sufre un cambio de fase de 180° respecto de la señal de bombeo (Manzanedo, 2013). Esto queda reflejado en la siguiente figura:

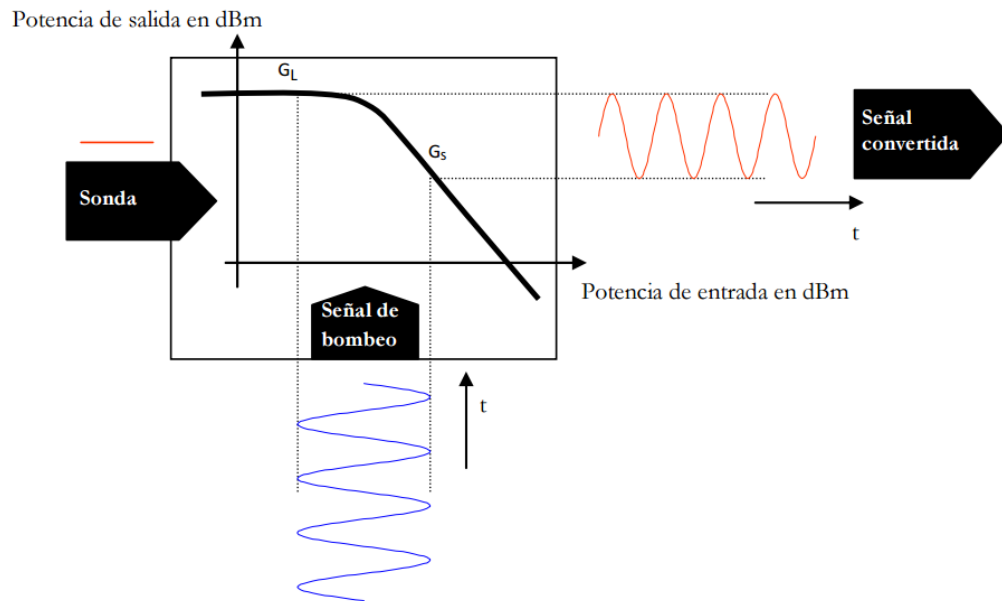


Figura 3. Curva de transferencia de la señal

2.3.1. Aplicaciones

El comportamiento no lineal y la dependencia al estado de polarización del SOA provocó que éste fuese remplazado por el EDFA en los enlaces ópticos de largo alcance, que permite amplificación simultánea de varios canales WDM, pero que tienen un alto coste.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sin embargo, la saturación de ganancia, propiedad intrínseca del SOA, se ha explotado para tratamiento de señal en aplicaciones como la conversión en longitud de onda en nodos todo-ópticos o incluso para disponer del amplificador como modulador mediante las variaciones de corriente externa (Manzanedo, 2013).

2.3.1.1. Amplificador

El uso del amplificador quedó a un segundo plano al desarrollarse los EDFAs ya que estos últimos presentan un comportamiento lineal y unas constantes de recombinación del orden de ms (ns para los SOAs). Esto permite que sean utilizados en enlaces WDM, ya que es posible la amplificación sin crosstalk entre los canales. Además presentan otras ventajas, como las bajas pérdidas de acoplo a la fibra óptica, reflexiones despreciables, independencia a la polarización, alta ganancia, alta potencia de saturación de salida y baja figura de ruido (NF, Noise Figure). Como contrapartida son amplificadores caros (necesitan bombeo óptico) y no trabajan en segunda ventana (Manzanedo, 2013).

2.3.1.2. Modulador

Al aplicar una corriente de alimentación modulada al SOA, se produce una variación de la cantidad de fotones generados, lo que permite usar el SOA como modulador. Esto tiene, entre otras ventajas, el hecho de obtener una señal amplificada. Así el SOA puede ser utilizado en esquemas de inserción de cabecera en nodos todo-ópticos, de gran flexibilidad en su diseño, ya que la frecuencia de portadora y la velocidad de modulación de la etiqueta pueden ser variadas, al no depender de elementos de radiofrecuencia especialmente diseñados para velocidades y frecuencias concretas. El ancho de banda del SOA no representa una limitación en cuanto a la velocidad de transmisión de la cabecera, ya que se trata de una señal de baja frecuencia en comparación con la velocidad de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

transmisión de la señal de carga. La principal desventaja es la generación de ruido de amplificación de emisión espontánea (Manzanedo, 2013).

2.3.1.3. *Conversor de longitud de onda*

Gracias a su comportamiento no lineal el SOA puede ser utilizado en procesamiento de señal. Uno de los aspectos más estudiados con relación a esta propiedad es la regeneración de señal y conversión de longitud de onda en nodos todo-ópticos. El uso de SOAs permite eludir la conversión óptico-electrónica en los nodos de enrutamiento de las redes ópticas, con lo que se obtienen sistemas no sujetos a las limitaciones de velocidad de los componentes electrónicos que desembocan en el conocido fenómeno de tráfico de información denominado “cuello de botella” (Manzanedo, 2013).

2.4. **Amplificador Óptico de Semiconductor Reflectivo (RSOA)**

El RSOA se basa en una hetero-estructura enterrada a base de InP (BH) de diseño con un InGaAsP de 1,2 micras aproximadamente de ancho de la región activa masivo de tensión. La región activa es la tensión tensa para compensar las diferencias en el factor de confinamiento a fin de minimizar la dependencia de la polarización. La longitud de onda de la región activa se puede ajustar con las modificaciones necesarias adicionales, de modo que la operación sobre la banda deseada se puede lograr. Los dispositivos con picos de ganancia a 1500 nm y 1560 nm que resultan en operación contigua sobre las bandas S, C y L se discuten aquí. El RSOA tiene un recubrimiento de alta reflectividad en una faceta y un recubrimiento ultra baja reflectividad ($< 10^{-5}$). La faceta de entrada está en ángulo y para lograr una normal y una faceta en ángulo de 10 grados en el mismo dispositivo, la región de ganancia es curva cerca del centro del chip con una curva con un radio de 3 mm. Para reducir aún más la reflectividad faceta eficaz y mejorada de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

acoplamiento, el campo lejano de salida del dispositivo se reduce a través de la disminución del grosor lineal de la región activa es en la dirección lateral de 1,2 micras a aproximadamente 0,45 micras sobre 80 micras acercarse a la faceta en ángulo. Los parámetros clave de interés para un amplificador óptico son ganancia, figura a ruido (**NF: Noise Figure**), ganancia de la polarización dependiente (**PDG: Polarization Dependent Gain**) y la potencia de salida máxima saturable (P_{sat}); con RSOA, el ancho de banda de modulación también es relevante (Michie, Kelly & Andonovic, 2009).

Un resumen de rendimiento de los parámetros operativos clave de un pigtailed empaquetado de estilo TO del dispositivo RSOA en una corriente de excitación de 80 mA se muestra a continuación en la Figura 4 y en la Fig. 5. Los dispositivos de banda S (Figura 4) presentan una excelente ganancia (sobre 20 dB de 147 nm hacia arriba), P_{sat} llegando a un máximo de 7,5 dB a 1530 nm. Los picos de NF en 10,5 dB a 1465 nm pero es generalmente < 10 dB. Pequeña señal PDG es menos de 2,8 dB en toda la banda y la ondulación es de menos de 2,2 dB; ambas reducirán sustancialmente como la ganancia se comprime. Para los dispositivos de banda C/L (Figura 5) a una corriente de accionamiento de 50 mA, más de 20 dB de ganancia puede ser observada desde 1535 nm hacia arriba, con P_{sat} llegando a un máximo de 6 dB a 1580 nm. Los picos de NF en 11 dB a 1530 nm pero es generalmente < 10 dB. El PDG y Ganancia Ripple son inferiores a 1,3 dB y 1,1 dB, respectivamente (Michie et al., 2009).

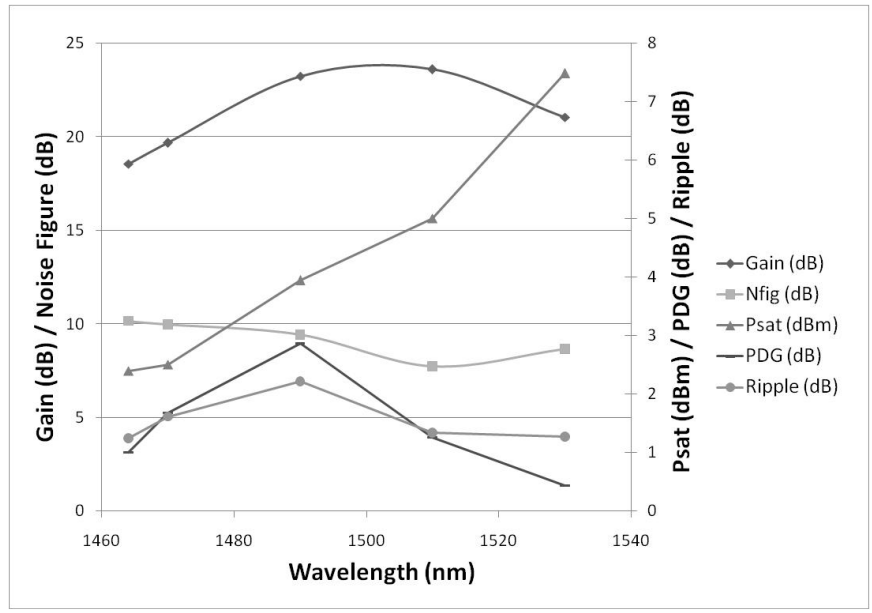


Figura 4. Caracterización paramétrico de SOA en la banda S.

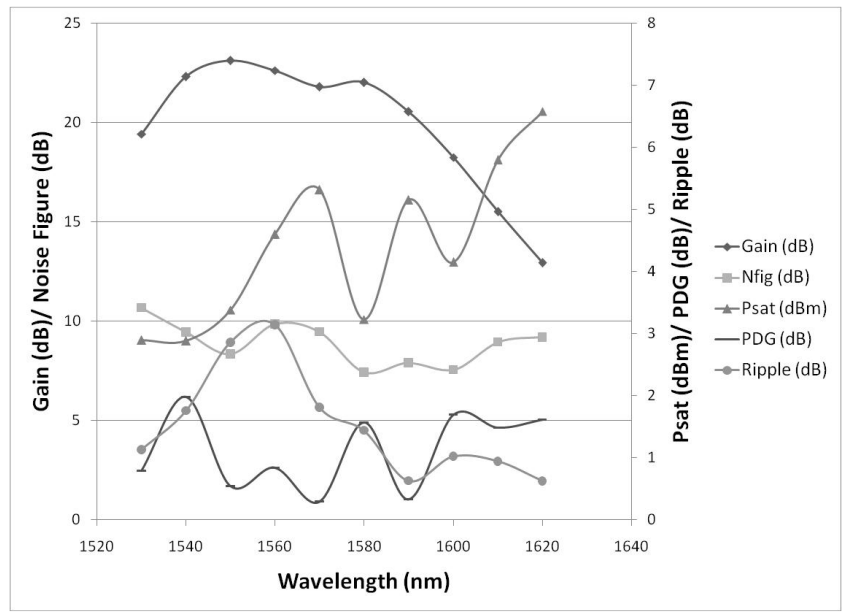


Figura 5. Caracterización paramétrico de SOA en la banda C/L.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4.1. Características

La región activa del chip RSOA está hecha de material a granel InGaAsP. La longitud de la guía de onda activa es de $400 \mu\text{m}$ de largo. Los $500 \mu\text{m}$ de longitud, la sección de guía de ondas pasiva consiste en una guía de onda doblada y un convertidor de punto de tamaño ($250 \mu\text{m}$ de largo), que está inclinado 7° en la faceta frontal para lograr la relación recubrimiento antirreflectante menos de 10^{-4} . La longitud del segmento RSOA fue elegido para ser menos de $1000 \mu\text{m}$ de manera que el chip RSOA debe ser empaquetado con un bajo costo. La potencia de entrada de saturación $P_{sat,input}$ se define como la potencia óptica inyectada en el RSOA donde la ganancia óptica se reduce en 3 dB (Lee, et al., 2005). Según la relación

$$P_{sat,input} = \frac{P_{sat,output}}{G_S}$$

Donde el $P_{sat,output}$ es el poder de saturación de salida y G_S es la ganancia de la saturación en el $P_{sat,input}$, la potencia de saturación de entrada puede disminuir, ya sea mediante el aumento de G_S o minimizando $P_{sat,output}$.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El método que se empleará para este trabajo será de investigación, observación y simulación, porque será necesario realizar el estudio de todo lo que corresponde a una red WDM-PON y las características del RSOA. También se estará tomando atenta nota para corregir los inconvenientes que se encuentren así como la opinión que se pueda tener del encargado de la investigación.

Teniendo en cuenta las definiciones teóricas y después de someterlas a un análisis contextualizado, se considera conveniente la simulación de un amplificador óptico de semiconductor reflectivo (RSOA) para una red WDM-PON flexible en el software OptiSystem.

Para llevar a cabo esta investigación se realizarán las siguientes actividades:

- Conocer y comprender el elemento RSOA del programa simulador OptiSystem.
- Simular y analizar el comportamiento del RSOA al inyectar señales eléctricas y ópticas a los puertos de entrada.
- Analizar la medición del BER y el factor de calidad (Q-Factor) en el puerto de salida del RSOA.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Primera simulación

Se basó en la observación de la amplificación del RSOA, en el elemento RSOA se inyectó una señal óptica CW (**Generates a Continuous Wave**) con una potencia de 0 dBm y una entrada eléctrica donde se bombea una señal codificada PRBS (**Pseudo Random Binary Sequence**) con no retorno a cero (**NRZ: Non Return to Zero**) como se muestra en la siguiente figura 6.

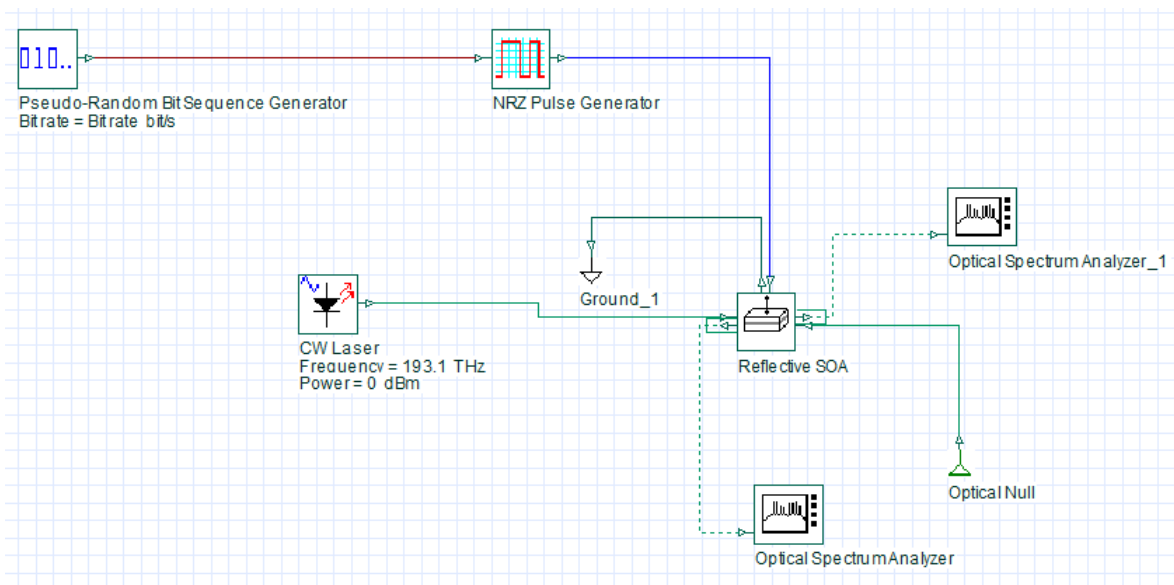


Figura 6. Diseño de la primera simulación

En las salidas del RSOA se analiza su amplificación con una OSA (**Optical Spectrum Analyzer**), este visualizador permite calcular y mostrar señales ópticas en el dominio de la frecuencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el primer OSA se observa una ganancia de salida de 1.74 dBm (ver figura 7) y en el segundo OSA_1 una ganancia de -24.53 dBm (ver figura 8).

Para este trabajo se analizaron las simulaciones en la salida reflejada del RSOA, debido a que es la señal modulada proveniente de la ONU.

Se realizaron varias mediciones con distintas potencias para visualizar la amplificación del RSOA y se obtuvieron los siguientes datos:

Potencia de entrada (dBm)	Ganancia (dBm)
9	0.01
6	-0.23
3	1.61
0	1.74
-3	0.48
-6	0.9
-9	1.03

Tabla 1. Medición de ganancia en el RSOA

De acuerdo con las características del SOA cuando la potencia de entrada al SOA alcanza cierta potencia de saturación, la ganancia del amplificador disminuye. En este caso al aumentar o disminuir la potencia de entrada se obtuvo un ganancia menor a la de 1.74 dBm. Por eso el SOA fue reemplazado por el EDFA en los enlaces ópticos de largo alcance, pero se reitera que en este caso el comportamiento no lineal de la ganancia del RSOA será un importante potencial para el procesamiento de la señal.

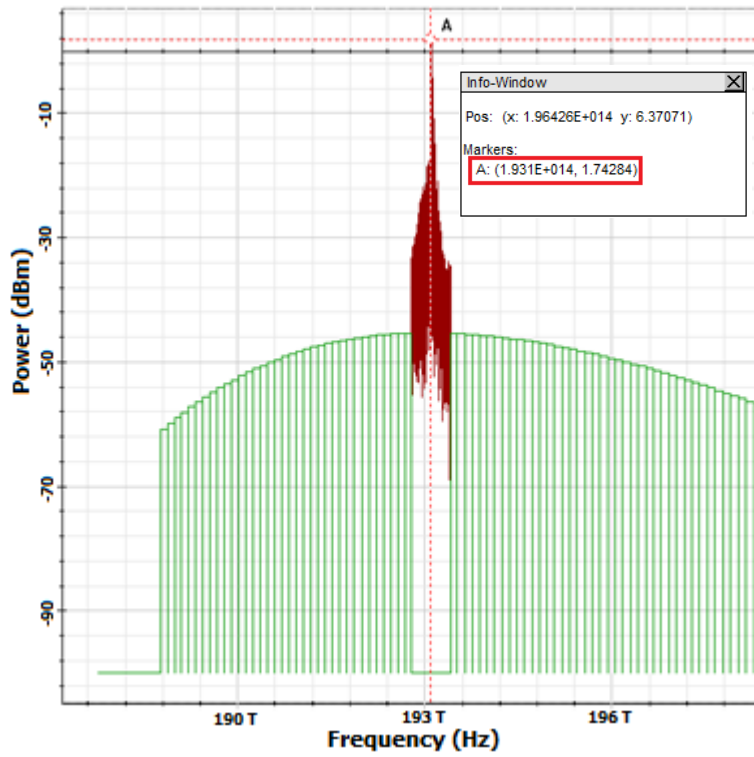


Figura 7. Optical Spectrum Analyzer

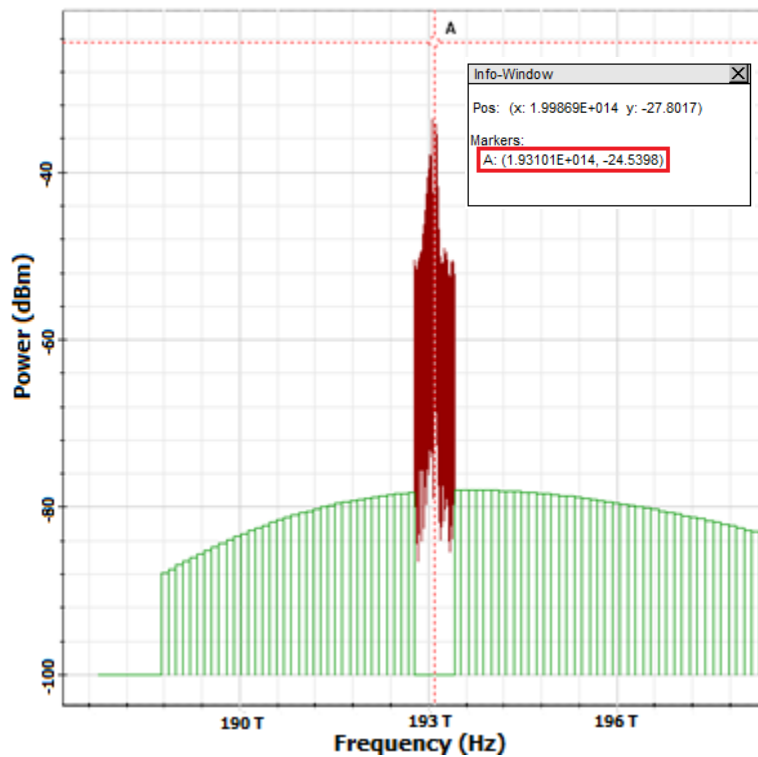


Figura 8. Optical Spectrum Analyzer_1

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2. Segunda Simulación

En la salida reflectante del RSOA se colocó un subsistema receptor óptico que se diseñó con un fotodiodo PIN, un filtro de paso bajo gaussiano y el Regenerador 3R para visualizar el BER y el Q-factor en el Analizador BER (ver figura 9), el cual el Q-factor es un parámetro esencial en la determinación del presupuesto de potencia del sistema. En un sistema de transmisión óptica en cuanto mayor sea el valor del Q-factor mejor es la relación señal a ruido (**SNR: Signal-To-Noise Ratio**) y por lo tanto menor es la probabilidad de errores de bit. En el diseño de un buen receptor óptico, es fundamental entender los diferentes parámetros que perjudiquen la sensibilidad global del receptor.

Para lograr la mejor sensibilidad óptica, es importante maximizar la señal Q-factor, antes de la inserción de los datos. En la simulación obtuvimos un resultado Q-factor de 23.4608 el cual logramos un buen resultado y un BER mínimo de 2.57×10^{-122} que cumple con uno de los objetivos específicos. Es de anotar que en esta simulación se hizo una prueba Back to back sin fibra óptica, por lo cual en la siguiente simulación se utilizara elementos que compone una red PON como la fibra óptica.

La medición del Eye diagram (Diagrama de Ojo) también es esencial, ya que es un método típico para la evaluación de la calidad de las señales digitales. Si la medición de la señal se parece más a un ojo, obtendremos una mejor calidad.

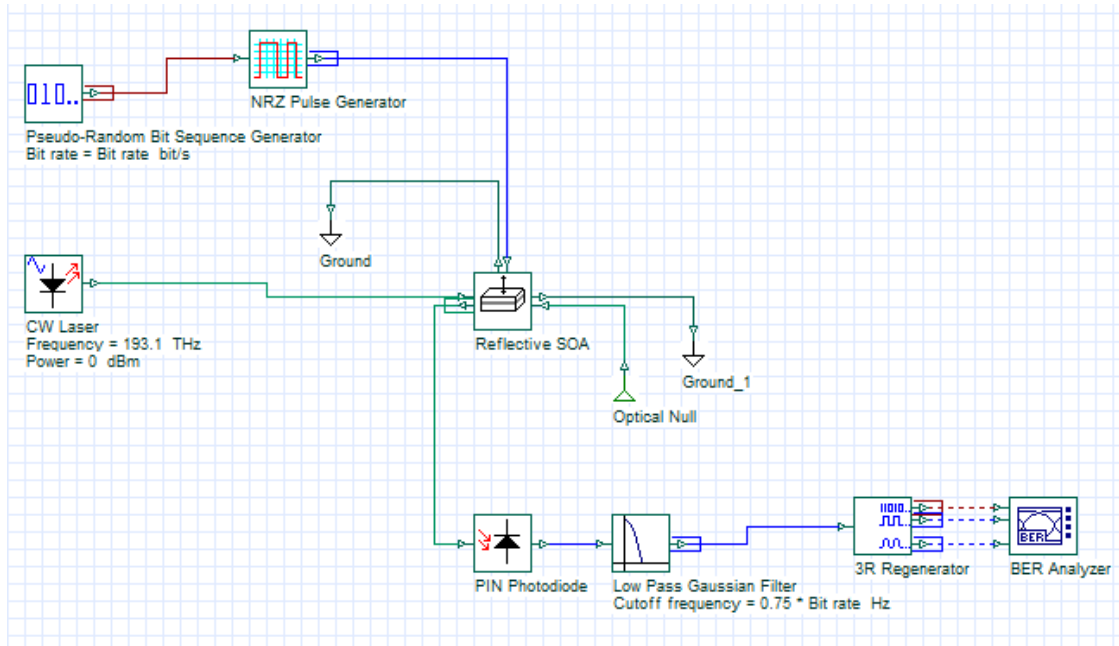


Figura 9. Diseño de la segunda simulación

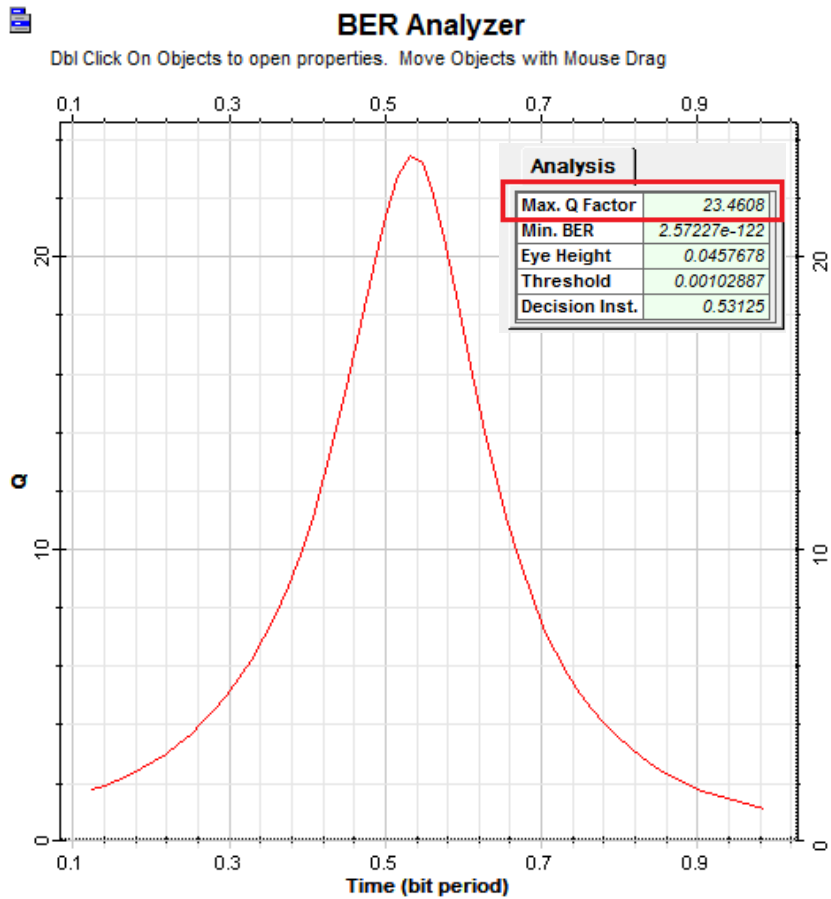


Figura 10. Q-factor en el Analizador BER

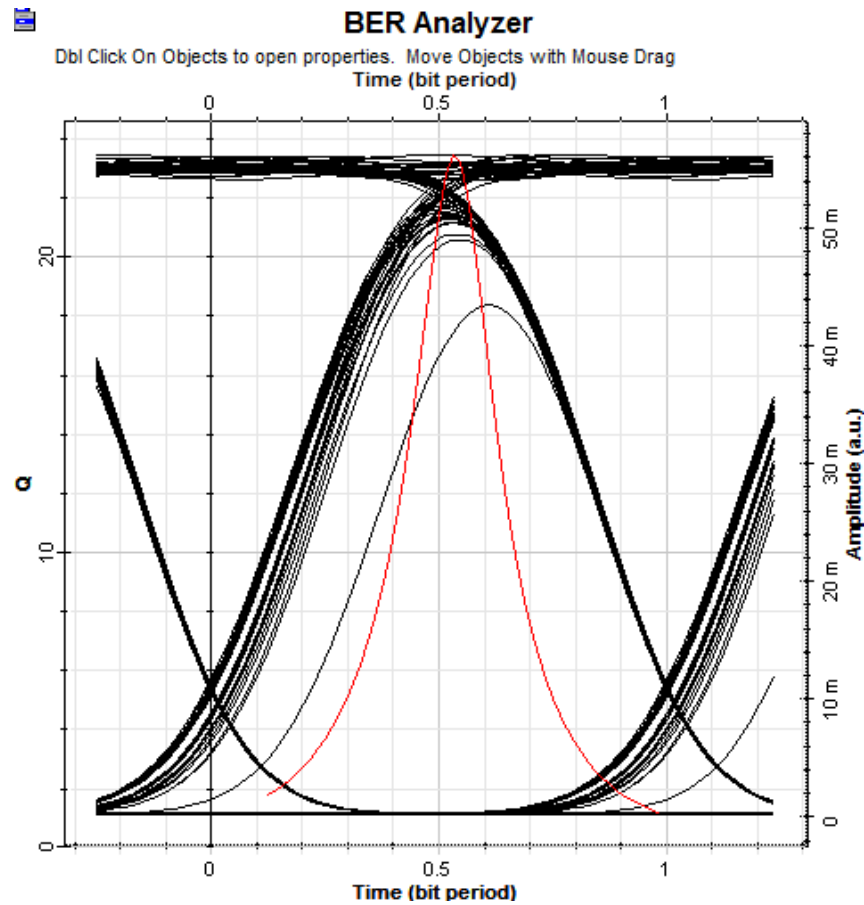


Figura 11. Eye diagram en el Analizador BER

4.3. Tercera Simulación

En una red PON tenemos elementos pasivos donde se va atenuar la señal como conectores, divisores ópticos, el cable de fibra, entre otros elementos; para este caso en nuestro diseño de inserto un cable de fibra óptica de longitud 20 Km y un atenuador de 9 dB (ver figura 12)

Se realizaron las mediciones de la anterior simulación y se obtuvo un Q-factor de 8.72774, y un BER mínimo de 6.95×10^{-19} que todavía está dentro el objetivo. En esta simulación el Q-factor disminuyó y el BER aumentó debido a que en el diseño tenemos una atenuación aproximadamente de 16 dB.

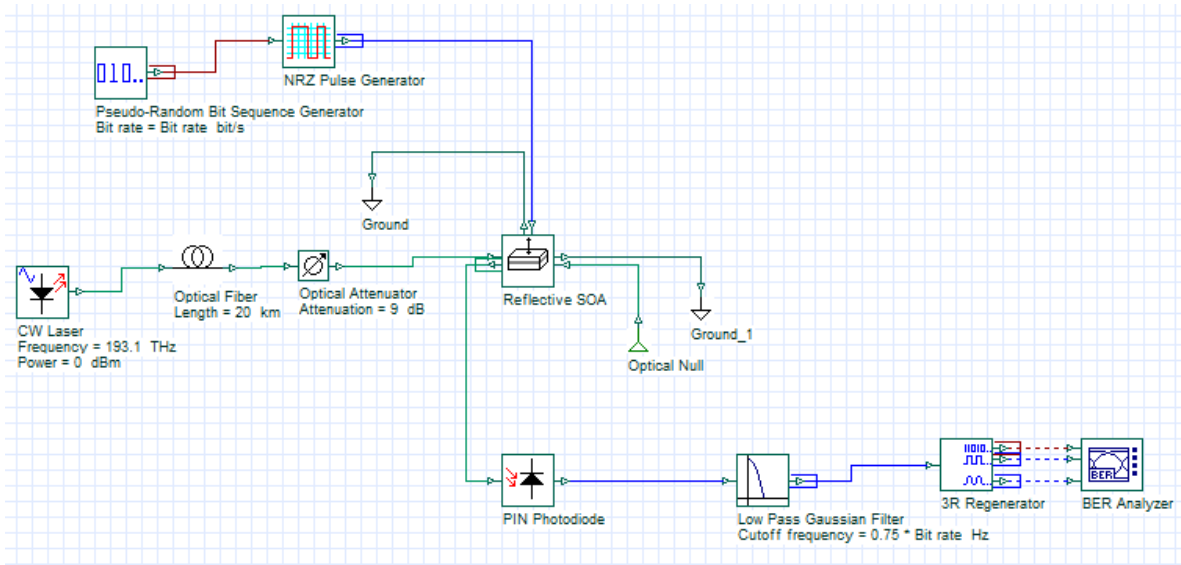


Figura 12. Diseño de la tercera simulación

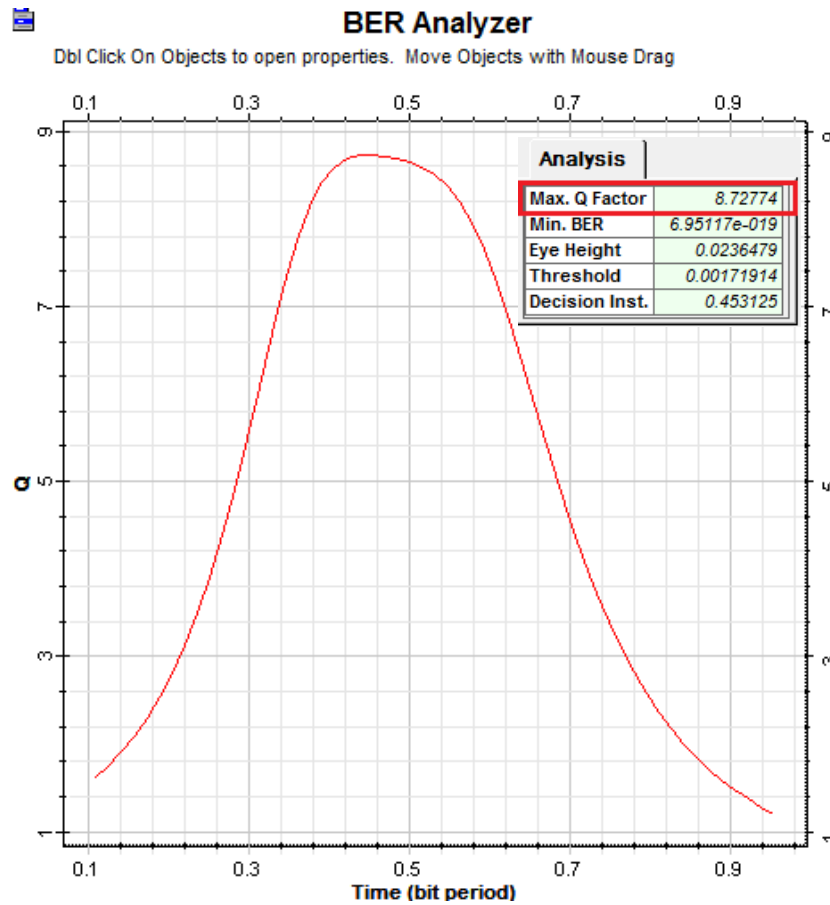


Figura 13. Q-factor

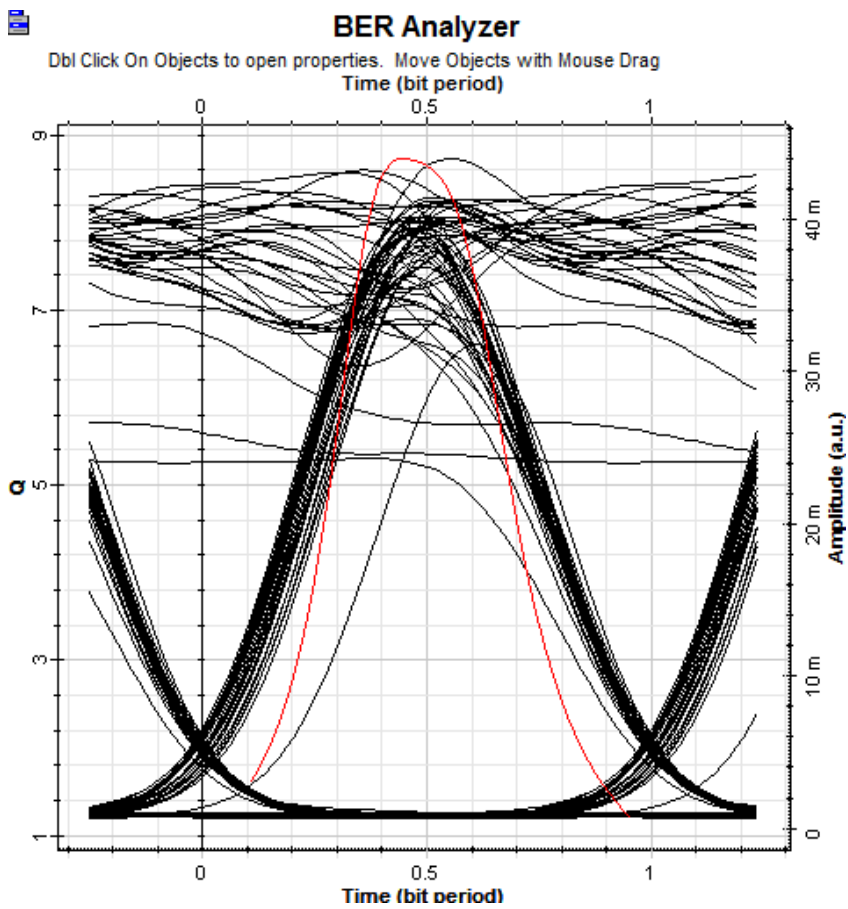


Figura 14. Eye diagram

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Al analizar y comprender el elemento RSOA se logró definir los parámetros más relevantes, una potencia de 0 dBm en la señal óptica CW que simula la OLT en la entrada del RSOA y una señal de bombeo PRBS con NRZ; el cual en los resultados de la simulación se obtuvo una ganancia de 1.74 dBm en la salida reflejada del RSOA, ya que es la señal modulada proveniente de la ONU y en la segunda salida se obtuvo una ganancia muy baja por lo que no se situó en el diseño.
- Se logró en la simulación obtener un BER mínimo de 6.95×10^{-19} , un valor que cumple con el objetivo específico para el diseño de la ONU a partir de la definición de los parámetros más relevantes del RSOA en la salida reflectante del elemento, el cual se diseñó un subsistema receptor óptico y en la entrada los elementos que componen una red PON.
- Se recomienda no trabajar a más de 16 dB de atenuación en la red de acceso WDM-PON debido a que el BER estaría por encima de $\times 10^{-9}$ y esto bajaría la calidad de sensibilidad óptica del diseño de la ONU.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

Agrawal, G. P. (Ed. 3). (2002). *Fiber-Optic Communication Systems*. Rochester, NY: John Wiley & Sons, Inc.

Manzanedo, M. D. (2013). *Aplicación de los amplificadores ópticos de semiconductor a la fotónica de microondas*. Universidad Politecnica de Valencia, España.

Michie, C. Kelly, A.E. & Andonovic, I. (2009). Reflective Semiconductor Optical Amplifiers for passive optical networks. *IEEE*, 1-4. doi: 10.1109/ICTON.2009.5185149.

Rampone, T. Hong-Wu Li & Sharaiha, A. (1998). Semiconductor optical amplifier used as an in-line detector with the signal DC-component conservation. *IEEE*, 16(7), 1295 – 1301. doi: 10.1109/50.701408

Wooram Lee. Mahn Yong Park. Seung Hyun Cho. Jihyun Lee. Byoung Whi Kim. Geon Jeong & Byoung Whi Kim. (2005). Bidirectional WDM-PON based on gain-saturated reflective semiconductor optical amplifiers. *IEEE*, 17(2), 2460 - 2462. doi: 10.1109/LPT.2005.858148.

