



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS AMPLIFICADORES
ÓPTICOS EDFA, RAMAN Y SOA PARA DETERMINAR LAS
MEJORES PRESTACIONES EN ENLACES DE LARGA
DISTANCIA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORA:

MISHELL CRISTINA GUANO VIRACOCCHA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS AMPLIFICADORES
ÓPTICOS EDFA, RAMAN Y SOA PARA DETERMINAR LAS
MEJORES PRESTACIONES EN ENLACES DE LARGA
DISTANCIA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORA: MISHHELL CRISTINA GUANO VIRACOCCHA

DIRECTOR: ING. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Mishell Cristina Guano Viracocha

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Mishell Cristina Guano Viracocha, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de mayo de 2024



Mishell Cristina Guano Viracocha

175231409-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS AMPLIFICADORES ÓPTICOS EDFA, RAMAN Y SOA PARA DETERMINAR LAS MEJORES PRESTACIONES EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN**, realizado por la señorita: **MISHELL CRISTINA GUANO VIRACOCHA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Pedro Severo Infante Moreira
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2024-05-22

Ing. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-05-22

Ing. Jorge Vicente Yuquilema Illapa
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-05-22

DEDICATORIA

A mis queridos padres Carlos y Piedad, que, con su amor incondicional, sabiduría y apoyo constante e inquebrantable han sido mi guía y mi inspiración en cada paso de este camino académico, sus palabras de ánimo fueron el soporte en los momentos más difíciles, sin su ayuda no hubiera sido posible este logro. Sus sacrificios y enseñanzas han sido la base sobre la cual he construido mis sueños, este trabajo de titulación es un tributo a su dedicación y amor. A mis adorables hermanas y hermano Richard, Estefanía y Karla, a cada uno de ustedes, por su alegría, complicidad y por ser mis compañeros de aventuras y aprendizajes. Sus risas, conversaciones y momentos compartidos han hecho este camino más significativo y enriquecedor. A mis queridos sobrinos David, Sofía y Samuel, a la alegría de nuestra vida con su inocencia y amor incondicional. Dedico este trabajo a cada uno de ustedes con profundo agradecimiento y cariño. Este logro es también suyo, su influencia y amor han dejado una marca imborrable en mi corazón.

Mishell

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios que ha sido la fuente de sabiduría y guía en este viaje académico, su fortaleza ha sido mi sustento en los momentos de dificultad. A mis padres por el apoyo incondicional para perseverar y alcanzar mis metas. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas para realizar mis estudios y formarme profesionalmente. También un profundo agradecimiento a mi tutor Ingeniero Oswaldo Martínez, por su orientación y dedicación en guiarme durante este proceso de investigación y redacción del trabajo de titulación. Y finalmente quiero expresar mi agradecimiento a mis amigos, quienes han formado parte de este camino académico, que a pesar de tantas dificultades siempre estuvieron ahí con palabras de aliento y motivación, agradezco a cada uno de ustedes por dedicarme su tiempo y compañía cuando más lo necesitaba. Las conversaciones y risas han hecho de este camino más llevadero y significativo.

Mishell

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xxii
RESUMEN.....	xxiii
SUMMARY.....	xxiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.1 <i>Formulación del Problema</i>	3
1.1.2 <i>Sistematización del Problema</i>	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2.1 <i>Justificación Teórica</i>	3
1.2.2 <i>Justificación Aplicativa</i>	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 COMUNICACIONES ÓPTICAS	5
2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES ÓPTICAS	5
2.2.1 <i>Transmisor Óptico</i>	6
2.2.2 <i>Fibra Óptica</i>	7
2.2.3 <i>Estándares de Fibra Óptica</i>	8
2.2.3.1 <i>ITU-T G.652</i>	8
2.2.3.2 <i>ITU-T G.653</i>	8
2.2.3.3 <i>ITU-T G.654</i>	8
2.2.3.4 <i>ITU-T G.655</i>	9

2.2.3.5	ITU-T G.656.....	9
2.2.3.6	ITU-T G.657.....	9
2.2.4	Receptor Óptico	10
2.3	AMPLIFICADORES ÓPTICOS	10
2.3.1	Amplificadores de Fibra Dopada con Erblio (EDFA).....	11
2.3.1.1	Funcionamiento.....	12
2.3.1.2	Características	12
2.3.1.3	Ventajas (RÍPODAS VENTURA, 2016)	13
2.3.1.4	Desventajas (RÍPODAS VENTURA, 2016).....	14
2.3.2	Amplificador RAMAN.....	14
2.3.2.1	Funcionamiento.....	15
2.3.2.2	Características	15
2.3.2.3	Ventajas.....	16
2.3.2.4	Desventajas (RÍPODAS VENTURA, 2016).....	16
2.3.3	Amplificador Óptico Semiconductor (SOA).....	16
2.3.3.1	Funcionamiento.....	17
2.3.3.2	Características	17
2.3.3.3	Ventajas y Desventajas.....	18
2.4	SOFTWARE DE SIMULACIÓN OPTISYSTEM	18
CAPITULO III.....		19
3.	MARCO METODOLOGICO.....	19
3.1	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DEL SIMULADOR	19
3.2	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA SIMULACIÓN.....	22
3.2.1	<i>Optical Transmitter</i>	<i>22</i>
3.2.2	<i>WDM Transmitter</i>	<i>22</i>
3.2.3	<i>WDM Mux</i>	<i>23</i>
3.2.4	<i>Pump Laser y Pump Laser Array</i>	<i>23</i>
3.2.5	<i>Pump Coupler Co-Propagating</i>	<i>23</i>
3.2.6	<i>Ideal Isolator</i>	<i>24</i>
3.2.7	<i>Amplifier Library.....</i>	<i>24</i>
3.2.7.1	<i>Erbium Doped Fiber</i>	<i>24</i>
3.2.7.2	<i>Raman Amplifier – Average Power Model.....</i>	<i>24</i>
3.2.7.3	<i>Wideband Traveling Wave SOA.....</i>	<i>25</i>
3.2.8	<i>WDM Demux.....</i>	<i>25</i>
3.2.9	<i>Optical Receiver.....</i>	<i>25</i>

3.2.10	<i>Optical Spectrum Analyzer</i>	26
3.2.11	<i>Dual Port WDM Analyzer</i>	26
3.2.12	<i>BER Analyzer</i>	26
3.3	SIMULACIÓN DE AMPLIFICADORES ÓPTICOS	27
3.3.1	<i>Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA)</i>	27
3.3.1.1	<i>EDFA en sistema monocanal</i>	27
3.3.1.2	<i>EDFA en sistema multicanal</i>	28
3.3.2	<i>Amplificador Raman</i>	29
3.3.2.1	<i>RAMAN en sistema monocanal</i>	29
3.3.2.2	<i>RAMAN en sistema multicanal</i>	29
3.3.3	<i>Amplificador Semiconductor SOA</i>	31
3.3.3.1	<i>SOA en sistema monocanal</i>	31
3.3.3.2	<i>SOA en sistema multicanal</i>	31
	CAPITULO IV	32
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	32
4.1	AMPLIFICADOR EDFA	32
4.1.1	<i>Amplificador EDFA Monocanal</i>	32
4.1.1.1	<i>EDFA Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.</i>	33
4.1.1.2	<i>EDFA Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.</i>	36
4.1.2	<i>Amplificador EDFA Multicanal</i>	40
4.1.2.1	<i>Señal de entrada EDFA 8 canales</i>	40
4.1.2.2	<i>EDFA 8 canales con longitud de onda de 1550 nm.</i>	41
4.1.2.3	<i>EDFA 8 canales con longitud de onda de 1565 nm.</i>	47
4.1.2.4	<i>Señal de entrada EDFA 16 canales</i>	52
4.1.2.5	<i>EDFA 16 canales con longitud de onda de 1550 nm.</i>	53
4.1.2.6	<i>EDFA 16 canales con longitud de onda de 1565 nm.</i>	60
4.2	AMPLIFICADOR RAMAN	66
4.2.1	<i>Amplificador RAMAN Monocanal</i>	67
4.2.1.1	<i>RAMAN Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.</i>	68
4.2.1.2	<i>RAMAN Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.</i>	71
4.2.2	<i>Amplificador RAMAN Multicanal</i>	75
4.2.2.1	<i>Señal de entrada RAMAN 4 canales</i>	75
4.2.2.2	<i>RAMAN 4 canales con longitud de onda de 1550 nm.</i>	76
4.2.2.3	<i>RAMAN 4 canales con longitud de onda de 1565 nm.</i>	82
4.2.2.4	<i>Señal de entrada RAMAN 16 canales</i>	87

4.2.2.5	<i>RAMAN 16 canales con longitud de onda de 1550 nm.</i>	87
4.2.2.6	<i>RAMAN 16 canales con longitud de onda de 1565 nm.</i>	95
4.3	AMPLIFICADOR SOA	101
4.3.1	<i>Amplificador SOA Monocanal</i>	101
4.3.1.1	<i>SOA Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.</i>	102
4.3.1.2	<i>SOA Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.</i>	106
4.3.2	<i>Amplificador SOA Multicanal</i>	110
4.3.2.1	<i>Señal de entrada SOA 4 canales.</i>	110
4.3.2.2	<i>SOA 4 canales con longitud de onda de 1550 nm.</i>	111
4.3.2.3	<i>SOA 4 canales con longitud de onda de 1565 nm.</i>	114
4.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS AMPLIFICADORES ÓPTICAS	118
4.4.1	<i>Comparación con respecto a la distancia y longitud de onda para sistema monocanal</i>	<i>118</i>
4.4.2	<i>Comparación con respecto a la distancia y longitud de onda para sistema multicanal</i>	<i>120</i>
CAPITULO V		122
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
5.1	CONCLUSIONES	122
5.2	RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas del EDFA	13
Tabla 2-2: Especificaciones Técnicas del RAMAN	15
Tabla 2-3: Especificaciones Técnicas del SOA	17
Tabla 4-1: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1550 nm	36
Tabla 4-2: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1565 nm	39
Tabla 4-3: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	42
Tabla 4-4: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	45
Tabla 4-5: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	47
Tabla 4-6: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	49
Tabla 4-7: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	51
Tabla 4-8: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	52
Tabla 4-9: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	55
Tabla 4-10: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	57
Tabla 4-11: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	59
Tabla 4-12: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	62
Tabla 4-13: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	64
Tabla 4-14: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	66

Tabla 4-15: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.	71
Tabla 4-16: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.	75
Tabla 4-17: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	78
Tabla 4-18: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	80
Tabla 4-19: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	82
Tabla 4-20: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	83
Tabla 4-21: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	85
Tabla 4-22: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	87
Tabla 4-23: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	89
Tabla 4-24: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	92
Tabla 4-25: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	94
Tabla 4-26: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	96
Tabla 4-27: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	99
Tabla 4-28: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	101
Tabla 4-29: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.	106
Tabla 4-30: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.	109
Tabla 4-31: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	112

Tabla 4-32: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	113
Tabla 4-33: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	114
Tabla 4-34: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	115
Tabla 4-35: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	116
Tabla 4-36: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	117
Tabla 4-37: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 25 km para sistema monocanal.	118
Tabla 4-38: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 50 km para sistema monocanal.	118
Tabla 4-39: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 100 km para sistema monocanal.	118
Tabla 4-40: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 25 km para sistema monocanal.	119
Tabla 4-41: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 50 km para sistema monocanal.	119
Tabla 4-42: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 100 km para sistema monocanal.	119
Tabla 4-43: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 25 km para sistema multicanal.	120
Tabla 4-44: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 50 km para sistema multicanal.	120
Tabla 4-45: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 100 km para sistema multicanal.	120
Tabla 4-46: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 25 km para sistema multicanal.	121
Tabla 4-47: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 50 km para sistema multicanal.	Error! Marcador no definido.
Tabla 4-48: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 100 km para sistema multicanal.	Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Página oficial de descarga del Software	19
Ilustración 3-2: Ventana de registro para la creación de Credenciales.....	20
Ilustración 3-3: Acceso de Credenciales.	20
Ilustración 3-4: Ventana de descarga.	21
Ilustración 3-5: Instalación de Software.....	21
Ilustración 3-6: Instalación completa	21
Ilustración 3-7: Ventana de inicio de OptiSystem.....	22
Ilustración 3-8: Componente Optical Transmitter.....	22
Ilustración 3-9: Componente WDM Transmitter	22
Ilustración 3-10: Componente WDM Mux	23
Ilustración 3-11: Componente Pum Laser y Pump Laser Array	23
Ilustración 3-12: Componente Pump Coupler Co-Propagating.....	23
Ilustración 3-13: Componente Ideal Isolator	24
Ilustración 3-14: Componente Erbium Doped Fiber	24
Ilustración 3-15: Componente Raman Amplifier	24
Ilustración 3-16: Componente Wideband Traveling Wave SOA.....	25
Ilustración 3-17: Componente WDM Demux	25
Ilustración 3-18: Componente Optical Receiver	25
Ilustración 3-19: Componente Optical Spectrum Analyzer	26
Ilustración 3-20: Componente Dual Port WDM Analyzer.....	26
Ilustración 3-21: Componente BER Analyzer.....	26
Ilustración 3-22: Esquema de simulación Amplificador EDFA.....	27
Ilustración 3-23: Esquema Amplificador EDFA en sistema WDM de 8 canales.	28
Ilustración 3-24: Esquema Amplificador EDFA en sistema WDM de 16 canales.....	28
Ilustración 3-25: Esquema de simulación Amplificador RAMAN.	29
Ilustración 3-26: Esquema Amplificador RAMAN en sistema WDM de 4 canales.	30
Ilustración 3-27: Esquema Amplificador RAMAN en sistema WDM de 16 canales.	30
Ilustración 3-28: Esquema Amplificador Semiconductor SOA	31
Ilustración 3-29: Esquema Amplificador Semiconductor SOA en sistema WDM de 4 canales.	31
Ilustración 4-1: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema Monocanal, a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.	32

Ilustración 4-2: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1550 nm para 25 km.....	33
Ilustración 4-3: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.....	33
Ilustración 4-4: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1550 nm para 50 km.....	34
Ilustración 4-5: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.....	34
Ilustración 4-6: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1550 nm para 100 km.....	35
Ilustración 4-7: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.....	35
Ilustración 4-8: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1565 nm para 25 km.....	37
Ilustración 4-9: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.....	37
Ilustración 4-10: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1565 nm para 50 km.....	38
Ilustración 4-11: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.....	38
Ilustración 4-12: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1565 nm para 100 km.....	39
Ilustración 4-13: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.....	39
Ilustración 4-14: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 8 canales.....	40
Ilustración 4-15: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1550 nm para 25 km.....	41
Ilustración 4-16: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) primer canal b) cuarto canal y c) octavo canal.....	42
Ilustración 4-17: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1550 nm para 50 km.....	43
Ilustración 4-18: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) primer canal, b) cuarto canal y c) octavo canal.....	44

Ilustración 4-19: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1550 nm para 100 km.	46
Ilustración 4-20: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.....	46
Ilustración 4-21: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1565 nm para 25 km.	48
Ilustración 4-22: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.....	48
Ilustración 4-23: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1565 nm para 50 km.	49
Ilustración 4-24: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.....	50
Ilustración 4-25: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1565 nm para 100 km.	51
Ilustración 4-26: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.....	51
Ilustración 4-27: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 16 canales	53
Ilustración 4-28: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1550 nm para 25 km.	53
Ilustración 4-29: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) Primer canal b) octavo canal y c) dieciseisavo canal	54
Ilustración 4-30: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1550 nm para 50 km.	56
Ilustración 4-31: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) Primer canal b) octavo canal c) dieciseisavo canal	56
Ilustración 4-32: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1550 nm para 100 km.	58
Ilustración 4-33: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km. a) onceavo canal b) noveno canal.	58
Ilustración 4-34: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1565 nm para 25 km.	61
Ilustración 4-35: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.....	61

Ilustración 4-36: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1565 nm para 50 km.....	63
Ilustración 4-37: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.....	63
Ilustración 4-38: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1565 nm para 100 km.	65
Ilustración 4-39: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.....	65
Ilustración 4-40: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema Monocanal del amplificador RAMAN, a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.....	67
Ilustración 4-41: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 25 km.....	68
Ilustración 4-42: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	68
Ilustración 4-43: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 50 km.....	69
Ilustración 4-44: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	69
Ilustración 4-45: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 100 km.....	70
Ilustración 4-46: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	70
Ilustración 4-47: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 25 km.....	72
Ilustración 4-48: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	72
Ilustración 4-49: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 50 km.....	73
Ilustración 4-50: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	73
Ilustración 4-51: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 100 km.....	74
Ilustración 4-52: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	74

Ilustración 4-53: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.	76
Ilustración 4-54: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 25 km.	77
Ilustración 4-55: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) primer canal b) segundo canal	77
Ilustración 4-56: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 50 km.	79
Ilustración 4-57: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) primer canal b) segundo canal.	79
Ilustración 4-58: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 100 km.	80
Ilustración 4-59: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 100 km. a) primer canal b) segundo canal. ...	81
Ilustración 4-60: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 25 km.	82
Ilustración 4-61: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	83
Ilustración 4-62: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 50 km.	84
Ilustración 4-63: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	85
Ilustración 4-64: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 100 km.	86
Ilustración 4-65: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	86
Ilustración 4-66: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.	87
Ilustración 4-67: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 25 km.	88
Ilustración 4-68: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) primer canal b) octavo canal y c) dieciseisavo canal.	89

Ilustración 4-69: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 50 km.	90
Ilustración 4-70: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) primer canal b) octavo canal y c)dieciseisavo canal.....	91
Ilustración 4-71: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 100 km.	93
Ilustración 4-72: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 100 km. a) primer canal b) octavo canal y c)dieciseisavo canal.....	94
Ilustración 4-73: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 25 km.	96
Ilustración 4-74: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	96
Ilustración 4-75: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 50 km.	98
Ilustración 4-76: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	98
Ilustración 4-77: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 100 km.....	100
Ilustración 4-78: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	100
Ilustración 4-79: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema Monocanal del amplificador SOA. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.....	102
Ilustración 4-80: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 25 km.....	103
Ilustración 4-81: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	103
Ilustración 4-82: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 50 km.....	104
Ilustración 4-83: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	104
Ilustración 4-84: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 100 km.....	105

Ilustración 4-85: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.....	105
Ilustración 4-86: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 25 km.....	106
Ilustración 4-87: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	107
Ilustración 4-88: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 50 km.....	107
Ilustración 4-89: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	108
Ilustración 4-90: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 100 km.....	108
Ilustración 4-91: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	109
Ilustración 4-92: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm..	110
Ilustración 4-93: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 25 km.	111
Ilustración 4-94: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.	112
Ilustración 4-95: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 50 km.....	112
Ilustración 4-96: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.	113
Ilustración 4-97: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 100 km.....	113
Ilustración 4-98: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.	114
Ilustración 4-99: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 25 km.....	115
Ilustración 4-100: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.	115
Ilustración 4-101: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 50 km.....	116

Ilustración 4-102: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.	116
Ilustración 4-103: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 100 km.....	117
Ilustración 4-104: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.	117

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET AMPLIFICADOR EDFA

ANEXO B: DATASHEET AMPLIFICADOR RAMAN

ANEXO C: DATASHEET AMPLIFICADOR SOA

ANEXO D: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR EDFA WDM 8 CANALES

ANEXO E: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR EDFA WDM 16 CANALES

ANEXO F: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR RAMAN WDM 4 CANALES

ANEXO G: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR RAMAN WDM 16 CANALES

RESUMEN

Debido a la falta de un análisis comparativo actualizado entre los amplificadores ópticos tanto para aplicaciones monocanal y multicanal con el fin de determinar cuál de los amplificadores ofrece el mejor desempeño en términos de alcance y diferentes longitudes de onda, se propuso realizar un análisis comparativo entre los amplificadores ópticos Amplificador de fibra dopada por erbio (EDFA), Amplificador Raman y Amplificador Óptico Semiconductor (SOA) en enlaces de larga distancia, esta evaluación se llevó a cabo realizando 8 escenarios de simulación, implementados mediante el software Optisystem. En cada escenario, se consideró las variaciones de distancias de fibra óptica de 25 km, 50 km y 100 km, variaciones de longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm con el propósito de analizar el rendimiento de cada amplificador óptico. Los parámetros utilizados para la simulación se los extrajo del datasheet. Mediante la simulación se logró obtener valores de ganancia para el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) en un sistema monocanal de 34.5337 dB, 29.2532 dB, 19.2277 dB y valores de amplificación de 10.1642 dB, 3.66633 dB y -7,42632 dB que corresponden a las diferentes distancias del análisis propuesto. Para un sistema multicanal de un amplificador Raman se obtuvieron los valores de ganancia de 23.214024 dB, 20.399309 dB, 16.68725 dB y valores de amplificación de -0,924428 dB, -3.45366 dB y -7,40306 dB que corresponden a las diferentes distancias. En ese contexto se concluye que el análisis comparativo realizado contribuye para poder determinar que el amplificador de fibra dopada por Erblio (EDFA) muestra una mayor eficiencia en sistemas monocanal y sus variantes debido a su capacidad de amplificación más elevada y su mejor ganancia. Por otro lado, el amplificador Raman presenta una mejor eficiencia en sistemas multicanal al satisfacer los requisitos de amplificación y ganancia necesarios para tales configuraciones.

Palabras clave: <AMPLIFICADOR ÓPTICO> <MONOCANAL> <MULTICANAL>
<AMPLIFICADOR DE FIBRA DOPADA POR ERBIO (EDFA)> <AMPLIFICADOR ÓPTICO SEMICONDUCTOR (SOA)>.

0553-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

Due to the lack of an updated comparative analysis between optical amplifiers for both single-channel and multi-channel applications to determine which amplifier offers the best performance in terms of reach and different wavelengths, a comparative study was proposed between the Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA), Raman Amplifier, and Semiconductor Optical Amplifier (SOA) in long-distance links. The evaluation was carried out through 8 simulation scenarios implemented using Optisystem software. In each scenario, variations in optical fiber distances of 25 km, 50 km, and 100 km, as well as wavelength variations of 1550 nm and 1565 nm, were considered to analyze the performance of each optical amplifier. In the simulation, the parameters were extracted from datasheets. Through the simulation, gain values for the Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA) in a single-channel system of 34.5337 dB, 29.2532 dB, 19.2277 dB, and amplification values of 10.1642 dB, 3.66633 dB, and -7.42632 dB corresponding to the different distances of the proposed analysis were obtained. For a multi-channel system with a Raman amplifier, gain values of 23.214024 dB, 20.399309 dB, 16.68725 dB, and amplification values of -0.924428 dB, -3.45366 dB, and -7.40306 dB corresponding to the different distances were obtained. In this context, it is concluded that the comparative analysis helps determine that the Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA) shows greater efficiency in single-channel systems and their variants due to its higher amplification capacity and better gain. On the other hand, the Raman amplifier presents better efficiency in multi-channel systems by meeting the necessary amplification and gain requirements for such configurations.

Keywords: <OPTICAL AMPLIFIER> <SINGLE-CHANNEL> <MULTI-CHANNEL>
<ERBIUM-DOPED FIBER AMPLIFIER (EDFA)> <SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER (SOA)>


Lic. Maritza Larrea Mg.
0603370784

INTRODUCCIÓN

El potencial en los amplificadores ópticos de fibra en los sistemas de comunicación ha proporcionado el desarrollo de esta tecnología, en el ámbito de las comunicaciones ópticas de alta capacidad y enlaces de larga distancia, la selección del amplificador óptico adecuado desempeña un papel importante para así optimizar el rendimiento de la red. Estos dispositivos, basados principalmente en tecnologías como la fibra dopada con elementos como el erbio, tienen la capacidad de amplificar señales ópticas sin necesidad de realizar conversión a señales eléctricas. Además, los amplificadores ópticos contribuyen significativamente a la eficiencia y capacidad de los sistemas de transmisión.

El presente estudio se centra en un exhaustivo análisis comparativo de tres tipos de amplificadores ópticos ampliamente utilizados, Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA), Amplificador RAMAN y Amplificador óptico Semiconductor (SOA). El objetivo principal es determinar las mejores prestaciones en enlaces de larga distancia mediante el empleo de herramientas avanzadas de simulación en este caso utilizando OptiSystem. Se plantea ejecutar ocho escenarios de simulación adaptados tanto para sistema monocanal y multicanal, utilizando dos diferentes ventanas de transmisión y valores de distancia en km, este enfoque permitirá un análisis exhaustivo de sus rasgos fundamentales, funcionamiento y rendimiento, en cada escenario de simulación se obtendrá los resultados tanto gráficos como numéricos, en el análisis con resultados numéricos se tomará en cuenta la ganancia, figura de ruido, OSNR de salida, distancia de fibra óptica y BER, en los resultados gráficos se podrá observar la amplificación del espectro de potencia y el diagrama del ojo, para así después de obtener todos estos datos poder realizar el análisis comparativo entre los tres diferentes tipos de amplificadores ópticos.

La finalidad del procedimiento de evaluación será seleccionar el amplificador óptico más apropiado para optimizar el desempeño de un sistema de comunicación mediante fibra óptica y garantizar una transmisión de señal óptica de alta calidad a lo largo del canal de transmisión

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Una vez desarrollado el láser y la fibra óptica, la aparición de los amplificadores ópticos se consideró una revolución en el desarrollo de lo que se conoce hoy en día como los sistemas ópticos, este acontecimiento fue el punto de subida en la implantación de los sistemas de comunicación ópticos. Antes de la llegada de amplificadores ópticos en las redes, se requería la implementación de repetidores electrónicos, lo cual resultaba costoso. Estos repetidores imponían restricciones en la velocidad de transmisión y suponían problemas de seguridad de la información transmitida debido a su falta de confiabilidad. Los amplificadores ópticos más conocidos y utilizados son aquellos de fibra dopada o denominados EDFA, amplificadores de difusión RAMAN y el amplificador de semiconductores SOA. (FERMOSO SANTOS, 2020 pág. 38).

En la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se llevó a cabo una simulación de amplificadores ópticos utilizando OptiSystem, el enfoque principal fue estudiar amplificadores EDFA, se llevaron a cabo múltiples simulaciones abarcando distintos tipos de amplificadores EDFA. A través de los resultados obtenidos, se logró diferenciar la eficiencia y nivel de ruido entre los diversos amplificadores mencionados. (POLISGUA COX, 2015 págs. 54-73).

En la Pontificia Universidad Católica del Ecuador se realizó un estudio y diseño de red LR-PON en la cual se utilizó los amplificadores EDFA y SOA, con el objetivo de investigar su operación y determinar cuál de los dos sería más adecuado para su implementación en un sistema WDM, aportando al diseño de la red mencionada previamente. El análisis realizado en relación con cada tipo de amplificador se basó en la eficiencia que ofrece, su capacidad para abarcar un amplio espectro, su tipo de ganancia y su dispersión cromática. Sin embargo, esta evaluación se enfocó en una perspectiva distinta a la que se busca desarrollar en la siguiente propuesta. (HOYOS MAROTO, 2016 págs. 1-5, 122).

La mayoría de los estudios realizados hasta ahora se han centrado en investigar las características y el funcionamiento de amplificadores ópticos EDFA. Sin embargo, es esencial llevar a cabo una mayor cantidad de investigaciones que aborden otros tipos de amplificadores ópticos disponibles, como son los RAMAN y SOA. Esto permitirá una evaluación precisa para determinar cuál de estos amplificadores es más eficiente para su utilización en la transmisión de señales ópticas, analizando sus diferentes ventajas y desventajas, aplicaciones específicas que cada uno puede ofrecer, sus principios de funcionamiento y estructura.

1.1.1 Formulación del Problema

¿Es posible determinar las mejores prestaciones en los amplificadores ópticos para enlaces de larga distancia?

1.1.2 Sistematización del Problema

¿Cuál es el principio de funcionamiento de los amplificadores ópticos EDFA, RAMAN y SOA?

¿Cómo diseñar un esquema de simulación de red óptica utilizando los amplificadores ópticos?

¿Cuál es el rendimiento presentado por cada amplificador óptico en las simulaciones?

1.2 Justificación

En esta sección, se presentarán algunos de los proyectos más recientes que han empleado amplificadores, los cuales servirán como referencia para la formulación de la propuesta en cuestión. Además, se proporcionará una explicación concisa de la metodología que se empleará para llevar a cabo el proyecto.

1.2.1 Justificación Teórica

El potencial de amplificadores de fibra en los sistemas de comunicación a estimulado el desarrollo de cierta tecnología y esto se confirmó con la aparición de los amplificadores de fibra óptica dopada con erbio (JARABO LALLANA, 1994 págs. 1-5). Actualmente las características de cada uno de estos amplificadores han ido mejorando conforme el paso del tiempo.

Los sistemas de comunicaciones ópticos modernos buscan integrar las tecnologías ópticas de amplificación EDFA y RAMAN. Los amplificadores híbridos EDFA/Raman se han convertido en una ciencia emergente muy favorable, permiten la maximización del segmento de amplificación, obteniendo como resultado una minimización de los efectos de no linealidades en la fibra, además mejorar el ancho de banda de los amplificadores de fibra dopada con Er. A pesar de que las no linealidades del SOA contribuyeron a que esta tecnología fuera reemplazada por los EDFA, fue precisamente esta característica la que permitió a los amplificadores SOA centrarse en aplicaciones de procesado como la conmutación, la conversión de longitud de onda en sistemas WDM, comportándose como un generador de pulsos y generar filtros dinámicamente configurables. No obstante, en la actualidad se cuenta con sistemas ópticos locales que hacen uso de los SOA, EDFA y RAMAN como dispositivos de amplificación óptica. (MORENO, 2017 págs. 22-25).

Se propone llevar a cabo un análisis comparativo entre los tres tipos de amplificadores ópticos. Para ello, se planea ejecutar distintos escenarios de simulación adaptados a cada amplificador en particular, este enfoque permitirá un análisis exhaustivo de sus rasgos fundamentales,

funcionamiento y rendimiento. El procedimiento de evaluación tendrá como objetivo seleccionar el amplificador óptico más apropiado para optimizar el desempeño de un sistema de comunicación mediante fibra óptica, teniendo en cuenta los requisitos específicos de la aplicación y garantizar una transmisión. Además, se brindará información relativa a las posibles limitaciones asociadas a cada tipo de amplificador óptico, para obtener ciertos datos, se realizarán variaciones en las características más relevantes de los amplificadores, así como la distancia del enlace.

1.2.2 Justificación Aplicativa

En el presente proyecto se pretende llevar a cabo una comparativa entre los amplificadores ópticos EDFA, SOA y RAMAN, esta evaluación se llevará a cabo mediante el uso de un simulador óptico, el cual se empleará para establecer diversos escenarios que permitirán examinar el comportamiento de estos amplificadores. En cada uno de estos escenarios, se considerará la variación de parámetros con el propósito de observar diferentes facetas del rendimiento de los amplificadores ópticos, teniendo en cuenta la variación de la distancia del enlace. Además, se proporcionarán gráficos y tablas de resultados derivados de las simulaciones, esto facilitará el análisis detallado para identificar las características de cada amplificador y al mismo tiempo, se tendrá en cuenta las posibles limitaciones que puedan surgir en el uso de cada tipo de amplificador.

1.3 Objetivos

En esta sección se establecen los objetivos, tanto general como específicos, que deben alcanzarse en el transcurso de la ejecución de la propuesta planteada para el proyecto.

1.3.1 Objetivo General

Analizar los amplificadores ópticos EDFA, RAMAN y SOA para determinar las mejores prestaciones en enlaces de larga distancia mediante software de simulación.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar y describir el principio de funcionamiento de los amplificadores ópticos EDFA, Raman y SOA.
- Diseñar un esquema de simulación de una red óptica utilizando amplificadores ópticos EDFA, Raman y SOA en enlaces de larga distancia.
- Evaluar el rendimiento de los amplificadores ópticos en los diferentes escenarios de simulación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se tratará de manera concisa conceptos acerca de comunicaciones ópticas, alguno de los componentes por los que está formado, descripción rápida de cada uno de los componentes de un sistema de comunicaciones ópticas, estándares de fibra óptica, amplificadores ópticos, además, las características, funcionamiento, parámetros, ventajas y desventajas de los amplificadores EDFA, RAMAN y SOA.

2.1 Comunicaciones Ópticas

Esta tecnología se basa en la transmisión de información mediante señales ópticas, empleando la luz en lugar de señales eléctricas, a finales de los años 50 se presentó varios avances e invenciones que contribuyeron significativamente al progreso de las comunicaciones, lo que a su vez condujo a un aumento considerable en las inversiones en las redes implementadas sobre infraestructura de fibra óptica. La primera generación se sometió a pruebas en aplicaciones telefónicas, empleando fibras para la transmisión de luz a una longitud de onda de 850nm. Esta primera generación permitía la transmisión de luz a distancias de varios kilómetros sin requerir repetidores, pero estaba limitado por pérdidas de señal. La segunda generación introdujo un nuevo láser que operaba a una longitud de onda de 1.3um, donde la atenuación era significativamente baja. (CABEZAS, 2014 pág. 17).

La comunicación óptica ha cubierto algunas áreas como la larga distancia, cubriendo 300.000 km en 1985 y 400.000 km en 1986, pero se espera un crecimiento moderado en el futuro. Cabe señalar que los sistemas de comunicaciones ópticas han dominado el mercado desde la década de los 80 y son una de las áreas de mayor interés y necesidad de investigación, con potencial para desarrollar diversos experimentos y trabajos de investigación. (MARTIN PEREDA, 2014 pág. 211).

2.2 Componentes de un Sistema de Comunicaciones Ópticas

Un sistema de comunicaciones ópticas representa una instancia específica dentro del dominio de los sistemas de comunicación en general. El sistema se compone de un emisor óptico, un canal de transmisión compuesto por fibra óptica y un receptor. En el caso que se requiera desplegar este sistema para la transmisión a distancias considerables, será necesario incorporar un dispositivo repetidor de señales. Además, la necesidad de implementar repetidores dependerá de las pérdidas experimentadas a lo largo del canal a medida que la distancia del enlace se extienda. (KEISER, 2004 págs. 26-27).

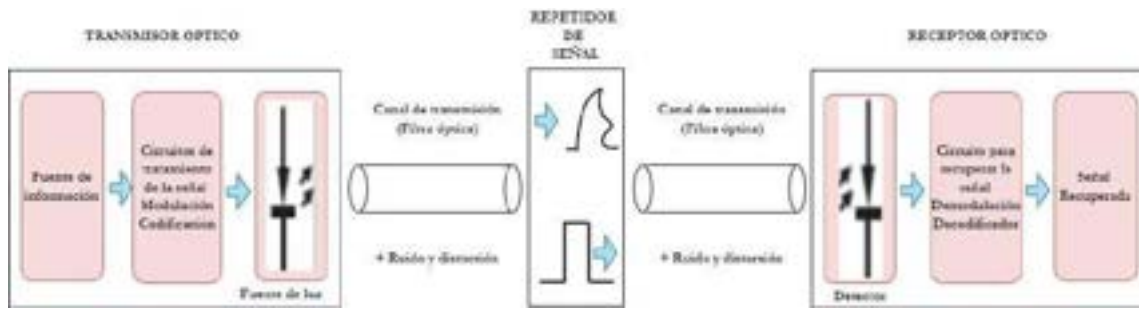


Ilustración 2 - 1: Diagrama de un Sistema de Comunicaciones Ópticas.
Realizado por: Guano, M, 2023.

En la Ilustración 2-1, se representa gráficamente un sistema de comunicaciones ópticas, en el que el transmisor óptico engloba una fuente de información, ya sea analógico o digital, acompañada por un circuito de procesamiento de señales, que a su vez integra una fuente de luz o fuente óptica. El canal de transmisión introduce perturbaciones en forma de ruido y distorsión. En el extremo receptor, se encuentra un detector junto con circuitos encargados de la recuperación de la señal. (KEISER, 2004 págs. 27-28).

2.2.1 Transmisor Óptico

El trabajo del transmisor óptico consiste en realizar la conversión de una señal eléctrica de entrada a una señal óptica, seguida de su colocación en la fibra óptica, que desempeña el papel de canal de transmisión. El componente central en los dispositivos transmisores ópticos es la fuente óptica. En sistemas de comunicación que se basan en la tecnología de fibra óptica, se recurre a fuentes ópticas semiconductoras, como diodos emisores de luz (LED) y láseres semiconductores, debido a las múltiples ventajas que estos ofrecen. (AGRAWAL, 2011 pág. 79).

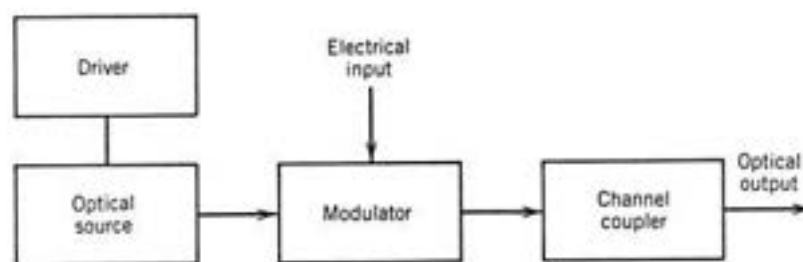


Ilustración 2 - 2: Diagrama de un Transmisor Óptico
Fuente: (AGRAWAL, 2002 pág. 17).

La Ilustración 2-2. Presenta el esquema de bloques de un transmisor óptico, integrando una fuente óptica, un modulador y un acoplador de canal. Las fuentes ópticas utilizadas incluyen láseres semiconductores o diodos emisores de luz, escogidos por su compatibilidad con el canal de fibra óptica. La generación de la señal óptica implica la modulación de la onda portadora óptica. En

ocasiones se emplea un modulador externo, en ciertas situaciones se puede prescindirse de este elemento, ya que la salida de una fuente óptica semiconductor permite la modulación directa mediante la variación de la corriente de inyección. Este método simplifica el diseño del transmisor y suele representar una alternativa económicamente eficiente. (AGRAWAL, 2002 págs. 17-18). Algunas ventajas de recurrir a fuentes ópticas semiconductoras LED y láseres es que abarcan dimensiones reducidas, eficacia elevada, fiabilidad sólida, ajuste preciso del rango de longitud de onda, área emisiva mínima y la capacidad de llevar a cabo modulación directa a frecuencias relativamente elevadas. (AGRAWAL, 2011 pág. 79).

2.2.2 Fibra Óptica

Es un canal de transmisión físico que propaga señales mediante la modulación de luz. Para posibilitar esta comunicación, se requiere la presencia de dispositivos electrónicos en ambos extremos de la transmisión de luz. En el emisor, la información se transmite en forma de haces de luz, mientras que, en el receptor, se lleva a cabo la decodificación de la señal. La fibra óptica está compuesta continuamente por filamentos de vidrio de alta pureza, extremadamente delgados y flexibles, con un grosor comparable al de un cabello humano. (CHAN GARCÍA, 2020 pág. 14).

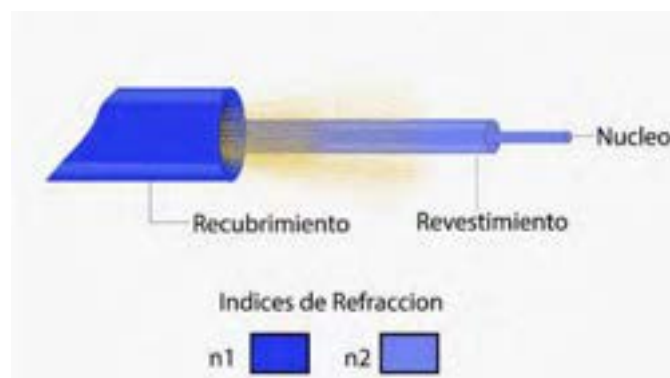


Ilustración 2 - 3: Estructura de la Fibra Óptica

Fuente: (CHAN GARCÍA, 2020 pág. 14).

La Ilustración 2-3 presenta la estructura de Fibra óptica que consta del núcleo, recubrimiento y revestimiento, se ha comprobado que las ondas electromagnéticas que constituyen la luz tienen a propagarse a través de regiones con un elevado índice de refracción. Por esta razón, el núcleo de la fibra óptica se fabrica con materiales transparentes, como vidrio o plásticos. Ciertas fibras de vidrio presentan un diámetro de núcleo tan reducido como 50 micras y un índice de refracción de tipo gradual. La relevancia de un núcleo de estas características radica en su capacidad para ofrecer un ancho de banda superior en comparación con otro que tenga un índice de refracción uniforme. Para mantener la luz dentro del núcleo, es esencial revestirlo con un material que tenga un índice de refracción diferente. (HERNÁNDEZ PÉREZ, 2018 pág. 2).

2.2.3 Estándares de Fibra Óptica

2.2.3.1 ITU-T G.652

Esta norma especifica las características geométricas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica y un cable monomodo con una longitud de onda de dispersión cero centrada en 1310nm, apropiada para su aplicación, se optimizó para su uso en la región de longitud de onda de 1310nm, pero también puede ser usada en la región de 1550nm. Se divide en cuatro subcategorías: G.652.A, G.652.B, G.652.C y G.652.D, estas subcategorías tienen el mismo tamaño de núcleo que va de 8 a 10 micrómetros. Presenta una dispersión cromática inferior a los 17 ps/(nm*Km), con una atenuación entre los 0,3 dB/Km y 0,4 dB/Km dependiendo de las subcategorías. (ITU-T, 2016).

2.2.3.2 ITU-T G.653

Detalla las especificaciones de un cable y una fibra óptica monomodo, también se la llama fibra desplazada por dispersión, caracterizada por una longitud de onda nominal de dispersión cero cercana a 1550nm y un coeficiente de dispersión que aumenta de manera monótona con la longitud de onda. Está diseñada para operar en la región de 1550nm, esta fibra también puede ser utilizada alrededor de 1310nm. Además, se implementan disposiciones específicas para respaldar la transmisión en longitudes de onda más altas hasta 1625nm y longitudes de onda bajas hasta 1460nm, tiene un tamaño de núcleo reducido, esta optimizado para sistemas de transmisión monomodo de larga distancia que utilizan amplificadores de fibra dopada con Erblio. Tiene una dispersión cromática menos a 3,5 ps/(nm*Km), con una atenuación de 0,35 dB/Km. (ITU-T, 2010).

2.2.3.3 ITU-T G.654

Esta recomendación tiene longitud de onda aproximada de 1300nm, cuyas perdidas se reducen al mínimo y su punto de corte se traslada alrededor de 1550nm, ha sido optimizada para su rendimiento específico en el rango de 1530nm a 1625nm. Esta fibra es conocida también como fibra con corte desplazado, presenta una muy baja atenuación y se destina a aplicaciones de transmisión digital de larga distancia, tales como sistemas de líneas terrestres de gran alcance y cables submarinos que hacen uso de amplificadores. Se divide en subcategorías: G.654.A, G.654.B, G.654.C, G.654.D y G.654.E. Presenta una dispersión cromática alta de 20ps/(nm*Km), con una atenuación entre los 0,20 dB/Km y 0,25 dB/Km dependiendo de las subcategorías. (ITU-T, 2020).

2.2.3.4 *ITU-T G.655*

Detalla una fibra monomodo que exhibe un coeficiente de dispersión cromática superior a cero en longitudes de onda superiores a 1530nm. Esta característica de dispersión tiene el propósito de mitigar el desarrollo de efectos no lineales. Inicialmente destinadas para operar en longitudes de onda dentro de un rango predeterminado de 1530nm a 1565nm, estas fibras han sido adaptadas para respaldar la transmisión en longitudes de onda más elevadas, hasta 1625 nm, así como en longitudes de onda más bajas, hasta 1460 nm. Con una dispersión cromática menor a 10 ps/(nm*Km), atenuación de 0,35 dB/Km. Sus características reducen los efectos no lineales. (ITU-T, 2009).

2.2.3.5 *ITU-T G.656*

Describe una fibra monomodo que presenta una dispersión cromática superior a cero en todo el espectro de longitudes de onda de 1460nm a 1625 nm. Esta característica de dispersión tiene el propósito de mitigar el desarrollo de efectos no lineales, especialmente perjudiciales en sistemas de multiplexación por división de longitud de onda densa. Se contempla la posibilidad de extensiones a longitudes de onda más allá de la región de 1460nm a 1625 nm en futuras aplicaciones. Con una atenuación de 0,35 dB/Km a 0,4 dB/Km. (ITU-T, 2010).

2.2.3.6 *ITU-T G.657*

Fue inicialmente desarrollado para su aplicación en redes de acceso, abarcando tanto el entorno interior de edificaciones como el tramo final de las redes. Ambas categorías, A y B, comprenden dos subcategorías que se distinguen por sus niveles de pérdida por macro flexión. Están diseñadas para permitir que las fibras se doblen, sin afectar el rendimiento. Las fibras de la categoría A están diseñadas para minimizar la pérdida por macro flexión y son aptas para su despliegue en toda la red de acceso, siendo adecuadas para utilizarse en el rango completo de 1 260 nm a 1 625 nm. Por otro lado, las fibras de categoría B están específicamente optimizadas para reducir aún más la pérdida por macro flexión, permitiendo su utilización con valores muy bajos de radio de curvatura. Estas fibras están destinadas a distancias de alcance cortas, particularmente inferiores a 1 000 m, y son especialmente idóneas para la parte final de las redes de acceso, ubicadas dentro o en proximidad de edificaciones. Su aplicación abarca el rango completo de 1 260 nm a 1 625 nm. Con una atenuación de 0,4 dB/Km. (ITU-T, 2016).

2.2.4 Receptor Óptico

Un receptor óptico desempeña la función de convertir la señal óptica recibida en el extremo de salida de la fibra óptica de vuelta a la señal eléctrica original. La Ilustración 2-4, presenta el diagrama de bloques de un receptor óptico y consta de un acoplador, un fotodetector y un demodulador.

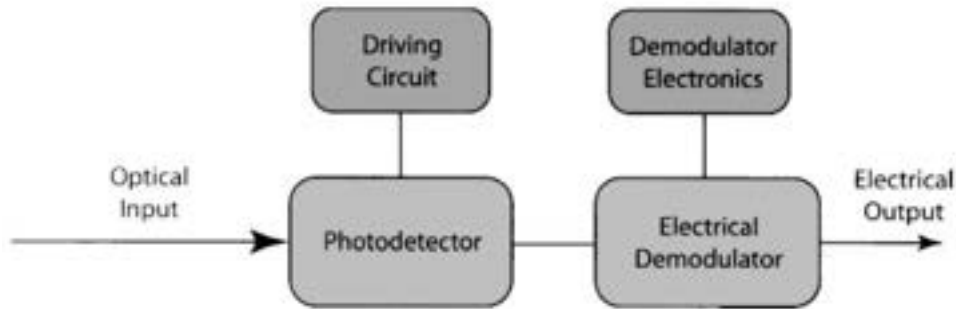


Ilustración 2 - 4: Diagrama de un Receptor Óptico

Fuente: (AGRAWAL, 2011 pág. 20).

El acoplador dirige la señal óptica recibida hacia el fotodetector. Para este propósito, se emplean fotodiodos semiconductores. El diseño del demodulador está condicionado por el formato de modulación adoptada por el sistema de ondas de luz. En situaciones donde se utilizan formatos como FSK y PSK, generalmente se requieren técnicas de demodulación heterodina u homodina. La mayoría de los sistemas de ondas de luz se fundamentan en el esquema denominado "modulación de intensidad con detección directa" (IM/DD). La demodulación en este contexto se lleva a cabo mediante un circuito de decisión que clasifica los bits como 1 o 0, dependiendo de la amplitud de la señal eléctrica. (AGRAWAL, 2011 pág. 19).

2.3 Amplificadores Ópticos

En los amplificadores de fibra óptica, se fusionan dos tecnologías fundamentales: comunicación a través de fibra óptica y tecnología láser. Los primeros avances en comunicación óptica, como el telégrafo óptico en 1793 y el fonógrafo en 1878, junto con los estudios a lo largo de los siglos sobre la tecnología láser, así como los sistemas ópticos contemporáneos para la transmisión de información, representan los resultados de destacadas invenciones y el continuo desarrollo tecnológico que las ha acompañado. (GUARDIA LÓPEZ, 2021 pág. 1).

Previo a la introducción de los amplificadores ópticos, era necesario desplegar repetidores electrónicos de alto costo en las infraestructuras de red preexistentes. Estos repetidores, al realizar conmutaciones, imponían restricciones en la velocidad de transmisión y, además de representar un método poco confiable para garantizar la seguridad en la transmisión de información, presentaban limitada flexibilidad frente a las expansiones debido a la necesidad de implementar un sistema de encriptación en cada repetidor. (HERRERA NIVELLO, 2022 pág. 20).

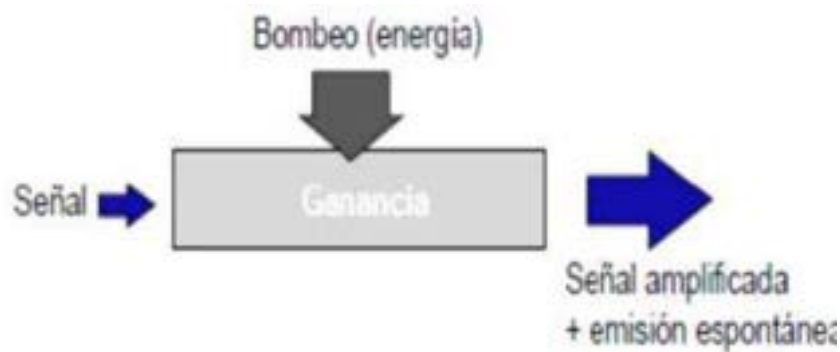


Ilustración 2 - 5: Proceso del Amplificador Óptico

Fuente: (GUARDIA LÓPEZ, 2021 pág. 1).

Un amplificador óptico se configura como un dispositivo que realiza la amplificación directa de una señal óptica, sin necesidad de convertir la señal al ámbito eléctrico, amplificar la señal al ámbito eléctrico y nuevamente al ámbito óptico. Un amplificador óptico tiene la capacidad de amplificar conjuntos de longitudes de onda. La Ilustración 2-5 indica el proceso de amplificación ópticos, la operatividad de estos amplificadores implica la necesidad de un bombeo externo mediante un láser de onda continua con una frecuencia óptica ligeramente superior a la que se pretende amplificar. Por lo general, las longitudes de onda de bombeo se sitúan en torno a los 980 nm o 1480 nm, y para optimizar la reducción de ruido, se recomienda que el bombeo se realice en la misma dirección que la señal. La amplificación se lleva a cabo mediante el proceso de emisión estimulada. (GUARDIA LÓPEZ, 2021 pág. 1).

2.3.1 Amplificadores de Fibra Dopada con Erblio (EDFA)

Los amplificadores de Fibra Dopada con Erblio (EDFA) emergieron durante la década de los 90 en respuesta a la creciente demanda del aumento de la longitud de transmisión de las líneas de comunicaciones mediante fibra óptica. Esto se debió a la necesidad de contrarrestar la atenuación experimentada por la luz al propagarse a lo largo de la fibra. En la actualidad los EDFA son los dispositivos de amplificación óptica más habituales. Se trata de un dispositivo que incorpora fibra óptica dopada con erbio en su núcleo, permitiendo que la fibra absorba luz a una frecuencia específica y emita luz a otra frecuencia. De esta manera, su capacidad radica en transformar una señal óptica de baja intensidad en una señal de mayor potencia, en la Ilustración 2-6 se observa la el diseño de un amplificador óptico el cual genera un aumento significativo en la intensidad de la señal de salida, manteniendo coherencia con respecto a la señal de entrada. (FERMOSO SANTOS, 2020 pág. 41).



Ilustración 2 - 6: Diseño de un Amplificador EDFA

Fuente: (MELENDEZ VENEGAS, 2013 pág. 20).

2.3.1.1 Funcionamiento

La fibra dopada con erbio, al recibir una señal de bombeo, induce la absorción de fotones por parte de los átomos, llevándolos a un estado excitado cuya duración está definida por el tiempo de vida de algunos átomos. Al regresar a su estado original, liberan la energía acumulada, dando lugar al fenómeno conocido como emisión. La emisión puede manifestarse de dos maneras: emisión espontánea, donde no existe una relación de fase entre los fotones emitidos y los incidentes y la emisión estimulada, la cual se desencadena por la incidencia de un fotón, resultando en una coincidencia en fase y dirección entre los fotones emitidos y los incidentes. Esto genera una interferencia constructiva, amplificando las señales de luz incidente. Para que ocurra el fenómeno de emisión dentro del amplificador óptico, es necesario lograr una inversión de población en los estados de energía, lo que implica que la cantidad de iones en estado excitado sea superior a la cantidad en el estado fundamental de energía. Este estado de inversión de población se alcanza mediante la inyección de potencia en la fibra dopada, un proceso que puede llevarse a cabo mediante un bombeo externo. (MELENDEZ VENEGAS, 2013 pág. 19).

2.3.1.2 Características

Algunas de sus características de los EDFA son (LANCHI RUEDA, 2015):

- Rango de operación entre 1300 – 1600nm
- Las pérdidas de inserción en las conexiones de la fibra óptica son notablemente minimizadas gracias a la geometría cilíndrica del dispositivo.
- Ganancia típica entre 40-50 dB.
- Potencia de salida de 13-23 dBm.

- Ganancia poco sensible a la polarización de la señal.
- Banda de paso entre 20-30 nm.
- Factor de ruido entre 3-6 dB.
- Elevada ganancia y bajo ruido
- Posee un amplio ancho de banda, transparencia a las longitudes de onda e independencia a la polarización.

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas del EDFA

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidad
Banda de Operación	1530	1565	nm
Potencia de entrada	-30	10	dBm
Potencia de Bombeo	100	150	mW
Longitud de bombeo	980	1480	nm
Ganancia	15	33	dB
Potencia de salida	18	21	dBm
Figura de ruido (NF)	5		dB
Velocidad de Transmisión	10	200	Gbps

Fuente: (XIA, 2020).

Realizado por: Guano M.,2023.

2.3.1.3 Ventajas (RÍPODAS VENTURA, 2016)

- Baja diafonía entre múltiples canales
- Bajo Ruido
- Eficiente transferencia de energía del bombeo de la señal (mayor de 50%).
- La salida de saturación es mayor a 1mW
- Posee un formato transparente de modulación óptica.
- Rango dinámico largo (mayor de 80 nm).
- Polarización independiente (para reducir las pérdidas por acoplamiento en la transmisión de la fibra).
- La constante de tiempo de ganancia es larga (mayor 100 ms) para superar los efectos de distorsión de la intermodulación (bajo ruido).

2.3.1.4 Desventajas (RÍPODAS VENTURA, 2016)

- El espectro de ganancia no es plano.
- Acumulación de la dispersión cromática.
- No se pueden colocar filtros fácilmente, lo que aumenta el ruido y degrada las propiedades del amplificador.
- El espacio físico en donde se tienen que colocar ya que no son dispositivos pequeños.
- Existe ganancia de saturación.

2.3.2 Amplificador RAMAN

Un amplificador RAMAN se compone esencialmente de una bomba láser de alta potencia, generalmente en el rango de mW, que se introduce en una fibra óptica a una longitud de onda aproximadamente 100nm por debajo de las señales que se pretenden amplificar, No obstante, para optimizar el rendimiento del amplificador, se recurre a más que un simple láser de bombeo, expandiendo tanto el ancho de banda de amplificación como la ganancia como se puede observar en la Ilustración 2-7. Este proceso de amplificación se lleva a cabo mediante el efecto de dispersión Raman estimulada, conocido como SRS (Stimulated Raman Scattering). (SCHMIDT CASTELLANI, 2009 pág. 27).

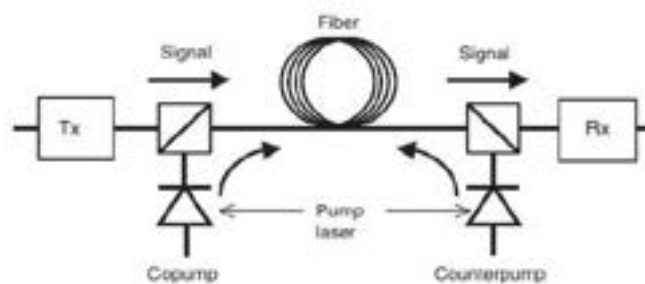


Ilustración 2-7: Diseño de un sistema de comunicación óptica empleando Amplificador RAMAN

Fuente: (AGRAWAL, 2005 pág. 7).

La dispersión estimulada Raman (SRS) ha suscitado un interés renovado en los últimos años, motivado por la búsqueda de una relación costo-beneficio eficiente en sistemas de comunicación. En la actualidad, se emplean láseres de alta potencia como fuentes de bombeo en estos amplificadores. A pesar de que la dispersión estimulada Raman es un proceso de baja intensidad, los amplificadores Raman poseen diversas características que los vuelven altamente atractivos para los sistemas de comunicación tanto presentes como futuros. En primer lugar, los amplificadores Raman distribuidos pueden exhibir un efecto de ruido negativo, lo que contribuye al aumento del ancho de banda en un sistema. (GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ, 2007 pág. 51).

2.3.2.1 Funcionamiento

La técnica de amplificación Raman se fundamenta en las propiedades inherentes de la sílice para intensificar la señal. En este método, se aplica una bomba directamente sobre la fibra de transmisión utilizando láseres con una longitud de onda menor que la longitud de onda de las señales que se pretenden amplificar. Este proceso induce una excitación de los átomos de sílice a un nivel de energía superior, y debido a las características no lineales de la fibra óptica, los átomos regresan al nivel de energía más bajo. En este procedimiento, los fotones de la misma longitud de onda son liberados de las señales de datos, las cuales son posteriormente amplificadas. (PADTEC, 2021).

2.3.2.2 Características

Las características generales son (LANCHI RUEDA, 2015):

- Ganancia máxima de 40 dB
- Conversión de potencia de un amplificador RAMAN es menor (10%), frente a la del EDFA (60%), por lo que se los suele usar en forma combinada.
- Rango de operación entre 1300 nm.
- Para conseguir una máxima ganancia necesitan una potencia de bombeo de 1Watt, aunque para ganancias menores (5dB) puede bajar a 500 mili Watt.

Tabla 2-2: Especificaciones Técnicas del RAMAN

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidad
Banda de Operación	1525	1565	nm
Potencia de entrada	-40	-10	dBm
Ganancia	10	40	dB
Potencia de salida	28	30	dBm
Figura de ruido (NF)	3	6	dB
Potencia de bombeo	300	600	mW
Velocidad de Transmisión	10	200	Gbps

Fuente: (XIA, 2020)

Realizado por: Guano M.,2023.

2.3.2.3 Ventajas

No obstante, presentan ciertas ventajas significativas, tales como la capacidad de utilizar la fibra preexistente para compensar las pérdidas, eliminando la necesidad de insertar módulos adicionales o dopar la fibra con sustancias químicas adicionales. Además, cuentan con la capacidad de generar ganancias en cualquier longitud de onda mediante la selección adecuada de la longitud de onda de la bomba correspondiente, así como la opción de expandir la banda de amplificación mediante la incorporación de nuevas bombas. Es factible alcanzar una banda de amplificación de hasta 100 nm. (SCHMIDT CASTELLANI, 2009 pág. 27).

2.3.2.4 Desventajas (RÍPODAS VENTURA, 2016).

- Alta diafonía entre canales
- Altas potencias de bombeo (aumenta los inconvenientes)

2.3.3 Amplificador Óptico Semiconductor (SOA)

Los amplificadores ópticos de semiconductor (SOAs) son equipos optoelectrónicos, tienen la capacidad de amplificar una señal luminosa de entrada bajo condiciones apropiadas. La confinación de la señal de entrada y su propagación a lo largo de la región activa, donde ocurre la amplificación, son gestionadas por una guía de ondas. Sin embargo, es importante señalar que el confinamiento óptico en este contexto es relativamente débil, lo que resulta en la filtración y pérdida de parte de la señal en regiones circundantes al revestimiento. (AGUACAZO RODRÍGUEZ, 2018 pág. 12).

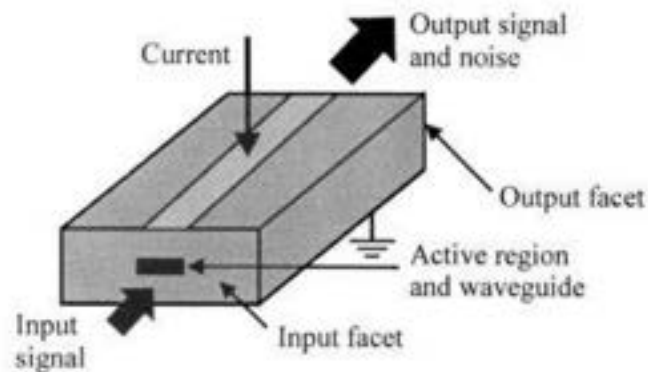


Ilustración 2 - 8: Estructura de un Amplificador Óptico Semiconductor (SOA)

Fuente: (AGUACAZO RODRÍGUEZ, 2018 pág. 13).

Existen diversos tipos de Amplificadores Ópticos de Semiconductor (SOA) que exhiben propiedades distintas en función del diseño de su cavidad activa. Un ejemplo básico es aquel en el que la cavidad activa se compone de semiconductor masivo, lo que implica que la totalidad de la guía de onda (ajustada para ser monomodo) está constituida por un único tipo de semiconductor. Para que el SOA pueda operar como amplificador, es esencial aplicar una

corriente eléctrica que lo polarice adecuadamente como se observa en la Ilustración 2-8. Este dispositivo puede ser conceptualizado como una guía de onda que carece de un confinamiento robusto, permitiendo que la señal se disipe, lo cual se traduce en elevadas pérdidas de inserción y constituye una de sus limitaciones. El acoplamiento entre la fibra óptica y el segmento de semiconductor ha sido un desafío significativo, afectando también los niveles de amplificación que el dispositivo puede proporcionar. (MANZANEDO MARTÍNEZ, 2013 pág. 2).

2.3.3.1 Funcionamiento

En el contexto de un amplificador óptico de semiconductor, una fuente de corriente externa cumple la función de introducir electrones, desencadenando así un mecanismo de emisión estimulada que constituye el principio fundamental de operación del SOA para la amplificación. Cuando un fotón incide en el semiconductor, tiene lugar lo que se conoce como recombinación estimulada. En este proceso, un electrón transita de la banda de conducción a la banda de valencia, dando lugar a la generación de un nuevo fotón con la misma frecuencia y fase que el fotón inicial que inició el proceso. Este fenómeno resulta en la presencia de dos fotones idénticos, ya que el primer fotón no se desvanece. A este fenómeno se le denomina emisión estimulada. (MORENO, 2017 pág. 24).

2.3.3.2 Características

Algunas de sus características generales son (VENKATARAMANAN, 2008):

- Potencia de salida de saturación usualmente alta con valores entre 14 y 17 dBm, pero no superiores a las que se alcanzan con el EDFA
- El sistema de bombeo es de tipo eléctrico, ya que se inyecta una corriente, que según las especificaciones técnicas del Anexo E tiene un valor típico de 500 mA.
- Niveles altos de figura de ruido (NF) comparado a los de los amplificadores de fibra EDFA y Raman
- El tamaño del dispositivo es pequeño en el orden de los milímetros (mm), a diferencia de los amplificadores de fibra EDFA y Raman, que están en el orden de los centímetros

Tabla 2-3: Especificaciones Técnicas del SOA

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidad
Banda de Operación	1450	1600	nm
Potencia de entrada	-25	5	dBm
Ganancia		20	dB
Potencia de salida		8	dBm
Figura de ruido (NF)	6	8	dB
Corriente de operación	450	600	mA
Velocidad de Transmisión	155M	10G	bps

Fuente: (OPTILAB, 2021)

Realizado por: Guano M.,2023.

2.3.3.3 *Ventajas y Desventajas*

Los Amplificadores Ópticos de Semiconductor (SOA) desempeñan diversas funciones, pudiendo actuar como refuerzo (booster) para amplificar la potencia del láser del transmisor, como amplificadores en línea para contrarrestar los efectos de la atenuación en la fibra, o como preamplificadores para mejorar la sensibilidad del receptor. No obstante, la utilización de SOA conlleva consideraciones de ventajas y desventajas que deben tenerse en cuenta al evaluar su implementación en un sistema. A continuación, se detallan algunas de estas consideraciones (MOLINA LUNA, 2023):

- Estos dispositivos tienen la capacidad de amplificar en una extensa gama de longitudes de onda y son susceptibles de ajuste mediante la dopación con elementos adicionales.
- Dado que se elaboran mediante tecnología de semiconductores, su incorporación en los equipos existentes se realiza de manera eficiente y sin complicaciones.
- Presentan una figura de ruido alta.
- Son propensos a saturarse y por ende generar efectos no lineales.

2.4 **Software de Simulación OptiSystem**

Se presenta como una herramienta de diseño de software de alto rendimiento, caracterizada por su innovación constante y rápida evolución. Este software permite a los usuarios realizar la planificación, pruebas y simulación de prácticamente todos los enlaces ópticos en la capa de transmisión, abarcando un amplio espectro de redes ópticas. Proporciona capacidades de diseño y planificación, presenta análisis y escenarios de manera visual y numérica. Permite construir y visualizar el diseño del sistema en forma de diagrama de bloques, mostrando los diferentes componentes y conexiones del sistema, además proporciona visualizaciones de las formas de onda ópticas a lo largo del sistema, permitiendo analizar la propagación de la señal y sus características en diferentes puntos. (OPTIWAVE, 2017).

Las funcionalidades analíticas integradas en el simulador posibilitan la visualización de diversos tipos de diagramas, el factor Q (factor de calidad), los niveles de señal, estados de polarización en ubicaciones específicas, diagramas de constelación, tasa de error de bit (BER), figura de ruido, relación señal a ruido óptico (OSNR), ganancia, OSN de entrada así también de salida, así como la generación de informes, destacando entre sus principales recursos. OptiSystem cuenta con alrededor de 300 componentes personalizados que incorporan funciones avanzadas de visualización. (ORDÓÑEZ MENDIETA, 2015).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLOGICO

En el presente capítulo, se llevará a cabo simulaciones para diversos escenarios de amplificadores ópticos EDFA, RAMAN y SOA. Durante estas simulaciones, se obtendrán resultados específicos como la ganancia, la Figura de Ruido (NF), la relación señal a ruido óptico (OSNR) y la tasa de bits errados (BER). Posteriormente, se realizará un análisis comparativo para determinar cuál de los amplificadores ópticos ofrece un rendimiento superior en enlaces de larga distancia.

3.1 Procedimiento de Instalación del Simulador

Acceder a la página <https://optiwave.com/>, seleccionar la pestaña Downloads y seleccionar el ítem descargar versión de prueba como se muestra en la Ilustración 3 - 1.

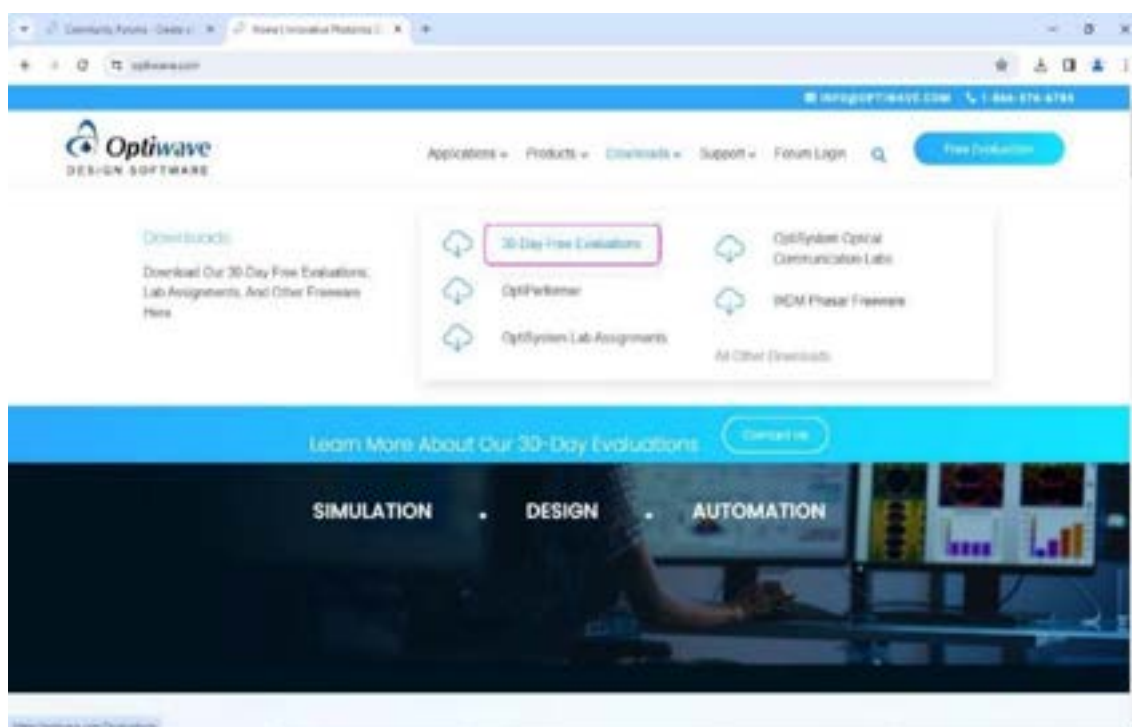


Ilustración 3-1: Página oficial de descarga del Software

Realizado por: Guano, M, 2023.

Para poder realizar la descarga se debe ingresar con un usuario y contraseña, el caso de no tener uno es necesario realizar el registro con un correo institucional válido. Al terminar de llenar toda la información seleccionar Complete Sing Up. Como se muestra en la Ilustración 3-2.

A continuación, se dirige a la ventana donde se ingresan las credenciales de acceso como se muestra en la Ilustración 3-3.

Account Details

Username (required)
Cristina

Email Address (required)
mishel.guano@esPOCH.edu.ec

Choose a Password (required)
Strong

Confirm Password (required)

Profile Details

Full Name (required)
Mishell Cristina Guano Viracocha

Organization (required)
Escuela Superior Politecnica de Chimborazo

Job Title (required)
Telecomunicaciones

Country (required)
Ecuador

Complete Sign Up

Ilustración 3-2: Ventana de registro para la creación de Credenciales.

Realizado por: Guano, M, 2023.

Nombre de usuario o correo electrónico
CristinaGuano

Contraseña

Recordarme

Acceder

Registro | ¿Has olvidado tu contraseña?

Ilustración 3-3: Acceso de Credenciales.

Realizado por: Guano, M, 2023.

A continuación, se dirige a la ventana donde se encuentran varias opciones de programas a descargar, seleccionar el programa deseado como se muestra en la Ilustración 3-4. Una vez realizada la descarga empieza el proceso de instalación como se observa en la Ilustración 3-5, ya instalado el programa comienza el periodo de 30 días gratuitos para su uso.

Available Digital Products

You Should Know

1. Optiwave software products are Windows exclusive (Windows 7 & 10). Mac or any other OS platforms are not supported.
2. Evaluation licenses cannot be activated or run in a virtual environment (e.g. VMWare).
3. Your account has been allocated a maximum of three (3) downloads per product.
4. Downloading an evaluation multiple times will not extend the evaluation period.
5. Free Technical Support: MyOptiwave.com/Help/FAQ

Evaluations	Description
OptiSystem 21.0.0.0	Optical Communication System Design Software
OptiSystem 4.0A.0.0	Communicate and control different kinds of instruments
OptiSPICE 3.0A.0.0	Opti-Electronic Circuit Design Software
OptiTracing 4.0A.0.0	Optical Tracing Design Software
OptiFiber 2.0A.0.0	Optical Fiber Design Software
OptiFDTD 10.0A.0.0	Finite-Difference Time-Domain Design Software
OptiFDTD 10.0A.0.0	Finite-Difference Time-Domain Design Software
OptiFEM 11.0A.0.0	Waveguide Optics Design Software

Ilustración 3-4: Ventana de descarga.

Realizado por: Guano, M, 2023.

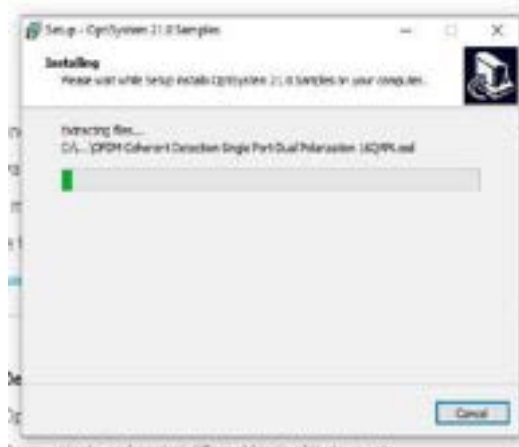


Ilustración 3-5: Instalación de Software

Realizado por: Guano, M, 2023.



Ilustración 3-6: Instalación completa

Realizado por: Guano, M, 2023.



Ilustración 3-7: Ventana de inicio de OptiSystem

Realizado por: Guano, M, 2023.

3.2 Descripción de los componentes para la simulación

En esta sección, se proporciona una breve descripción del funcionamiento de cada uno de los componentes que serán empleados en la simulación de los diversos escenarios.

3.2.1 *Optical Transmitter*

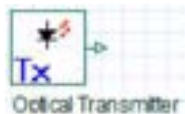


Ilustración 3-8: Componente Optical Transmitter

Realizado por: Guano, M, 2024.

En la Ilustración 3-8 se puede observar el componente del transmisor óptico el cual es una versión de un solo canal del componente transmisor, incorporando un puerto de emisión de señal óptica. El componente genera una señal laser, permitiendo al usuario la modificación de varios parámetros de interés, en los cuales se incluye la frecuencia y potencia. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.2 *WDM Transmitter*

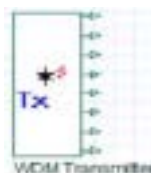


Ilustración 3-9: Componente WDM Transmitter

Realizado por: Guano, M, 2024

En el componente transmisor WDM de la Ilustración 3-9 permite al usuario elegir la cantidad de canales a ser transmitidos, lo cual desata la generación de una señal laser específica para cada uno de los canales ópticos. Cuenta con los diferentes parámetros de interés que el usuario puede modificarlos los cuales son: frecuencia, frecuencia spacing y potencia. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.3 *WDM Mux*



Ilustración 3-10: Componente WDM Mux

Realizado por: Guano, M, 2024

El componente de la Ilustración 3-10 se aplican en diferentes escenarios de simulación de sistemas multicanal, donde llevan a cabo la multiplexación de una cantidad de canales determinada por el usuario. Este sistema presenta varios puertos de entrada y un puerto de salida. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.4 *Pump Laser y Pump Laser Array*

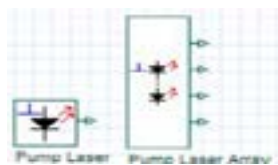


Ilustración 3-11: Componente Pum Laser y Pump Laser Array

Realizado por: Guano, M, 2024

La Ilustración 3-11 indica los elementos que generan una señal óptica, la cual se emplea como fuente de bombeo en los amplificadores. La distinción entre cada componente radica en la cantidad de puertos de salida de señal óptica. El Pump Laser Array, se utiliza en sistemas de comunicaciones ópticas que requieren múltiples fuentes de bombeo. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.5 *Pump Coupler Co-Propagating*

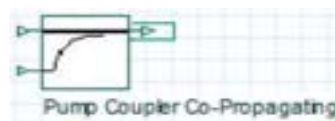


Ilustración 3-12: Componente Pump Coupler Co-Propagating

Realizado por: Guano, M, 2024

El componente de la Ilustración 3-12 opera como un subsistema acoplador de bomba que posibilita controlar la atenuación de la señal y bombear de forma independiente. Además, realiza la combinación de la señal de entrada con la fuente de bombeo. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.6 *Ideal Isolator*



Ilustración 3-13: Componente Ideal Isolator

Realizado por: Guano, M, 2024

El componente Ideal Isolator de la Ilustración 3-13 tiene la capacidad de controlar la pérdida de inserción, y se caracteriza por la ausencia de pérdida de retorno y el logro de un aislamiento ideal dentro del enlace. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.7 *Amplifier Library*

En la librería se pueden encontrar varios amplificadores ópticos los cuales se utilizan en telecomunicaciones y su funcionamiento se describen a continuación.

3.2.7.1 *Erbium Doped Fiber*

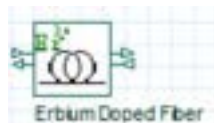


Ilustración 3-14: Componente Erbium Doped Fiber

Realizado por: Guano, M, 2024.

El elemento de la Ilustración 3-14 simula una fibra dopada con Erbio bidireccional, teniendo en cuenta la Amplificación de Señal Espontánea (ESA), la dispersión de Raleigh, las interacciones ion-ion y los efectos de la dependencia de la temperatura. Resuelve numéricamente las ecuaciones de velocidad y propagación en un escenario de estado estacionario, asumiendo un sistema de erbio de dos niveles tanto para un enfoque homogéneo como no homogéneo. Consta con 4 puertos, 2 de entrada y 2 de salida de señal óptica, que se acopla a las configuraciones de bombeo externo, dentro del componente el usuario puede realizar la variación del parámetro length, con un rango de (0 – 10000) metros. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.7.2 *Raman Amplifier – Average Power Model*



Ilustración 3-15: Componente Raman Amplifier

Realizado por: Guano, M, 2024

La Ilustración 3-15 es un componente que simula un amplificador Raman basado en el enfoque de potencia promedio, el cual consta de 4 puertos, 2 de entrada y 2 de salida de señal óptica, se acopla a las configuraciones de bombeo externo. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.7.3 Wideband Traveling Wave SOA



Ilustración 3-16: Componente Wideband Traveling Wave SOA

Realizado por: Guano, M, 2024

El componente de la Ilustración 3-16 simula una onda viajera SOA basada en una franja de cresta homogénea SOA, consta de 4 puertos, 2 de entrada y 2 de salida, se utiliza 1 de entrada y 1 de salida debido a que el SOA no consta con un sistema de bombeo externo. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.8 WDM Demux

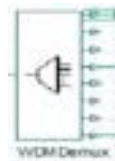


Ilustración 3-17: Componente WDM Demux

Realizado por: Guano, M, 2024

El componente que se muestra en la Ilustración 3-17 demultiplexa un número definido de canales definido por el usuario de señal WDM, tiene un puerto de entrada y una cantidad indefinida de puertos de salida de señal óptica. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.9 Optical Receiver



Ilustración 3-18: Componente Optical Receiver

Realizado por: Guano, M, 2024

La Ilustración 3-18 indica un subsistema receptor óptico construido mediante un fotodetector PIN o APD, un filtro Bessel y un regenerador 3R. Un receptor óptico recupera la señal transmitida, consta de un puerto de entrada y tres de salida. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.10 *Optical Spectrum Analyzer*



Ilustración 3-19: Componente Optical Spectrum Analyzer

Realizado por: Guano, M, 2024

El visualizador de la Ilustración 3-19 permite al usuario realizar cálculos y representar visualmente señales ópticas en el dominio de la frecuencia. Permite la visualización de parámetros como la intensidad de la señal, la densidad espectral de potencia, la fase, el retardo de grupo y la dispersión para las polarizaciones X e Y. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.11 *Dual Port WDM Analyzer*

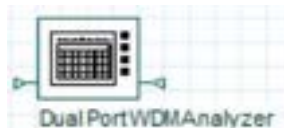


Ilustración 3-20: Componente Dual Port WDM Analyzer

Realizado por: Guano, M, 2024

La Ilustración 3-20 es un visualizador el cual detecta, calcula y muestra automáticamente la potencia óptica, el ruido, OSNR, la ganancia, la figura de ruido, la frecuencia y la longitud de onda para cada canal WDM en las entradas del visualizador. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.2.12 *BER Analyzer*



Ilustración 3-21: Componente BER Analyzer

Realizado por: Guano, M, 2024

El componente de la Ilustración 3-21 es un visualizador que permite al usuario calcular y mostrar automáticamente la tasa de error de bits (BER) de una señal eléctrica. Puede estimar la BER utilizando diferentes algoritmos como Gaussiano y derivar diferentes métricas del diagrama de ojo, como factor Q. También puede tomar en cuenta la corrección de errores directos (FEC), y patrones de BER. (OPTIWAVESYSTEMS, 2023).

3.3 Simulación de Amplificadores Ópticos

Una vez que se ha detallado el modo de operación de los componentes destinados a ser empleados en la simulación de los amplificadores ópticos, se procede a la especificación de los escenarios para cada instancia de simulación. Se establecerán dos categorías de escenarios para evaluar el desempeño de los amplificadores EDFA, SOA y RAMAN en sistemas monocanal y multicanal.

Los parámetros para variar en cada escenario serán:

- Longitud de onda
- Potencia de entrada de la señal
- Distancia de fibra óptica
- Espaciamiento entre canales para sistemas multicanal.
- Ancho de banda del filtro

3.3.1 Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA)

3.3.1.1 EDFA en sistema monocanal

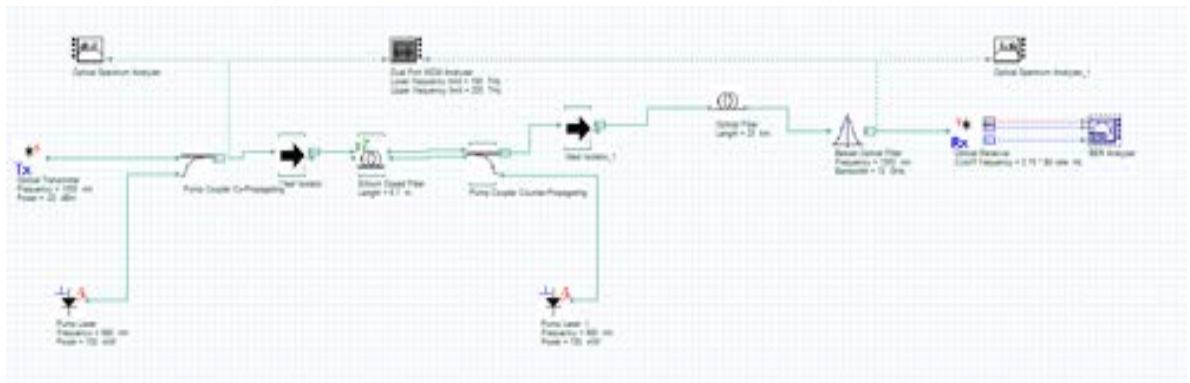


Ilustración 3-22: Esquema de simulación Amplificador EDFA.

Realizado por: Guano, M, 2024

En el escenario de la Ilustración 3-22 del amplificador EDFA, En la sección de transmisión, la función principal del componente Transmisor Óptico es emitir una señal destinada a la amplificación. Esta señal se combina con la señal de bombeo mediante el acoplador selectivo de longitud de onda y se introduce en el Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA). El componente Aislador, ubicado en las entradas y salidas del amplificador, desempeña la función de bloquear la propagación de ruido, asegurando que, al ser inyectada en el componente de Fibra Dopada con Erblio, pueda ser amplificada sin interferencias no deseadas. Al final del esquema, se encuentra la sección receptora que hace uso de elementos de fibra óptica. Se incorpora un filtro con la finalidad de disminuir aún más cualquier interferencia presente en la señal. Además, se integran varios dispositivos de visualización para obtener información sobre la Tasa de Error de Bits (BER), el diagrama del ojo y las características de la señal amplificada

3.3.1.2 EDFA en sistema multicanal

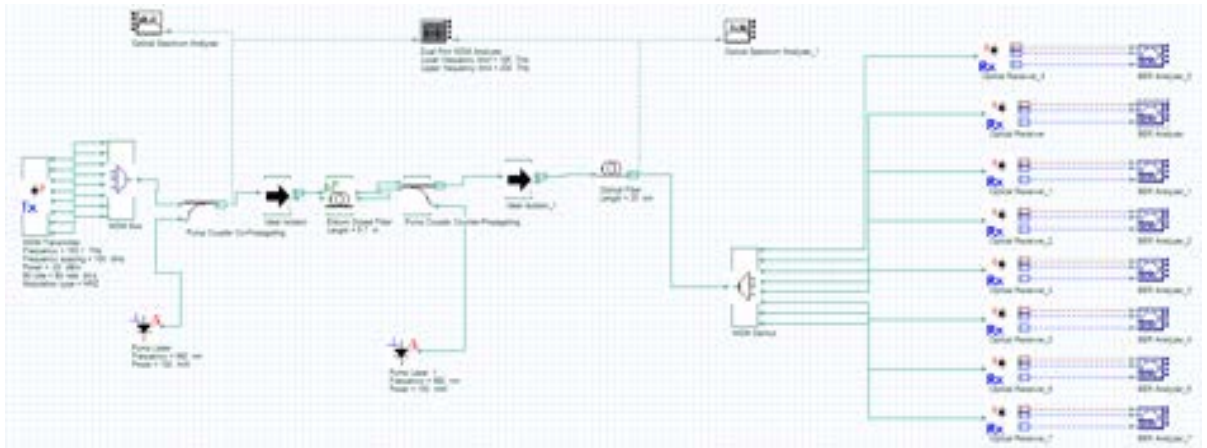


Ilustración 3-23: Esquema Amplificador EDFA en sistema WDM de 8 canales.

Realizado por: Guano, M, 2024

La Ilustración 3-23 evalúa el desempeño del Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA) en un sistema WDM de 8 canales mediante un análisis detallado. Este sistema comprende un amplificador EDFA que opera de manera análoga al esquema monocanal, ya que hace uso de los mismos componentes.

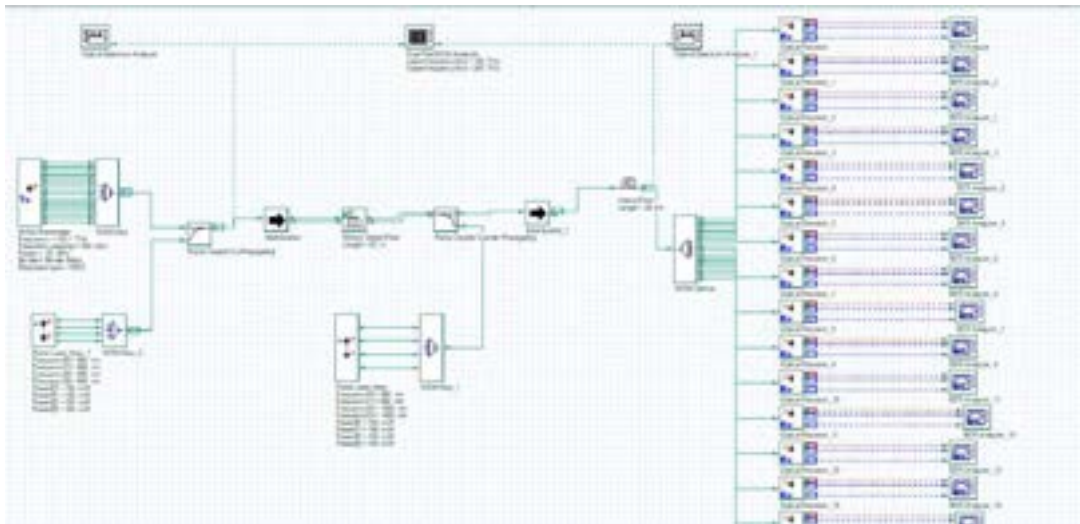


Ilustración 3-24: Esquema Amplificador EDFA en sistema WDM de 16 canales.

Realizado por: Guano, M, 2024

El esquema de la Ilustración 3-24, también, evalúa el desempeño del Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA) en un sistema WDM de 16 canales mediante un análisis detallado de multibombeo.

3.3.2 Amplificador Raman

3.3.2.1 RAMAN en sistema monocanal

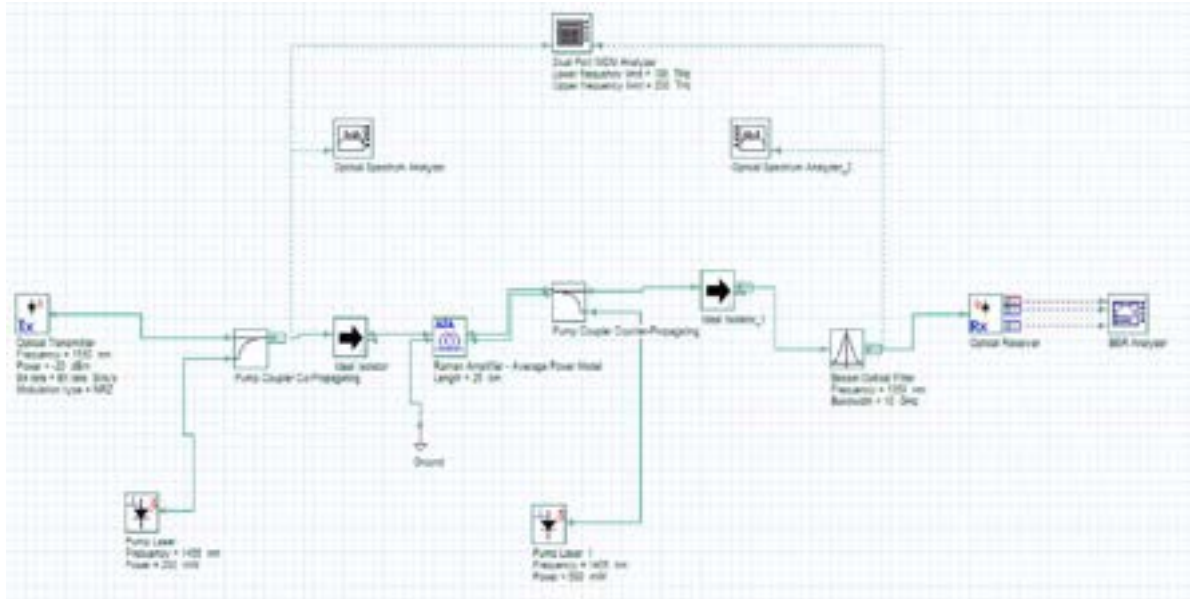


Ilustración 3-25: Esquema de simulación Amplificador RAMAN.

Realizado por: Guano, M, 2024

En la simulación de la Ilustración 3-25 se plantea un diseño fundamental para un sistema de comunicación de canal único que incorpora un amplificador óptico Raman, donde se realiza su comportamiento bajo diversas condiciones. En la sección de transmisión del esquema propuesto, el Transmisor Óptico emite la señal que será amplificada, la cual se fusiona con la señal de bombeo mediante un acoplador selectivo antes de ser inyectada en el amplificador. El componente Aislador, posicionado en las entradas y salidas del amplificador, cumple la función de evitar la propagación de ruido, asegurando que, al ser inyectada en el Raman Amplifier, pueda ser amplificada de manera efectiva.

Al final del esquema, se encuentra la sección receptora que hace uso de elementos de fibra óptica. Se incorpora un filtro con la finalidad de disminuir aún más cualquier interferencia presente en la señal. Además, se integran varios dispositivos de visualización para obtener información sobre la Tasa de Error de Bits (BER), el diagrama del ojo y las características de la señal amplificada.

3.3.2.2 RAMAN en sistema multicanal

La Ilustración 3-26 evalúa el desempeño del Amplificador Raman en un sistema WDM de 4 canales con multibombeo mediante un análisis detallado. Este sistema comprende un amplificador Raman.

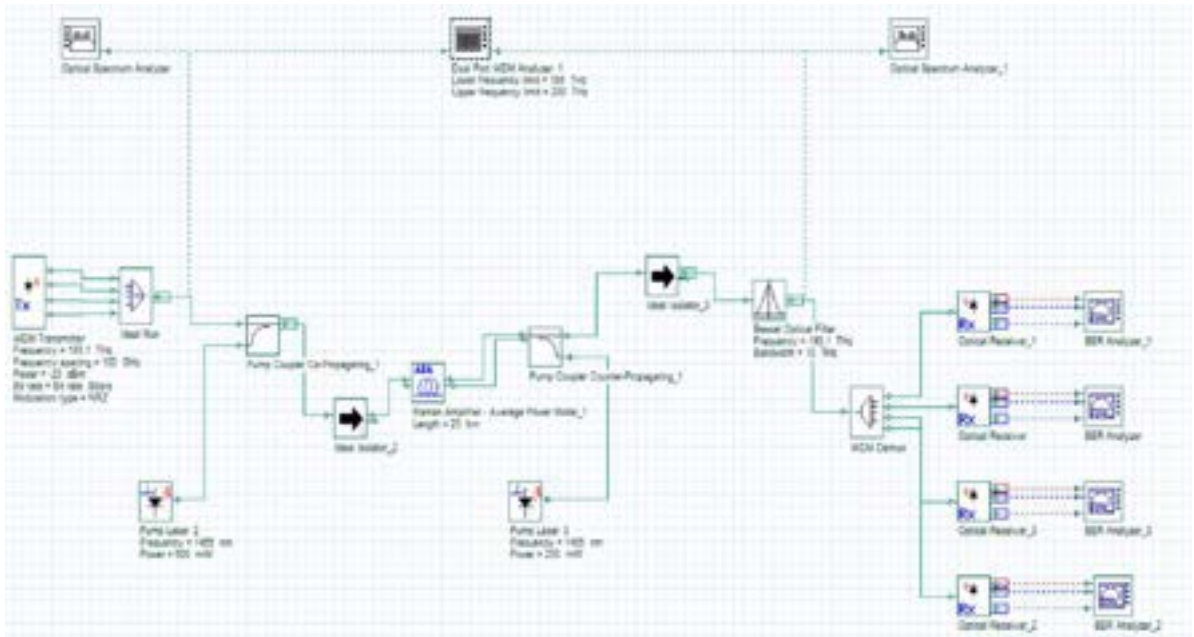


Ilustración 3-26: Esquema Amplificador RAMAN en sistema WDM de 4 canales.

Realizado por: Guano, M, 2024

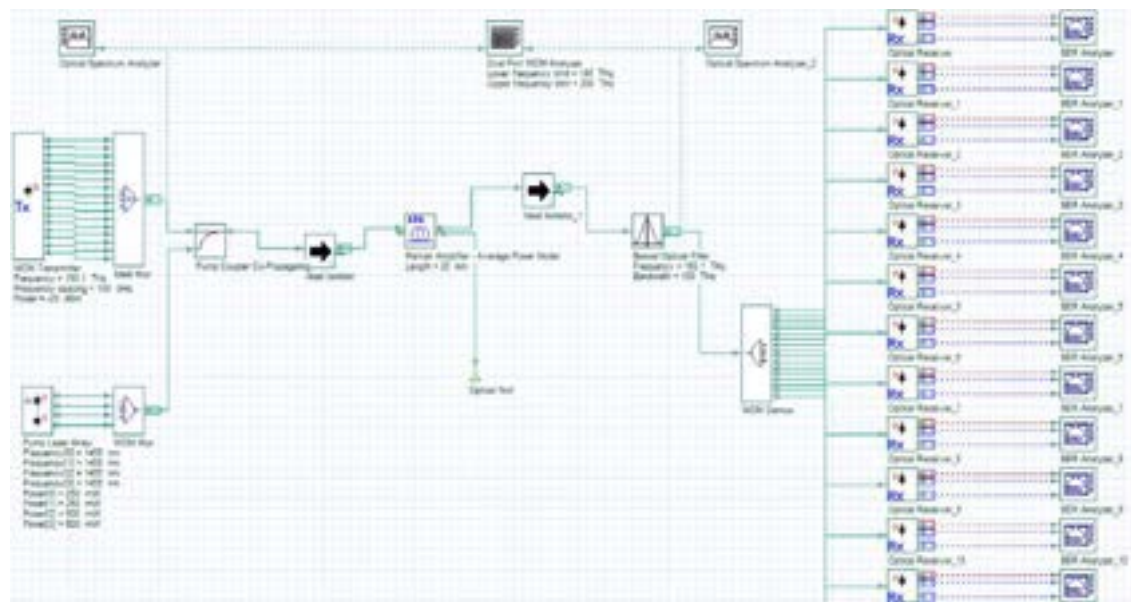


Ilustración 3-27: Esquema Amplificador RAMAN en sistema WDM de 16 canales.

Realizado por: Guano, M, 2024

El esquema de la Ilustración 3-27 incorpora el elemento Transmisor WDM, encargado de establecer la cantidad de canales a multiplexar a través del Mux WDM. Este último se fusiona con la señal proveniente de la fuente de bombeo antes de ser introducida en el amplificador Raman. En la sección receptora, se cuenta con el componente WDM Demux, el cual desempeña la tarea de demultiplexar los canales transmitidos, y a su vez, integra componentes analizadores.

3.3.3 Amplificador Semiconductor SOA

3.3.3.1 SOA en sistema monocanal

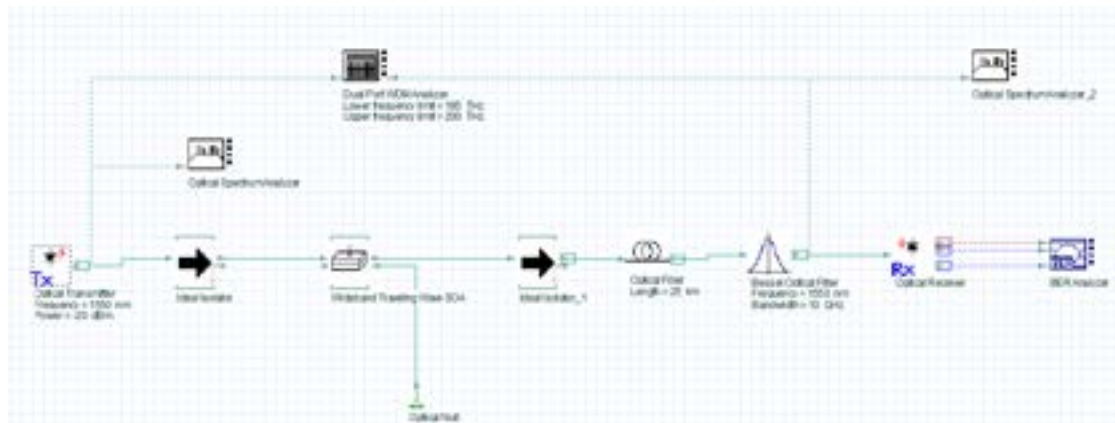


Ilustración 3-28: Esquema Amplificador Semicondutor SOA

Realizado por: Guano, M, 2024

En la Ilustración 3-28 el componente Optical Transmitter se encarga de generar una señal que será amplificada y se inyecta al amplificador SOA, en el cual se produce la amplificación. El componente Aislador, posicionado en las entradas y salidas del amplificador, cumple la función de evitar la propagación de ruido, asegurando que, al ser inyectada en el Wideband Traveling Wave SOA, pueda ser amplificada de manera efectiva. A la salida del amplificador se integran varios dispositivos de visualización para obtener información sobre la Tasa de Error de Bits (BER), el diagrama del ojo y las características de la señal amplificada.

3.3.3.2 SOA en sistema multicanal

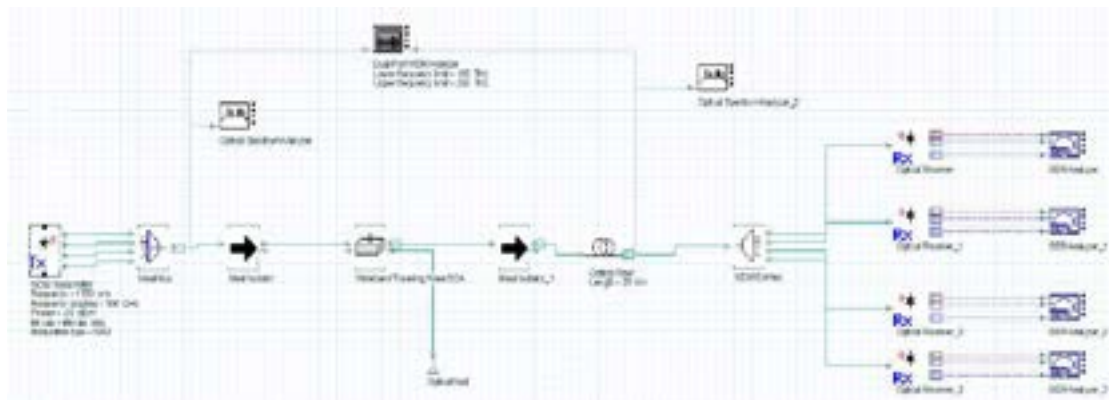


Ilustración 3-29: Esquema Amplificador Semicondutor SOA en sistema WDM de 4 canales.

Realizado por: Guano, M., 2024.

En la Ilustración 3-29 el componente WDM Transmitter se encarga de generar la cantidad deseada de canales para la multiplexación mediante el WDM Mux, en este caso, son 4 canales, y se introduce en el amplificador SOA. De manera similar a un sistema monocanal, se incorporan aisladores en las entradas y salidas para reducir posibles interferencias en la señal.

CAPITULO IV

4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se lleva a cabo el análisis de los resultados obtenidos mediante la simulación de 8 escenarios, considerando las variaciones de parámetros, tales como la modificación en la longitud de onda y la variación de la distancia.

4.1 Amplificador EDFA

Para obtener los resultados se realizó la simulación tomando en cuenta los siguientes parámetros los cuales se describen en la Tabla 2-1 en el capítulo de Marco Teórico:

- Longitud de onda de operación de 1550 nm y 1565 nm
- Potencia de entrada: -20 dBm
- Potencia de la señal de bombeo: 100mW y 150mW
- Longitud de onda de la fuente de bombeo: 980 nm y 1480 nm
- Distancia de fibra óptica: 25 km, 50 km y 100 km, estos valores son considerados tomando en cuenta la elaboración de una planificación de redes ópticas, referenciando como nodos estratégicos donde pueden ser colocados los amplificadores ópticos y así ver el rendimiento y la eficiencia de estos.

4.1.1 Amplificador EDFA Monocanal

En el amplificador para un sistema monocanal se realizó la simulación con una potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-1 se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia tanto para longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm.

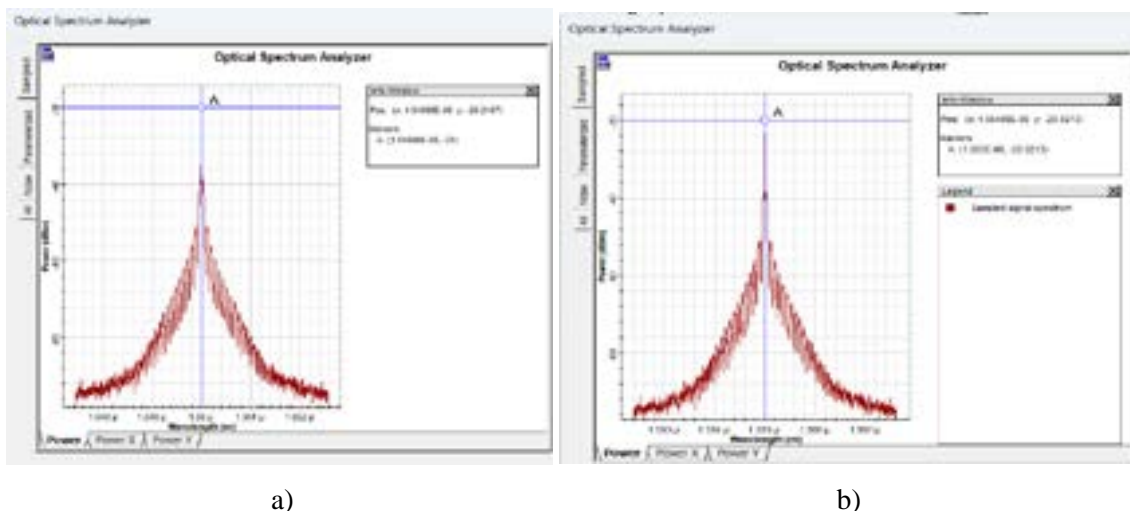


Ilustración 4-1: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema Monocanal, a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.1.1.1 EDFA Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida del amplificador como se puede ver la amplificación del espectro es considerable después de pasar por todo el método de amplificación como se lo puede observar en la Ilustración 4-2, considerando una longitud de onda de 1550 nm, potencia de -20 dB y con 25 km de fibra óptica, también en la Ilustración 4-3 se tiene el diagrama del ojo con un BER de 1.3524×10^{-120} el cual prácticamente es cero, en la mayoría de los contextos lo cual puede ser considerado bueno en términos de calidad de la comunicación.

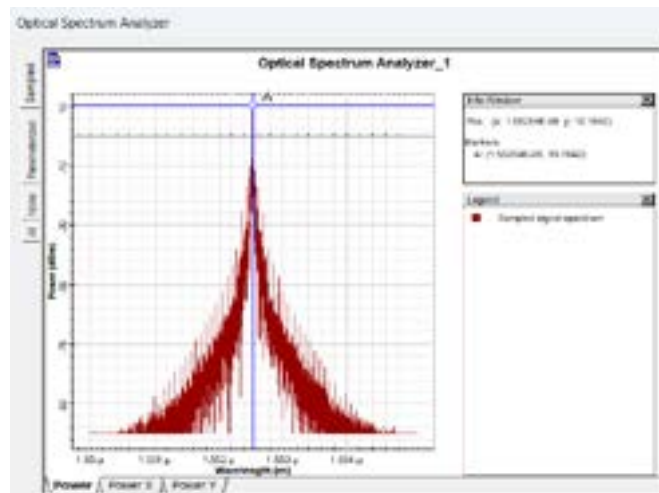


Ilustración 4-2: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

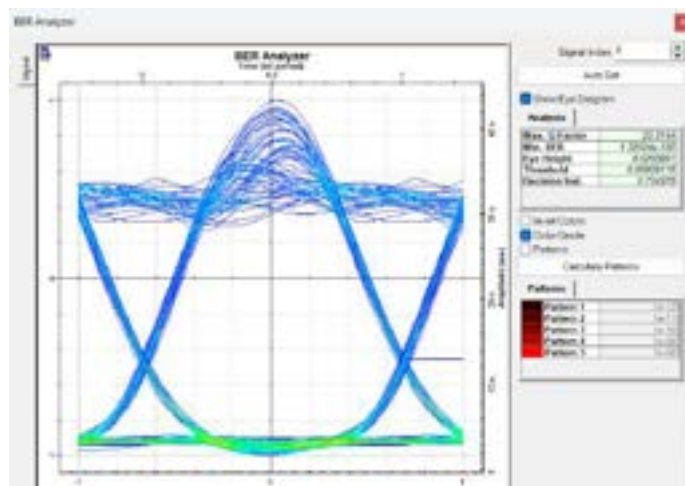


Ilustración 4-3: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida con longitud de onda de 1550 nm considerando una distancia de 50 km, se tiene una amplificación satisfactoria como se puede observar en la Ilustración 4-4. En comparación a los resultados que se obtuvo con la distancia de 25 km, es posible interpretar que a medida que la distancia aumenta, la amplificación tiende a disminuir. Sin embargo, se mantiene una amplificación a un nivel considerado satisfactorio. Se tiene la Ilustración 4-5 donde se puede observar el diagrama del ojo con un BER de $2.32038e-20$ en comparación con los resultados obtenidos previamente, se aprecia que el valor se encuentra aproximado a cero lo cual se considera como bueno. Al analizar la imagen del diagrama del ojo, se deduce que a medida que aumenta la distancia, podría manifestarse una mínima presencia de ruido en la señal.

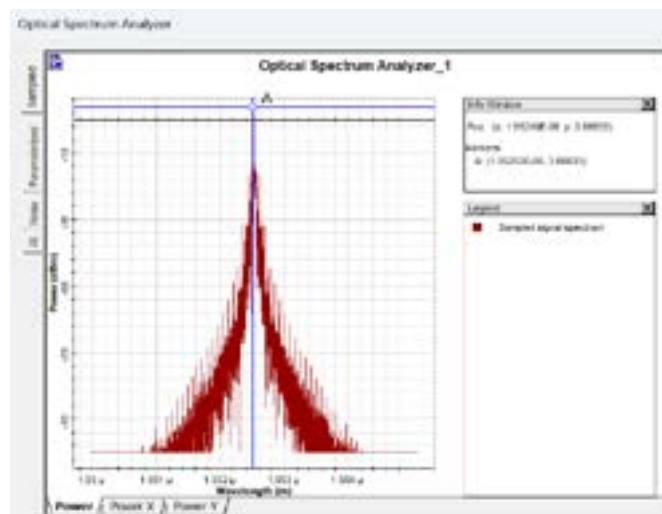


Ilustración 4-4: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

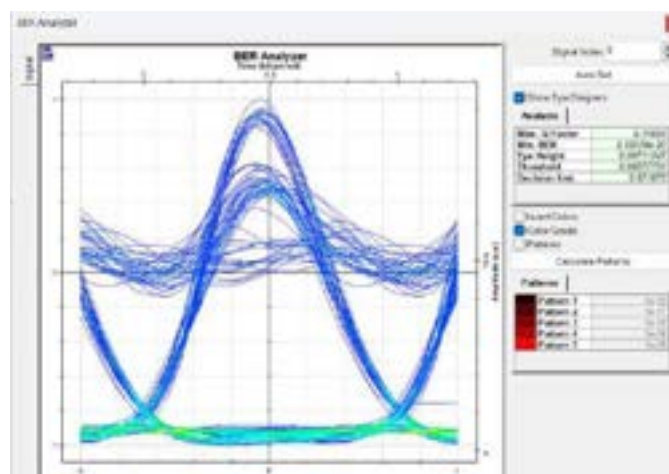


Ilustración 4-5: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Se puede observar la salida del espectro de potencia de la señal, la cual a una distancia de 100 km indica una disminución en la amplificación en comparación con los valores previamente obtenidos como se muestra en la Ilustración 4-6. Se observa un BER de $1.95573e-17$ en la Ilustración 4-7. Al analizar el diagrama del ojo, se nota que a medida que la distancia de la fibra óptica aumenta, también aumenta el nivel de ruido en la señal.

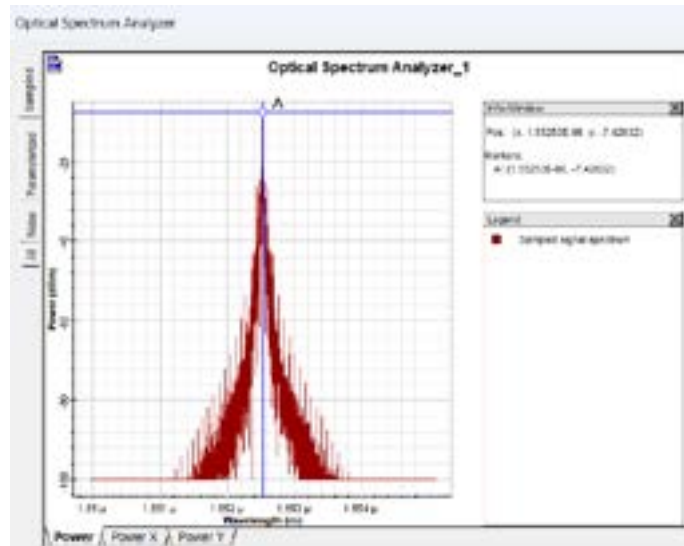


Ilustración 4-6: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

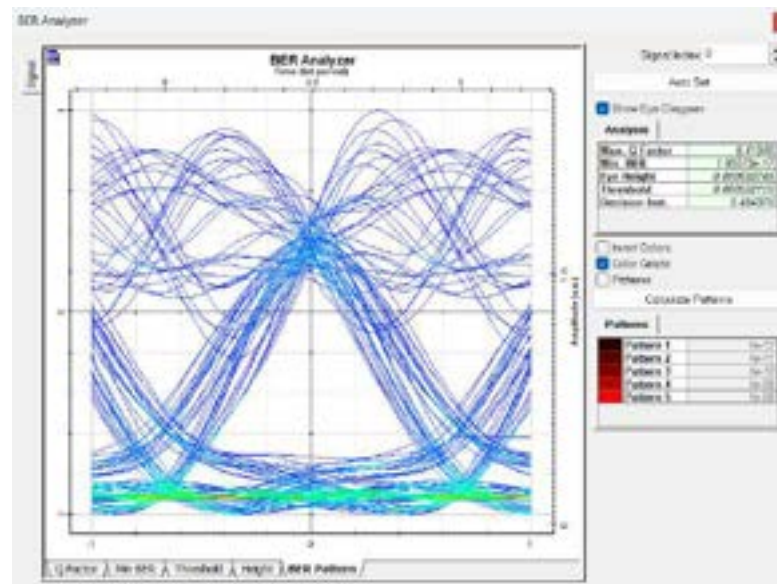


Ilustración 4-7: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema monocanal, se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER para cada una de las distancias previamente especificadas. Tras obtener los resultados numéricos que se observan en Tabla 4-1 y llevar a cabo un análisis, se puede concluir que la simulación realizada con una distancia menor con respecto a la ganancia sugiere una mejor capacidad de amplificación en el sistema, lo cual puede ser de beneficio para compensar pérdidas en el sistema de comunicaciones, en la Figura de Ruido implica que mientras menor sea su valor, es más eficiente en la transmisión de señales de manera clara, con respecto al OSNR de salida mientras mayor sea su valor, garantiza una transmisión de datos confiable y minimiza la degradación de la señal durante la transmisión. El análisis se lo pudo realizar de manera gráfica como numérica

Tabla 4-1: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1550 nm

Distancia (km)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	34.5337	3.6778	77.2823	31.56724	1.3524e-120
50	29.2532	4.1657	77.2823	31.071975	2.32038e-20
100	19.2277	4.20976	77.2823	31.045699	1.95573e-17

Realizado por: Guano M., 2024.

4.1.1.2 EDFA Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.

Al llevar a cabo la simulación con una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 25 km, se logró una amplificación que puede ser calificada como satisfactoria, según se evidencia en la Ilustración 4-8. Al comparar estos resultados con los obtenidos en la Ilustración 4-2, donde se emplea una longitud de onda de 1550 nm y la misma distancia, se observa una mejora en la amplificación del espectro de la señal en comparación con la longitud de onda de 1565 nm. Asimismo, al analizar el diagrama del ojo y los valores de la tasa de error de bits (BER) en la Ilustración 4-9, se concluye que el BER con una longitud de onda de 1550 nm indica una mejor calidad de comunicación.

Se disponen de los datos de amplificación del espectro de salida de la señal, utilizando una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 50 km, tal como se presenta en la Ilustración 4-10. Aunque el valor de amplificación puede ser catalogado como satisfactorio, al contrastarlo con los resultados previos obtenidos con una longitud de onda de 1550 nm, se nota una mejora en la amplificación con esta última longitud a pesar de que ambos

valores se encuentran en un rango similar. El análisis sugiere que a medida que aumenta la distancia de fibra óptica, la amplificación tiende a disminuir. En este escenario, para las dos longitudes de onda, la amplificación es similar, pero considerablemente menor cuando se compara con la distancia de 25 km. Se observa que el diagrama del ojo exhibe poco ruido y el valor de BER es considerado bueno, ya que tienden a aproximarse a cero, según se puede apreciar en la Ilustración 4-11.

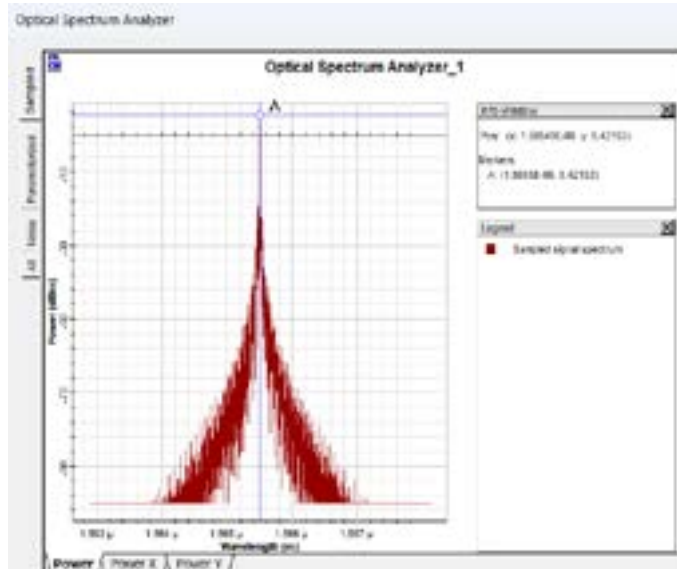


Ilustración 4-8: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

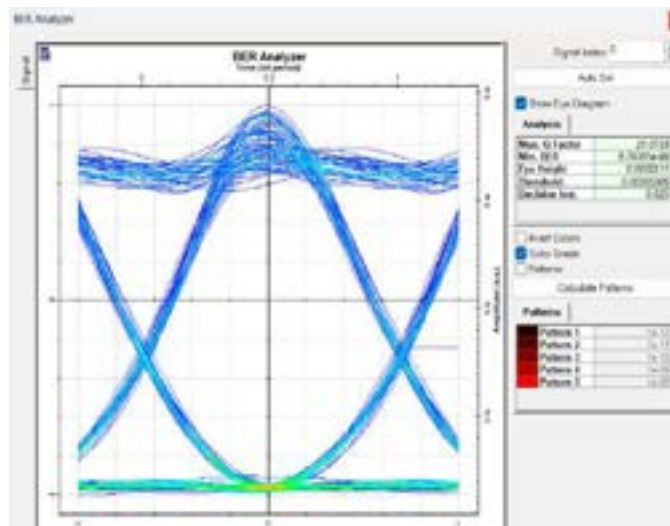


Ilustración 4-9: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

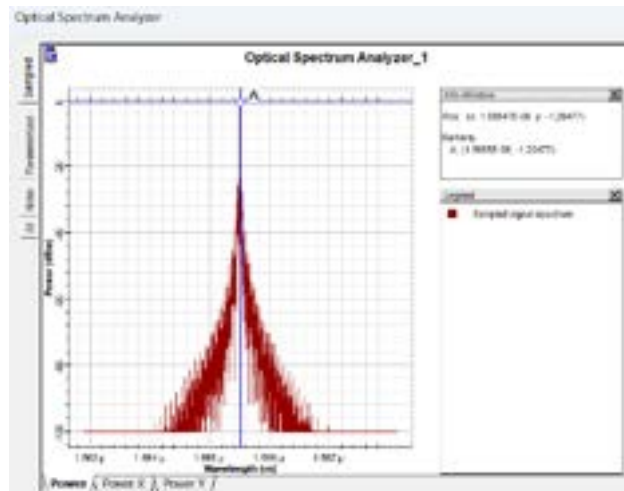


Ilustración 4-10: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

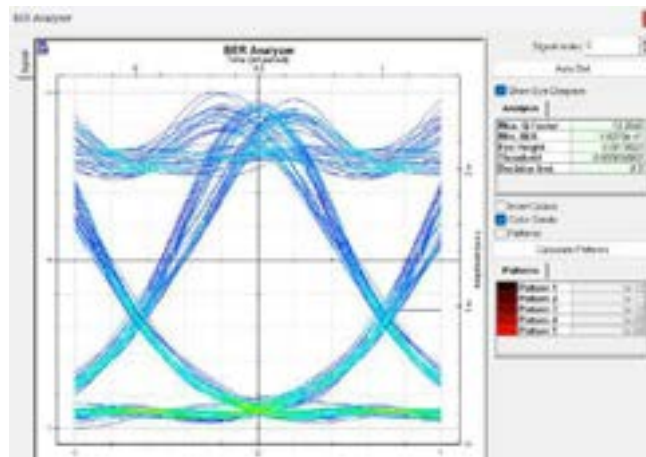


Ilustración 4-11: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

Al analizar los resultados de la simulación con una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 100 km, se evidencia la presencia de una amplificación notable, como se muestra en la Ilustración 4-12. Sin embargo, al examinar el diagrama del ojo, se revela un nivel significativo de ruido, y el BER indica la existencia de múltiples interferencias en la comunicación, tal como se aprecia en la Ilustración 4-13.

Al analizar los resultados cuantitativos derivados de la simulación realizada con una longitud de onda de 1565 nm y sus diversas variaciones de distancia en la fibra óptica, se observa que a medida que la distancia de la fibra óptica disminuye, los valores asociados a cada parámetro, tales como la ganancia, la figura de ruido y el OSNR son consideradas los mejores cómo se puede ver en la Tabla 4-2.

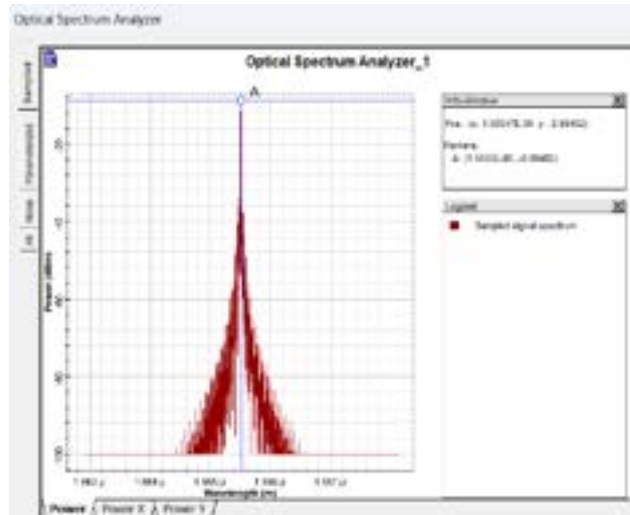


Ilustración 4-12: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

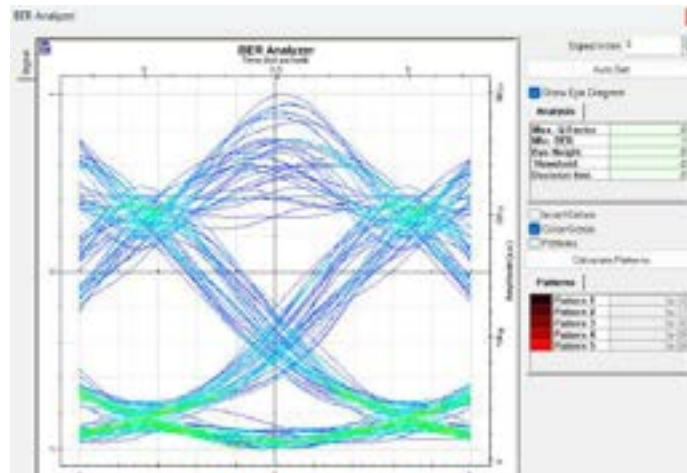


Ilustración 4-13: Diagrama del ojo para un sistema monocanal con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

Tabla 4-2: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1565 nm

Distancia (km)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	28.1385	3.25132	77.283872	32.030978	6.79381e-99
50	23.134631	3.262011	77.283872	32.027102	4.6273e-41
100	13.135607	3.3497345	77.283872	32.028078	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Al realizar una comparación entre los datos presentados en la Tabla 4-1 y la Tabla 4-2, se evidencia que los valores registrados en la Tabla 4-1 son más favorables para la amplificación utilizando la longitud de onda de 1550 nm. Esto se debe a que la ganancia en esta longitud de onda es superior en comparación con las diferentes distancias y la longitud de onda de 1565 nm. Este aumento en la ganancia contribuye significativamente a lograr una amplificación más efectiva. Además, la figura de ruido es la más baja entre las dos longitudes, lo que favorece la eficiencia en la transmisión de señales al proporcionar una mayor claridad. En cuanto al OSNR, también se destaca que es el valor más alto, lo que beneficia una transmisión adecuada y ayuda a disminuir el ruido presente en la señal. En resumen, tras el análisis detallado, se concluye que el amplificador EDFA para un sistema monocanal funciona de manera más eficiente al operar con una longitud de onda de 1550 nm, dado que con la designada longitud onda se lograron resultados superiores en la amplificación de la señal durante la simulación.

4.1.2 Amplificador EDFA Multicanal

4.1.2.1 Señal de entrada EDFA 8 canales

En el amplificador para un sistema multicanal se realizó la simulación con potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-14 se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia.

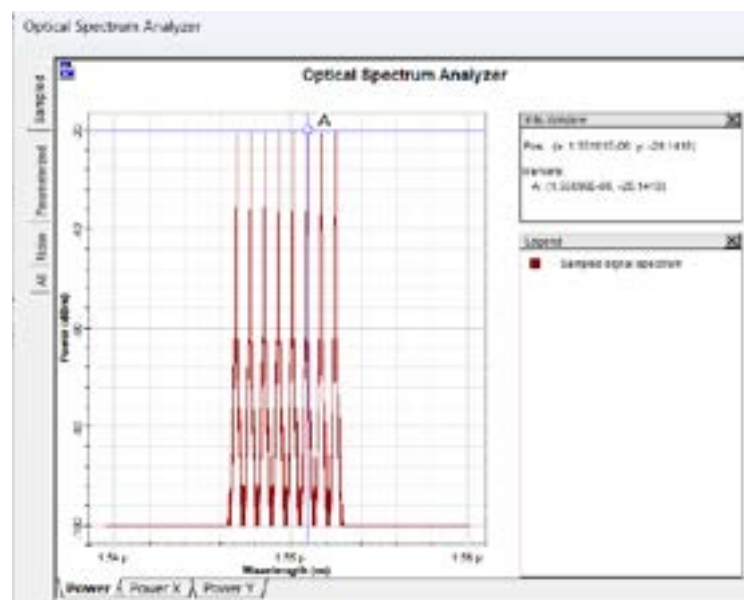


Ilustración 4-14: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 8 canales

Realizado por: Guano, M., 2024

4.1.2.2 EDFA 8 canales con longitud de onda de 1550 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se encuentran representados en la Ilustración 4-15, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras la consideración de 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-16 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 3 canales, revelando que en determinados canales se logra un mejor rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido.

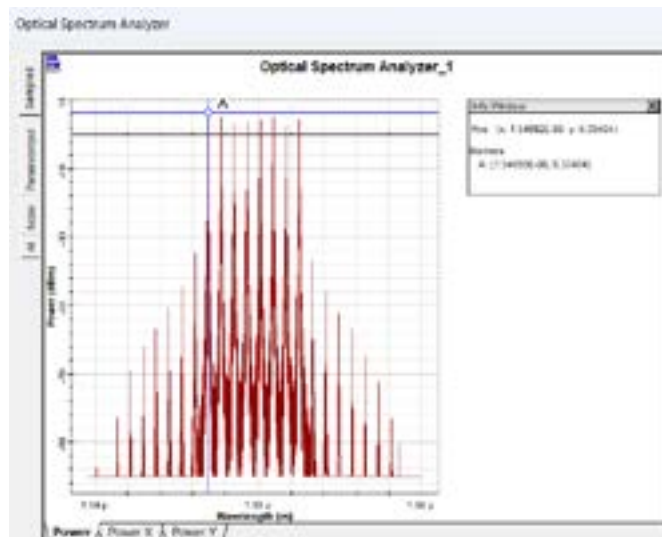


Ilustración 4-15: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

Los resultados numéricos derivados de la simulación, considerando una distancia de 25 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-3. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los ocho canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar la longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro tiene longitud de onda central, y su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores más altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 3.706627dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 31.306676 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos.

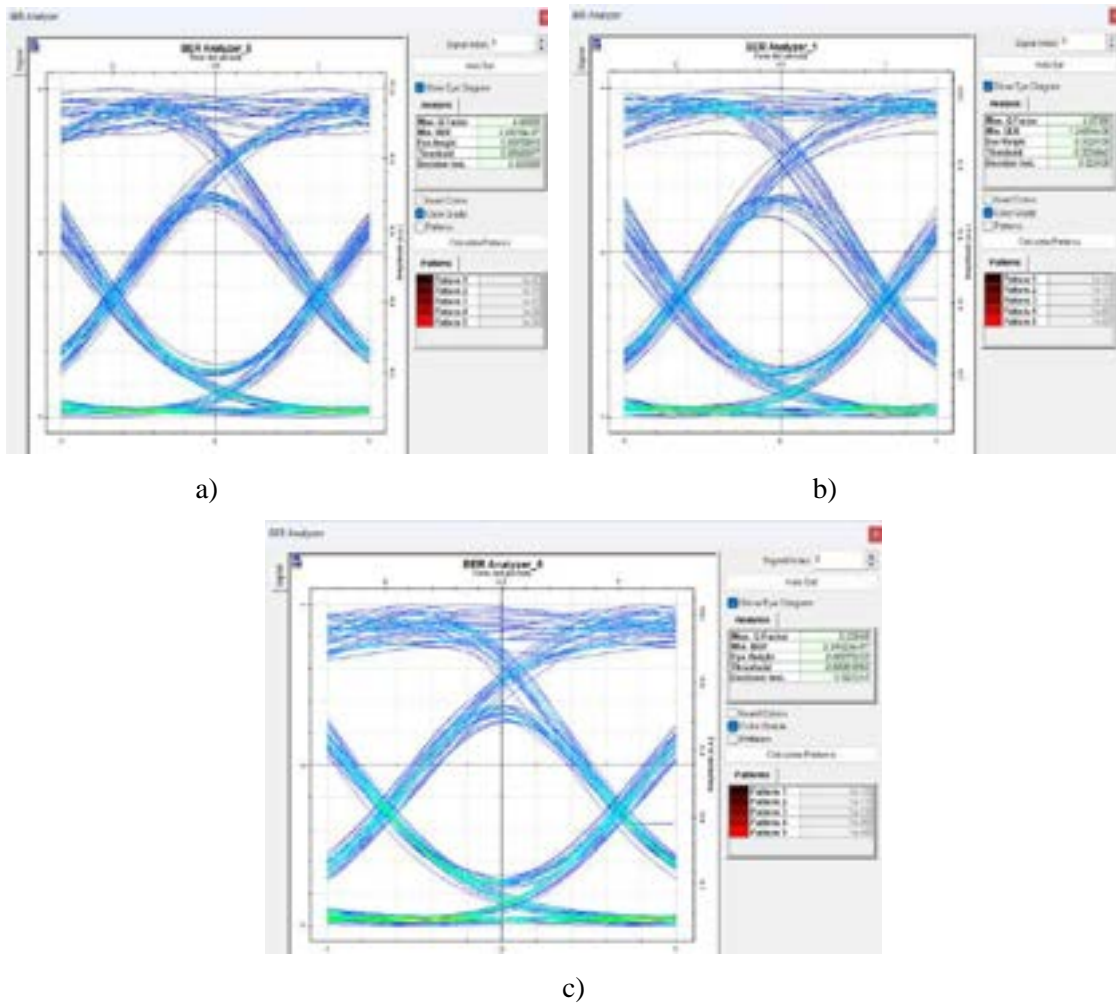


Ilustración 4-16: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) primer canal b) cuarto canal y c) octavo canal.

Realizado por: Guano, M., 2024

Tabla 4-3: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1552.5	29.692944	3.7534817	77.127932	31.336928	4.34019e-07
25	2	1551.7	29.793406	3.7231366	77.066166	31.303227	2.76333e-07
25	3	1550.9	29.816592	3.6977043	77.127032	31.387279	1.34094e-06
25	4	1550.1	29.818945	3.706627	77.057603	31.306676	9.78259e-07
25	5	1549.3	29.832103	3.7493869	77.125986	31.33003	5.21471e-07
25	6	1548.5	29.810336	3.7175422	77.125052	31.35872	3.59491e-07
25	7	1547.7	29.849744	3.7150871	77.127012	31.360877	2.24423e-07
25	8	1546.9	29.778294	3.7842971	77.060154	31.222567	3.74475e-07

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-17, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, la Ilustración 4-18 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 3 canales, revelando que en determinados canales se logra un buen rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye, pero no de manera excesiva.

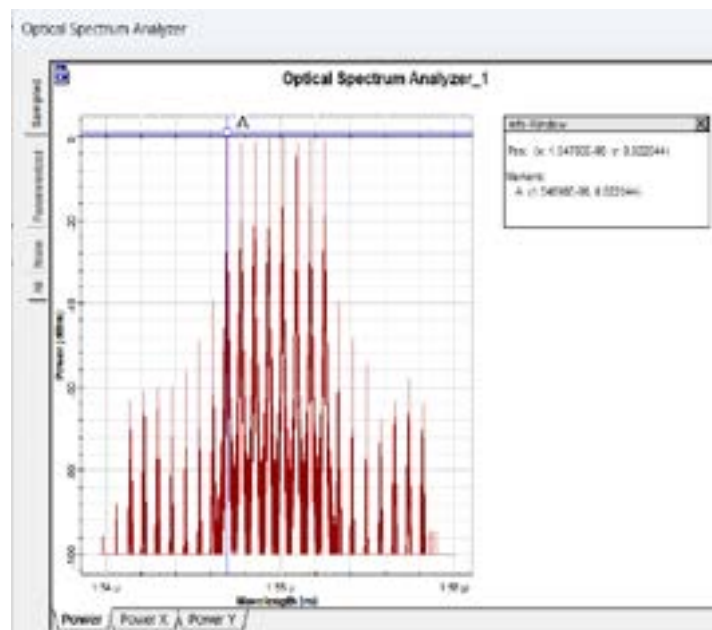
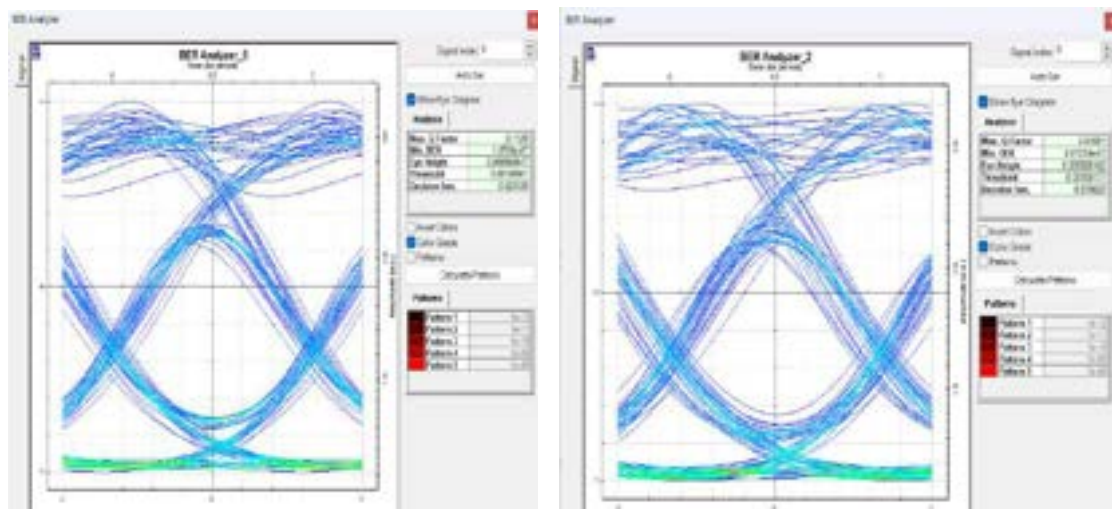


Ilustración 4-17: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

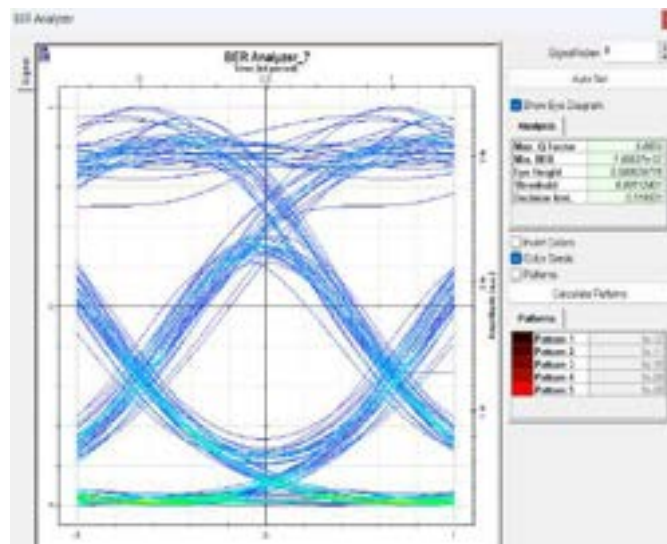
Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-4. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los ocho canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores más altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 3.71904 dB el cual se considera conveniente

al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 31.298815dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-3, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.



a)

b)



c)

Ilustración 4-18: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) primer canal, b) cuarto canal y c) octavo canal

Realizado por: Guano, M., 2024

Tabla 4-4: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1552.5	24.666298	3.7841405	77.126837	31.309419	1.4704e-07
50	2	1551.7	24.789952	3.7305301	77.066813	31.300658	6.88629e-08
50	3	1550.9	24.838644	3.6795944	77.126803	31.40934	3.60359e-07
50	4	1550.1	24.810459	3.71904	77.057986	31.298815	4.07233e-07
50	5	1549.3	24.830474	3.7548849	77.127319	31.32998	2.69937e-07
50	6	1548.5	24.791243	3.7405508	77.125823	31.340649	3.53584e-07
50	7	1547.7	24.838361	3.7303453	77.126623	31.34936	8.0491e-08
50	8	1546.9	24.775265	3.7912034	77.060191	31.219832	1.66837e-07

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-19, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km y 50 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, en la Ilustración 4-20 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de uno de los canales, revelando que en determinado canal el BER es bajo, pero con algo de ruido, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye y aparece ruido en la señal, pero no de manera excesiva.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-5. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los ocho canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores más altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 3.7711361dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para

el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 31.300337dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para ciertos canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos en esos canales. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-3 y Tabla 4-4, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

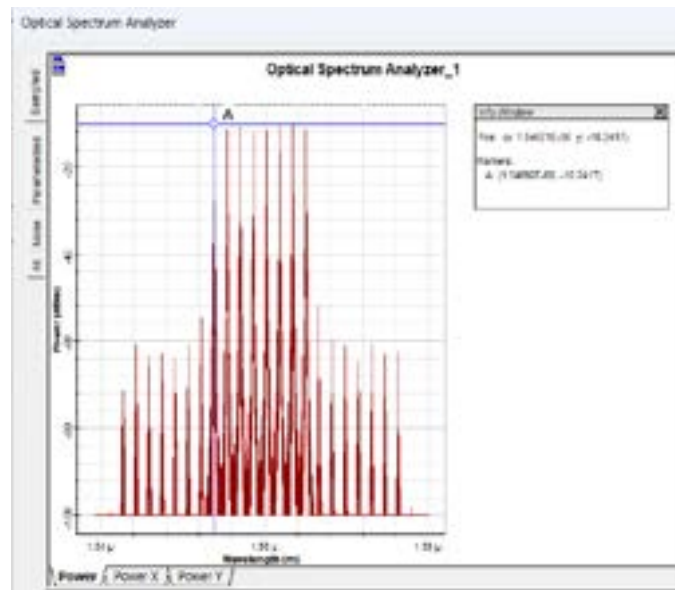


Ilustración 4-19: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

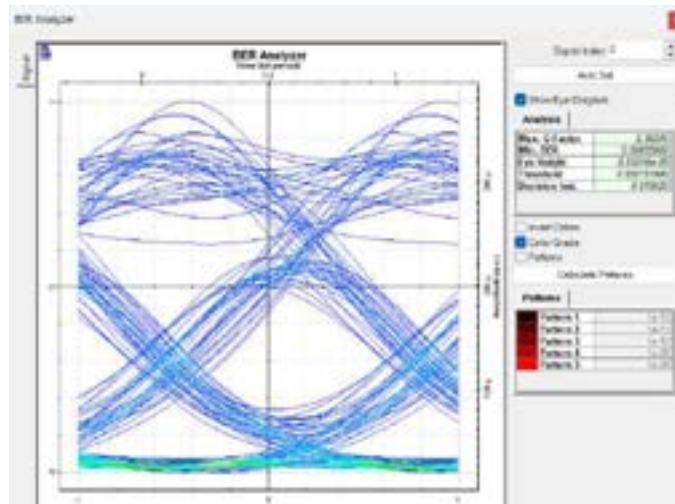


Ilustración 4-20: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

Tabla 4-5: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1552.5	14.691878	3.8141236	77.126691	31.334778	0.00835962
100	2	1551.7	14.778936	3.7962291	77.06752	31.290272	0.0456682
100	3	1550.9	14.842167	3.7307829	77.126571	31.412552	1
100	4	1550.1	14.812935	3.7711361	77.057112	31.300337	0.039435
100	5	1549.3	14.79726	3.8419804	77.127508	31.296874	1
100	6	1548.5	14.769615	3.8167248	77.127071	31.320187	0.0408938
100	7	1547.7	14.825899	3.7968972	77.126023	31.336214	0.0338555
100	8	1546.9	14.818928	3.8016578	77.059402	31.262622	1

Realizado por: Guano, M., 2024

Al realizar una comparación entre los datos presentados en la Tabla 4-3, Tabla 4-4 y la Tabla 4-5, se evidencia que los valores registrados en la Tabla 4-3 son más favorables para la amplificación utilizando la longitud de onda de 1550 nm y una distancia de 25 km. Esto se debe a que la ganancia en esta longitud de onda es superior en comparación con las diferentes distancias. Este aumento en la ganancia contribuye significativamente a lograr una amplificación más efectiva. Además, la figura de ruido es la más baja entre las tres distancias, lo que favorece la eficiencia en la transmisión de señales al proporcionar una mayor claridad. En cuanto al OSNR, también se destaca que es el valor más alto, lo que beneficia una transmisión adecuada y ayuda a disminuir el ruido presente en la señal.

4.1.2.3 EDFA 8 canales con longitud de onda de 1565 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-21, donde se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-22 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal. Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 25 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-6. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 8 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central

específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 4.9790784 dB el cual se encuentra dentro de los valores más altos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de -11.650137 dB y los valores de BER para los 8 canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria.

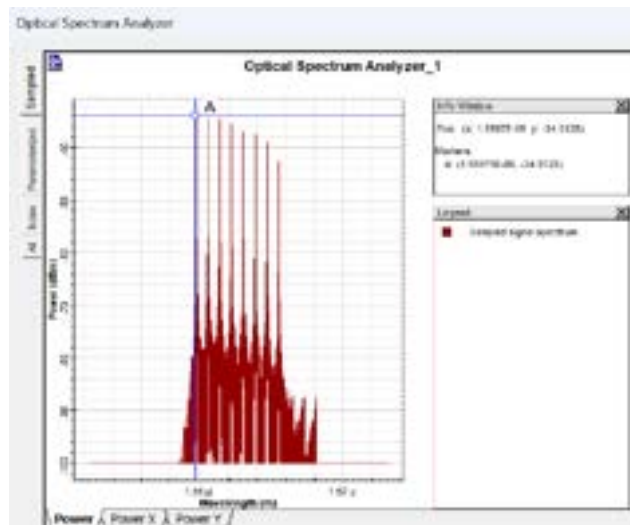


Ilustración 4-21: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

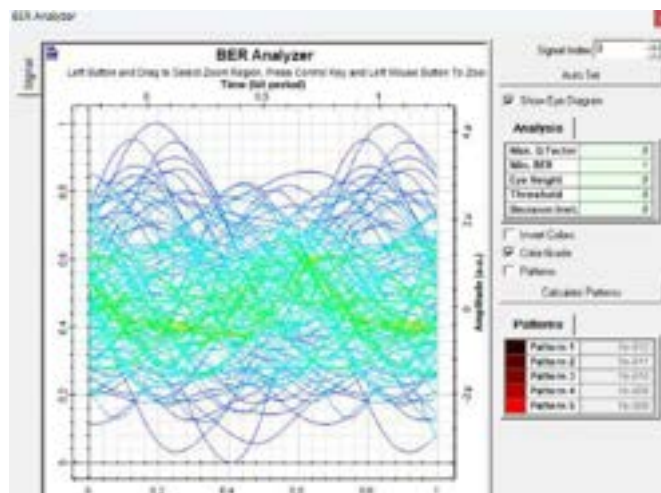


Ilustración 4-22: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

Tabla 4-6: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1565	26.571708	4.9790784	35.329253	-11.650137	1
25	2	1564.1	27.633541	5.1831733	35.258992	-11.927529	1
25	3	1563.3	28.617403	4.1970469	35.329009	-10.873651	1
25	4	1562.5	29.350588	4.531421	35.264393	-11.275401	1
25	5	1561.7	30.318176	4.659634	35.30946	-11.361207	1
25	6	1560.9	31.199079	4.8233458	35.312775	-11.524162	1
25	7	1560.1	31.967183	4.7462406	35.33883	-11.423423	1
25	8	1559.3	32.467264	4.9781023	35.279252	-11.717266	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-23, donde se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-24 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal.

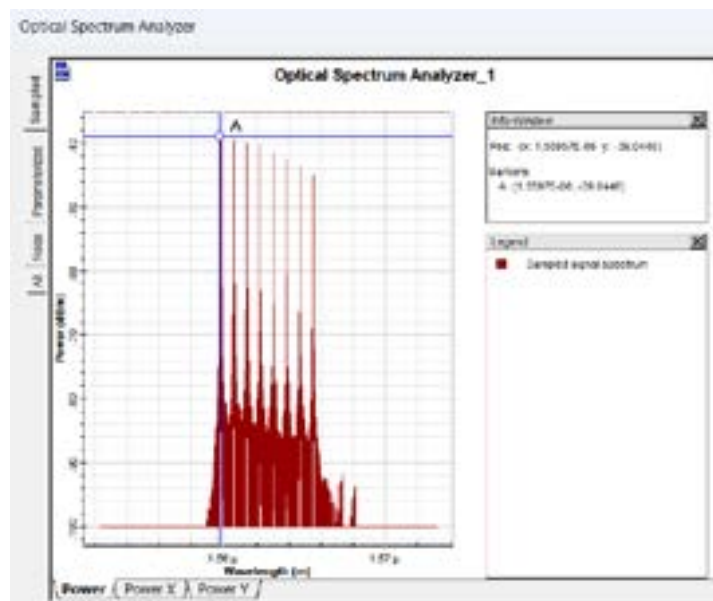


Ilustración 4-23: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

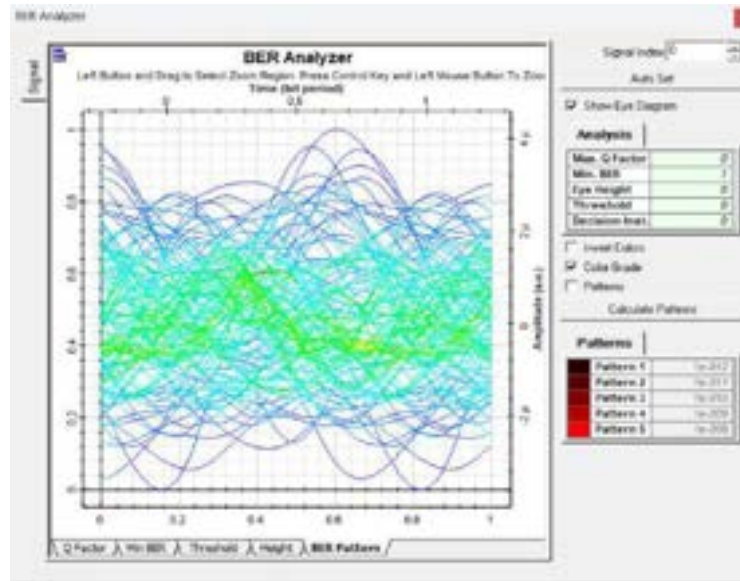


Ilustración 4-24: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-7. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador para un sistema WDM de 8 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, OSNR tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 4.9876433 dB el cual se encuentra dentro de los valores más altos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de -11.651182 dB y los valores de BER para los 8 canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria. Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-25, donde se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-26 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal.

Tabla 4-7: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1565	21.569709	4.9876433	35.330207	-11.651182	1
50	2	1564.1	22.629037	5.1925843	35.262866	-11.928159	1
50	3	1563.3	23.623406	4.1959534	35.320924	-10.875733	1
50	4	1562.5	24.354331	4.5315179	35.238843	-11.297208	1
50	5	1561.7	25.315807	4.6649872	35.299178	-11.373859	1
50	6	1560.9	26.198365	4.8264063	35.328994	-11.508657	1
50	7	1560.1	26.965475	4.74995	35.324611	-11.43935	1
50	8	1559.3	27.468548	4.9785097	35.272987	-11.722248	1

Realizado por: Guano M., 2024.

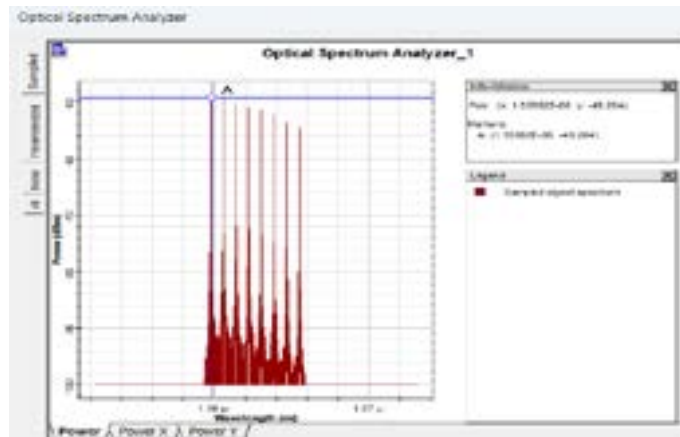


Ilustración 4-25: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

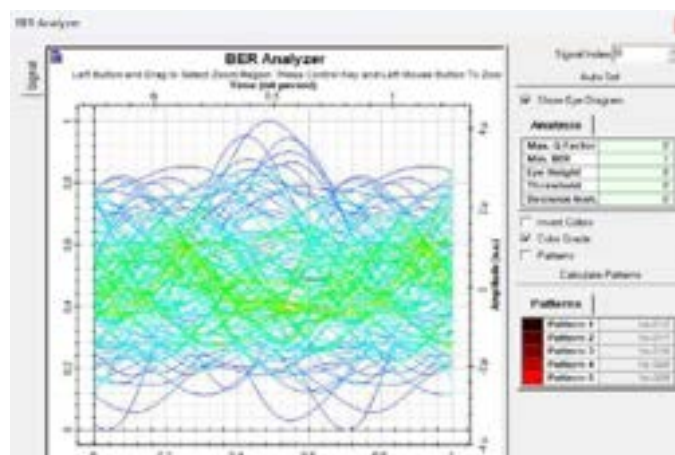


Ilustración 4-26: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-8. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador para un sistema WDM de 8 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, OSNR tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 5.0702348 dB el cual se encuentra dentro de los valores más altos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de -11.655206 dB y los valores de BER para los 8 canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria.

Tabla 4-8: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 8 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1565	11.572626	5.0702348	35.323266	-11.655206	1
100	2	1564.1	12.634089	5.2516027	35.260696	-11.925278	1
100	3	1563.3	13.617227	4.2662357	35.306787	-10.896048	1
100	4	1562.5	14.34773	4.5883444	35.235501	-11.307151	1
100	5	1561.7	15.321926	4.6979519	35.318184	-11.348733	1
100	6	1560.9	16.196242	4.8592913	35.321624	-11.518151	1
100	7	1560.1	16.967325	4.7743521	35.317282	-11.444829	1
100	8	1559.3	17.467859	5.001392	35.274067	-11.721857	1

Realizado por: Guano M., 2024.

4.1.2.4 Señal de entrada EDFA 16 canales

En el amplificador para un sistema WDM de 16 canales se realizó la simulación con potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-27 se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia.

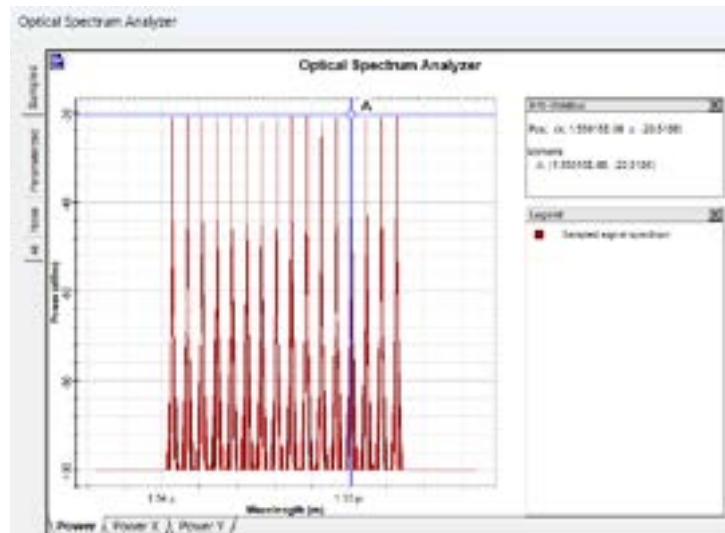


Ilustración 4-27: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 16 canales

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.1.2.5 EDFA 16 canales con longitud de onda de 1550 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se encuentran representados en la Ilustración 4-28, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras la consideración de 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-29 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 3 canales, revelando que en determinados canales se logra un mejor rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido.

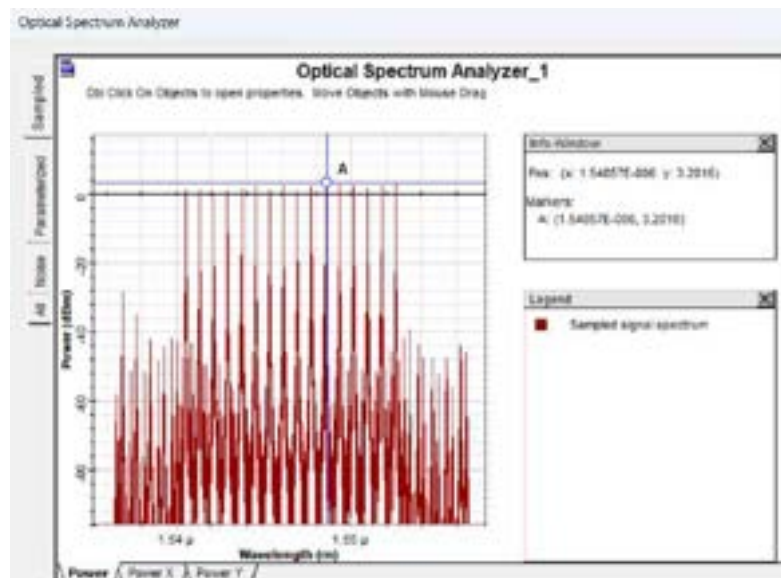
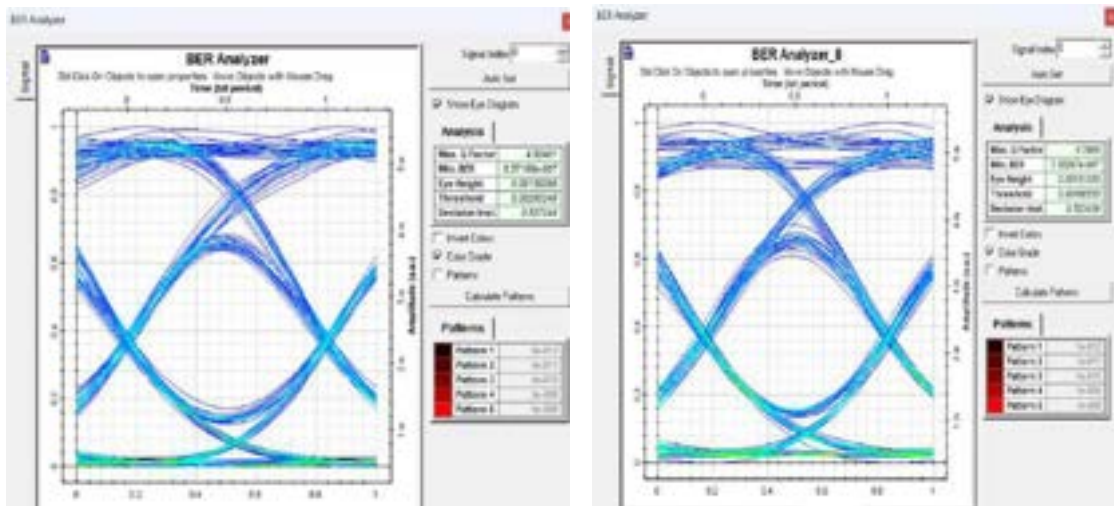


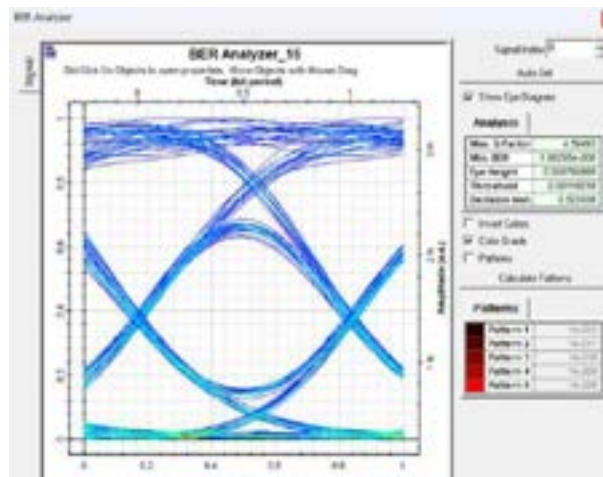
Ilustración 4-28: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)



c)

Ilustración 4-29: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) Primer canal b) octavo canal y c) dieciseisavo canal

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos derivados de la simulación, considerando una distancia de 25 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-9. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los dieciséis canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar la longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro tiene longitud de onda central, y su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores más altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 4.49481 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor

de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 30.5191 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos.

Tabla 4-9: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1552.5	27.178002	4.47719	77.1275	30.6138	6.57166e-007
25	2	1551.7	27.209795	4.48525	77.0672	30.5431	7.57192e-007
25	3	1550.9	27.229483	4.46332	77.1274	30.623	8.59411e-007
25	4	1550.1	27.181656	4.49481	77.0571	30.5191	2.39971e-007
25	5	1549.3	27.122342	4.57836	77.1279	30.504	1.66288e-006
25	6	1548.5	27.077551	4.5448	77.1248	30.5323	2.96792e-007
25	7	1547.7	27.081316	4.54487	77.1272	30.5323	8.17538e-007
25	8	1546.9	27.023793	4.60015	77.0574	30.4051	7.32097e-007
25	9	1546.1	26.87136	4.56768	77.0684	30.4464	8.93437e-007
25	10	1545.3	26.691201	4.56282	77.1258	30.5066	1.62023e-006
25	11	1544.5	26.507698	4.50613	77.0583	30.4937	7.46082e-007
25	12	1543.7	26.268594	4.39898	77.0673	30.6078	7.52173e-007
25	13	1542.9	25.944585	4.72075	77.1253	30.3419	8.2716e-007
25	14	1542.1	25.548148	4.67461	77.126	30.3869	7.53853e-007
25	15	1541.3	25.272689	4.65197	77.0762	30.3578	9.18324e-007
25	16	1540.5	24.961322	4.76023	77.0679	30.2392	1.98295e-006

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-30, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, la Ilustración 4-31 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 3 canales, revelando que en determinados canales se logra un buen rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye, pero no de manera excesiva.

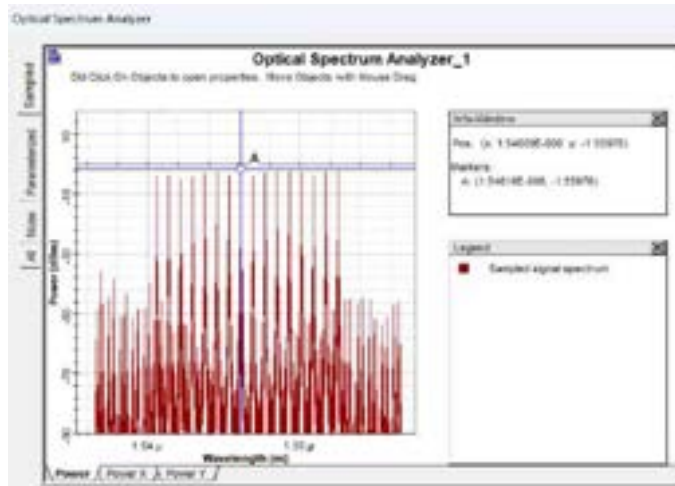
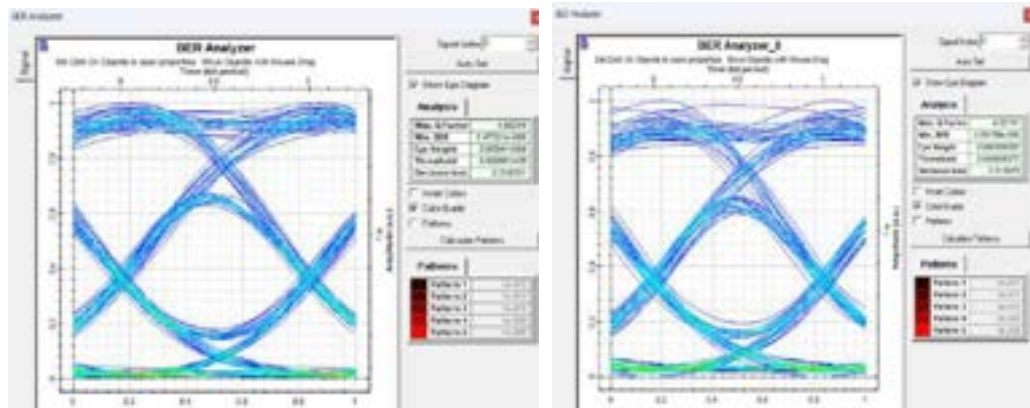


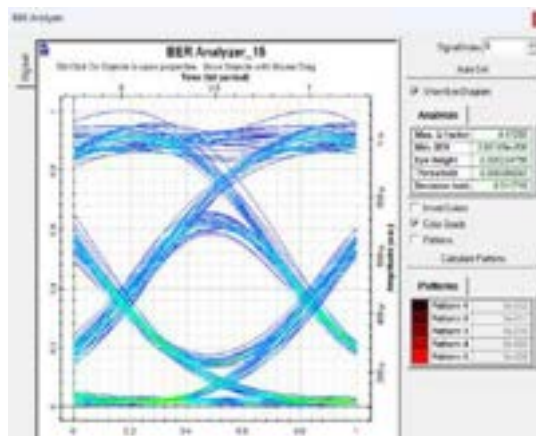
Ilustración 4-30: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)



c)

Ilustración 4-31: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) Primer canal b) octavo canal c) dieciseisavo canal

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-10. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los dieciséis canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 4.51447 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 30.5058 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-9, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

Tabla 4-10: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1552.5	22.205203	4.4564	77.1275	30.641	1.47721e-006
50	2	1551.7	22.220075	4.48133	77.0672	30.5534	1.29605e-006
50	3	1550.9	22.227001	4.47216	77.1274	30.6205	3.20382e-006
50	4	1550.1	22.168373	4.51447	77.0571	30.5058	3.48609e-006
50	5	1549.3	22.119595	4.58745	77.1279	30.5013	3.58717e-006
50	6	1548.5	22.0634	4.56541	77.1248	30.5182	1.91831e-006
50	7	1547.7	22.07835	4.55429	77.1272	30.5294	1.46862e-006
50	8	1546.9	22.009963	4.62044	77.0574	30.3912	2.83158e-006
50	9	1546.1	21.839219	4.60656	77.0684	30.4142	2.39526e-006
50	10	1545.3	21.682938	4.57811	77.1258	30.4983	2.41518e-006
50	11	1544.5	21.518943	4.50231	77.0583	30.5049	3.33542e-006
50	12	1543.7	21.264801	4.41081	77.0673	30.6041	4.31676e-006
50	13	1542.9	20.948182	4.7252	77.1253	30.3455	4.18449e-006
50	14	1542.1	20.546254	4.68541	77.126	30.385	5.73292e-006
50	15	1541.3	20.296007	4.6382	77.0762	30.3811	4.57944e-006
50	16	1540.5	19.9791	4.75245	77.0679	30.257	3.60105e-006

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-32, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km y 50 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, en la Ilustración 4-33 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo en dos de los canales, revelando que en uno de los canales el BER es bajo, pero con algo de ruido y en el otro canal con menos ruido, pero aun así un bajo valor de BER, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye y aparece ruido en la señal, pero no de manera excesiva

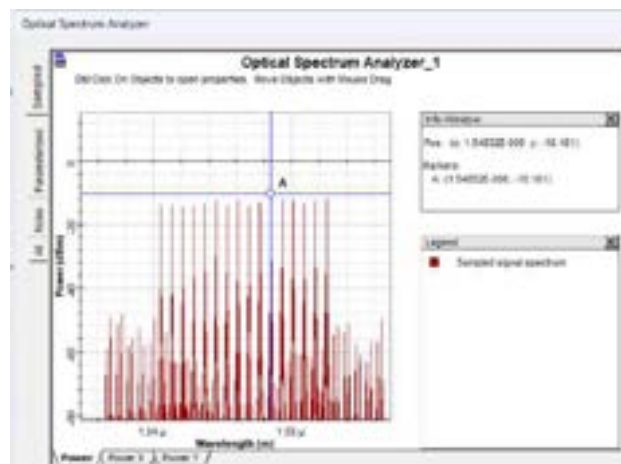
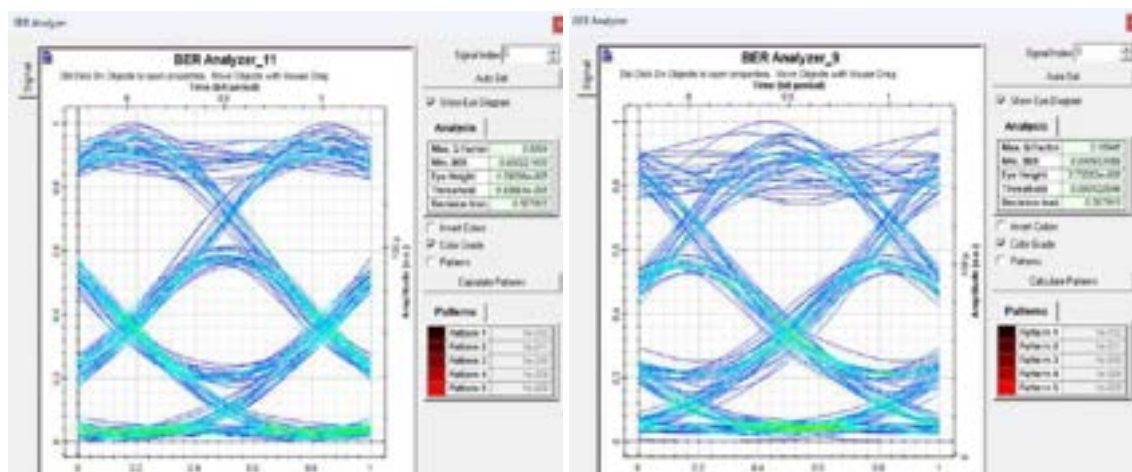


Ilustración 4-32: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)

Ilustración 4-33: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km. a) onceavo canal b) noveno canal.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-11. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los dieciséis canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 4.5871 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 30.5162 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para ciertos canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos en esos canales. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-9 y Tabla 4-10, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

Tabla 4-11: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1552.5	12.196951	4.54815	77.1275	30.6328	0.000664015
100	2	1551.7	12.227855	4.55629	77.0672	30.5612	0.000763066
100	3	1550.9	12.214766	4.56718	77.1274	30.6083	0.00066532
100	4	1550.1	12.178837	4.5871	77.0571	30.5162	0.000901691
100	5	1549.3	12.10903	4.68065	77.1279	30.4907	0.00092961
100	6	1548.5	12.089423	4.62351	77.1248	30.5442	0.00140082
100	7	1547.7	12.077762	4.63893	77.1272	30.5288	0.00158139
100	8	1546.9	12.016771	4.69773	77.0574	30.3981	0.000733063
100	9	1546.1	11.828043	4.70544	77.0684	30.403	0.000779722
100	10	1545.3	11.689548	4.66299	77.1258	30.5049	0.000933089
100	11	1544.5	11.505206	4.61267	77.0583	30.4912	0.000221633
100	12	1543.7	11.213111	4.56703	77.0673	30.5524	0.000727734
100	13	1542.9	10.975522	4.80244	77.1253	30.3728	0.000910079

Tabla 4-11 (continuación): Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	14	1542.1	10.571168	4.77613	77.126	30.4099	0.000836611
100	15	1541.3	10.305949	4.75197	77.0762	30.391	0.000487985
100	16	1540.5	9.9644388	4.89664	77.0679	30.2423	0.000583194

Realizado por: Guano M., 2024

Al realizar una comparación entre los datos presentados en la Tabla 4-9, Tabla 4-10 y la Tabla 4-11, se evidencia que los valores registrados en la Tabla 4-9 son más favorables para la amplificación utilizando la longitud de onda de 1550 nm y una distancia de 25 km. Esto se debe a que la ganancia en esta longitud de onda es superior en comparación con las diferentes distancias. Este aumento en la ganancia contribuye significativamente a lograr una amplificación más efectiva. Además, la figura de ruido es la más baja entre las tres distancias, lo que favorece la eficiencia en la transmisión de señales al proporcionar una mayor claridad. En cuanto al OSNR, también se destaca que es el valor más alto, lo que beneficia una transmisión adecuada y ayuda a disminuir el ruido presente en la señal, también en los valores de BER son más eficientes y con menos ruido en los canales ya que están más aproximados a cero.

4.1.2.6 EDFA 16 canales con longitud de onda de 1565 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-34, donde se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-35 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal. Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 25 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-12. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 16 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada,

se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 5.0314943 dB el cual se encuentra dentro de los valores más altos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de -11.710161 dB y los valores de BER para los 16 canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria.

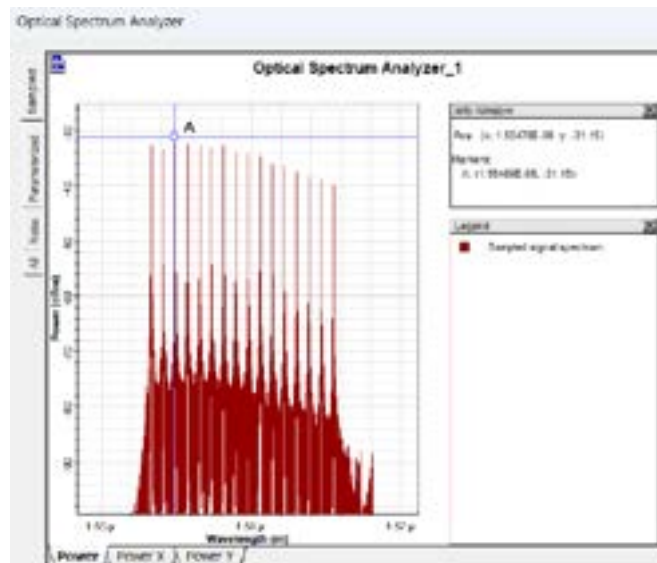


Ilustración 4-34: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

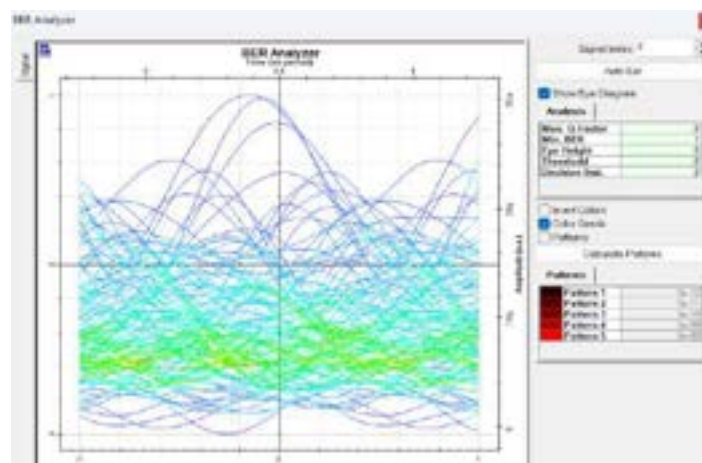


Ilustración 4-35: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-12: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1565.4	26.261095	5.0314943	35.321459	-11.710161	1
25	2	1564.6	27.304923	5.2368201	35.252631	-11.987388	1
25	3	1563.8	28.275867	4.2636112	35.309964	-10.959111	1
25	4	1563.0	28.988651	4.597837	35.252508	-11.353577	1
25	5	1562.2	29.925406	4.7306294	35.318725	-11.422832	1
25	6	1561.4	30.779365	4.8900217	35.300716	-11.602805	1
25	7	1560.6	31.518356	4.808572	35.306114	-11.518384	1
25	8	1559.7	31.988767	5.0310068	35.254867	-11.794475	1
25	9	1558.9	32.54314	4.4743753	35.262826	-11.232143	1
25	10	1558.1	32.902954	4.5462554	35.316674	-11.252515	1
25	11	1557.3	33.140339	4.6788344	35.259003	-11.445085	1
25	12	1556.5	33.322488	4.6227205	35.256857	-11.393394	1
25	13	1555.7	33.426	4.6710466	35.310774	-11.39008	1
25	14	1554.9	33.527636	4.5671583	35.312638	-11.286581	1
25	15	1554.1	33.604055	4.6799916	35.275626	-11.438707	1
25	16	1553.3	33.611781	4.7715545	35.278961	-11.529201	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-36, donde se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-37 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal y por esto también la señal se distorsiona.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-13. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador para un sistema WDM de 16 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, OSNR tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno

corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 5.0417289 dB el cual se encuentra dentro de los valores más altos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de -11.718033 dB y los valores de BER para los 16 canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria y si se compara con los resultados obtenidos con la distancia de 25 km se puede concluir que mientras mayor distancia existe menos amplificación.

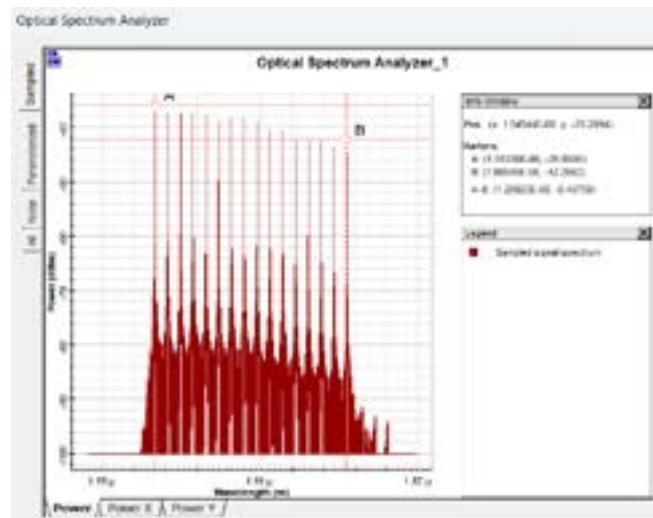


Ilustración 4-36: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

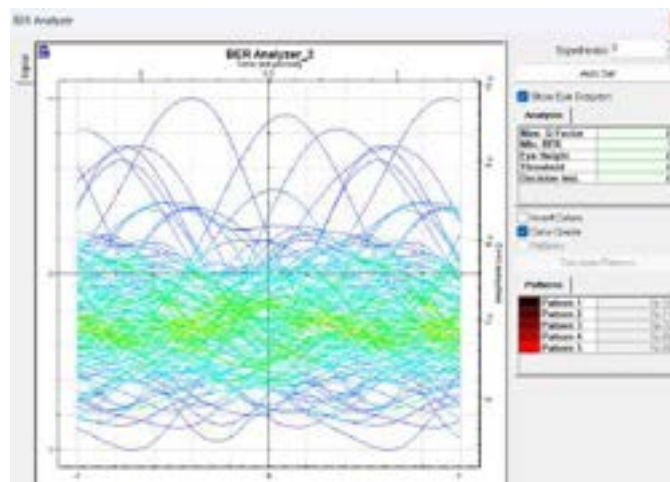


Ilustración 4-37: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-13: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1565.4	21.257829	5.0417289	35.316854	-11.718033	1
50	2	1564.6	22.307807	5.2391631	35.262332	-11.974803	1
50	3	1563.8	23.274018	4.2706899	35.336989	-10.933936	1
50	4	1563.0	23.988023	4.6025749	35.239291	-11.367421	1
50	5	1562.2	24.923762	4.735486	35.319795	-11.423405	1
50	6	1561.4	25.787299	4.8846318	35.314112	-11.581474	1
50	7	1560.6	26.51975	4.8093658	35.323068	-11.500036	1
50	8	1559.7	26.984478	5.0371607	35.253414	-11.800217	1
50	9	1558.9	27.542291	4.4770893	35.258939	-11.236878	1
50	10	1558.1	27.905164	4.545735	35.299267	-11.267712	1
50	11	1557.3	28.141136	4.6795892	35.26506	-11.438232	1
50	12	1556.5	28.320338	4.6263778	35.255536	-11.396865	1
50	13	1555.7	28.423837	4.6746649	35.310198	-11.39282	1
50	14	1554.9	28.526029	4.5702209	35.315763	-11.285063	1
50	15	1554.1	28.605161	4.6802794	35.266476	-11.44675	1
50	16	1553.3	28.614011	4.770687	35.274931	-11.531	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-38, donde se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-39 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal. Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-14. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador para un sistema WDM de 16 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, OSNR tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la

figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 5.129386 dB el cual se encuentra dentro de los valores más altos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de -11.699712 dB y los valores de BER para los 16 canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria

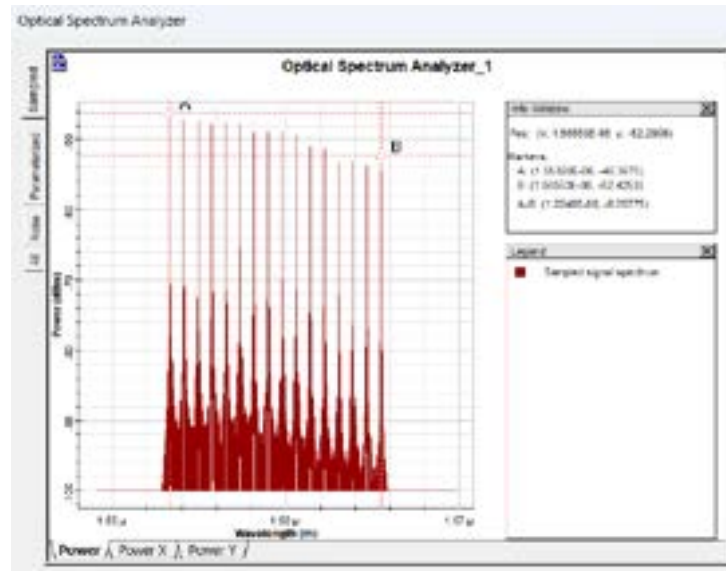


Ilustración 4-38: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

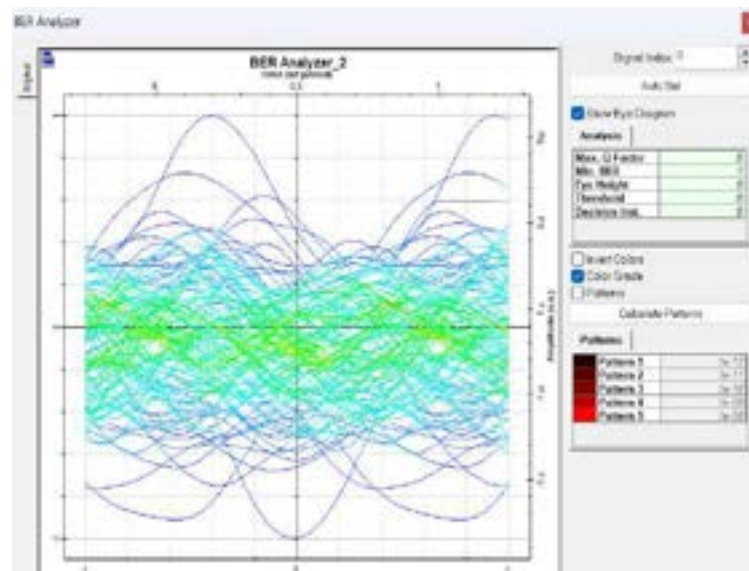


Ilustración 4-39: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-14: Resultados obtenidos para el amplificador EDFA en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1565.4	11.260855	5.129386	35.332148	-11.699712	1
100	2	1564.6	12.302522	5.3126687	35.27577	-11.966651	1
100	3	1563.8	13.276969	4.3359946	35.304258	-10.963715	1
100	4	1563.0	13.988054	4.6562822	35.258047	-11.348635	1
100	5	1562.2	14.925813	4.7755081	35.319696	-11.421453	1
100	6	1561.4	15.781202	4.9240841	35.323619	-11.578064	1
100	7	1560.6	16.516094	4.8417084	35.313293	-11.513467	1
100	8	1559.7	16.991553	5.0545559	35.245642	-11.800914	1
100	9	1558.9	17.541745	4.5021185	35.242922	-11.253442	1
100	10	1558.1	17.903945	4.5691272	35.318465	-11.249733	1
100	11	1557.3	18.141166	4.6999267	35.24549	-11.457772	1
100	12	1556.5	18.320834	4.6456678	35.260547	-11.391357	1
100	13	1555.7	18.425363	4.6922478	35.311089	-11.390404	1
100	14	1554.9	18.528873	4.5864954	35.312096	-11.285886	1
100	15	1554.1	18.603436	4.7003096	35.271667	-11.443285	1
100	16	1553.3	18.612013	4.7905774	35.279117	-11.528813	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Al analizar todos los resultados obtenidos de cada simulación con sus diferentes distancias y con longitud de onda de 1565 nm se puede decir que a pesar de que las ganancias del amplificador EDFA se encuentre dentro del rango aceptable como se muestra en sus parámetros, el ruido supera a la señal por lo que no existe buena transmisión de datos, por lo cual se concluye que el amplificador no trabaja de manera eficiente con longitud de onda de 1565 para sistemas Monocanal.

4.2 Amplificador RAMAN

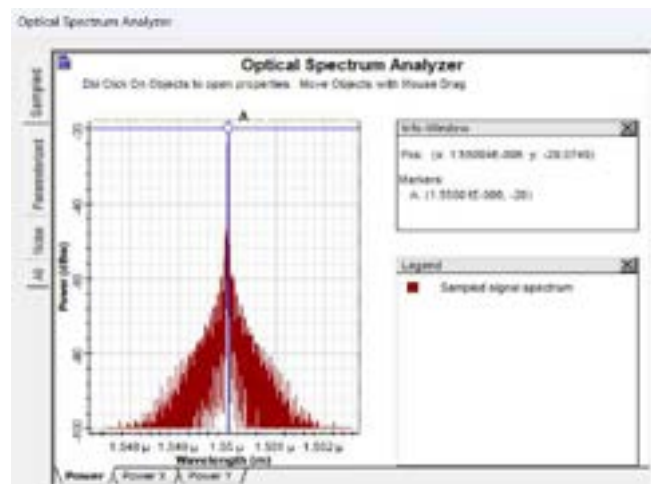
Para obtener los resultados se realizó la simulación tomando en cuenta los siguientes parámetros los cuales se describen en la Tabla 2-2 en el capítulo de Marco Teórico:

- Longitud de onda de operación de 1550 nm y 1565 nm
- Potencia de entrada: -20 dBm, el cual se encuentra en el rango en el que opera el amplificador.
- Potencia de la señal de bombeo: 300mw y 600mw

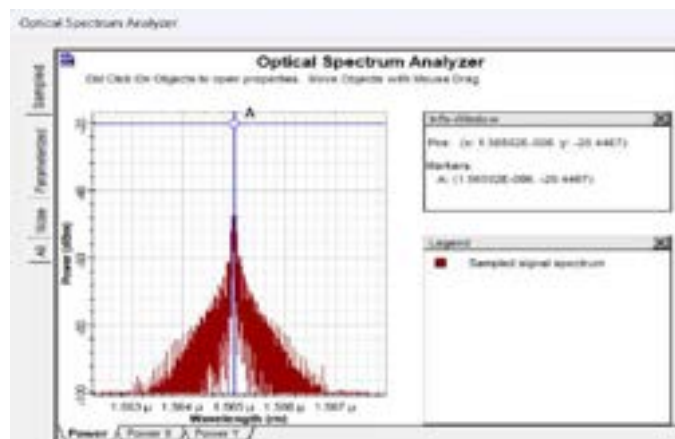
- Longitud de onda de la fuente de bombeo: 100 nm bajo la longitud de onda de operación.
- Distancia de fibra óptica: 25 km, 50 km y 100 km, estos valores son considerados tomando en cuenta la elaboración de una planificación de redes ópticas, referenciando como nodos estratégicos donde pueden ser colocados los amplificadores ópticos y así ver el rendimiento y la eficiencia de estos.

4.2.1 Amplificador RAMAN Monocanal

En el amplificador para un sistema monocanal se realizó la simulación con una potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-40 se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia con la que se trabajó en la simulación tanto para longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm



a)



b)

Ilustración 4-40: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema Monocanal del amplificador RAMAN, a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.2.1.1 RAMAN Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida del amplificador como se puede ver la amplificación del espectro es considerable después de pasar por todo el metodo de amplificación como se lo puede observar en la Ilustración 4-41, considerando una longitud de onda de 1550 nm, potencia de -20 dB y con 25 km de fibra óptica , tambien en la Ilustracion 4-42 se tiene el diagrama del ojo con un BER de $2.63889e-21$ el cual es aproximadamente cero, en la mayoría de los contextos puede ser considerado bueno en terminos de calidad de la comunicación.

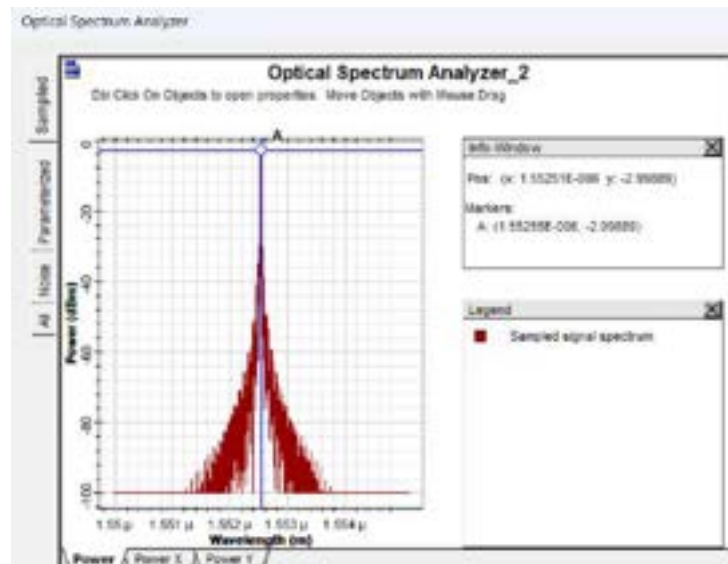


Ilustración 4-41: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 25 km
Realizado por: Guano, M., 2024.

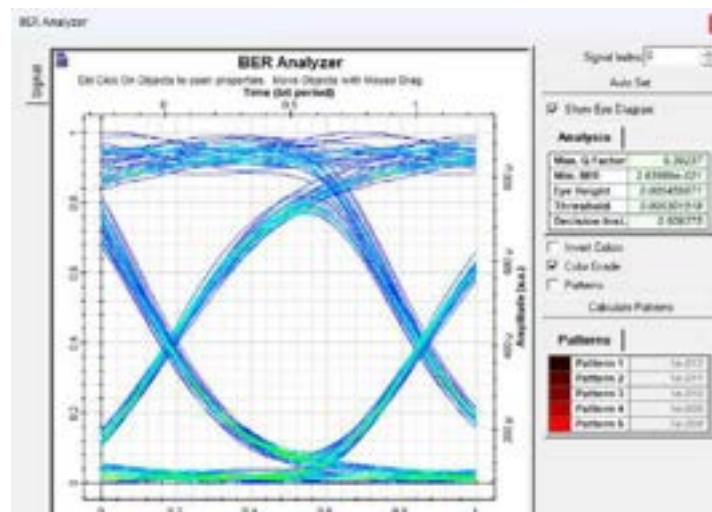


Ilustración 4-42: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida con longitud de onda de 1550 nm considerando una distancia de 50 km, se tiene una amplificación satisfactoria como se puede observar en la Ilustración 4-43. En comparación a los resultados que se obtuvo con la distancia de 25 km, es posible interpretar que a medida que la distancia aumenta, la amplificación tiende a disminuir. Sin embargo, se mantiene una amplificación a un nivel considerado satisfactorio. Se tiene la Ilustración 4-44 donde se puede observar el diagrama del ojo con un BER de $1.65755e-20$ en comparación con los resultados obtenidos previamente, se aprecia que el valor se encuentra aproximado a cero lo cual se considera como bueno. Al analizar la imagen del diagrama del ojo, se deduce que a medida que aumenta la distancia, podría manifestarse una mínima presencia de ruido en la señal, pero el cual no afecta en exceso a la misma.

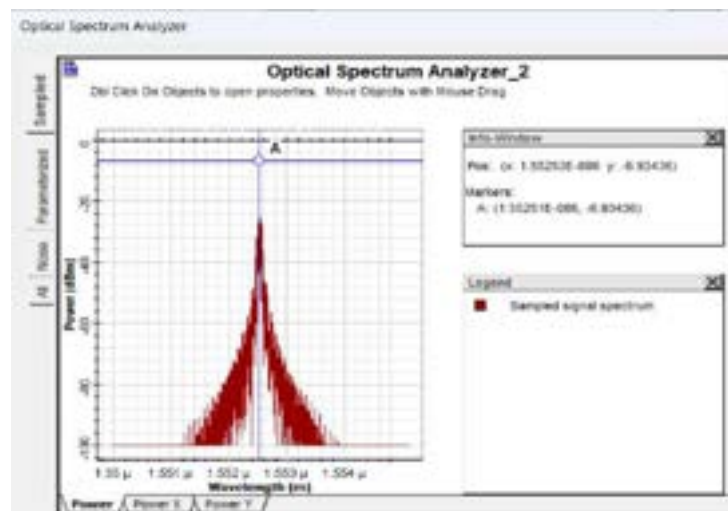


Ilustración 4-43: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

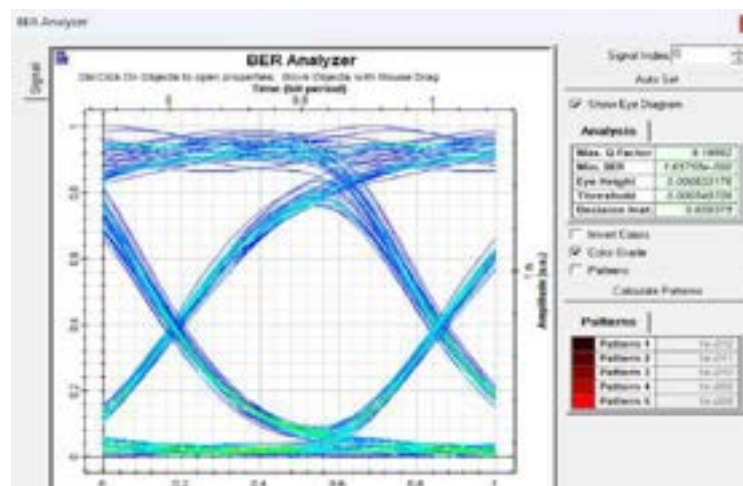


Ilustración 4-44: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida con longitud de onda de 1550 nm considerando una distancia de 100 km, se tiene una amplificación satisfactoria como se puede observar en la Ilustración 4-45. En comparación a los resultados que se obtuvo con la distancia de 25 km y 50 km, es posible interpretar que a medida que la distancia aumenta, la amplificación tiende a disminuir. Sin embargo, se mantiene una amplificación a un nivel considerado satisfactorio. Se tiene la Ilustración 4-46 donde se puede observar el diagrama del ojo con un BER de $1.35337e-16$ en comparación con los resultados obtenidos previamente, se aprecia que el valor se encuentra aproximado a cero lo cual se considera como bueno. Al analizar la imagen del diagrama del ojo, se deduce que a medida que aumenta la distancia, podría manifestarse una mínima presencia de ruido en la señal, pero el cual no afecta en exceso a la misma.

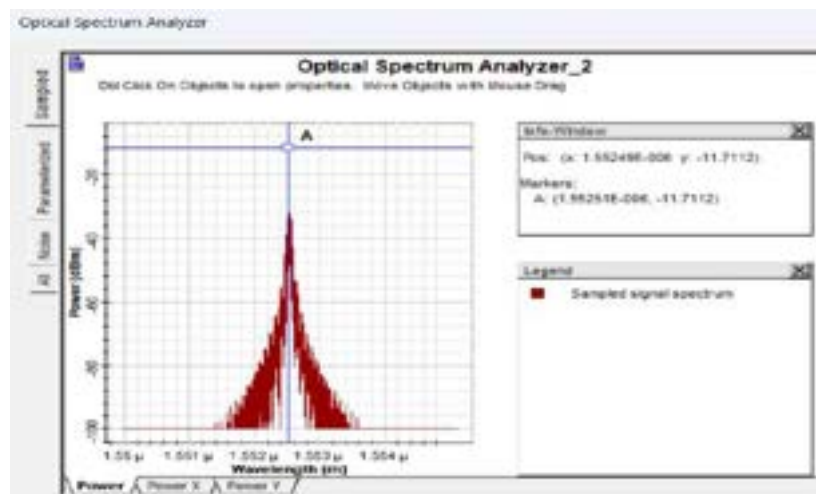


Ilustración 4-45: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

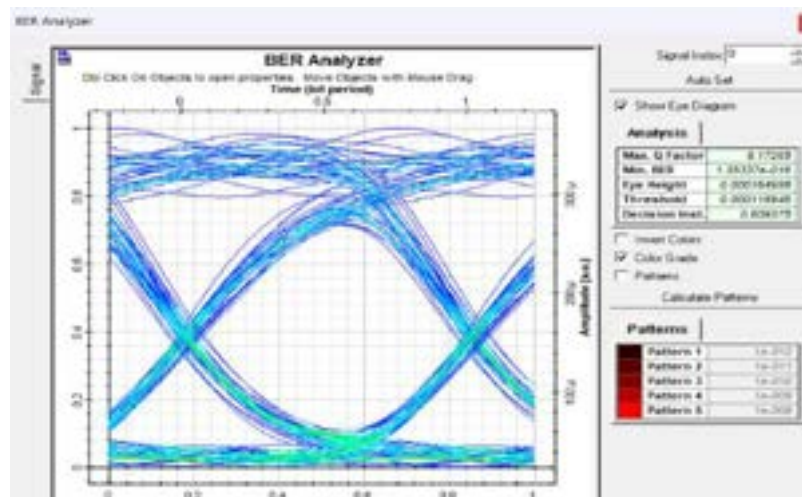


Ilustración 4-46: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema monocanal, se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER para cada una de las distancias previamente especificadas. Tras obtener los resultados numéricos que se observan en Tabla 4-15 y llevar a cabo un análisis, se puede concluir que la simulación realizada con una distancia menor con respecto a la ganancia sugiere una mejor capacidad de amplificación en el sistema, lo cual puede ser de beneficio para compensar pérdidas en el sistema de comunicaciones, en la Figura de Ruido implica que mientras menor sea su valor, es más eficiente en la transmisión de señales de manera clara, con respecto al OSNR de salida mientras mayor sea su valor, garantiza una transmisión de datos confiable y minimiza la degradación de la señal durante la transmisión. El análisis se lo pudo realizar de manera gráfica como numérica.

Tabla 4-15: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.

Distancia (km)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	21.776072	5.80373	77.2808	29.4515	2.638889e-21
50	19.148689	6.95131	77.2808	28.2958	1.65755e-20
100	15.026607	10.8011	77.2808	24.4515	1.35337e-16

Realizado por: Guano M., 2024.

4.2.1.2 RAMAN Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.

Al llevar a cabo la simulación con una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 25 km, se logró una amplificación que puede ser calificada como satisfactoria, según se evidencia en la Ilustración 4-47. Al comparar estos resultados con los obtenidos en la Ilustración 4-41, donde se emplea una longitud de onda de 1550 nm y la misma distancia, se observa una mejora en la amplificación del espectro de la señal en comparación con la longitud de onda de 1565 nm. Asimismo, al analizar el diagrama del ojo y los valores de la tasa de error de bits (BER) en la Ilustración 4-48, se concluye que el BER con las dos longitudes de onda tienen una buena calidad debido a que la reducción de amplificación no es tan significativa entre las dos longitudes de onda utilizadas.

Se disponen de los datos de amplificación del espectro de salida de la señal, utilizando una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 50 km, tal como se presenta en la Ilustración 4-49. Aunque el valor de amplificación puede ser catalogado como satisfactorio, al contrastarlo con los resultados previos obtenidos con una longitud de onda de

1550 nm, se nota una mejora en la amplificación con esta última longitud a pesar de que ambos valores se encuentran en un rango similar. El análisis sugiere que a medida que aumenta la distancia de fibra óptica, la amplificación tiende a disminuir. En este escenario, para las dos longitudes de onda, la amplificación es similar, pero considerablemente menor cuando se compara con la distancia de 25 km. Se observa que el diagrama del ojo exhibe poco ruido y el valor de BER es considerado bueno, ya que tienden a aproximarse a cero, según se puede apreciar en la Ilustración 4-50.

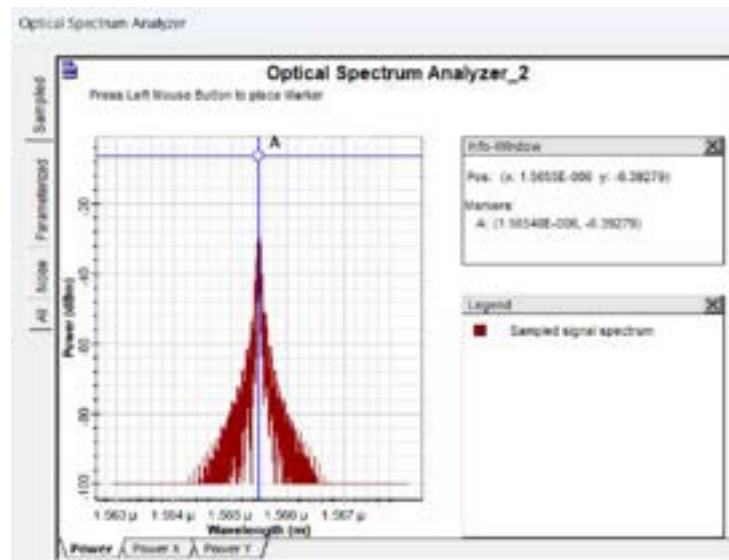


Ilustración 4-47: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 25 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

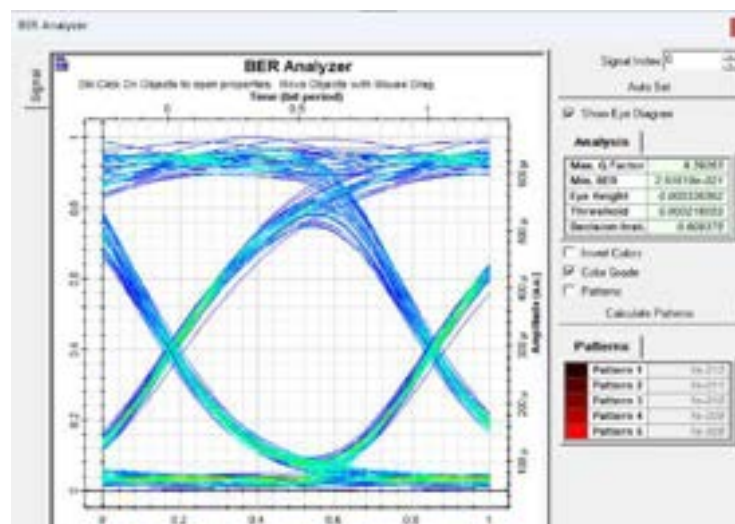


Ilustración 4-48: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

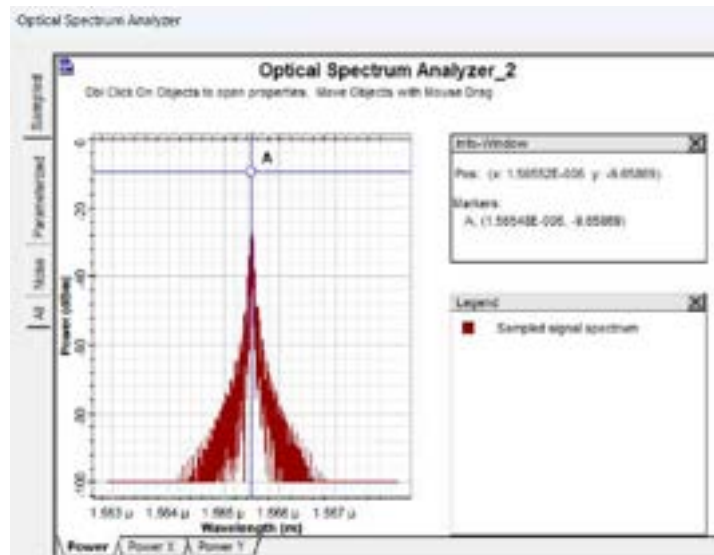


Ilustración 4-49: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 50 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

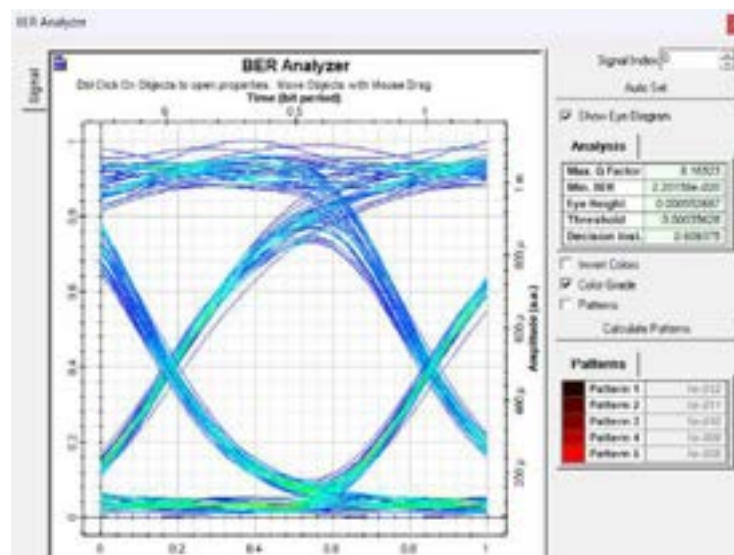


Ilustración 4-50: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

Al analizar los resultados de la simulación con una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 100 km, se evidencia la presencia de una amplificación un poco notable, como se muestra en la Ilustración 4-51. Al examinar el diagrama del ojo, se revela un nivel bajo de ruido, y el BER indica un valor más alto con respecto a los escenarios con distancia de 25 km y 50 km, pero aun así su valor es aproximadamente cero por lo cual la existencia de ruido es mínima, tal como se aprecia en la Figura 4-52.

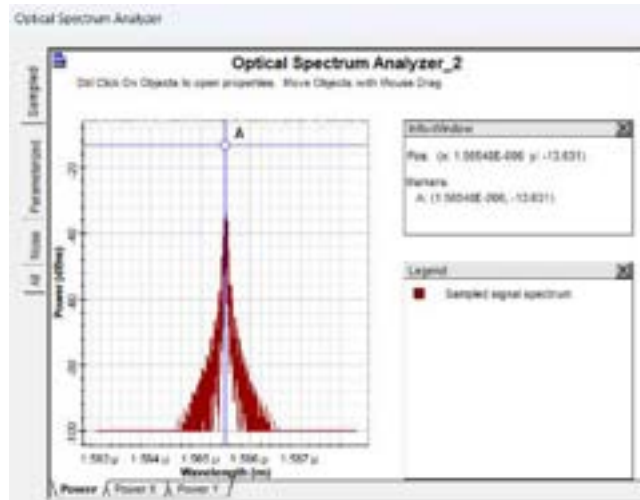


Ilustración 4-51: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

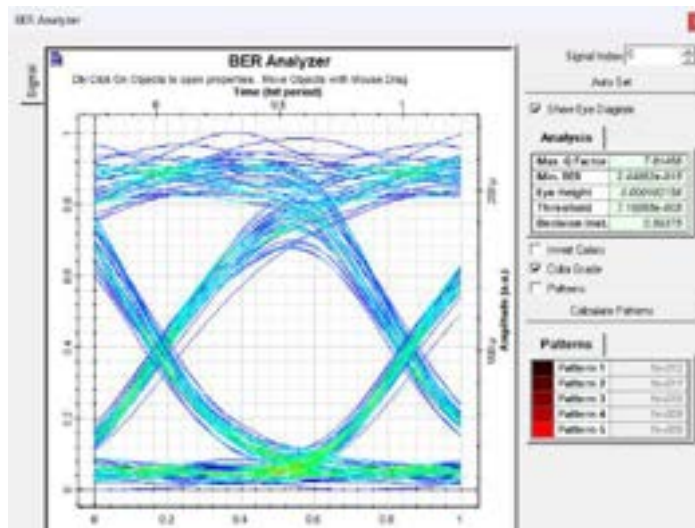


Ilustración 4-52: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Al analizar los resultados cuantitativos derivados de la simulación realizada con una longitud de onda de 1565 nm y sus diversas variaciones de distancia en la fibra óptica, se observa que a medida que la distancia de la fibra óptica disminuye, los valores asociados a cada parámetro, tales como la ganancia, la figura de ruido y el OSNR son consideradas los mejores cómo se puede ver en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.

Distancia (km)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	19.980617	5.87014	77.2808	29.4261	2.61619e-21
50	17.774607	7.08928	77.2808	28.1967	2.20158e-20
100	13.037422	13.037422	77.2808	24.0459	2.44062e-15

Realizado por: Guano M., 2024.

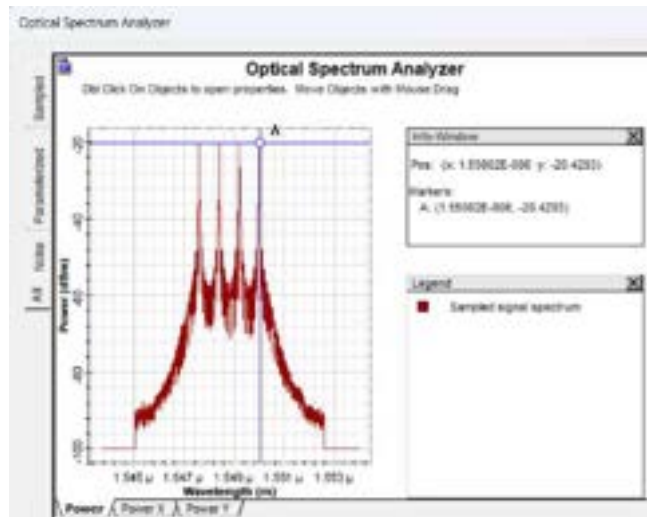
Al realizar una comparación entre los datos presentados en la Tabla 4-15 y la Tabla 4-16, se evidencia que los valores registrados en la Tabla 4-15 son más favorables para la amplificación utilizando la longitud de onda de 1550 nm. Esto se debe a que la ganancia en esta longitud de onda es superior en comparación con las diferentes distancias y la longitud de onda de 1565 nm. Este aumento en la ganancia contribuye significativamente a lograr una amplificación más efectiva. En cuanto, la figura de ruido tiene un valor similar entre las dos longitudes, lo que favorece la eficiencia en la transmisión de señales al proporcionar una mayor claridad. En cuanto al OSNR, se destaca que es el valor más alto, lo que beneficia una transmisión adecuada y ayuda a disminuir el ruido presente en la señal.

En resumen, tras el análisis detallado, se concluye que el amplificador RAMAN para un sistema monocanal funciona de manera más eficiente al operar con una longitud de onda de 1550 nm, dado que con la designada longitud de onda se lograron resultados superiores en la amplificación de la señal durante la simulación, a pesar de que con la longitud de onda de 1565 nm se obtuvo amplificaciones no tan distantes y sus resultados numéricos también son similares.

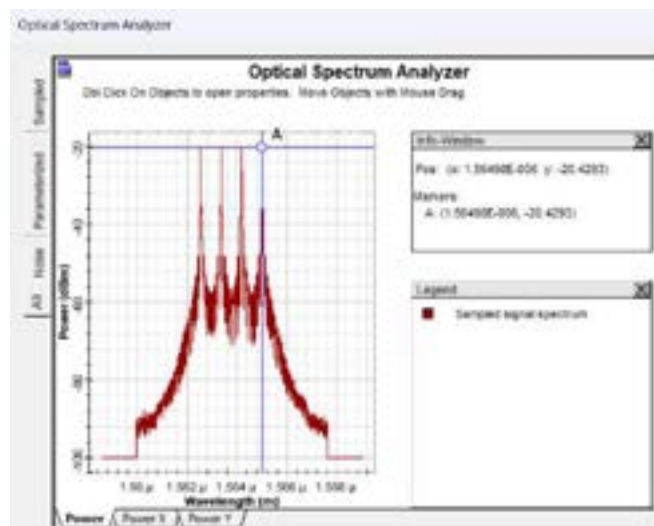
4.2.2 Amplificador RAMAN Multicanal

4.2.2.1 Señal de entrada RAMAN 4 canales

En el amplificador para un sistema multicanal se realizó la simulación con potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-53 se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia con la que se va a trabajar en el escenario tanto para longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm



a)



b)

Ilustración 4-53: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.2.2.2 RAMAN 4 canales con longitud de onda de 1550 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se encuentran representados en la Ilustración 4-54, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras la consideración de 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-55 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 2 canales, revelando que en determinados canales se logra un mejor rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido.

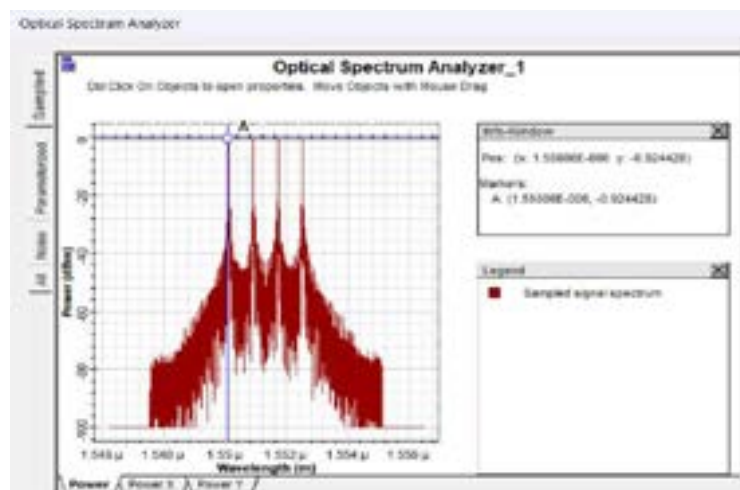
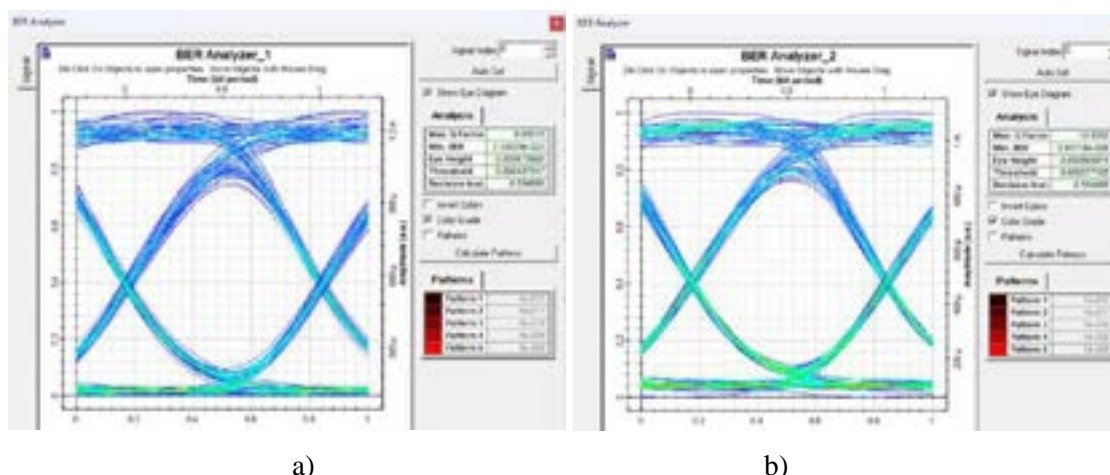


Ilustración 4-54: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)

Ilustración 4-55: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) primer canal b) segundo canal

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos derivados de la simulación, considerando una distancia de 25 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-17. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los cuatro canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar la longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro y tres tienen longitud de onda central, y su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 7.37471 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida

que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. Para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 27.8695 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable en este caso su valor es menor, pero existe una buena transmisión de datos debido a que los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos.

Tabla 4-17: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1552.5	23.730562	7.26969	77.2748	27.9725	1.12023e-23
25	2	1551.7	23.491788	7.21026	77.2064	27.9616	7.31442e-24
25	3	1550.9	23.214024	7.42117	77.2183	27.7603	5.15153e-22
25	4	1550.1	22.905182	7.37471	77.2828	27.8695	3.81718e-26

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-56, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, en la Ilustración 4-57 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de dos canales, revelando que en determinados canales se logra un buen rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye, pero no de manera excesiva.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-18. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los cuatro canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal tres y cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, no se considera una de las más altas ganancias, pero sí una buena ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 7.63604 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a

que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 27.6043 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable, cierto valor está dentro de los valores altos y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-17, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

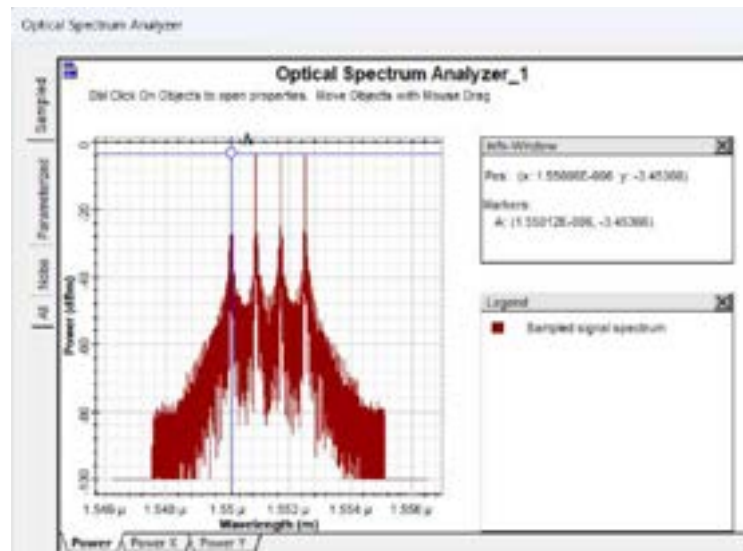


Ilustración 4-56: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

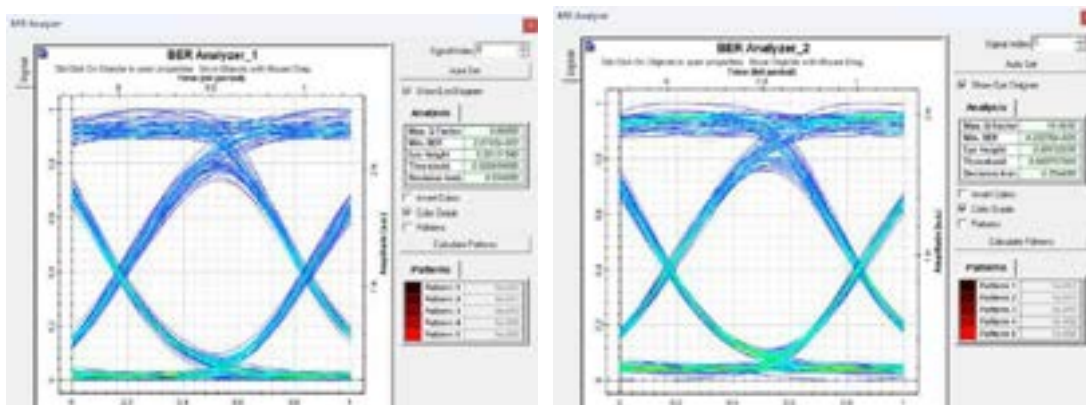


Ilustración 4-57: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) primer canal b) segundo canal.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-18: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1552.5	20.794993	7.5123	77.2748	27.7263	2.0742e-23
50	2	1551.7	20.612467	7.42712	77.2064	27.7411	1.18035e-23
50	3	1550.9	20.399309	7.70264	77.2183	27.4752	9.2161e-22
50	4	1550.1	20.161542	7.63604	77.2828	27.6043	4.22276e-26

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-58, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km y 50 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, en la Ilustración 4-59 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de dos de los canales, revelando que en determinados canales el BER es bajo, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye y aparece mínimo ruido en la señal, pero no de manera excesiva.

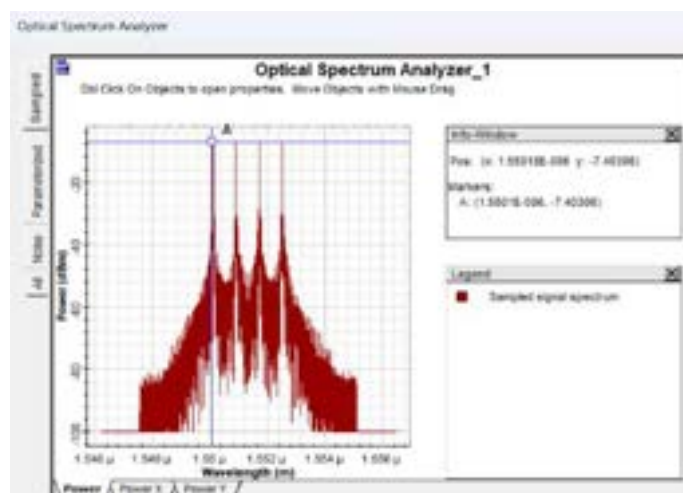
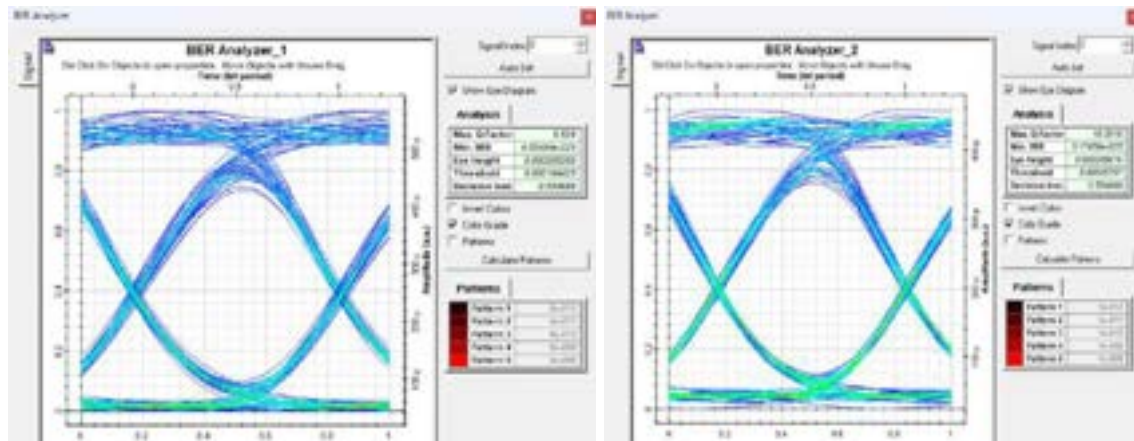


Ilustración 4-58: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)

Ilustración 4-59: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 100 km. a) primer canal b) segundo canal.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-19. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los cuatro canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal tres y cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 7.97811 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 27.2745dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para ciertos canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos en esos canales. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-17 y Tabla 4-18, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

Al realizar una comparación entre los datos presentados en la Tabla 4-17, Tabla 4-18 y la Tabla 4-19, se evidencia que los valores registrados en la Tabla 4-17 son más favorables para la amplificación utilizando la longitud de onda de 1550 nm y una distancia de 25 km. Esto se debe a que la ganancia en esta longitud de onda es superior en comparación con las diferentes distancias. Este aumento en la ganancia contribuye significativamente a lograr una amplificación más efectiva. Además, la figura de ruido es la más baja entre las tres distancias, lo que favorece la eficiencia en la transmisión de señales al proporcionar una mayor claridad. En cuanto al OSNR,

también se destaca que es el valor más alto, lo que beneficia una transmisión adecuada y ayuda a disminuir el ruido presente en la señal.

Tabla 4-19: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1552.5	17.256637	7.79452	77.2748	27.4544	4.03484e-23
100	2	1551.7	16.993294	7.7222	77.2064	27.4572	2.59408e-23
100	3	1550.9	16.68725	8.02601	77.2183	27.163	2.39816e-21
100	4	1550.1	16.347247	7.97811	77.2828	27.2745	3.17459e-25

Realizado por: Guano M., 2024.

4.2.2.3 RAMAN 4 canales con longitud de onda de 1565 nm

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-60, donde se evidencia que existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-61 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal, pero si está siendo amplificada en un rango similar a la simulación con longitud de onda de 1550 nm.

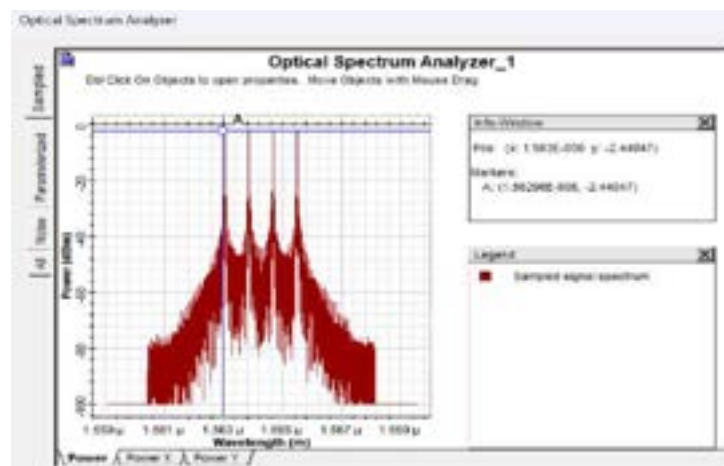


Ilustración 4-60: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

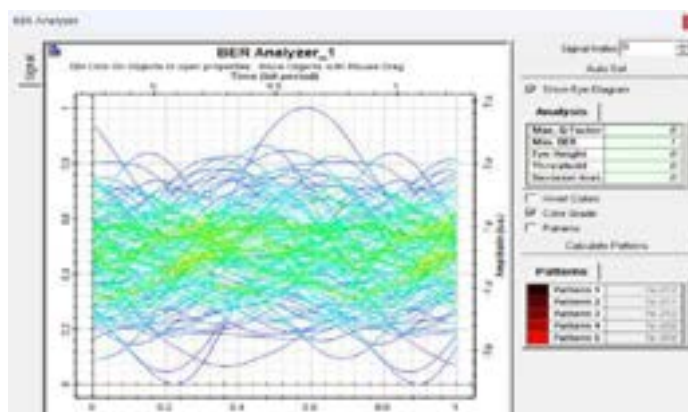


Ilustración 4-61: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 25 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-20. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 4 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 7.27687 dB el cual se encuentra dentro de los valores más bajos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 28.0041 dB y los valores de BER para los cuatro canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria debido a que su ganancia y figura de ruido no se encuentra dentro del rango especificado en la Tabla 2-2.

Tabla 4-20: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1565.5	21.88034	7.27687	77.2748	28.0041	1
25	2	1564.6	21.821229	7.39256	77.2064	27.8176	1
25	3	1563.8	21.896905	7.33336	77.2183	27.8863	1
25	4	1563.0	22.091148	7.38864	77.2828	27.8929	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-62, donde se evidencia que existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm, se puede observar que la amplificación obtenida es menor a la de 25 km, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, en la Ilustración 4-63 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal, pero si está siendo amplificada en un rango similar a la simulación con longitud de onda de 1550 nm.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-21. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 4 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la menciona longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 7.558dB el cual se encuentra dentro de los valores más bajos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 27.7184 dB y los valores de BER para los cuatro canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria debido a que su ganancia y figura de ruido no se encuentra dentro del rango especificado en la Tabla 2-2.

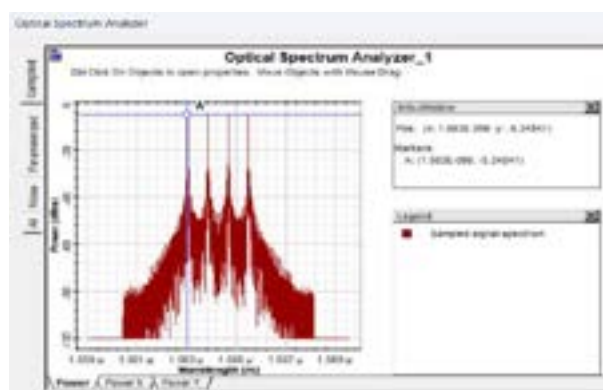


Ilustración 4-62: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

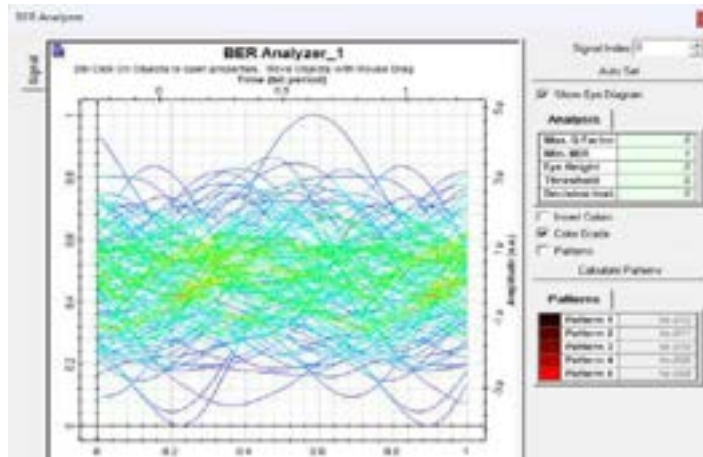


Ilustración 4-63: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-21: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1565.5	19.346078	7.558	77.2748	27.7184	1
50	2	1564.6	19.3009	7.70666	77.2064	27.499	1
50	3	1563.8	19.357837	7.62872	77.2183	27.5865	1
50	4	1563.0	19.504483	7.69801	77.2828	27.5792	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-64, donde se evidencia que existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, se puede observar que la amplificación obtenida es menor a la de 25 km y 50 km, en la Ilustración 4-65 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-22. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 4 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central

específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la menciona longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 7.98448 dB el cual se encuentra dentro de los valores más bajos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 27.308 dB y los valores de BER para los cuatro canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria debido a que su ganancia y figura de ruido no se encuentra dentro del rango especificado en la Tabla 2-2.

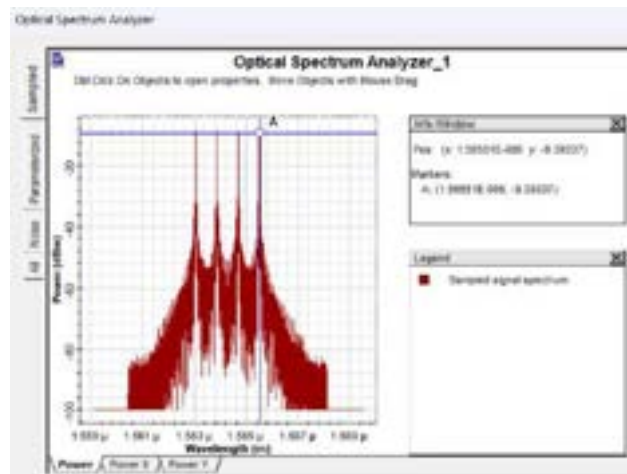


Ilustración 4-64: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

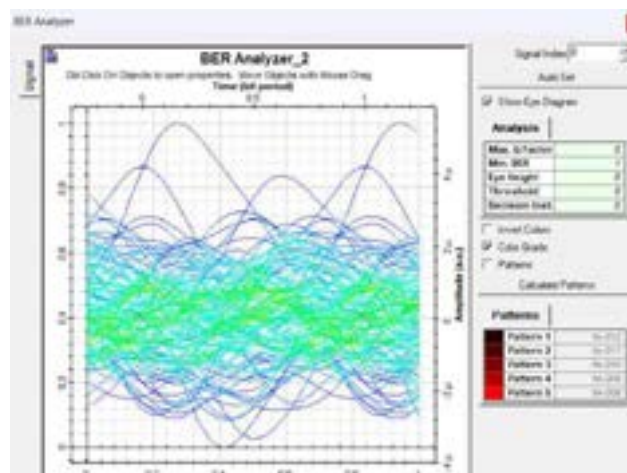


Ilustración 4-65: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

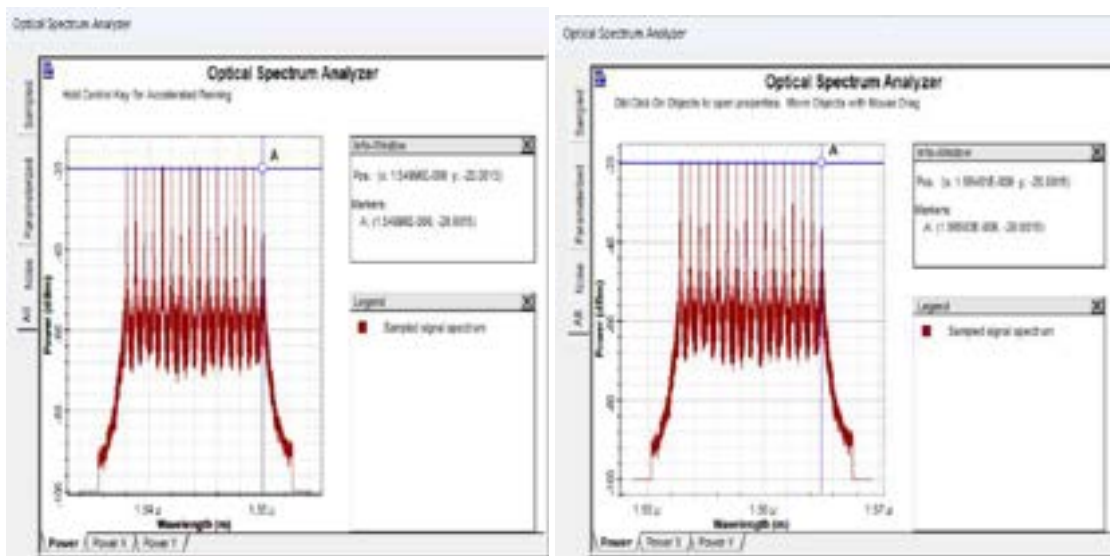
Tabla 4-22: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1565.5	15.183135	7.98448	77.2748	27.308	1
100	2	1564.6	15.11825	8.14103	77.2064	27.0803	1
100	3	1563.8	15.202492	8.05453	77.2183	27.1764	1
100	4	1563.0	15.417962	8.10965	77.2828	27.1823	1

Realizado por: Guano M., 2024.

4.2.2.4 Señal de entrada RAMAN 16 canales

En el amplificador para un sistema multicanal se realizó la simulación con potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-66 se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia con la que se va a trabajar en el escenario tanto para longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm.



a)

b)

Ilustración 4-66: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.2.2.5 RAMAN 16 canales con longitud de onda de 1550 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se encuentran representados en la Ilustración 4-67, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras la consideración de 25

km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-68 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 3 canales, revelando que en determinados canales se logra un mejor rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido.

Los resultados numéricos derivados de la simulación, considerando una distancia de 25 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-23. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los dieciséis canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar la longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal tres y cuatro tiene longitud de onda central, y su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores más altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 8.93133 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 26.2788 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos.

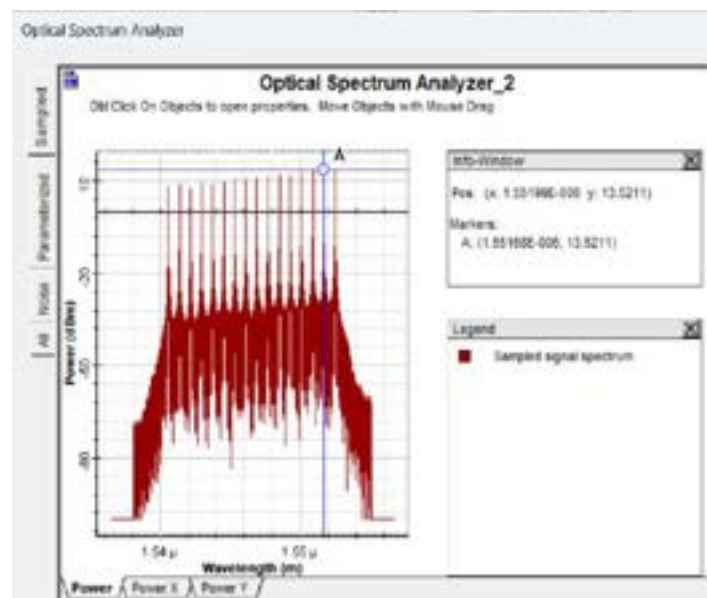


Ilustración 4-67: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

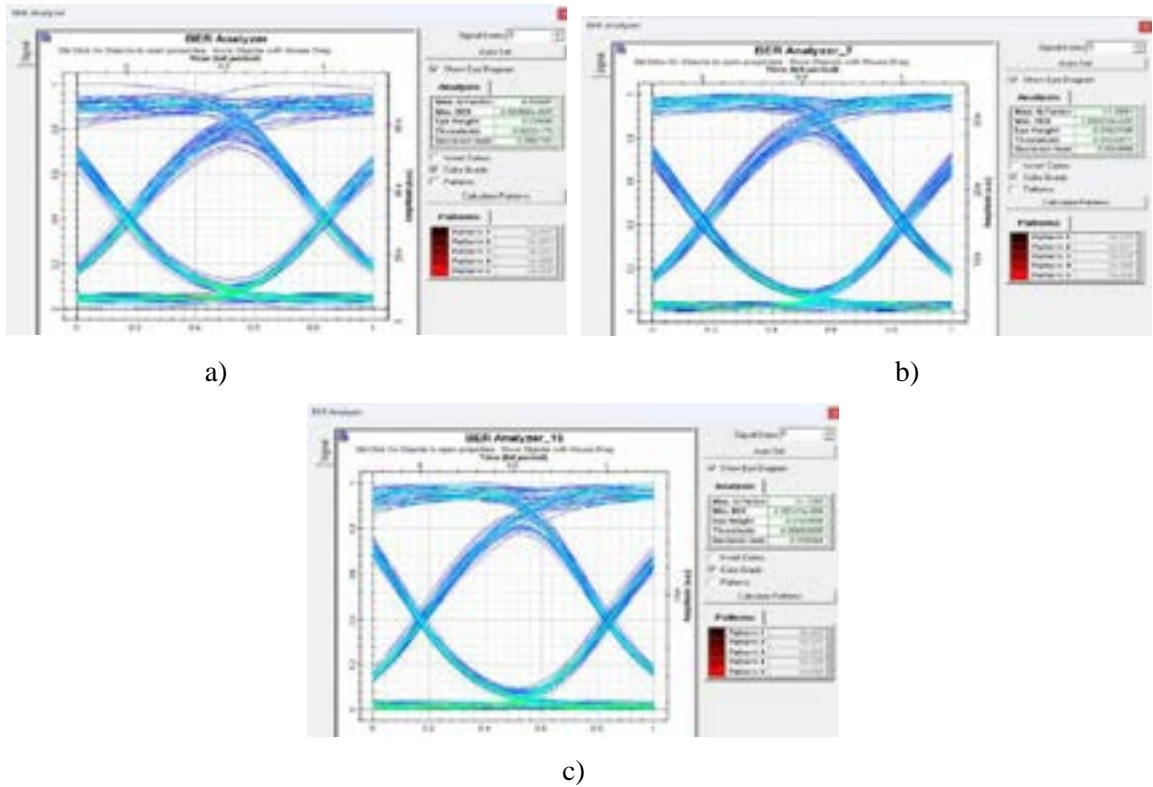


Ilustración 4-68: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 25 km. a) primer canal b) octavo canal y c) dieciseisavo canal.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-23: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1552.5	38.210083	9.74884	77.2813	25.493	3.50392e-23
25	2	1551.7	37.868383	9.09041	77.2125	26.0805	7.49519e-22
25	3	1550.9	37.477545	9.479	77.2073	25.6844	8.86058e-21
25	4	1550.1	37.047267	8.93133	77.2563	26.2788	1.93168e-26
25	5	1549.3	36.586289	8.45151	77.205	26.7052	1.06416e-21
25	6	1548.5	36.104547	8.0384	77.2139	27.1249	1.53862e-25
25	7	1547.7	35.614731	7.70106	77.2614	27.5076	4.05267e-27
25	8	1546.9	35.130959	8.18259	77.2701	27.0325	1.99202e-30
25	9	1546.1	34.667556	7.91872	77.2105	27.2346	2.50079e-28
25	10	1545.3	34.238284	7.73073	77.2116	27.4215	3.32764e-23

Tabla 4-23 (continuación): Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	11	1544.5	33.857429	7.62368	77.2079	27.5226	2.82494e-27
25	12	1543.7	33.537038	7.55622	77.2639	27.6439	1.73477e-23
25	13	1542.9	33.264415	7.82661	77.2741	27.3814	5.37823e-27
25	14	1542.1	33.011048	7.72945	77.2264	27.4287	1.70227e-25
25	15	1541.3	32.74827	7.60285	77.2079	27.5345	1.06123e-23
25	16	1540.5	32.448007	7.41703	77.2207	27.731	4.18141e-29

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-69, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, la Ilustración 4-70 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de 3 canales, revelando que en determinados canales se logra un buen rendimiento del BER, junto con un valor mínimo de ruido, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye, pero no de manera excesiva.

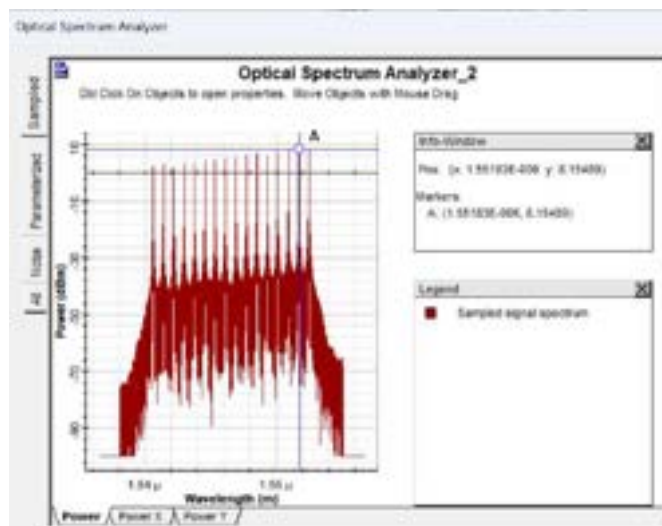
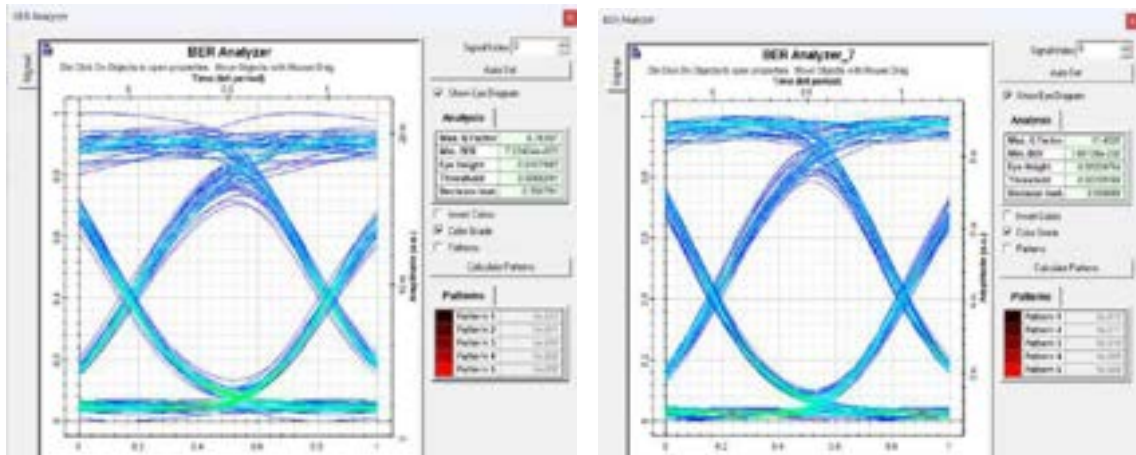


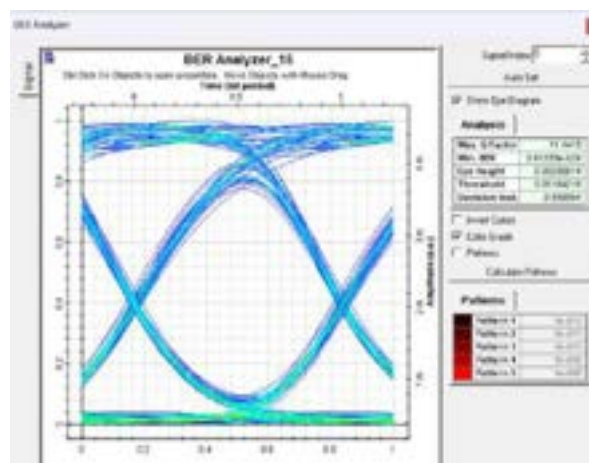
Ilustración 4-69: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)



c)

Ilustración 4-70: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 50 km. a) primer canal b) octavo canal y c) dieciseisavo canal.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-24. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los dieciséis canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal tres y cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 9.00743 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. De igual manera,

para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 26.203 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para todos los canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-23, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

Tabla 4-24: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1552.5	32.877647	10.0116	77.2813	25.2304	7.22424e-23
50	2	1551.7	32.48574	9.20939	77.2125	25.9617	1.08563e-21
50	3	1550.9	32.045694	9.64719	77.2073	25.5164	1.38206e-20
50	4	1550.1	31.567533	9.00743	77.2563	26.203	2.3517e-26
50	5	1549.3	31.05999	8.46932	77.205	26.6877	1.09222e-21
50	6	1548.5	30.532983	8.02045	77.2139	27.1433	1.46863e-25
50	7	1547.7	29.999056	7.66051	77.2614	27.5487	3.48273e-27
50	8	1546.9	29.472178	8.18515	77.2701	27.0305	1.89126e-30
50	9	1546.1	28.966521	7.90725	77.2105	27.2467	2.29571e-28
50	10	1545.3	28.495593	7.70924	77.2116	27.4437	2.98363e-23
50	11	1544.5	28.073405	7.59324	77.2079	27.554	2.79234e-27
50	12	1543.7	27.711745	7.51629	77.2639	27.6848	1.65133e-23
50	13	1542.9	27.397764	7.82803	77.2741	27.381	4.59497e-27
50	14	1542.1	27.102832	7.72225	77.2264	27.4369	1.57896e-25
50	15	1541.3	26.798219	7.58824	77.2079	27.5503	1.0448e-23
50	16	1540.5	26.456006	7.39753	77.2207	27.7519	3.61355e-29

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-71, donde se evidencia una notoria amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm si se realiza un análisis con respecto a los resultados considerando una distancia de 25 km y 50 km se puede observar que la amplificación obtenida es menor, no obstante, se sigue considerando eficiente. Adicionalmente, en la Ilustración 4-72 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo en tres de los canales, revelando que en uno de los canales el BER es bajo, pero con algo de ruido y en el otro

canal con menos ruido, pero aun así un bajo valor de BER, por lo cual se puede decir que a medida que la distancia se incrementa la amplificación disminuye y aparece ruido en la señal, pero no de manera excesiva

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km, se encuentran detallados en la Tabla 4-25. La tabla presenta los valores de ganancia, figura de ruido, OSNR y tasa de error de bit (BER) para cada uno de los dieciséis canales. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1550 nm utilizada, se observa que el canal cuatro corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, considerando como uno de los valores altos en ganancia, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 8.78353 dB el cual se considera conveniente al ubicarse dentro de la categoría de valores bajos. Esta evaluación se fundamenta a que a medida que disminuye el valor de la figura de ruido, más eficiente es su transmisión. Para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 26.4306 dB debido a que mayor sea su valor garantiza una transmisión de datos de la señal confiable y los valores de BER para ciertos canales son aproximadamente cero por lo cual se considera una transmisión íntegra de datos en esos canales. Haciendo un análisis comparativo con los valores numéricos obtenidos en la Tabla 4-23 y Tabla 4-24, se puede concluir que mientras menos distancia de fibra óptica los valores de ganancia, figura de ruido y OSNR son más eficientes.

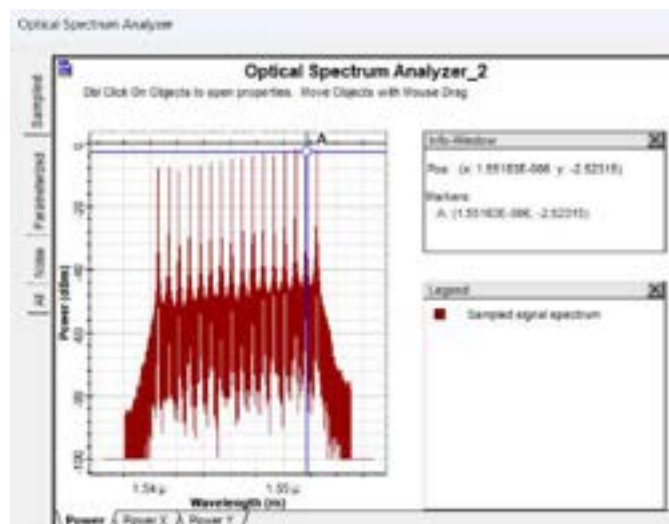
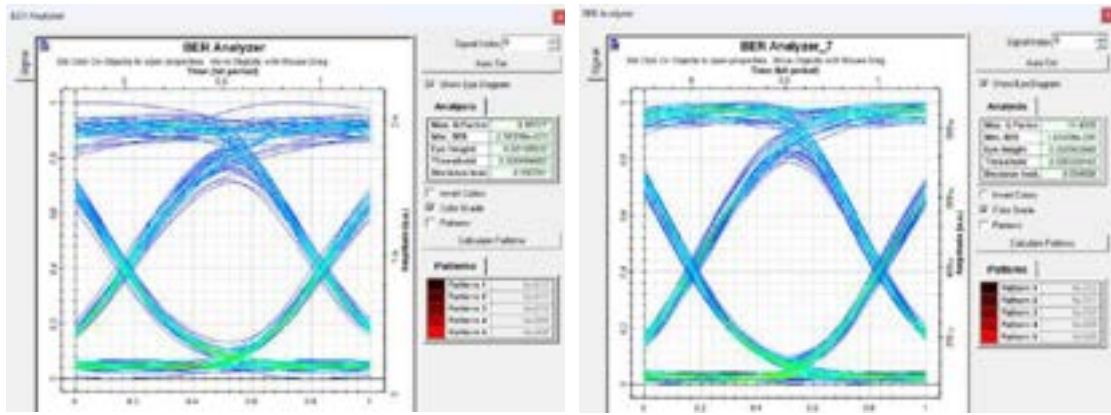


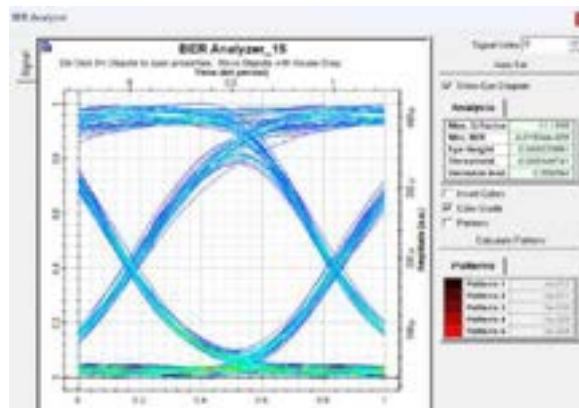
Ilustración 4-71: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.



a)

b)



c)

Ilustración 4-72: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1550 nm para 100 km. a) primer canal b) octavo canal y c) dieciseisavo canal.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-25: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1552.5	22.896362	9.64756	77.2813	25.5967	2.58559e-23
100	2	1551.7	22.473728	8.90718	77.2125	26.2668	5.60442e-22
100	3	1550.9	22.003269	9.37539	77.2073	25.7911	7.38106e-21
100	4	1550.1	21.495202	8.78353	77.2563	26.4306	1.73116e-26
100	5	1549.3	20.958279	8.28285	77.205	26.8789	6.79389e-22
100	6	1548.5	20.40243	7.86251	77.2139	27.3072	1.08157e-25
100	7	1547.7	19.840148	7.52405	77.2614	27.6924	1.99947e-27
100	8	1546.9	19.285356	8.0766	77.2701	27.1462	1.93408e-30

Tabla 4-25 (continuación): Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	9	1546.1	18.752178	7.81273	77.2105	27.3499	2.04477e-28
100	10	1545.3	18.254047	7.62348	77.2116	27.5397	2.03737e-23
100	11	1544.5	17.804907	7.51171	77.2079	27.6471	4.22071e-27
100	12	1543.7	17.416502	7.43611	77.2639	27.7779	3.12335e-23
100	13	1542.9	17.075924	7.77446	77.2741	27.4475	1.74077e-27
100	14	1542.1	16.754446	7.66845	77.2264	27.505	6.03357e-26
100	15	1541.3	16.42327	7.53452	77.2079	27.62	2.1726e-23
100	16	1540.5	16.054488	7.3453	77.2207	27.8222	4.01834e-29

Realizado por: Guano M., 2024.

4.2.2.6 RAMAN 16 canales con longitud de onda de 1565 nm.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-73, donde se evidencia que existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 25 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-73 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información está siendo transmitida de manera correcta.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 25 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-26. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 16 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 8.02407 dB el cual se encuentra dentro de los valores más bajos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 27.2541 dB y los valores de BER para los dieciséis canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria debido a que su ganancia y figura de ruido no se encuentra dentro del rango especificado en la Tabla 2-2.

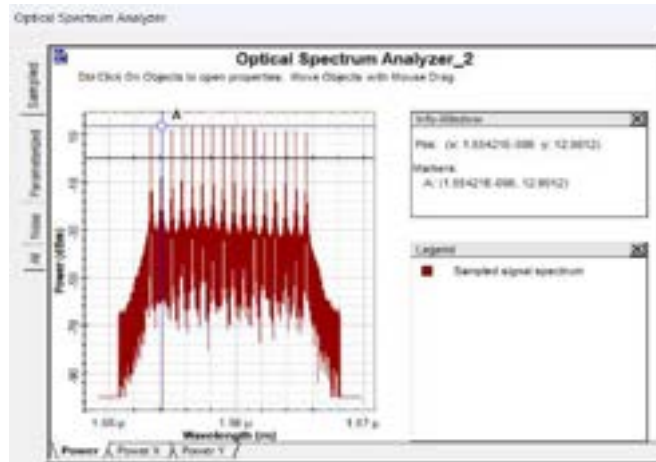


Ilustración 4-73: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

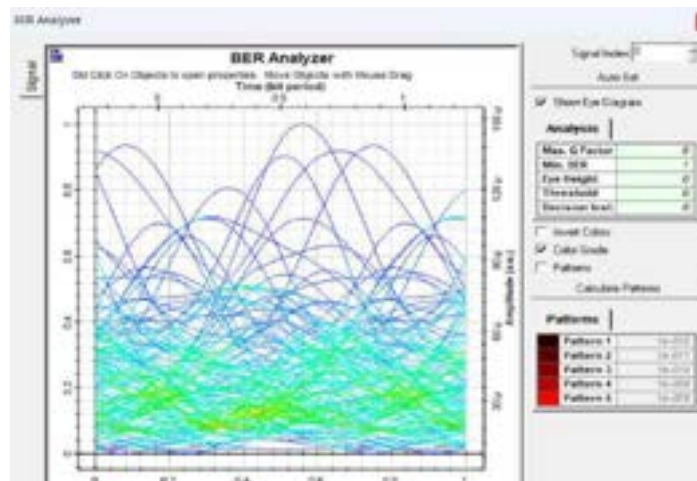


Ilustración 4-74: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-26: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1565.5	35.073748	8.02407	77.2813	27.2541	1
25	2	1564.6	34.951939	8.20774	77.2125	26.9994	1
25	3	1563.8	34.997995	8.15942	77.2073	27.0402	1

Tabla 4-26 (continuación): Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	4	1563.0	35.193129	8.34989	77.2563	26.8964	1
25	5	1562.2	35.494243	8.66494	77.205	26.5278	1
25	6	1561.4	35.857625	9.06225	77.2139	26.1371	1
25	7	1560.6	36.240058	9.48152	77.2614	25.7631	1
25	8	1559.7	36.597901	9.80824	77.2701	25.4427	1
25	9	1558.9	36.888264	9.51562	77.2105	25.6736	1
25	10	1558.1	37.090198	9.80588	77.2116	25.3821	1
25	11	1557.3	37.205062	9.9429	77.2079	25.2391	1
25	12	1556.5	37.235387	9.89397	77.2639	25.3418	1
25	13	1555.7	37.183905	9.64423	77.2741	25.5995	1
25	14	1554.9	37.053331	9.77255	77.2264	25.4212	1
25	15	1554.1	36.846419	9.46766	77.2079	25.7053	1
25	16	1553.33	36.56828	9.06697	77.2207	26.1166	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-75, donde se evidencia que existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 50 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, en la Ilustración 4-76 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal y por esto también la señal se distorsiona.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 50 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-27. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 16 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada, se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de

8.59886 dB el cual se encuentra dentro de los valores más bajos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 26.6796 dB y los valores de BER para los dieciséis canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria debido a que su ganancia y figura de ruido no se encuentra dentro del rango especificado en la Tabla 2-2.

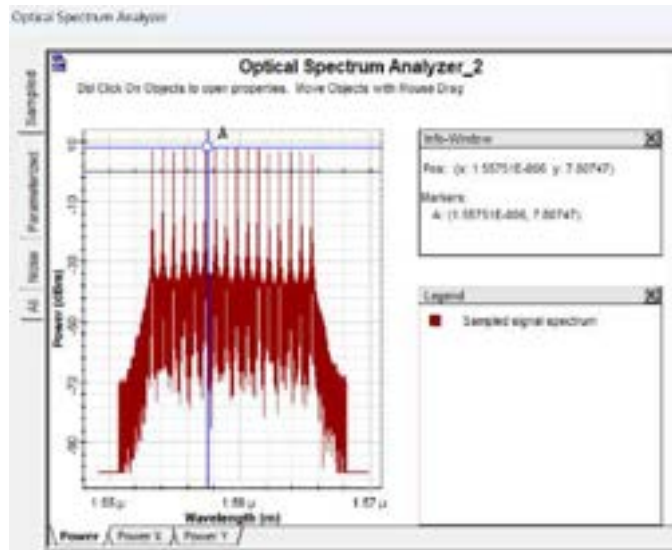


Ilustración 4-75: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

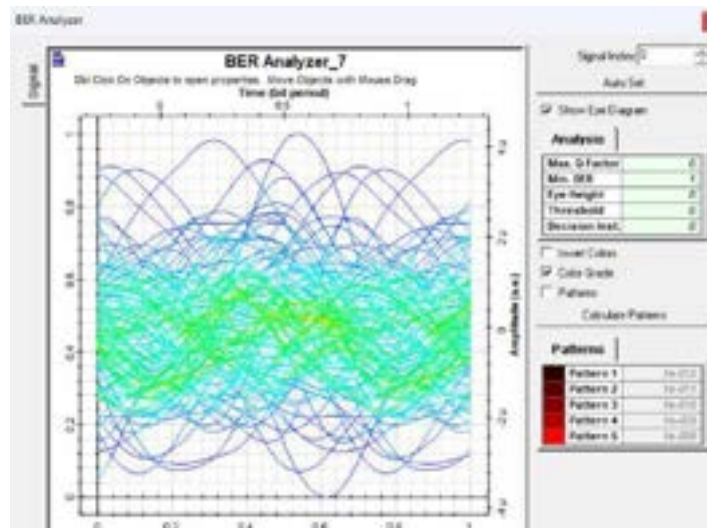


Ilustración 4-76: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-27: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1565.5	30.633614	8.59886	77.2813	26.6796	1
50	2	1564.6	30.444354	8.74881	77.2125	26.4586	1
50	3	1563.8	30.422851	8.76805	77.2073	26.4319	1
50	4	1563.0	30.550738	8.99582	77.2563	26.2508	1
50	5	1562.2	30.785116	9.41247	77.205	25.7805	1
50	6	1561.4	31.082465	9.98383	77.2139	25.2157	1
50	7	1560.6	31.399445	10.6503	77.2614	24.5945	1
50	8	1559.7	31.692121	11.2438	77.2701	24.0073	1
50	9	1558.9	31.917238	11.0164	77.2105	24.1729	1
50	10	1558.1	32.053404	11.5328	77.2116	23.6553	1
50	11	1557.3	32.101668	11.7625	77.2079	23.4196	1
50	12	1556.5	32.064302	11.6212	77.2639	23.6147	1
50	13	1555.7	31.943997	11.1071	77.2741	24.1367	1
50	14	1554.9	31.743624	11.3052	77.2264	23.8887	1
50	15	1554.1	31.46623	10.6718	77.2079	24.5013	1
50	16	1553.33	31.117432	9.94637	77.2207	25.2374	1

Realizado por: Guano M., 2024.

Los resultados obtenidos de la simulación se representan en la Ilustración 4-77, donde se evidencia que existe amplificación en el espectro de salida tras considerar 100 km de fibra óptica, una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm. Adicionalmente, se puede observar que la amplificación obtenida es menor a la de 25 km y 50 km, en la Ilustración 4-78 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo, revelando que en los canales se tiene un BER de 1, lo cual demuestra que existe demasiado ruido en el sistema, tal que la información no está siendo transmitida de manera correcta debido a que el ruido supera la señal.

Los resultados numéricos obtenidos de la simulación, considerando una distancia de 100 km y longitud de onda de 1565 nm, se encuentran detallados en la Tabla 4-28. Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema WDM de 16 canales se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER. Cada canal está asignado a una longitud de onda central específica. Se destaca que la ganancia en cada canal es satisfactoria, ya que una mayor ganancia implica una mejor transmisión de la señal. Al analizar con longitud de onda de 1565 nm utilizada,

se observa que el canal uno corresponde a la mencionada longitud de onda central, su ganancia se sitúa en un rango similar a la de los demás canales, sin embargo, es una de las ganancias más bajas, en cuanto al valor de la figura de ruido (NF), para cierto canal se obtiene un valor de 8.51925 dB el cual se encuentra dentro de los valores más bajos. De igual manera, para el OSNR de salida se tiene un valor considerado de 26.7637 dB y los valores de BER para los cuatro canales es de 1. Por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria debido a que su ganancia y figura de ruido no se encuentra dentro del rango especificado en la Tabla 2-2.

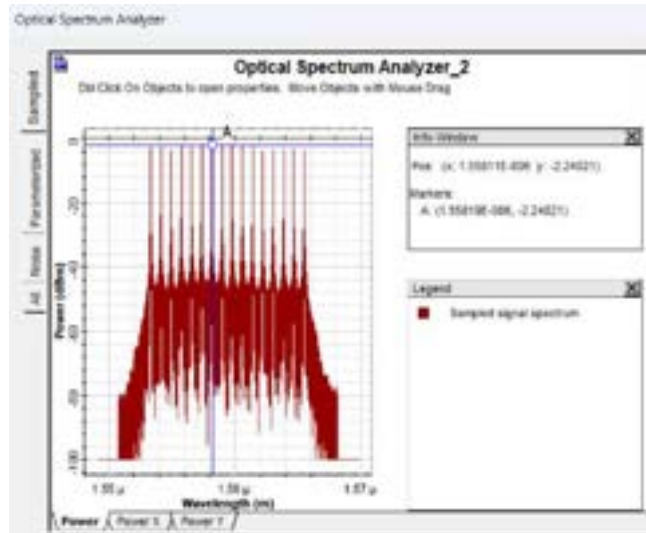


Ilustración 4-77: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

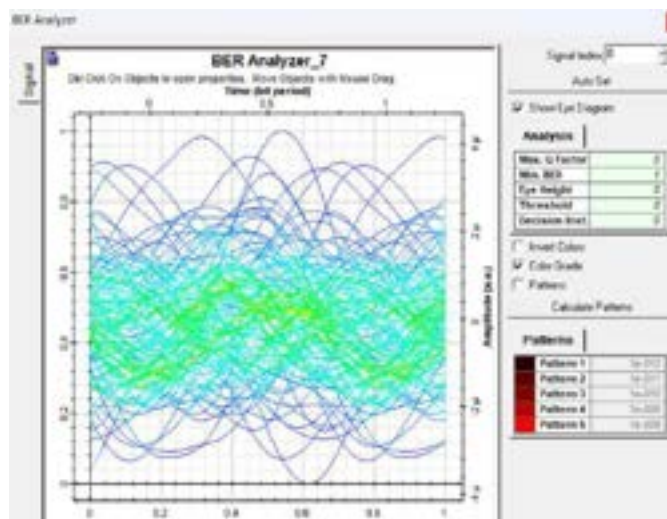


Ilustración 4-78: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 16 canales para amplificador RAMAN con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024

Tabla 4-28: Resultados obtenidos para el amplificador RAMAN en un sistema WDM de 16 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1565.5	20.851511	8.51925	77.2813	26.7637	1
100	2	1564.6	20.629298	8.65522	77.2125	26.5568	1
100	3	1563.8	20.57457	8.70769	77.2073	26.4969	1
100	4	1563.0	20.669175	8.91415	77.2563	26.3368	1
100	5	1562.2	20.870358	9.30019	77.205	25.8966	1
100	6	1561.4	21.134738	9.82837	77.2139	25.3743	1
100	7	1560.6	21.418962	10.4355	77.2614	24.8118	1
100	8	1559.7	21.679011	10.9563	77.2701	24.297	1
100	9	1558.9	21.871527	10.7615	77.2105	24.43	1
100	10	1558.1	21.974939	11.2027	77.2116	23.9872	1
100	11	1557.3	21.990171	11.375	77.2079	23.809	1
100	12	1556.5	21.91939	11.2128	77.2639	24.025	1
100	13	1555.7	21.765285	10.7177	77.2741	24.5284	1
100	14	1554.9	21.530815	10.9499	77.2264	24.2462	1
100	15	1554.1	21.219162	10.3583	77.2079	24.8176	1
100	16	1553.33	20.836171	9.68044	77.2207	25.5069	1

Realizado por: Guano M., 2024.

4.3 Amplificador SOA

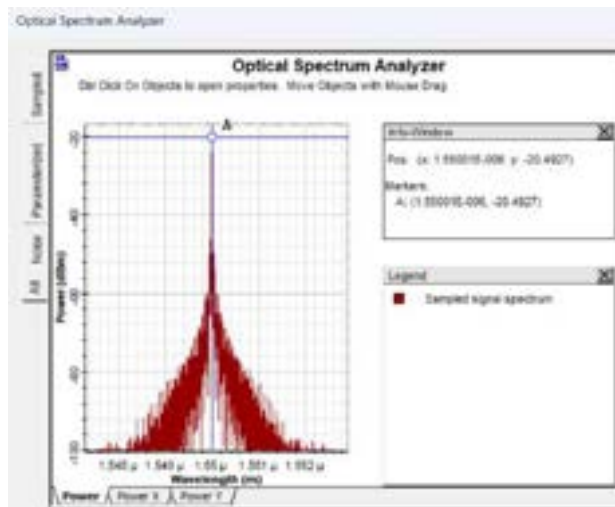
Para obtener los resultados se realizó la simulación tomando en cuenta los siguientes parámetros los cuales se describen en la Tabla 2-1 en el capítulo de Marco Teórico:

- Longitud de onda de operación de 1550 nm y 1565 nm
- Potencia de entrada: -14 dBm, el cual se encuentra en el rango en el que opera el amplificador.
- Corriente: 500mA
- Distancia de fibra óptica: 25 km, 50 km y 100 km, estos valores son considerados tomando en cuenta la elaboración de una planificación de redes ópticas, referenciando como nodos estratégicos donde pueden ser colocados los amplificadores ópticos y así ver el rendimiento y la eficiencia de estos.

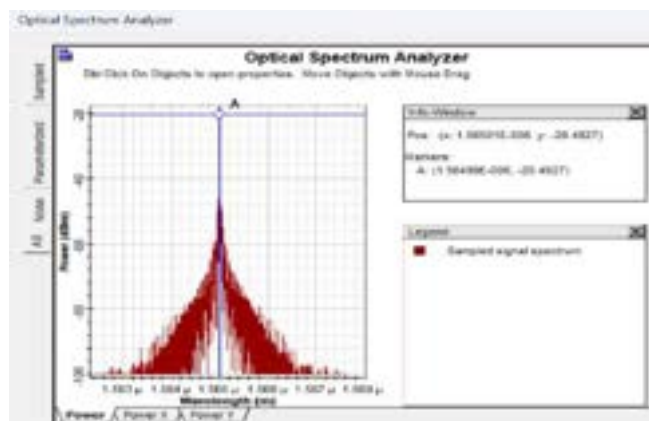
4.3.1 Amplificador SOA Monocanal

En el amplificador para un sistema monocanal se realizó la simulación con una potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-79 se indica el espectro de potencia de la señal

de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia con la que se trabajó en la simulación tanto para longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm



a)



b)

Ilustración 4-79: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema Monocanal del amplificador SOA. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.3.1.1 SOA Monocanal con longitud de onda de 1550 nm

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida del amplificador como se puede ver la amplificación del espectro es considerable después de pasar por todo el método de amplificación como se lo puede observar en la Ilustración 4-80, considerando una longitud de onda de 1550 nm, potencia de -20 dB y con 25 km de fibra óptica, también en la Ilustración 4-81 se tiene el diagrama del ojo con un BER de 1.53509×10^{-19} el cual es aproximadamente cero, en la mayoría de los contextos puede ser considerado bueno en términos de calidad de la comunicación

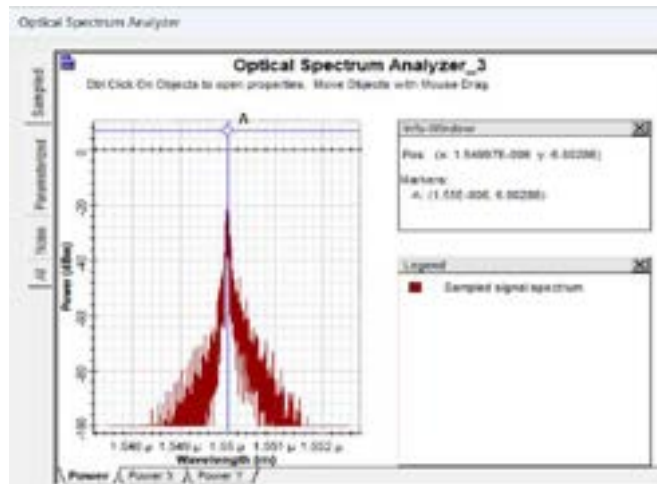


Ilustración 4-80: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

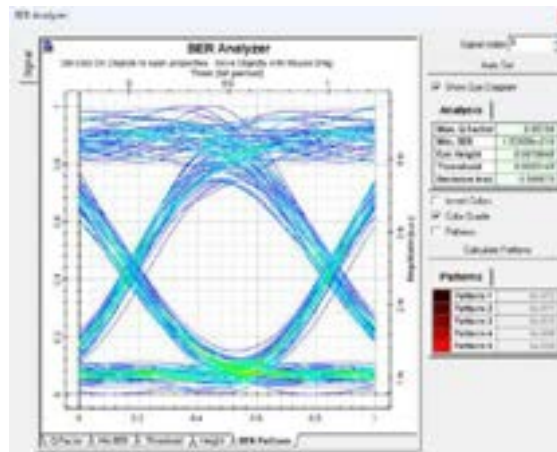


Ilustración 4-81: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida con longitud de onda de 1550 nm considerando una distancia de 50 km, se tiene una amplificación satisfactoria como se puede observar en la Ilustración 4-82. En comparación a los resultados que se obtuvo con la distancia de 25 km, es posible interpretar que a medida que la distancia aumenta, la amplificación tiende a disminuir. Sin embargo, se mantiene una amplificación a un nivel considerado satisfactorio. Se tiene la Ilustración 4-83 donde se puede observar el diagrama del ojo con un BER de 1.48518×10^{-23} en comparación con los resultados obtenidos previamente, se aprecia que el valor se encuentra aproximado a cero lo cual se considera como bueno. Al analizar la imagen del diagrama del ojo,

se deduce que a medida que aumenta la distancia, podría manifestarse una mínima presencia de ruido en la señal, pero el cual no afecta en exceso a la misma.

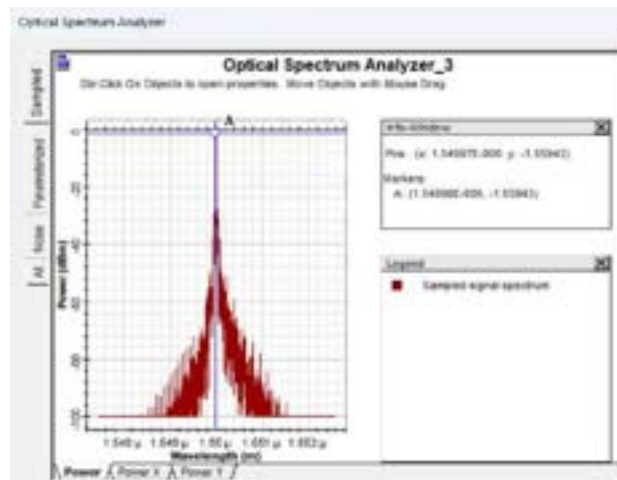


Ilustración 4-82: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 50 km
Realizado por: Guano, M., 2024.

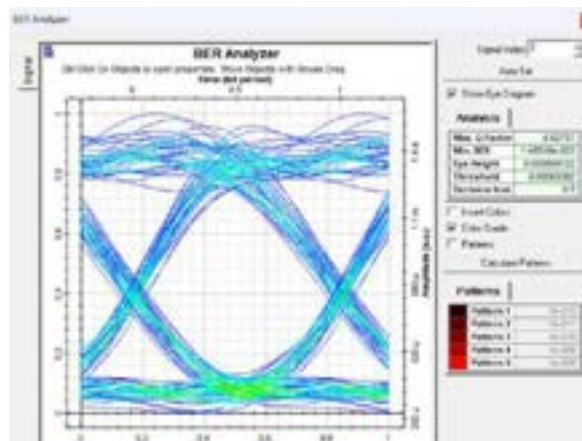


Ilustración 4-83: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

Se tiene el espectro de potencia de la señal de salida con longitud de onda de 1550 nm considerando una distancia de 100 km, se tiene una amplificación satisfactoria como se puede observar en la Ilustración 4-84. En comparación a los resultados que se obtuvo con la distancia de 25 km y 50 km, es posible interpretar que a medida que la distancia aumenta, la amplificación tiende a disminuir. Sin embargo, se mantiene una amplificación a un nivel considerado satisfactorio. Se tiene la Ilustración 4-85 donde se puede observar el diagrama del ojo con un BER de $1.67532e-16$ en comparación con los resultados obtenidos previamente, se aprecia que el valor

se encuentra aproximado a cero lo cual se considera como bueno. Al analizar la imagen del diagrama del ojo, se deduce que a medida que aumenta la distancia, podría manifestarse una mínima presencia de ruido en la señal, pero el cual no afecta en exceso a la misma.

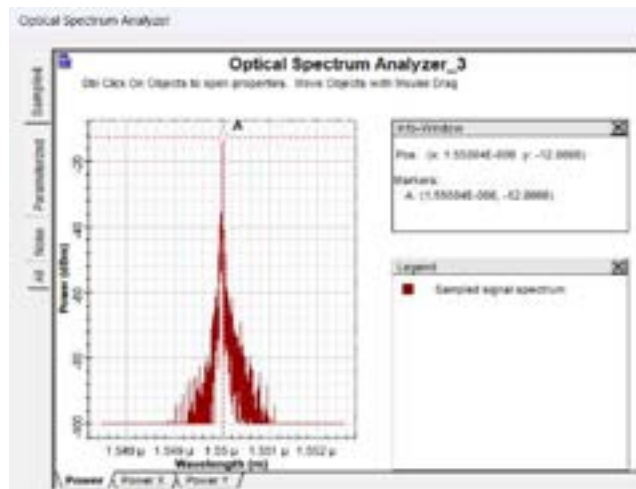


Ilustración 4-84: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 100 km
Realizado por: Guano, M., 2024.

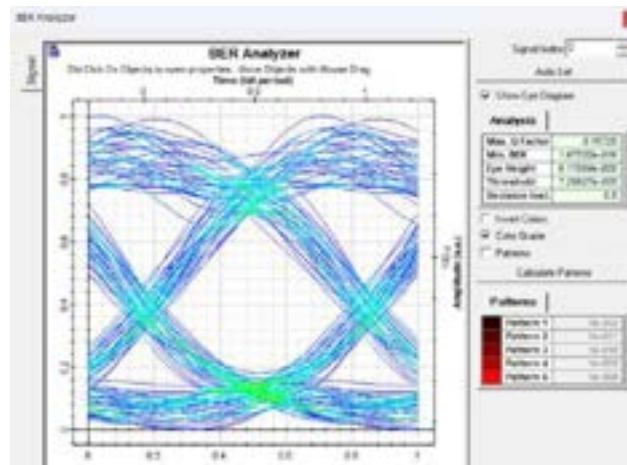


Ilustración 4-85: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.
Realizado por: Guano, M., 2024.

Para los resultados obtenidos mediante la simulación del amplificador EDFA para un sistema monocanal, se consideraron aspectos como la Ganancia, Figura de Ruido, relación señal-ruido óptico (OSNR) tanto de entrada como de salida y el BER para cada una de las distancias previamente especificadas. Tras obtener los resultados numéricos que se observan en Tabla 4-29 y llevar a cabo un análisis, se puede concluir que la simulación realizada con una distancia menor con respecto a la ganancia sugiere una mejor capacidad de amplificación en el sistema, lo cual puede ser de beneficio para compensar pérdidas en el sistema de comunicaciones, en la Figura de Ruido implica que mientras menor sea su valor, es más eficiente en la transmisión de señales de

manera clara, con respecto al OSNR de salida mientras mayor sea su valor, garantiza una transmisión de datos confiable y minimiza la degradación de la señal durante la transmisión. El análisis se lo pudo realizar de manera gráfica como numérica.

Tabla 4-29: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1550 nm.

Distancia (km)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	26.781482	9.69273	77.2803	25.542	1.53509e-19
50	21.770023	9.7063	77.2803	25.5305	1.485183e-23
100	11.767824	9.73623	77.2803	25.5283	1.67532e-16

Realizado por: Guano M., 2024.

4.3.1.2 SOA Monocanal con longitud de onda de 1565 nm

Al llevar a cabo la simulación con una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 25 km, se logró una amplificación que puede ser calificada como satisfactoria, según se evidencia en la Ilustración 4-86. Al comparar estos resultados con los obtenidos en la Ilustración 4-80, donde se emplea una longitud de onda de 1550 nm y la misma distancia, se observa una mejora en la amplificación del espectro de la señal en comparación con la longitud de onda de 1565 nm. Asimismo, al analizar el diagrama del ojo y los valores de la tasa de error de bits (BER) en la Ilustración 4-86, se concluye que el BER con las dos longitudes de onda tienen una buena calidad debido a que la reducción de amplificación no es tan significativa entre las dos longitudes de onda utilizadas.

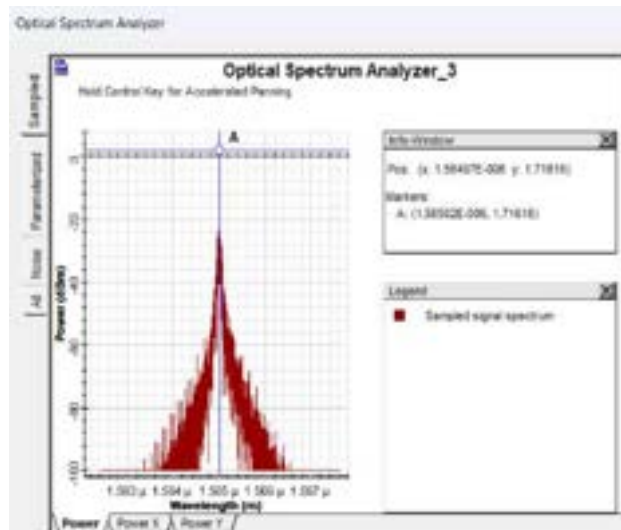


Ilustración 4-86: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 25 km

Realizado por: Guano, M., 2024.

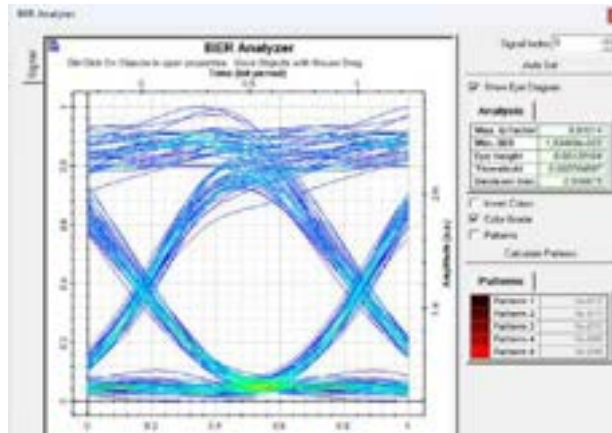


Ilustración 4-87: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Se disponen de los datos de amplificación del espectro de salida de la señal, utilizando una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 50 km, tal como se presenta en la Ilustración 4-88. Aunque el valor de amplificación puede ser catalogado como satisfactorio, al contrastarlo con los resultados previos obtenidos con una longitud de onda de 1550 nm, se nota una mejora en la amplificación con esta última longitud a pesar de que ambos valores se encuentran en un rango similar. El análisis sugiere que a medida que aumenta la distancia de fibra óptica, la amplificación tiende a disminuir. En este escenario, para las dos longitudes de onda, la amplificación es similar, pero considerablemente menor cuando se compara con la distancia de 25 km. Se observa que el diagrama del ojo exhibe poco ruido y el valor de BER es considerado bueno, ya que tienden a aproximarse a cero, según se puede apreciar en la Ilustración 4-89

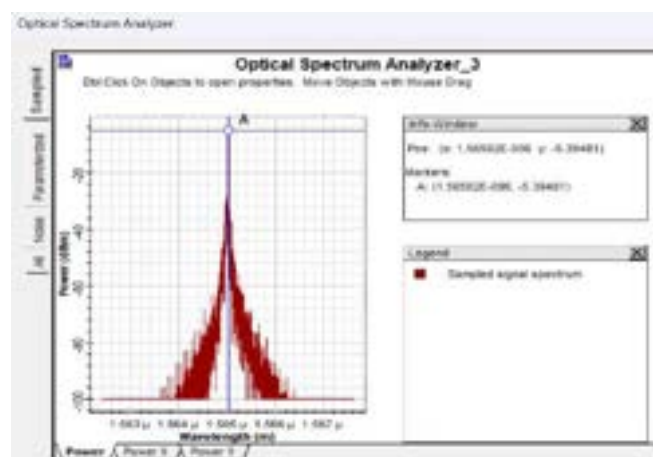


Ilustración 4-88: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 50 km

Realizado por: Guano, M., 2024.

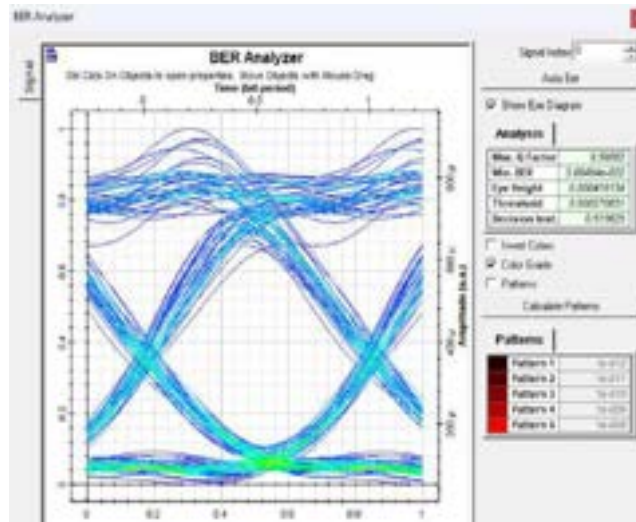


Ilustración 4-89: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Al analizar los resultados de la simulación con una longitud de onda de 1565 nm, una potencia de -20 dB y una distancia de 100 km, se evidencia la presencia de una amplificación un poco notable, como se muestra en la Ilustración 4-90. Al examinar el diagrama del ojo, se revela un nivel de ruido considerable y el BER indica un valor más alto con respecto a los escenarios con distancia de 25 km y 50 km, pero aun así su valor es aproximadamente cero, tal como se aprecia en la Ilustración 4-91.

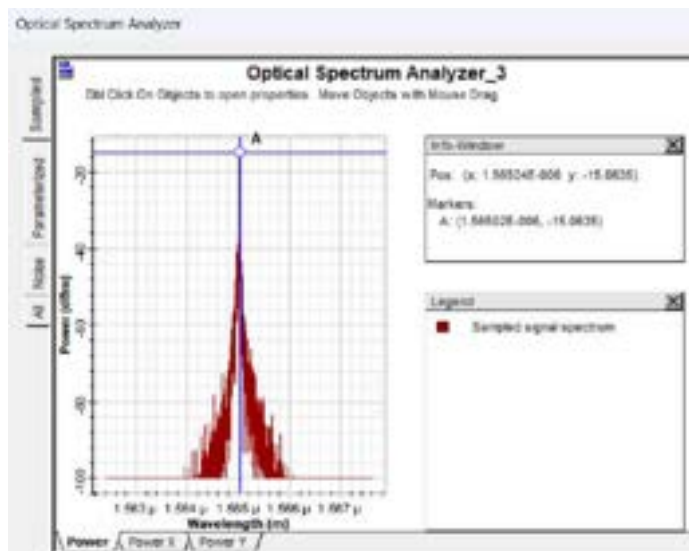


Ilustración 4-90: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema monocanal del amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

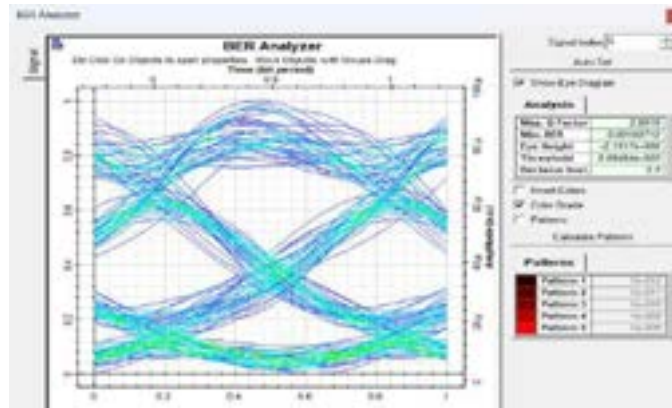


Ilustración 4-91: Diagrama del ojo para un sistema monocanal para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Al analizar los resultados cuantitativos derivados de la simulación realizada con una longitud de onda de 1565 nm y sus diversas variaciones de distancia en la fibra óptica, se observa que a medida que la distancia de la fibra óptica disminuye, los valores asociados a cada parámetro, tales como la ganancia, la figura de ruido y el OSNR son consideradas los mejores cómo se puede ver en la Tabla 4-30.

Tabla 4-30: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema Monocanal con longitud de onda de 1565 nm.

Distancia (km)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	23.734328	10.2532	77.2803	25.0241	1.53385e23
50	18.735439	10.2559	77.2803	25.0252	3.88484e-22
100	8.7372438	10.3031	77.2803	25.027	0.00190712

Realizado por: Guano M., 2024.

Al realizar una comparación entre los datos presentados en la Tabla 4-29 y la Tabla 4-30, se evidencia que los valores registrados en la Tabla 4-29 son más favorables para la amplificación utilizando la longitud de onda de 1550 nm. Esto se debe a que la ganancia en esta longitud de onda es superior en comparación con las diferentes distancias y la longitud de onda de 1565 nm. Este aumento en la ganancia contribuye significativamente a lograr una amplificación más efectiva. En cuanto, la figura de ruido tiene un valor similar entre las dos longitudes, lo que favorece la eficiencia en la transmisión de señales al proporcionar una mayor claridad. En cuanto al OSNR, se destaca que es el valor más alto, lo que beneficia una transmisión adecuada y ayuda a disminuir el ruido presente en la señal.

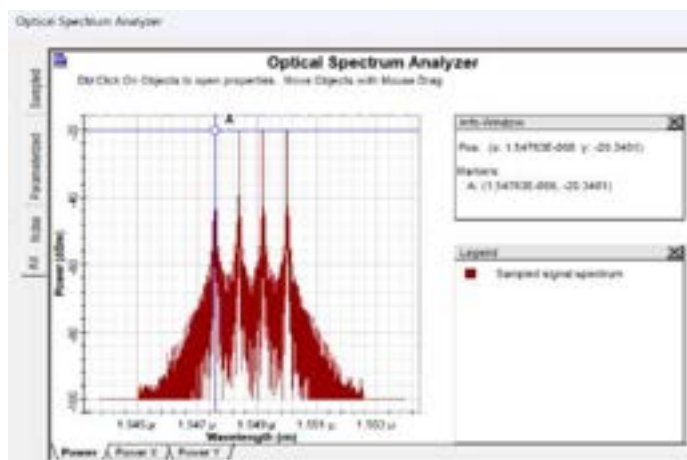
En resumen, tras el análisis detallado, se concluye que el amplificador SOA para un sistema monocanal funciona de manera más eficiente al operar con una longitud de onda de 1550 nm,

dato que con la designada longitud de onda se lograron resultados superiores en la amplificación de la señal durante la simulación, a pesar de que con la longitud de onda de 1565 nm se obtuvo amplificaciones no tan distantes y sus resultados numéricos también son similares.

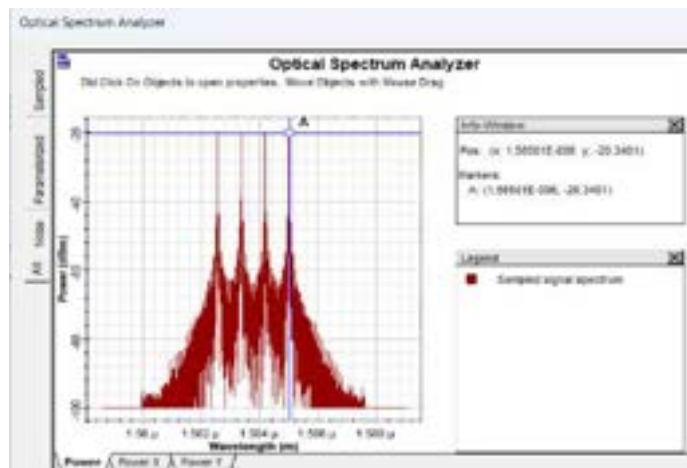
4.3.2 Amplificador SOA Multicanal

4.3.2.1 Señal de entrada SOA 4 canales.

En el amplificador para un sistema multicanal se realizó la simulación con potencia de -20 dBm como se puede observar en la Ilustración 4-92, se indica el espectro de potencia de la señal de entrada, el cual en el punto A indica el valor de la potencia con la que se va a trabajar en el escenario tanto para longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm.



a)



b)

Ilustración 4-92: Espectro de potencia de la señal de entrada para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA. a) longitud de onda de 1550 nm y b) longitud de onda de 1565 nm.

Realizado por: Guano, M., 2024.

4.3.2.2 SOA 4 canales con longitud de onda de 1550 nm.

Los resultados obtenidos de las simulaciones se encuentran representados en la Ilustración 4-93, Ilustración 4-95 e Ilustración 4-97 tomando en consideración distancias de 25 km, 50 km y 100 km respectivamente, se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1550 nm para cada uno de los casos. Adicionalmente, en la Ilustración 4-94, Ilustración 4-96 e Ilustración 4-98 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de uno de los canales, revelando que en los canales existe demasiado ruido. Debido a la existencia del efecto de diafonía el cual consiste en que cuando existen dos circuitos y parte de las señales presentes en uno de ellos perturba a la señal del otro circuito, a esto se le considera una perturbación electromagnética debido a que el amplificador SOA trabaja con corriente, este se ve afectado principalmente cuando exista un sistema multicanal. También se puede comprobar de manera numérica como se aprecia en la Tabla 4-31, Tabla 4-32 y Tabla 4-33, en donde se obtuvo valores negativos de ganancia, su figura de ruido se encuentra fuera del rango permitido descrito en sus características que se muestran en la Tabla 2-3 y su OSNR de salida llegan a tomar valores idénticos a los de entrada. Además, el valor del BER para los 4 canales de cada escenario es de 1, por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria.

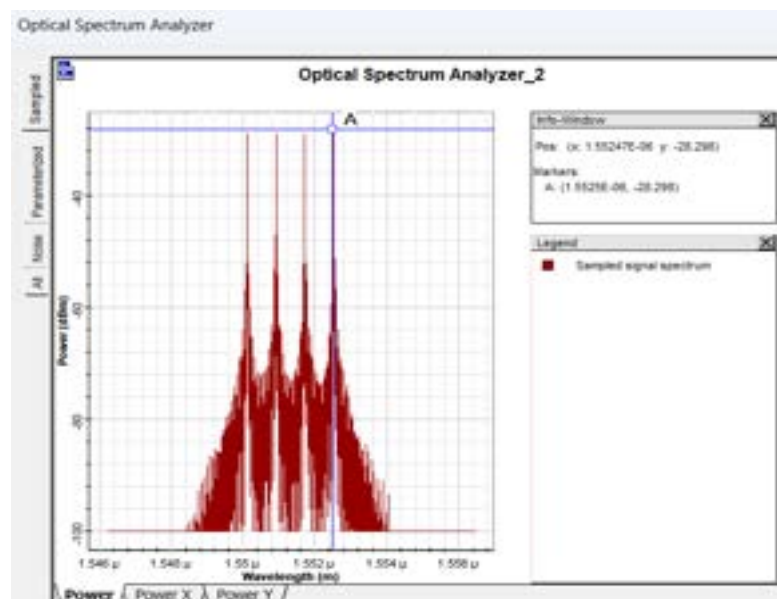


Ilustración 4-93: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

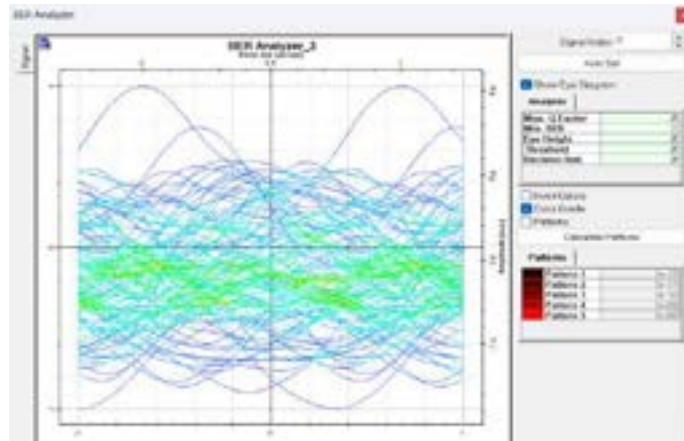


Ilustración 4-94: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-31: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1552.5	-5.000085	5.000085	77.272399	72.272314	1
25	2	1551.7	-5.0006888	5.0006888	77.220563	72.219874	1
25	3	1550.9	-4.9983058	4.9983058	77.214264	72.215958	1
25	4	1550.1	-5.000892	5.000892	77.219579	72.218687	1

Realizado por: Guano M., 2024.

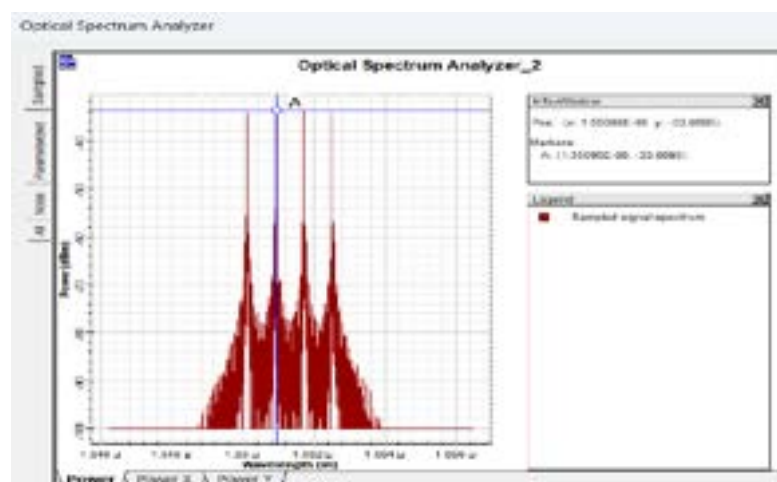


Ilustración 4-95: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

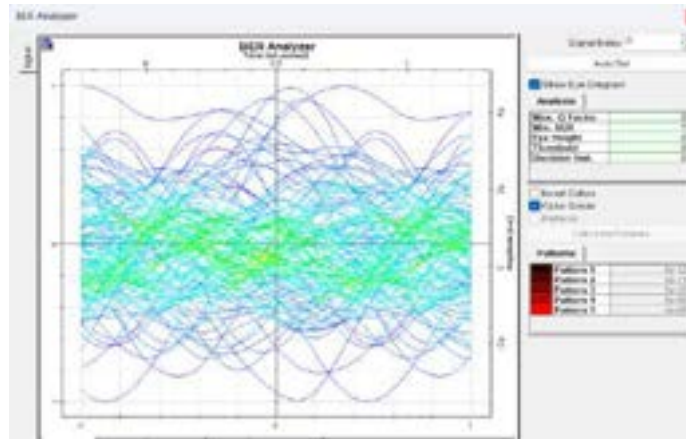


Ilustración 4-96: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-32: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (dB)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1552.5	-10.001362	10.001362	77.281088	67.279726	1
50	2	1551.7	-9.9981691	9.9981691	77.223612	67.225443	1
50	3	1550.9	-9.9994837	9.9994837	77.208808	67.209324	1
50	4	1550.1	-10.000939	10.000939	77.220127	67.219188	1

Realizado por: Guano M., 2024.

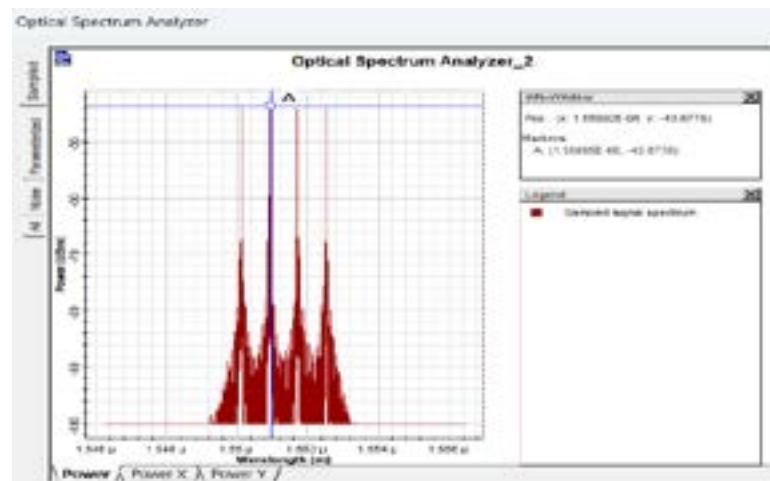


Ilustración 4-97: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

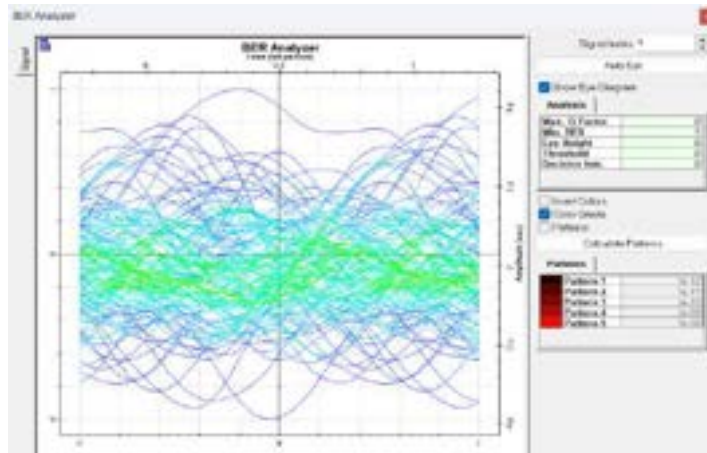


Ilustración 4-98: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-33: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1550 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1552.5	-20.000055	20.000055	77.271367	57.271312	1
100	2	1551.7	-20.000185	20.000185	77.214417	57.214232	1
100	3	1550.9	-19.999439	19.999439	77.214718	57.215279	1
100	4	1550.1	-20.000311	20.000311	77.22164	57.221329	1

Realizado por: Guano M., 2024.

4.3.2.3 SOA 4 canales con longitud de onda de 1565 nm

Los resultados obtenidos de las simulaciones se encuentran representados en la Ilustración 4-99, Ilustración 4-101 e Ilustración 4-103 tomando en consideración distancias de 25 km, 50 km y 100 km respectivamente, se evidencia que no existe amplificación en el espectro de salida tras considerar una potencia de -20 dB y una longitud de onda de 1565 nm para cada uno de los casos. Adicionalmente, en la Ilustración 4-100, Ilustración 4-102 e Ilustración 4-104 se presentan los datos correspondientes al diagrama del ojo de uno de los canales, revelando que en los canales existe demasiado ruido. Debido a la existencia del efecto de diafonía el cual consiste en que cuando existen dos circuitos y parte de las señales presentes en uno de ellos perturba a la señal del otro circuito, a esto se le considera una perturbación electromagnética debido a que el amplificador SOA trabaja con corriente, este se ve afectado principalmente cuando exista un sistema multicanal. También se puede comprobar de manera numérica como se aprecia en la Tabla 4-34, Tabla 4-35 y Tabla 4-36, en donde se obtuvo valores negativos de ganancia, su figura

de ruido se encuentra fuera del rango permitido descrito en sus características que se muestran en la Tabla 2-3 y su OSNR de salida llegan a tomar valores idénticos a los de entrada. Además, el valor del BER para los 4 canales de cada escenario es de 1, por lo que se puede concluir que con esta longitud de onda el amplificador no opera de manera satisfactoria.

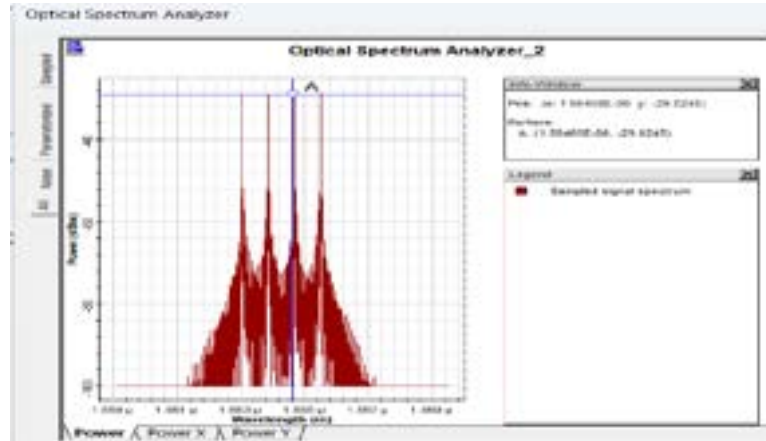


Ilustración 4-99: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

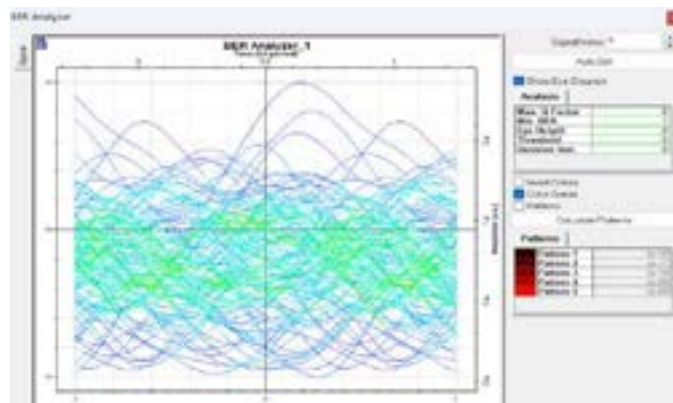


Ilustración 4-100: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-34: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 25 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
25	1	1565.4	-5.0015878	5.0015878	77.282994	72.281406	1
25	2	1564.6	-4.9977971	4.9977971	77.227393	72.229596	1
25	3	1563.8	-4.9995285	4.9995285	77.205232	72.205703	1
25	4	1563.0	-5.0010281	5.0010281	77.216542	72.215514	1

Realizado por: Guano M., 2024.

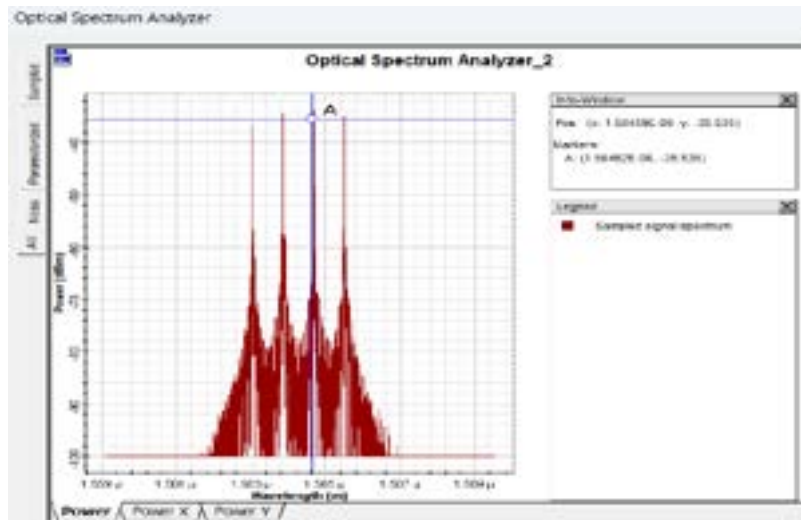


Ilustración 4-101: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

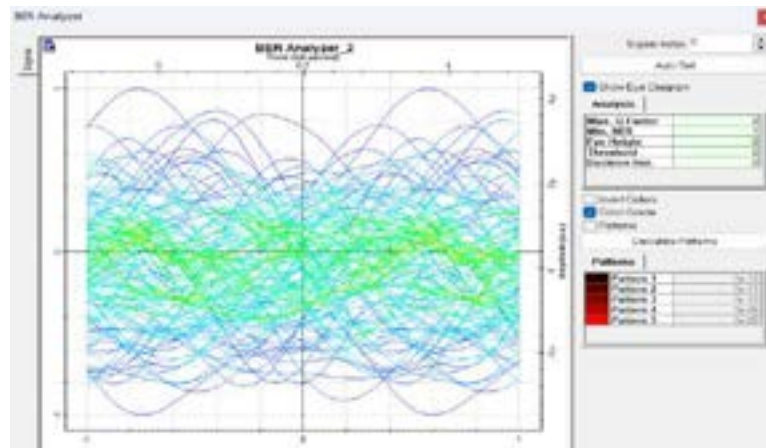


Ilustración 4-102: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-35: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 50 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
50	1	1565.4	-9.9997524	9.9997524	77.273666	67.273913	1
50	2	1564.6	-10.000408	10.000408	77.215907	67.215499	1
50	3	1563.8	-9.9998584	9.9998584	77.217375	67.217516	1
50	4	1563.0	-9.9999433	9.9999433	77.228247	67.228304	1

Realizado por: Guano M., 2024.

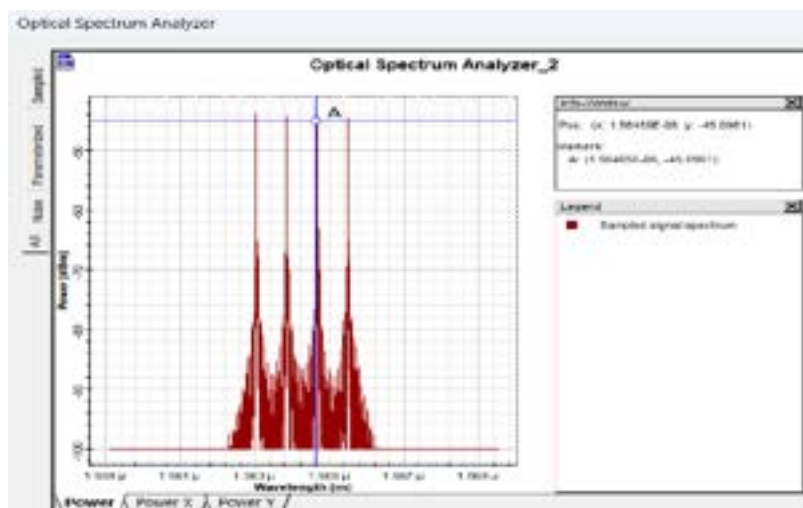


Ilustración 4-103: Espectro de potencia de la señal de salida para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

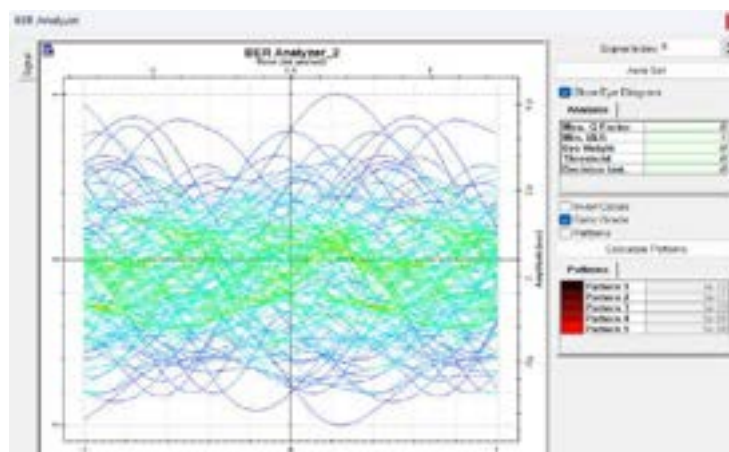


Ilustración 4-104: Diagrama del ojo para un sistema WDM de 4 canales para amplificador SOA con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Realizado por: Guano, M., 2024.

Tabla 4-36: Resultados obtenidos para el amplificador SOA en un sistema WDM de 4 canales con longitud de onda de 1565 nm para 100 km.

Distancia (km)	Canales	Longitud de Onda (nm)	Ganancia (dB)	Figura del Ruido (NF)(dB)	Input OSNR (dB)	Output OSNR (dB)	Mínimo BER
100	1	1565.4	-20.000829	-20.000829	77.274032	57.273203	1
100	2	1564.6	-19.998219	-19.998219	77.224827	57.226608	1
100	3	1563.8	-20.001045	-20.001045	77.219265	57.21822	1
100	4	1563.0	-19.999882	-19.999882	77.220344	57.220462	1

Realizado por: Guano M., 2024

4.4 Comparación de resultados de los amplificadores ópticas

Para realizar la comparación entre los amplificadores EDFA, RAMAN y SOA se tomará en cuenta la ganancia, figura de ruido, OSNR y BER en base a la variación de distancia, ventanas de transmisión, tipo de sistema monocanal y multicanal.

4.4.1 Comparación con respecto a la distancia y longitud de onda para sistema monocanal

Tabla 4-37: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 25 km para sistema monocanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	25 km	25 km	25 km
Longitud de onda	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Ganancia	34.5337 dB	21.776072 dB	26.781482 dB
Figura de Ruido	3.6778 dB	5.80373 dB	9.69273 dB
OSNR	31.56724 dB	29.4515 dB	25.542 dB
BER	1.3524e-120	2.638889e-21	1.53509e-19

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-38: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 50 km para sistema monocanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	50 km	50 km	50 km
Longitud de onda	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Ganancia	29.2532 dB	19.148689 dB	21.770023 dB
Figura de Ruido	4.1657 dB	6.95131 dB	9.7063 dB
OSNR	31.071975 dB	28.2958 dB	25.5305 dB
BER	2.32038e-20	1.65755e-20	1.485183e-23

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-39: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 100 km para sistema monocanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	100 km	100 km	100 km
Longitud de onda	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Ganancia	19.2277 dB	15.026607 dB	11.767824 dB
Figura de Ruido	4.20976 dB	10.8011 dB	9.73623 dB
OSNR	31.045699 dB	24.4515 dB	25.5283 dB
BER	1.95573e-17	1.35337e-16	1.67532e-16

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-40: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 25 km para sistema monocanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	25 km	25 km	25 km
Longitud de onda	1565 nm	1565 nm	1565 nm
Ganancia	28.1385 dB	19.980617 dB	23.734328 dB
Figura de Ruido	3.25132 dB	5.87014 dB	10.2532 dB
OSNR	32.030978 dB	29.4261dB	25.0241 dB
BER	6.79381e-99	2.61619e-21	1.53385e-23

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-41: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 50 km para sistema monocanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	50 km	50 km	50 km
Longitud de onda	1565 nm	1565 nm	1565 nm
Ganancia	23.134631 dB	17.774607 dB	18.735439 dB
Figura de Ruido	3.262011 dB	7.08928 dB	10.2559 dB
OSNR	32.027102 dB	28.1967 dB	25.0252 dB
BER	4.6273e-41	2.20158e-20	3.88484e-22

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-42: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 100 km para sistema monocanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	100 km	100 km	100 km
Longitud de onda	1565 nm	1565 nm	1565 nm
Ganancia	13.135607 dB	13.037422 dB	8.7372438 dB
Figura de Ruido	3.3497345 dB	13.037422 dB	10.3031 dB
OSNR	32.028078 dB	24.0459 dB	25.027 dB
BER	1	2.44062e-15	0.00190712

Realizado por: Guano M., 2024

4.4.2 Comparación con respecto a la distancia y longitud de onda para sistema multicanal

Tabla 4-43: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 25 km para sistema multicanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	25 km	25 km	25 km
Longitud de onda	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Ganancia	27.181656 dB	37.047267dB	-4.9983058 dB
Figura de Ruido	4.49481 dB	8.93133 dB	4.9983058 dB
OSNR	30.5191 dB	26.2788 dB	72.215958 dB
BER	2.39971e-007	1.93168e-26	1

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-44: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 50 km para sistema multicanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	50 km	50 km	50 km
Longitud de onda	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Ganancia	22.168373 dB	31.567533 dB	-10.000939 dB
Figura de Ruido	4.51447 dB	9.00743 dB	10.000939 dB
OSNR	30.5058 dB	26.203 dB	67.219188 dB
BER	3.48609e-006	2.3517e-26	1

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-45: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1550 nm y distancia de 100 km para sistema multicanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	100 km	100 km	100 km
Longitud de onda	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Ganancia	12.178837 dB	21.495202 dB	-20.000311 dB
Figura de Ruido	4.5871 dB	8.78353 dB	20.000311 dB
OSNR	30.5162 dB	26.4306 dB	57.221329 dB
BER	0.000901691	1.73116e-26	1

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-46: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 25 km para sistema multicanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	25 km	25 km	25 km
Longitud de onda	1565 nm	1565 nm	1565 nm
Ganancia	26.261095 dB	35.073748 dB	-5.0015878 dB
Figura de Ruido	5.0314943 dB	8.02407 dB	5.0015878 dB
OSNR	-11.710161 dB	27.2541 dB	72.281406 dB
BER	1	1	1

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-47: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 50 km para sistema multicanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	50 km	50 km	50 km
Longitud de onda	1565 nm	1565 nm	1565 nm
Ganancia	21.257829 dB	30.633614 dB	-9.9997524 dB
Figura de Ruido	5.0417289 dB	8.59886 dB	9.9997524 dB
OSNR	-11.718033 dB	26.6796 dB	67.273913 dB
BER	1	1	1

Realizado por: Guano M., 2024

Tabla 4-48: Comparación entre el amplificador EDFA, RAMAN y SOA con longitud de onda de 1565 nm y distancia de 100 km para sistema multicanal.

Amplificadores Parámetros	EDFA	RAMAN	SOA
Distancia	100 km	100 km	100 km
Longitud de onda	1565 nm	1565 nm	1550 nm
Ganancia	11.260855 dB	20.851511 dB	-20.000829 dB
Figura de Ruido	5.129386 dB	8.51925 dB	-20.000829 dB
OSNR	-11.699712 dB	26.7637 dB	57.273203 dB
BER	1	1	1

Realizado por: Guano M., 2024

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Al obtener los resultados de la simulación con los diferentes valores de longitud de onda y distancias se determinó que el amplificador EDFA con una longitud de onda de 1550 nm y 25 km de fibra óptica para monocanal presenta una amplificación del doble de su valor en la potencia de la señal de entrada teniendo una potencia de entrada de -20 dB como se tiene en la Ilustración 4-1 siendo amplificada a 10.1642 dB como se obtuvo en la Ilustración 4-2, además proporciona valores altos de ganancia sin ninguna degradación significativa del rendimiento.
- Al realizar la comparación entre los tres amplificadores para un sistema monocanal con una distancia de 100 km y longitud de onda de 1550 nm, se tiene que el amplificador EDFA es el más eficiente para trabajar con una amplia ganancia en esa longitud de onda y distancia, debido a que tiene el valor de ganancia más alta entre los tres de 19.2277 dB, por lo cual la transmisión de los datos es confiable. Por otra parte, de los tres el menos eficiente viene a ser el amplificador Raman con longitud de onda de 1550 nm y 100 km debido a que su ganancia tiene el valor más bajo de 11.767824 dB como se puede observar en la Tabla 4-39.
- Se pudo comprobar que el amplificador RAMAN puede tener una buena amplificación si se utiliza una potencia de entrada de -20 dB y una potencia de bombeo de 1455 nm, debido a que estas potencias ayudaran a obtener un valor considerado tanto en su amplificación de espectro de la señal como su ganancia.
- Al realizar una comparación con los tres amplificadores se pudo comprobar que para un sistema multicanal el amplificador RAMAN es el más eficiente en la amplificación del espectro de potencia para una longitud de onda de 1550 nm tanto para 4 canales con una amplificación hasta -0.924428 dB y 16 canales con amplificación hasta 13.5211 dB y para una longitud de onda de 1565 nm tanto para 4 canales con una amplificación hasta -2.44047 dB y 16 canales con amplificación hasta 12.9012 dB.
- El amplificador SOA para un sistema monocanal amplifica de manera satisfactoria en el rango de longitud de onda de 1550 nm y 1565 nm, pero para un sistema multicanal no existe amplificación ya que existe demasiado ruido en los canales debido al efecto de diafonía, a esto se le considera una perturbación electromagnética debido a que el amplificador SOA trabaja con corriente.

5.2 Recomendaciones

- Para trabajos futuro, el presente trabajo se realizó con un rango de longitud de onda de 1550 nm a 1565 nm, se recomienda analizar en un rango diferente para poder observar que tipo de funcionamiento tendrían los amplificadores ópticos
- Para poder realizar los diferentes escenarios de simulación revisar previamente el funcionamiento del software y sus componentes para así poder obtener resultados satisfactorios e investigar los parámetros claves de cada uno de los amplificadores ópticos como su potencia de entrada, longitud de onda de operación y potencia de bombeo.
- Ajustar la potencia de entrada de los amplificadores para obtener el equilibrio óptimo de una ganancia y una figura de ruido aceptable.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGRAWAL, Govin P.** *Fiber-Optic Communication Systems* [en línea]. 3ª ed. Rochester-USA: Wiley-Interscience, 2002. [Consulta: 10 octubre 2023]. Disponible en: <https://gctjaipur.files.wordpress.com/2015/08/fiber-optic-communication-systems.pdf>
2. **AGRAWAL, Govind P.** *Fiber-Optic Communication System* [en línea]. 4ª ed. Rochester-USA: A JOHN WILEY & SONS, 2011. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/Tutoriales/Norma%20ISO%20690.pdf>.
3. **AGRAWAL, Govind P.** *Raman Amplification in Fiber Optical Communication Systems* [en línea]. Oxford-United Kingdom: Elsevier Inc, 2005. [Consulta: 25 octubre 2023]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=llzJB8qKGBEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
4. **AGUACAZO RODRÍGUEZ, Cristian Davi & VARGAS SIERRA, Cristian David.** Evaluación del amplificador óptico de semiconductor reflectivo en redes ópticas de acceso pasivas. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2018. págs. 47-49. [Consulta: 2023-11-14]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7982/Aguazaco%20Rodr%EDguez%20Cristian%20David%202018.pdf?sequence=1>
5. **CABEZAS, Andres Felipe & PINTO, Ricardo Alfonso.** *Sistemas de Comunicaciones Ópticas* [en línea]. Bogotá-Colombia: Edición en Español, 2014. [Consulta: 15 agosto 2024]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11995/Com%20opticas%20V.2014-03-28%20PDF.pdf>.
6. **CHAN GARCÍA, Adrián Emmanuel.** *Fibra Óptica: Evolución, Estándares y Aplicaciones.* [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingeniería. Chetumal-México. 2020. págs. 13-20. [Consulta: 2023-07-10]. Disponible en: <http://rasisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/2610/TA1800.2020-2610.pdf?ipe>.
7. **FERMOSO SANTOS, Pablo.** Diseño e implementación de un controlador para un amplificador óptico EDFA con fines didácticos. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad de Alcalá. Madrid-España. 2020. págs. 41-46. [Consulta: 2023-07-06]. Disponible en: https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/43677/TFG_Fermoso_Santos_2020.pdf

8. **GUARDIA LÓPEZ, Samuel.** Amplificadores Ópticos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú. 2021. págs. 1-4. [Consulta: 2023-11-11]. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-mayor-de-san-marcos/mecanica-de-medios-continuos/amplificadores-opticos/3516503?origin=organic-success-document-viewer-cta>
9. **GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ, Jaime.** Investigación Experimental de la Dispersión Raman y Generación de Supercontinuo en Fibras Ópticas Utilizando Pulsos de un Diodo Laser DFB. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Doctorado). Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. Tonantzintla-México. 2007. págs. 43-51. [Consulta: 2023-11-13]. Disponible en: <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/617/1/GutierrezGuJ.pdf>
10. **HERNÁNDEZ PÉREZ, Eliú Mizraim.** Tecnología e Implementación de Fibra Óptica en la Instrumentación de Control Industrial. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala-Guatemala. 2018. págs. 40-45. [Consulta: 2023-07-14]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9974/1/Eliú%20Mizraim%20Hernández%20Pérez.pdf>
11. **HERRERA NIVELLO, Carlos Enrique & TITE LEÓN, Julissa Maria.** Simulación y Análisis para la optimización de ganancia y BER de un amplificador EDFA para la transmisión de un paquete 3Play por fibra óptica usando sistema WDM para la Parroquia Urbana Gonzanamá del Cantón Gonzanamá de la Provincia de Loja. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Guayaquil-Ecuador. 2022. págs. 22-25. [Consulta: 2023-11-07]. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cc3995f8-cf51-4f0d-87cb4c3c42cfa4a0/content>
12. **HOYOS MAROTO, Angel Javier.** Estudio y Diseño de una Red LR-PON de Alta Disponibilidad Empleando Conmutación Óptica y Enlaces Redundantes. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería. Quito-Ecuador. 2016. págs. 31-44. [Consulta: 2023-08-02]. Disponible en: <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bdfbe5f0-f54f-49af-9ff7-368f2134c749/content>
13. **ITU-T.** *International Telecommunication Union*. [en línea]. Ginebra: UIT, 2016. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I>
14. **ITU-T.** *International Telecommunication Union*. [en línea]. Ginebra: UIT, 2010. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653-201007-I>
15. **ITU-T.** *International Telecommunication Union*. [en línea]. Ginebra: UIT, 2009. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I>

16. **ITU-T.** *International Telecommunication Union*. [en línea]. Ginebra: UIT, 2010. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.656-201007-I>
17. **ITU-T.** *International Telecommunication Union*. [en línea]. Ginebra: UIT, 2016. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-201611-I>
18. **ITU-T.** *International Telecommunication Union*. [en línea]. Ginebra: UIT, 2020. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.654-202003-I>
19. **JARABO LALLANA, Sebastián.** Estudio teórico y experimental de amplificadores de fibra óptica dopada con erbio. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Doctorado). Universidad de Zaragoza, Departamento de Física Aplicada . Zaragoza-España. 1994. págs. 215-216. [Consulta: 2023-07-22]. Disponible en: https://zaguan.unizar.es/record/1897/files/TUZ_0024_jarabo_01.pdf
20. **KEISER, Gerd.** *Optical Communications Essentials* [en línea]. Nueva York-USA: McGraw-hill Companies Inc, 2004. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=ziBtjve_CtgC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false
21. **LANCHI RUEDA, Luis Eduardo.** Diseño de la Red de Acceso de la Universidad Nacional de Loja, Basada en la Tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network). [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 2015. págs. 24-28. [Consulta: 2023-11-17]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11128/1/Lanchi%20Rueda%2C%20Luis%20eduardo.pdf>
22. **MANZANEDO MARTÍNEZ, María Dolores.** Aplicación de los amplificadores ópticos de semiconductor a la fotónica de microondas. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Doctorado). Universidad Politécnica de València, Departamento de Comunicaciones. Valencia-España. 2013. págs. 11-20. [Consulta: 2023-11-14]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/6b02/7fe7a3959f01076874d237d25bccf39497d0.pdf>
23. **MARTIN PEREDA, Jose Antonio.** Comunicaciones Ópticas. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación . Madrid-España. 2014. págs. 217-222. [Consulta: 2023-08-17]. Disponible en: https://oa.upm.es/25625/1/Comunicaciones_opticas_2.pdf
24. **MELLENDEZ VENEGAS, Luis Diego.** Estudio de Integración de Redes DWDM con las Redes Metro Ethernet. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad de Costa Rica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio-Costa Rica. 2013. págs. 18-21. [Consulta: 2023-11-13]. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/1620/1/37012.pdf>

25. **MOLINA LUNA, Javier.** Diseño de un Enlace de Comunicaciones Óptico Utilizando un SOA Modulado Directamente y Procesamiento Digital de Señales. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México-México. 2023. págs. 22-29. [Consulta: 2023-11-17]. Disponible en: https://odin.fi-b.unam.mx/labdsp/files/Tesis/Tesis_JML_2023.pdf
26. **MORENO, Sergio & TORRES, Daniel & PUERTO, Gustavo.** "Análisis y comparativo de los amplificadores ópticos SOA, EDFA y RAMAN". *Revista Ingenieria Investigacion Desarrollo* [en línea], 2018, (Colombia), vol.18 (2), págs. 22-26. 2017. [Consulta: 14 noviembre 2023]. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/download/11874/9758/41771
27. **MORENO, Sergio & TORRES, Daniel & PUERTO, Gustavo. 2017.** "Análisis y comparativo de los amplificadores ópticos SOA, EDFA y RAMAN". *Revista Ingenieria Investigacion Desarrollo* [en línea], 2018, (Colombia), vol.18 (2), págs. 20-24. 2017. [Citado el: 10 agosto 2023]. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/download/11874/9758/41771
28. **OPTILAB.** *Semiconductor Optical Amplifier, 1450-1600nm, Rackmount.* [en línea]. Ottawa: Optilab LLC, 2021. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0597/2534/9053/files/SOA-1550-R.pdf?v=1631228150>
29. **OPTIWAVE.** *Optiwave Desing Software.* [en línea]. Ottawa: Optiwave Systems Inc, 2017. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://optiwave.com/optisystem-overview/>
30. **OPTIWAVESYSTEMS.** *Optiwave Desing Software.* [en línea]. Ottawa: Optiwave Systems Inc, 2023. [Consulta: 11 enero 2024]. Disponible en: <https://optiwave.com/>
31. **ORDÓÑEZ MENDIETA, Angel José.** Diseño y Simulación de los Efectos de FWM en una Red UDWDM PON. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Materado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería. Quito-Ecuador. 2015. págs. 75. [Consulta: 2023-11-17]. Disponible en: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8546/TEISIS_ANGEL%20ORDÓÑEZ_MAESTRIA_PUCE_V2.pdf?sequence=1&isAllowed=y
32. **PADTEC.** *Amplificadores EDFA y Raman.* [en línea]. Sao Paulo: Padtec, 2021. [Consulta: 13 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.padtec.com.br/wp-content/uploads/2017/01/DSROADM0321V1ES.pdf>
33. **POLISGUA COX, Andres Fernando.** Simulación de Amplificadores Ópticos Utilizados en Comunicaciones Ópticas a Través de la Plataforma Optisystem. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de

Educación Técnica para el Desarrollo. Guayaquil-Ecuador. 2015. págs. 54-60. [Consulta: 2023-07-20]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4440/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-122.pdf>

34. **RÍPODAS VENTURA, Daniel.** Estudio experimental de un conversor en longitud de onda usando láseres de fibra óptica. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Tercer Nivel). Universidad Pública de Navarra. Pamplona-España. 2016. págs. 8-15. [Consulta: 2024-01-15]. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22169/TFG_Daniel_Ventura_R%2B%C2%A1podas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
35. **SCHMIDT CASTELLANI, Carlos Eduardo.** Amplificadores RAMAN en Fibras Microestructuradas. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Maestría). Universidad Federal do Espírito Santo. Vitória-Es. 2009. págs. 27-31. [Consulta: 2023-11-14]. Disponible en: https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_3126_DissertacaoMestradoCarlosEduardoSchmidtCastellani.pdf
36. **VENKATARAMANAN, Venkat.** *Optical Amplifiers*. [en línea]. Toronto: Institute for Optical Sciences, 2008. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ecb.torontomu.ca/~courses/ee8114/optical-amplifiers-venkat.pdf>
37. **XIA, Jian.** *Raman Amplifier EA2000 Series*. [en línea]. Shenzhen: Fibermart Corporation Limited, 2020. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.fibermart.com/datasheet/Fibermart%20EA2000%20Raman%20Amplifier%20Datasheet.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET AMPLIFICADOR EDFA



Modelos disponibles:

- **EDFA** con una potencia de salida máxima de 18 dBm o 21 dBm por etapa
- **RAMAN** con una potencia de salida máxima de 28, 29 o 30 dBm por etapa

Consumo máximo

- Modelos EDFA: 30W
- Modelos Raman: 61W

Estándares adoptados

- UIT-T G.709 y G.798, Foro de la OIF

Características generales

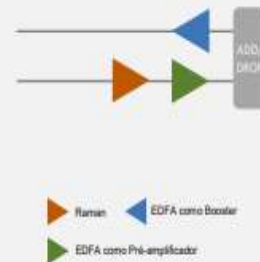
- Banda C+
- VOA y GFF para control de inclinación (ganancia de planitud)
- AGC integrado (control automático de ganancia)
- ALS (Automatic Laser Shutdown), apagado automático del láser por falta de potencia óptica en la entrada de amplificadores relacionados en un enlace
- ALO (Automatic Laser Off), apagado automático del láser por falta de potencia óptica en la entrada del propio amplificador
- SCMD integrado
- 1x ocupación de ranuras de 4.5U
- Conectores LC-APC

Características de manejo

- Funciones de gestión según ITU-T G.709
- Monitoreo de tráfico en línea con verificación de SLA para garantizar altos niveles y QoS por longitud de onda
- Ubicación rápida de eventos de falla que contribuyen a aumentar la disponibilidad del tráfico
- Seguimiento de longitud de onda para verificar la conectividad física en redes complejas

Aplicaciones:

- Sistemas DWDM de 10 a 200 Gbps por canal
Las combinaciones en el ensamble permiten el uso como:
 - Booster
 - Pré-amplificador
 - Amplificador Dual
 - Amplificador Raman



Parámetro	Equipos				
	EDFA 18 dBm	EDFA 21 dBm	Raman 28 dBm	Raman 29 dBm	Raman 30 dBm
Potencia de salida [dBm]	Min: 17	Min: 20	Min: 27	Min: 27	Min: 29
	Máx: 19	Máx: 22,5	Máx: 29	Máx: 30	Máx: 31
Banda de operación*	Banda C e Banda C+				
Consumo [W]*	Máx: 17	Máx: 44	Máx: 44	Máx: 38	Máx: 61

Model Number: EDFA-CW-CE-SMR-30-30-FCA

Product Code: 1811

Micro Processor Controlled EDFA



Specifications:

Parameters	Specifications
Wavelength Range	1535 – 1565nm, C-band single channel
Gain Flattening Filter	Not included
Output Power	+30 dBm, tested with 1550 nm, 0 dBm input
Gain	30 dB, tested with 1550 nm, 0 dBm input
Optical Input Fiber	900um loose tube, FC/APC, blue, 1 meter, SMF-28
Optical Output Fiber	900um loose tube, FC/APC, red, 1 meter, SMF-28
Input Power Monitoring Range	-10 dBm to +10 dBm
Output Power Monitoring Range	+13 to +31 dBm
Input Power Measurement Accuracy	± +/- 0.5 dB, 1550 nm
Output Power Measurement Accuracy	± +/- 0.5 dB, 1550 nm
Noise Figure	≤ 7.5 dB typical, tested at 30 dB gain, 1550 nm, 0 dBm input
Control and Communication Interface	RS-232, LVTTTL Level
Dimension	100 x 75 x 15mm
Power Input	+12 VDC +/- 5%
Electrical Interface Connector	PN: ASP202700-01, Male 30-PIN with clamp on both ends
Operational Case Temperature Range	0 to +65 °C
Mode of Operation	AOPC (constant output power control), ACC (constant pump current control)

V2.0

Optical Characteristics

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Wavelength	λ_c	1530	1550	1562	nm
Output power ⁽¹⁾	P _o	13	—	17	dBm
Input power	P _i	-3	—	+10	dBm
Noise Figure ⁽²⁾	NF	—	4.5	—	dB
Output power stability	ΔP_o	—	± 0.05	± 0.1	dB
Return Loss	RL	—	—	15	dB
PDG	PDG	—	—	0.3	dB
PMD	PMD	—	—	0.5	ps

(1) : Output power and dual output is optional.

(2) : Test at 0dBm input

ANEXO B: DATASHEET AMPLIFICADOR RAMAN

Datasheet
LambdaDriver® - Raman Amplifier Module (EM1600-OAR)

Optical Amplification


EM1600-OAR

Overview

The LambdaDriver® EM1600-OAR modules use an advanced Raman technology for optical signal amplification, used in large capacity optical communication and long-haul broadband WDM networks.

These modules extend the single span reach by at least 30 km in comparison to the conventional EDFA type amplifiers. Raman amplifiers also improve the Optical Signal-to-Noise-Ratio (OSNR) in amplified long-haul networks because they do not introduce noise when a type of EDFA amplifiers have a noise figure of about 5.5 dB.

The EM1600-OAR family consists of 3 modules differentiated by maximum gain over 602.5nm (10, 12 and 15 dB).

As an example if we need to transmit 10 Gbps signals over a 300 km distance crossing the sea or a desert, without the possibility to place a signal regeneration device in the middle, the only way to reach the other side is by means of the Raman technology.

The EM1600-OAR family provides a flat response for the entire C-band (1529-1564 nm). Other wavelength ranges (such as L-band) are provided on customer request.

Features

- Eye safety and auto shutdown
- Transition and module condition alarms
- Optical Power Monitoring (OPM)
- Up to 15 dB gain with G.652 fiber

Applications

- Long-haul transmission networks
- Extending transmission distance
- Upgrading present transmission systems to 10 or 40 Gbit/s

These amplifiers are fully controlled by LambdaDriver® management and provide power monitoring on the amplified optical signal as well as on the condition of the internal pumps.

EM1600-OAR incorporates parallel independent eye-safety mechanisms that shutdown the amplifier in the following cases:

1. Fiber break/loss, open connectors (including APC) or broken fiber runs at long distance from the amplifier.
2. High reflection power which may be caused by bad connections or other problems in the transmission fiber.
3. Pump high temperature that may be caused by an internal problem.
4. Module high temperature that may be caused by an external or system problem.

This unique and comprehensive safety mechanism of the EM1600-OAR module is extremely important due to the Raman amplifier's high power light and power consumption.

Each EM1600-OAR amplifier module occupies 2 "long" slots so that it can be installed only in LD1600 or LD4000 chassis type.

Optical characteristic

	Condition	Min.	Max.	Unit
Signal wavelength	C - band @ SMF-28 and fiber loss is less than 0.2 dB/km	1529	1564	nm
Raman gain			10-15	dB
Gain ripple			1	dB
C-band insertion loss (Input to Output)			1	dB
Polarization Dependent Loss			0.2	dB
Effective Noise figure		-2	0	dB
Power consumption			60	W
Input power	RAMAN opt	-45		dB

Environmental

Operating Temperature	-5 to 45 °C
Storage Temperature	-10 to 70 °C
Relative Humidity	85% maximum, non-condensing
Dimensions (W x H x D)	54.15 mm (2.13 in) x 293.4 mm (10.37 in) x 227.5 mm (8.95 in)
Weight	2.6kg (5.73 lb)
Connector	OUT and OUT Monitor - SC/APC Pump Monitor - SC/APC IN - E2000 (high power)

Order info

EM1600-OAR00	10dB gain Raman Amplifier for LD1600 dual slot
EM1600-OAR12	12dB gain Raman Amplifier for LD1600 dual slot
EM1600-OAR15	15dB gain Raman Amplifier for LD1600 dual slot

Raman Amplifier EA20 00 Series

Application

1. SDH, ATM telecom long distance optical Transmission
2. Analog Digital TV long distance Optical Transmission system
3. Long span system
4. IS4, SD system



Feature

- Distributed Raman amplification
- Compact size: 1U Rack
- Easy control and operation: Real-time process control, Local and the upper interface (optional)
- High stability and reliability: 7*24 hours work
- Perfect network management: Management Software: Ethernet, RS-485 and SNMP
- SNMP Network management to provide SNMP 825

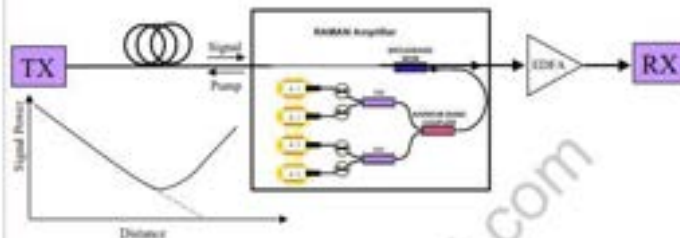
Description

This is high power Raman Amplifier which is used to long span or high speed Optical Transmission system. The transmission fiber as the gain medium to form distributed Raman amplifier, reduce system noise and will get best gain and noise index as the our EDFA product.

Each Pump output power can be adjustably independently which is suitable for a variety network applications and to reduce the installation.

Intelligent network management system, Perfectly network management Software, SD-WAN and SD-WAN network, and the open network management interface access the connection with all other network management system.

Raman Amplifier system structure and Network figure



Optical Characteristics

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating wavelength	λ c	1525	1500	1565	nm
Pump wavelength		1425	—	1505	nm
Pump output power P_0		—	500	1000	mW
ON/OFF Gain G		4	—	14	dB
Gain Flatness F_L		—	1	—	dB
Polarization Dependent Gain	PDG	—	—	0.3	dB
PMD	PMD	—	—	0.3	ps
Relative Noise Figure	RF	—	—	0	dB

ANEXO C: DATASHEET AMPLIFICADOR SOA



SOA-1550-R



DEVICE Semiconductor Optical Amplifier, 1450-1600nm, Rackmount

OVERVIEW The Optilab SOA-1550-R is a semiconductor optical amplifier with high fiber-to-fiber gain, designed to be used in general applications to increase optical launch power to compensate for loss of other optical devices. The SOA-1550-R can be ordered with Single Mode (SM) or Polarization Maintaining (PM) fiber input/output, with this particular SOA module having broadband amplification from 1450nm to 1600nm wavelengths, in a standard 1U rackmount housing. It requires only AC power cord with low power consumption, with a full software control and monitoring via RS232 serial communication protocol.

- FEATURES**
- Wideband 1450nm – 1600nm amplification
 - High fiber-to-fiber gain 20 dB
 - Up to 16 dBm output
 - Standard 1U rackmount
 - PM/Panda fiber input/output (optional)
 - 3-year warranty standard

- USE IN**
- Booster and in-line amplification
 - Optical network
 - General purpose test and measurement
 - Fiber sensing



SOA-1550-R

SPECIFICATIONS

GENERAL	Operating Wavelength	1450nm to 1600nm
	Saturated Output Power @ -3 dB input	+16 dBm typ.
	Input Power	-25 – +5 dBm
	Fiber-to-fiber Gain	Up to 20 dB @ small signal input
	Noise Figure	7 dB typ.
	Gain Ripple	0.3 dB typ.
	Input Optical Return Loss	-55 dB typ.
	Input/Output Isolation	30 dB min. (w/ isolator option)
	Polarization Dependent Gain (PDG)	0.5 dB max.
	Polarization Extinction Ratio (PM type)	20 dB typ.
	Power Stability	± 0.1 dB over 8 hours
	Output Current Control	10% to 100% operating current

MECHANICAL

MECHANICAL	Operating Temperature	-10°C to +60°C
	Storage Temperature	-40°C to +10°C
	Power Supply Requirements	80 - 240 V, 43 - 63 Hz AC
	Power Consumption	60 W max.
	Output Level Control	Pump Lasers Current Adjustment
	Monitoring	Pump Laser Temperature
	Computer Interface	LabVIEW via USB
	Display	Input/Output Power Level, TEC Temperature
	Alarms	Temperature and Input Power
	Optical Connectors	FC/APC, SC/APC, Other Types Optional
	Housing Dimensions	1RU 482.60 (L) x 470.57 (W) x 44.00 (H) (mm)

SOA Optical Amplifier GAIA Series

Application

- 100G optical transmission system



Feature

- High-performance dual-pluggable power supply: 120V/220V placed with 100W
- Low noise figure: Typ. 6dB
- Perfect network interface: Fibre, SFP and SFP+.
- Support for 100G network management
- Gain can be adjustable by network and manual
- High precision AC and DC circuit
- High saturation output

Description

The product is designed for 100G high speed optical transmission system. The key components of the product are high performance SOA.

The optical circuit is specially designed for digital optical fiber communication system (including: (1) cover 1310nm low dispersion wavelength; (2) support dual SOA amplifier in 1D (input to 2 device); (3) broad input power range, output power adjustable.

Equip the intelligent temperature control system, the fan is on when the module temperature above 45°C, meanwhile it will stop as the temperature is below 40°C, which ensure the thermal stability and fan life-time. Professional air duct design ensures the best temperature stability.

Intelligent monitor and manage system. Perfect network management interface: RSCG, RS485 and Ethernet, and the open network management interface ensure the connectivity with all network management system.

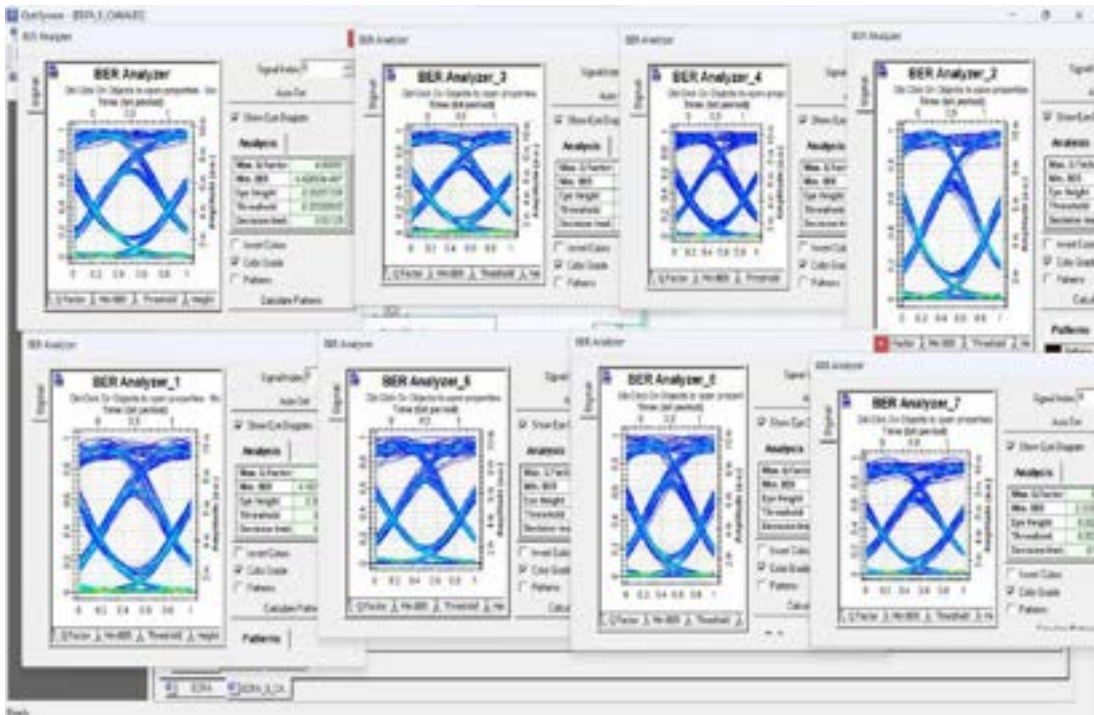
Optical Characteristics

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Wavelength	λ_c	1290	1310	1330	nm
Saturated output power ⁽¹⁾	P_o	—	—	8	dBm
Input Power	P_i	-15	—	+6	dBm
Gain	G	—	—	20	dB
Noise Figure ⁽²⁾	NF	—	6	8	dB
Output power stability	ΔP_o	—	± 0.05	± 0.1	dB
Return Loss	RL	—	—	-45	dB
Polarization Dependent Gain	PDG	—	—	1	dB
PMD	PMD	—	—	0.5	ps

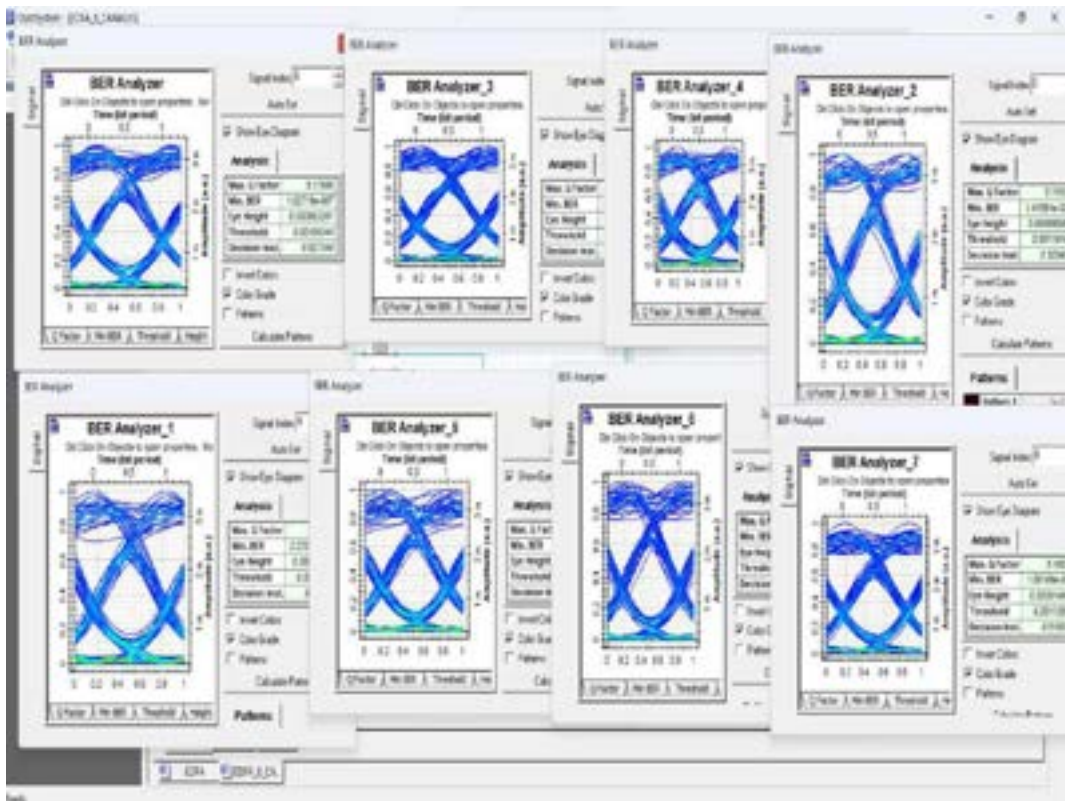
(1) : Pre-Online. Booster is optional

(2) : Test at -20dBm input, $-8dB$

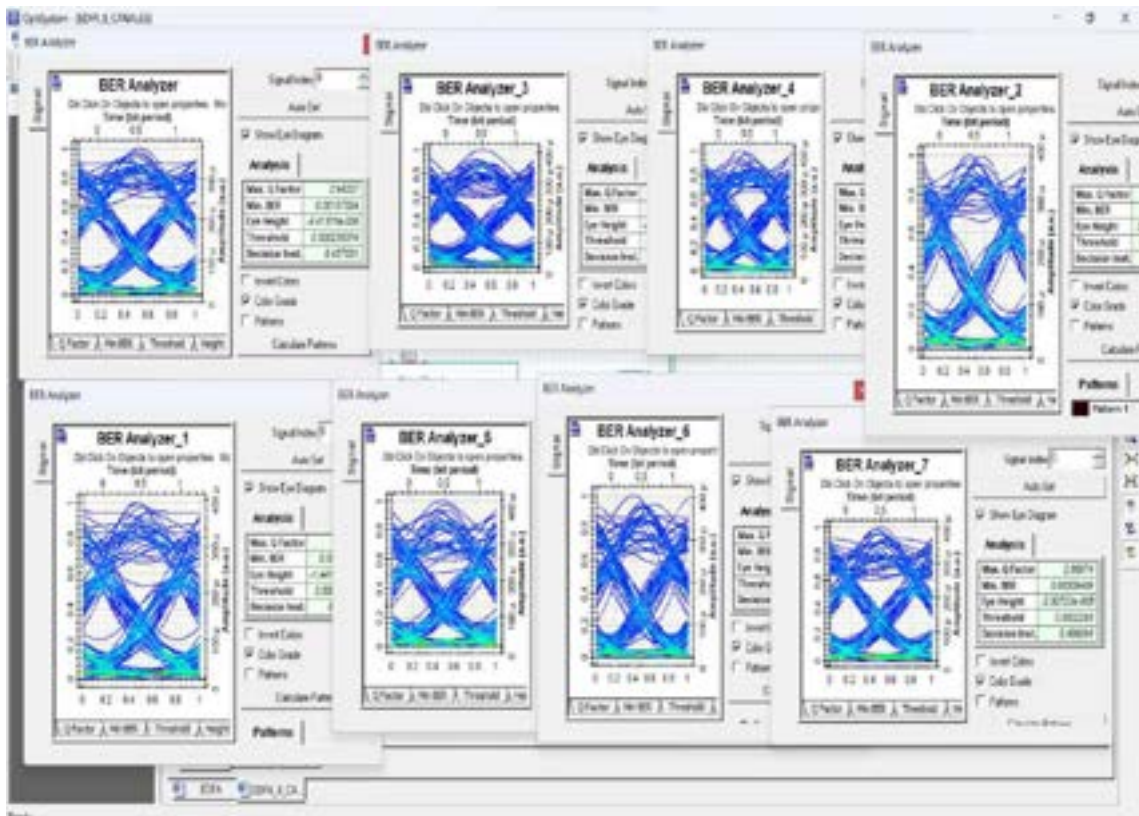
1. Longitud de onda de 1550 nm para 25 km



2. Longitud de onda de 1550 nm para 50 km

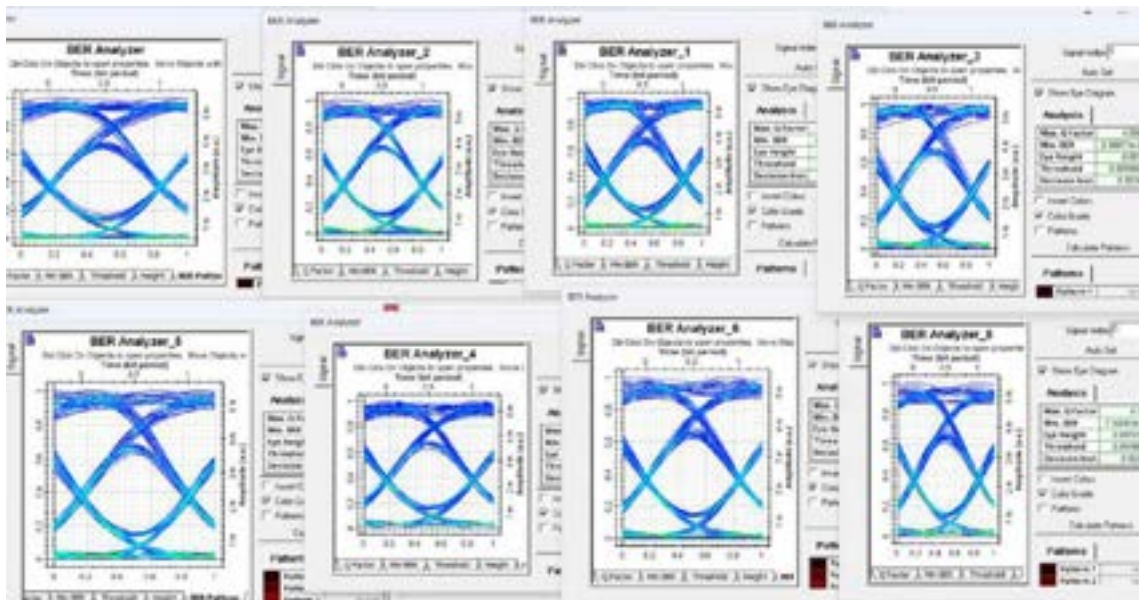


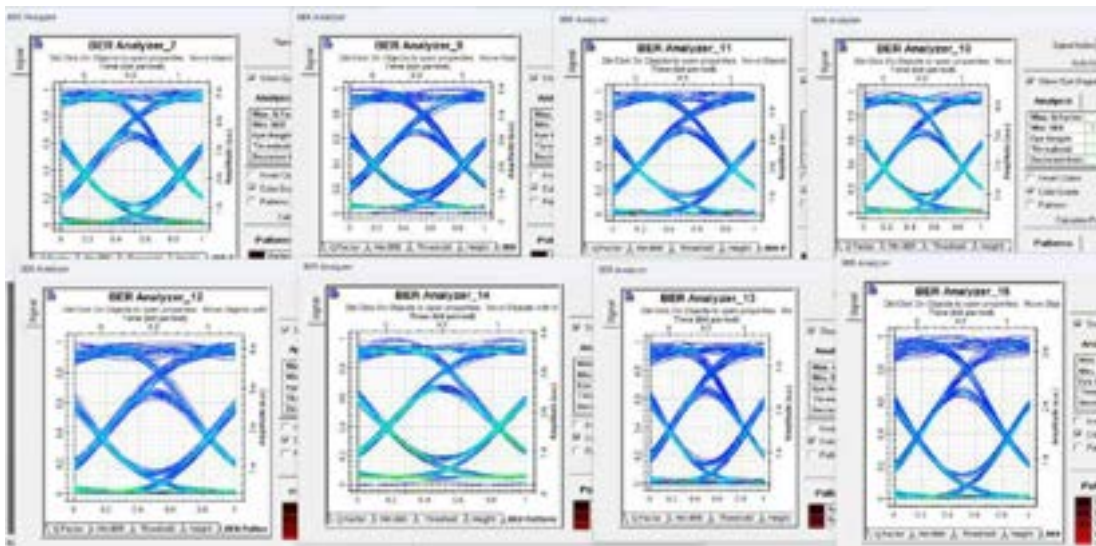
3. Longitud de onda de 1550 nm para 100 km



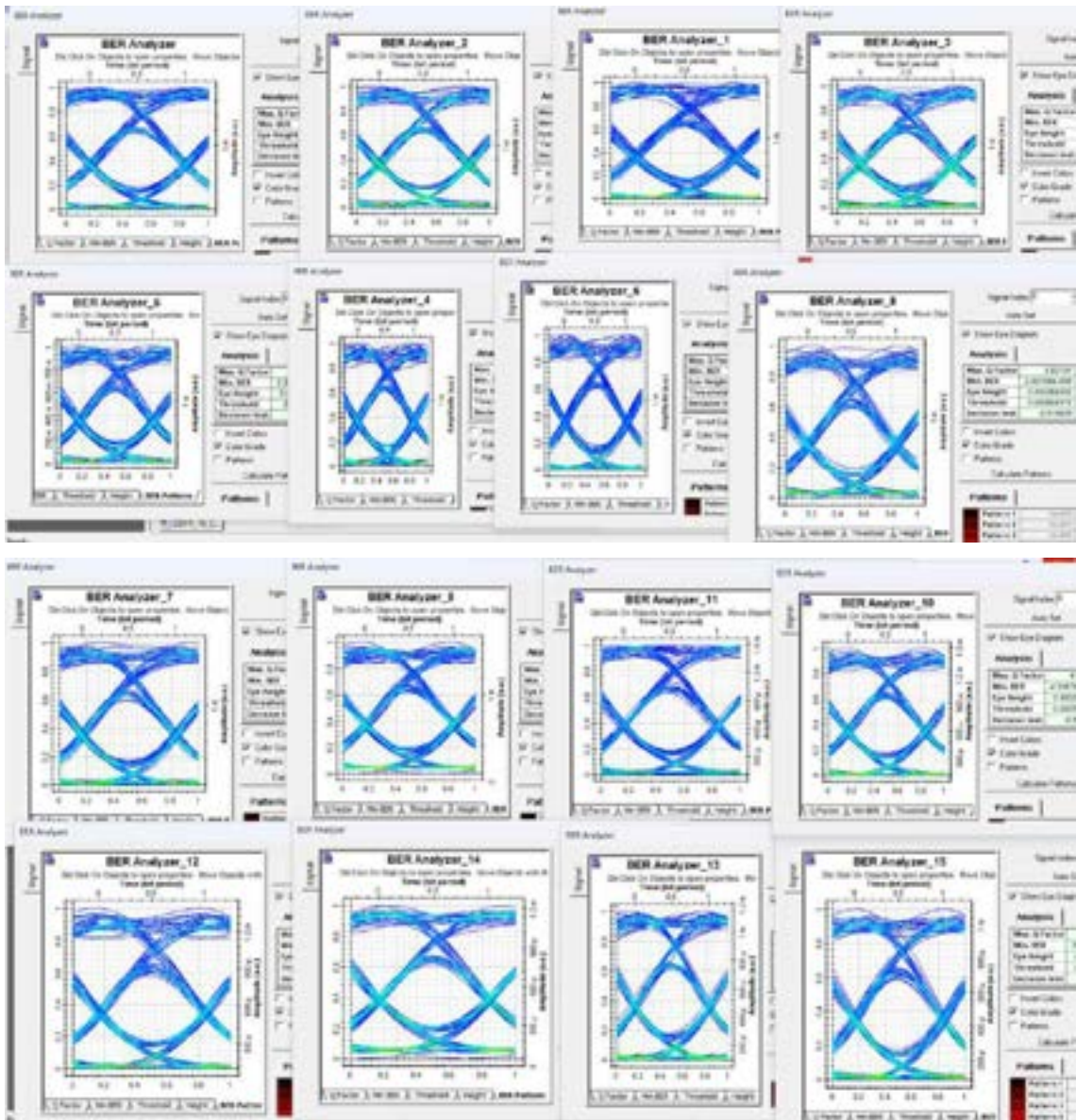
ANEXO E: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR EDFA WDM 16 CANALES

1. Longitud de onda de 1550 nm para 25 km

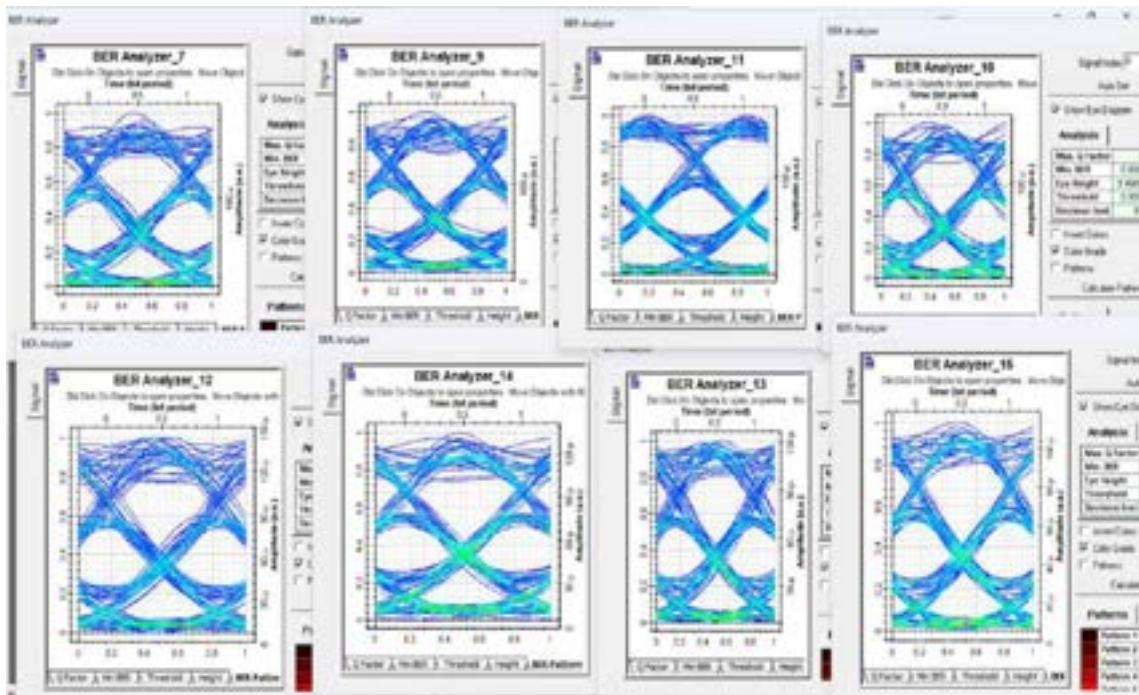
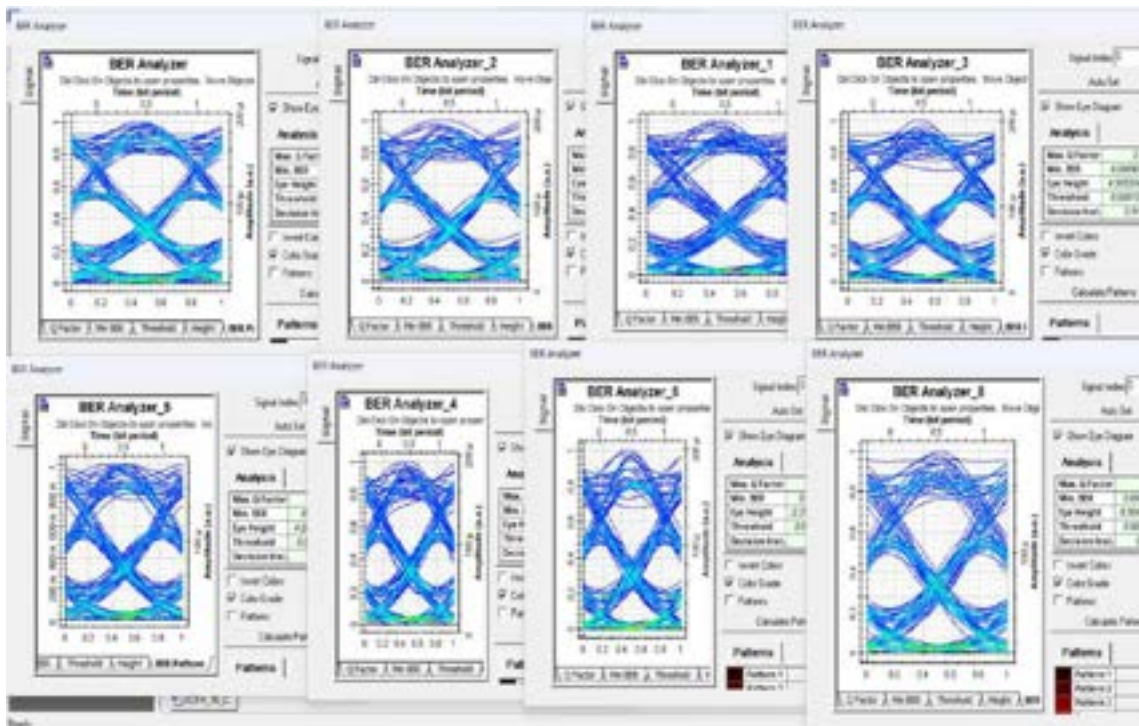




2. Longitud de onda de 1550 nm para 50 km

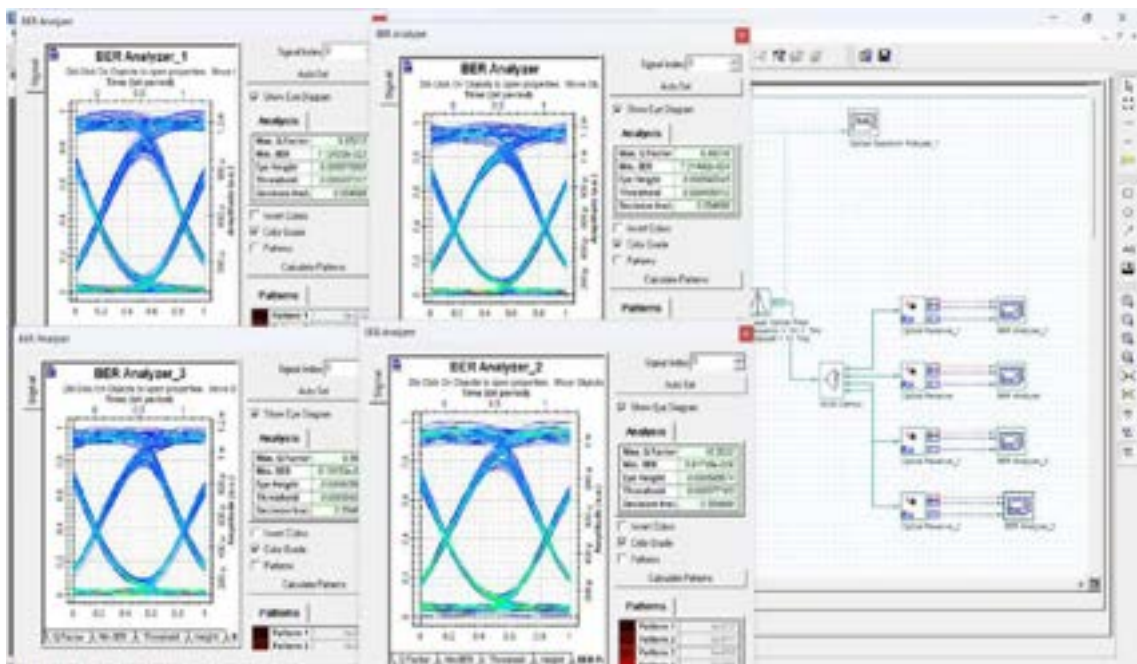


3. Longitud de onda de 1550 nm para 100 km

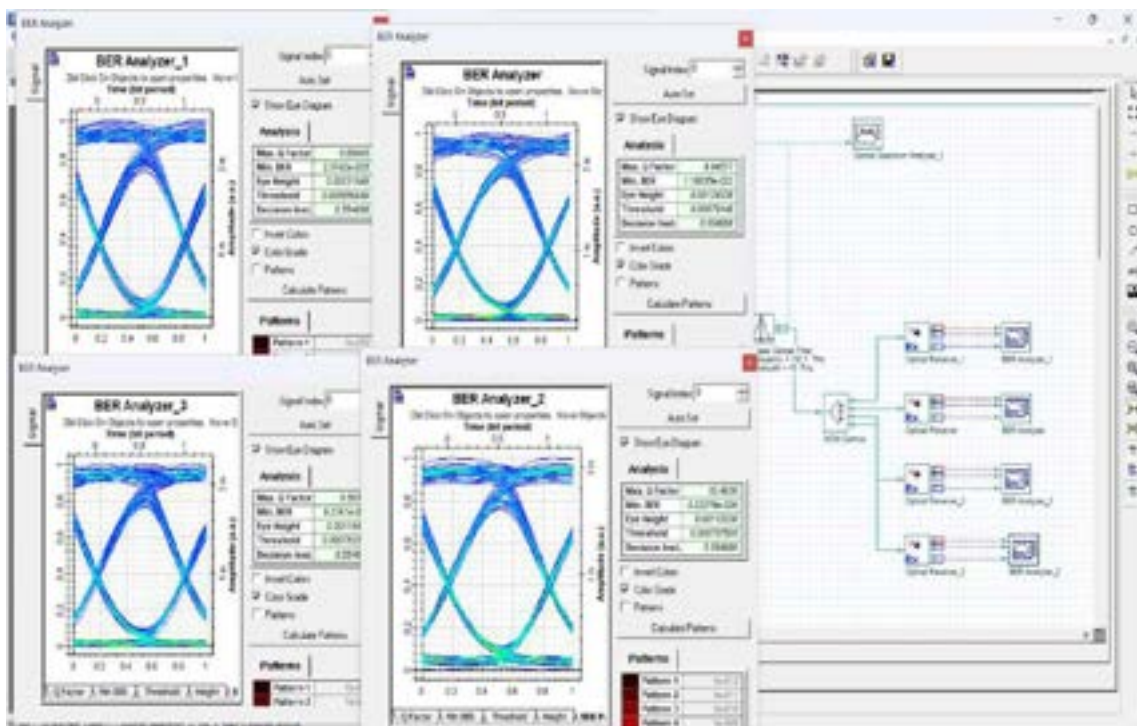


ANEXO F: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR RAMAN WDM 4 CANALES

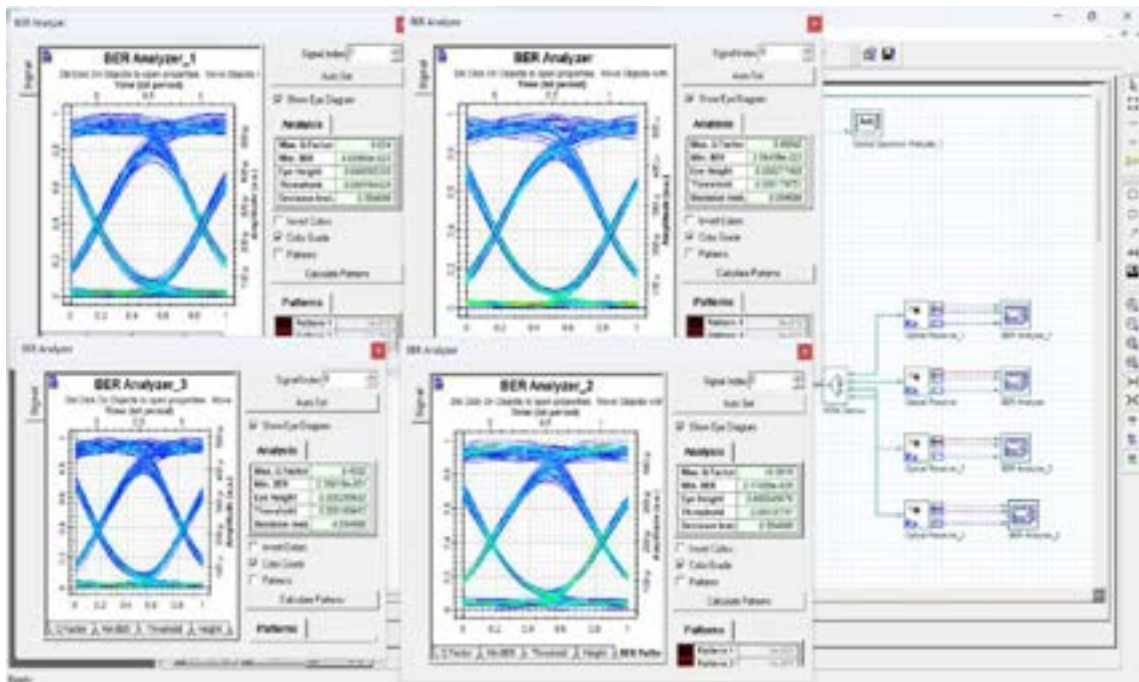
1. Longitud de onda de 1550 nm para 25 km



2. Longitud de onda de 1550 nm para 50 km

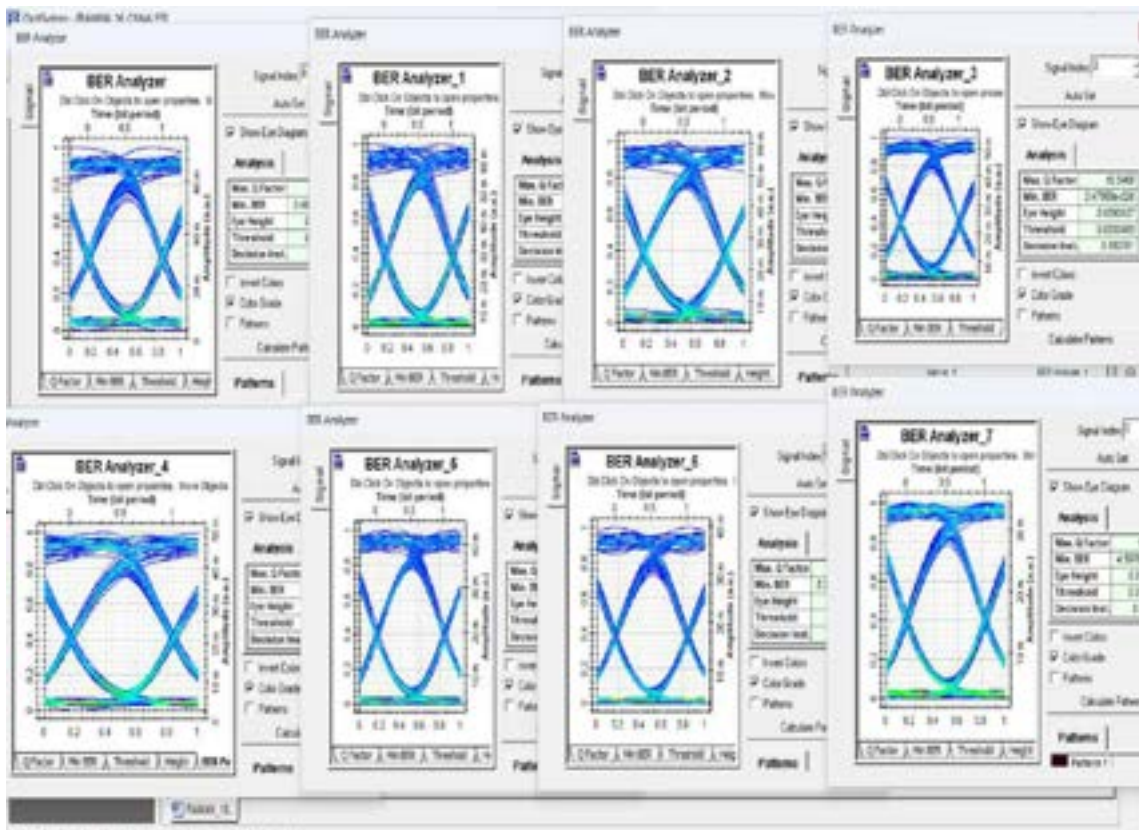


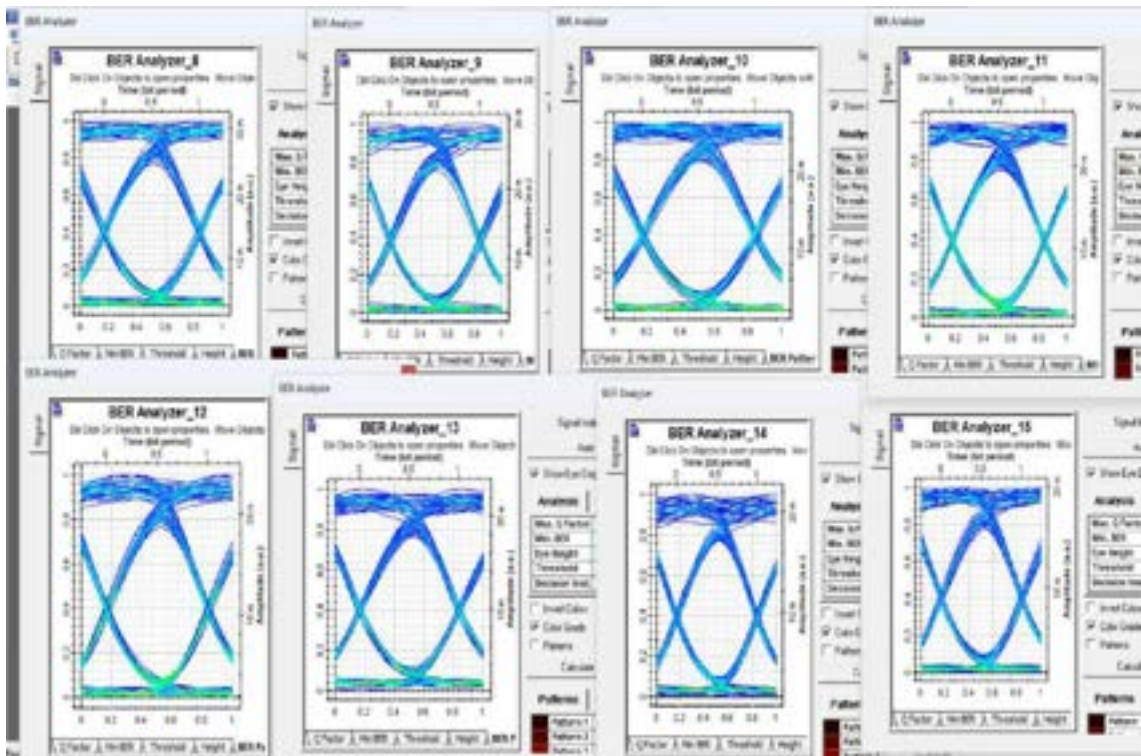
3. Longitud de onda de 1550 nm para 100 km



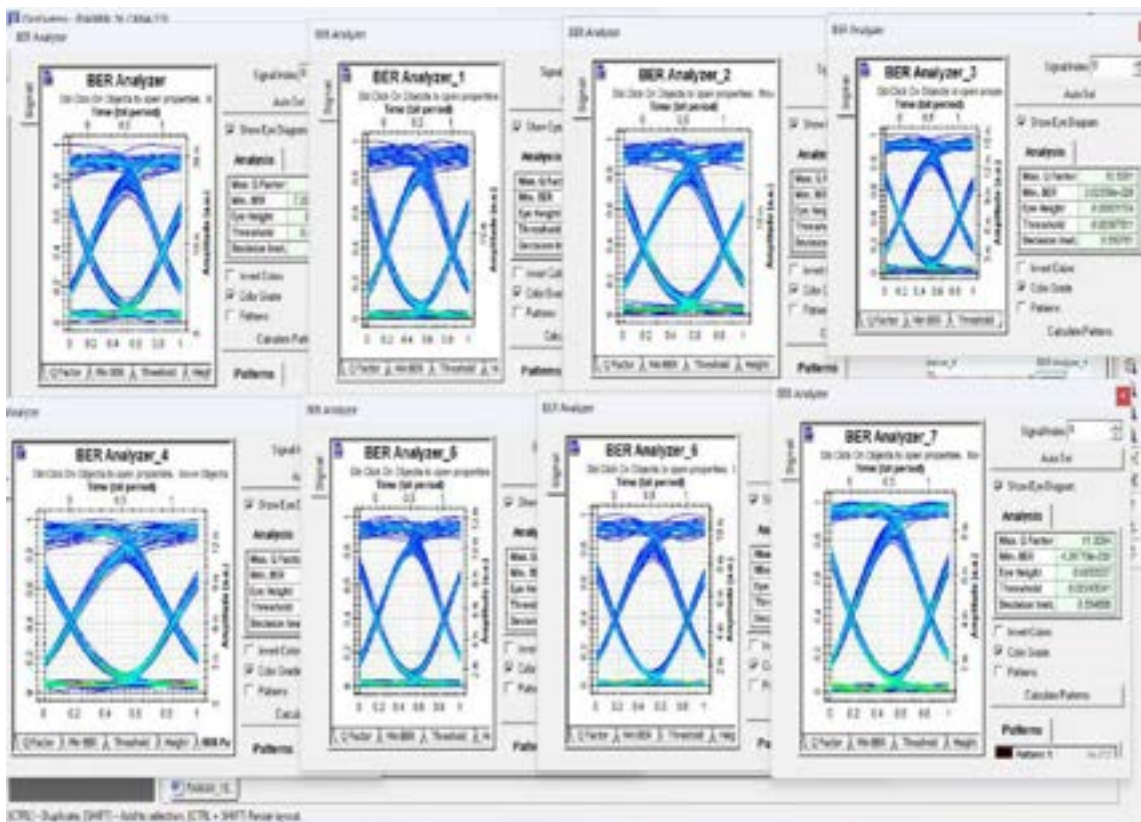
ANEXO G: DIAGRAMA DEL OJO AMPLIFICADOR RAMAN WDM 16 CANALES

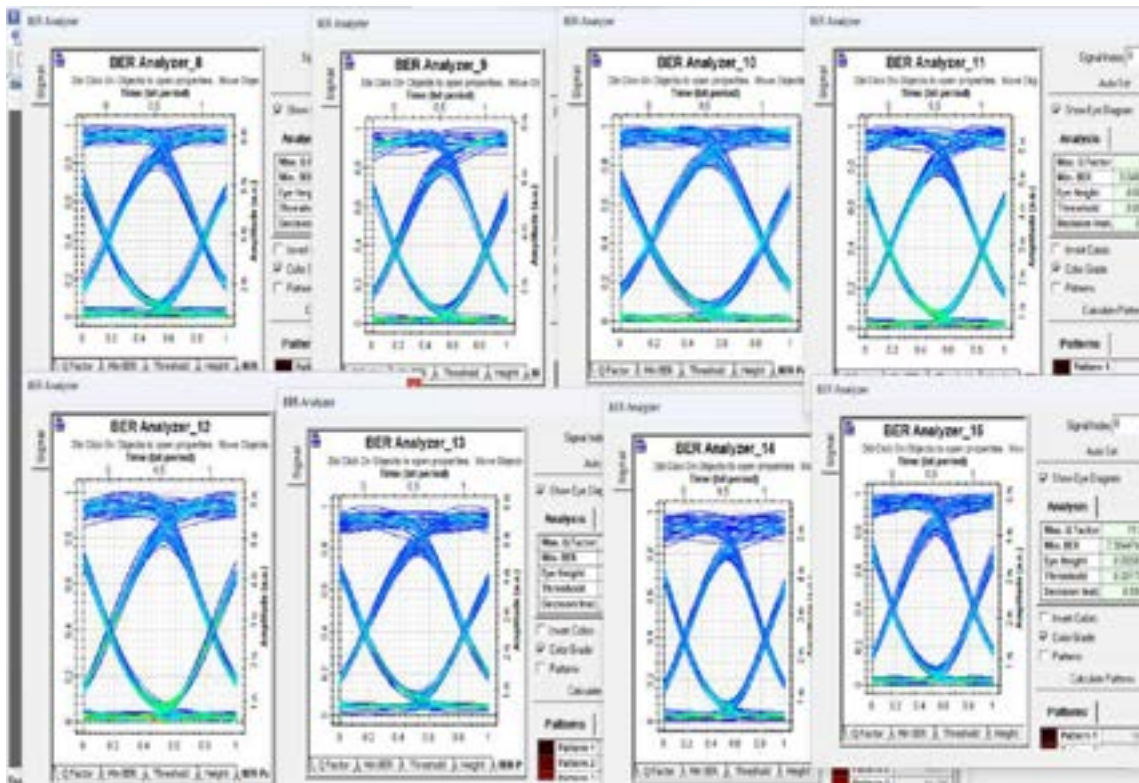
1. Longitud de onda de 1550 nm para 25 km



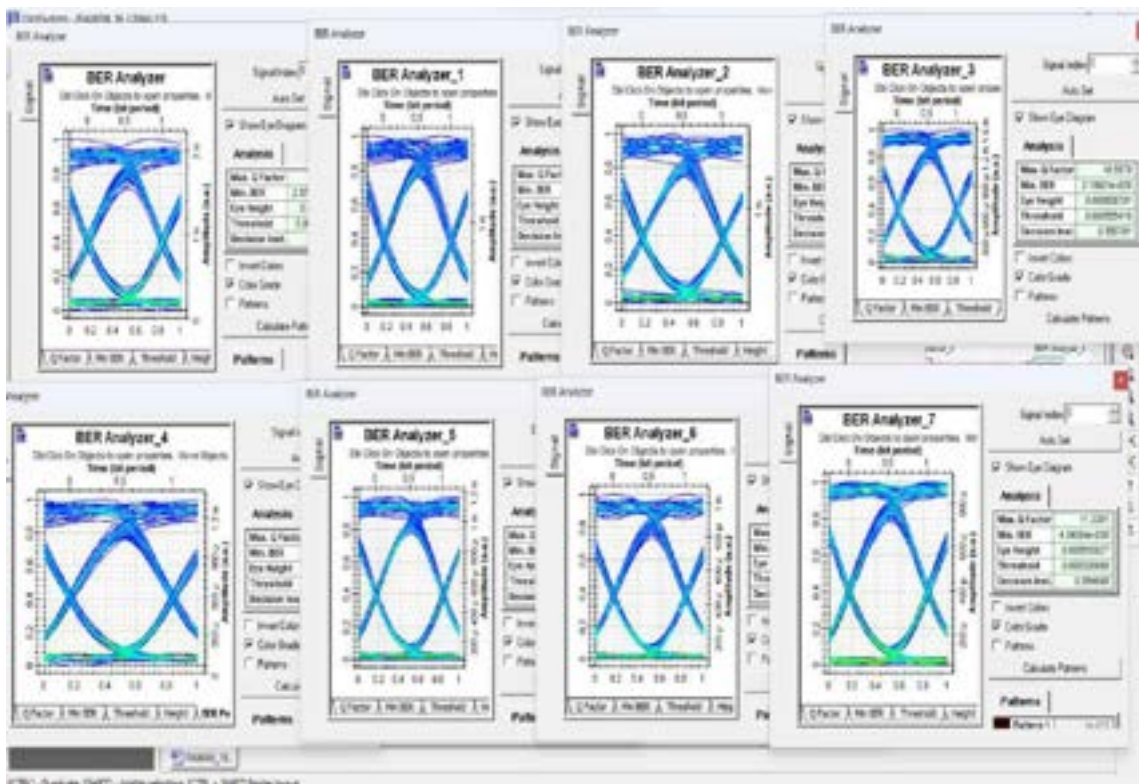


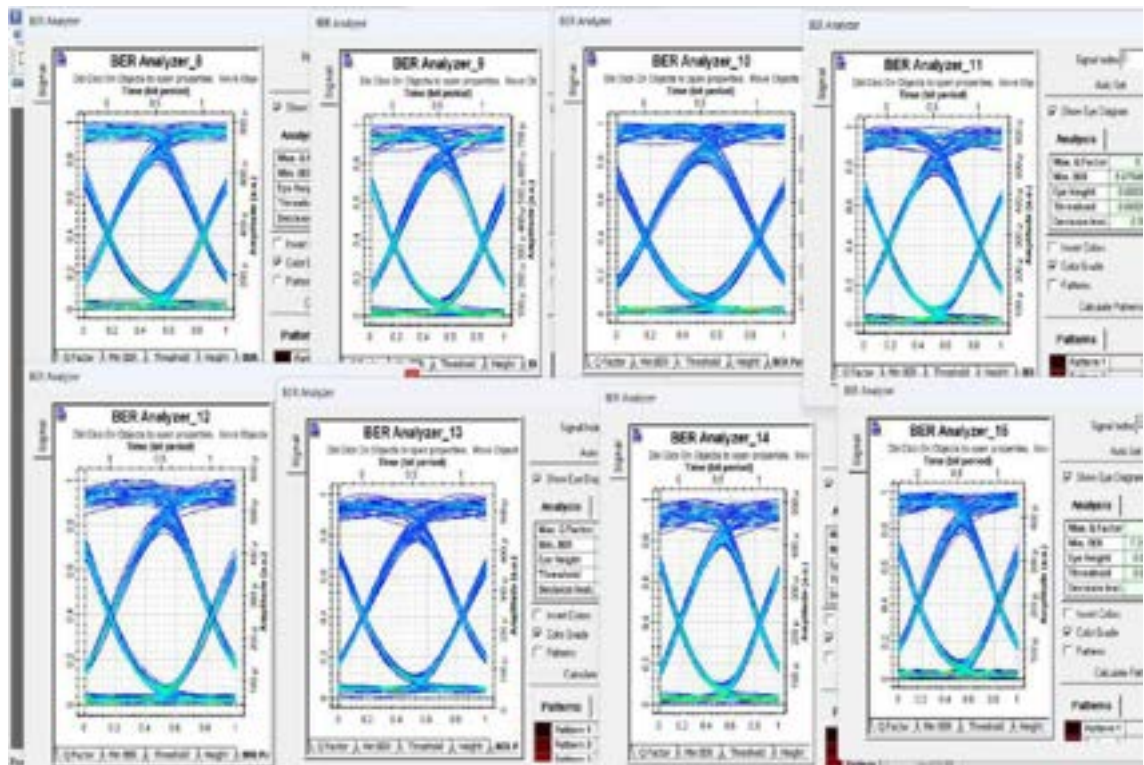
2. Longitud de onda de 1550 nm para 50 km





3. Longitud de onda de 1550 nm para 10 km









ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA NORMALIZACIÓN DE
TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 22/ 05 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Mishell Cristina Guano Viracocha
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Facultad de Informática y Electrónica
Carrera: Telecomunicaciones
Título a optar: Ingeniera en Telecomunicaciones
 Oswaldo Geoyanny Martínez Guashima Director del Trabajo de Titulación
 Jorge Vicente Yuquilema Illapa Asesor del Trabajo de Titulación