



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Caracterización de los Componentes Ópticos de un Sistema que atenúa ruido ASE por medio de un Interferómetro de Sagnac que funciona como Filtro Pasa Banda

TESIS

**Para obtener el grado de
Ingeniero en Redes**



PRESENTA

José Carlos Rodríguez Novelo

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Francisco Méndez Martínez

ASESORES

Dr. Homero Toral Cruz

Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar



Chetumal Quintana Roo, México, Noviembre de 2015



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO EN REDES

Comité de Trabajo de Tesis



Director:

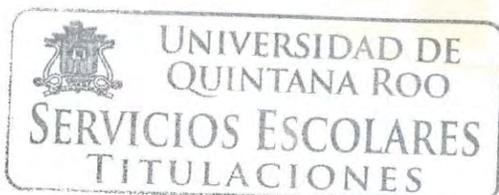
Ing. Francisco Méndez Martínez

Asesor:

Dr. Homero Toral Cruz

Asesor:

Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta



Chetumal Quintana Roo, México, Noviembre de 2015

Dedicatoria

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización de este trabajo de tesis el cual se hizo en conjunto de dos grandes universidades como lo son la Universidad de Quintana Roo y la Universidad Autónoma Del Carmen institución que me abrió las puertas para emprender nuevos proyectos.

Primeramente a Dios, por bendecirme siempre y poner a todos y cada una de estas personas en mi camino y por hacer de cada momento vivido un gran aprendizaje.

A mi familia, mi motor, con ellos me quedo sin palabras, para agradecerles el gran apoyo incondicional que me brindaron durante los 5 años de carrera. A mi madre Geisy por ser pieza fundamental en mi vida, por sus consejos, por su motivación, por su confort esas noches de desvelo que seguido pasé, por su amor incondicional, no tengo palabras para agradecerle todo. A mi padre por sus consejos, por explicarme cosas cuando no las entendía, por ese apoyo moral que día a día me brindan. A mi hermanos Darío y Elvin, gracias por siempre estar ahí las veces que los necesitaba, por brindarme ese cariño de hermanos, a pesar de las diferencias, siempre tenían una sonrisa para alegrarme en los días difíciles. Por todo eso muchas, gracias familia esto, es por ustedes y para ustedes los amo.

A mis amigos Ashanti, Marijose, Karina, Rogelio, Luis Antonio, Manuel y Rafael, gracias por siempre estar ahí cuando los necesité por los consejos que siempre me brindaban, por el cariño incondicional, por ayudarme en cosas del trabajo o de la escuela, a ustedes mi más grande agradecimiento.

A Dallon, Karen, Tania, Deisy, Alicia, Clarisa y Jesús, gracias a ustedes por hacer mi estancia en ciudad del Carmen más amena, porque ustedes me daban ánimos y me hacían sentir en casa, aun sabiendo que todos estábamos a kilómetros de ella, agradecimiento a ustedes por brindarme esa amistad sin condiciones, las aventuras vividas y por esa amistad que durará años los quiero.

A mis tíos, primos, amigos que elaboramos simultáneamente la tesis Abraham y Ediel, compañeros de clase de la UQROO, compañeros de clase de la UNACAR y a cada una de

esas personas que me tope en mi vida universitaria, gracias porqué de cada uno de ustedes me llevé un gran aprendizaje.

Dr. Homero Toral Cruz, mi más amplio agradecimiento, por haberme permitido trabajar con él mi tesis, y por respaldarme al momento de realizar mi intercambio académico la cual dio pauta para poder iniciar esta maravillosa aventura. Por enseñarme que en la vida siempre habrá retos académicos y que si no nos esforzamos lo suficiente, nunca sabremos realmente cual es nuestro potencial, por todo eso gracias Dr.

Dr. Manuel May Alarcón mi más especial agradecimiento, por haberme recibido y permitido trabajar en conjunto con él, por su gran hospitalidad en nuestra estancia en ciudad del Carmen, por sus magníficos consejos y por todo el conocimiento que me brindó por la hermandad que creó en el grupo de trabajo y por la motivación que día a día me manifestaba para esforzarme más y llegar hasta donde yo me lo proponga, por todas esas palabras y más mi profundo agradecimiento Dr. May.

A Dr. Fráncico Méndez Martínez por todo el gran apoyo que nos brindó durante nuestra estancia en ciudad del Carmen y por el conocimiento brindado.

Al Dr. Aarón Flores Gil por compartirnos su conocimiento en muchas cosas que no entendía y por su gran amabilidad hacia el grupo de trabajo y por motivarnos a estudiar algo que nos guste

A todos mis profesores, por haber sido parte fundamental en mi formación académica y como persona.

A Dios y a todos ustedes, mi mayor reconocimiento y gratitud.

Agradecimientos

Agradecimientos sinceros a la Universidad de Quintana Roo, por permitirme realizar mis estudios en esta conmemorada universidad, al igual por apoyarme con una beca al momento de realizar la movilidad estudiantil en la prestigiada Universidad Autónoma del Carmen.

Universidad Autónoma del Carmen gracias por el apoyo brindado y por la hospitalidad, al momento de realizar mi estancia en sus instalaciones, gracias por confiar en mí y por brindarme sus laboratorios sofisticados para poder realizar y concluir esta tesis.

CONTENIDO

CONTENIDO	IV
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMEN	X
CAPÍTULO 1	1
Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Identificación del problema	4
1.4 Propuesta de solución al problema.....	4
1.5 Objetivo general.....	5
1.6 Objetivos específicos	6
1.7 Metodología	6
1.8 Productos esperados	7
CAPÍTULO 2.....	8
Bases Teóricas.....	8
2.1 Introducción	9
2.2 Método de descripción de dispositivos	9
2.3 Atenuación.....	10
2.4 Mecanismos de degradación	11
2.4.1 Absorción.....	11
2.4.2 Esparcimiento Rayleigh	11
2.4.3 Atenuación por macrocurvaturas	12
2.4.4 Atenuación por microcurvaturas	13

2.5 Emisión espontánea amplificada	15
2.5.1 Como se produce la emisión espontánea amplificada.....	15
2.6 Dispositivos todo de fibra.....	18
2.6.1 Fibra óptica estándar	18
2.6.2 Fibra óptica dopada	19
2.6.3 Fibra de alta birrefringencia	20
2.6.4 Multiplexor por división de longitud de onda	21
2.6.5 Circulador óptico	23
2.6.6 Acopladores ópticos.....	24
2.6.7 Rejilla de Bragg.....	24
2.6.8 Interferómetro de Sagnac	26
2.6.9 Láser.....	27
2.6.10 Diodo láser.....	27
2.6.11 Láseres de bombeo	28
2.7 Instrumentos de medición ópticos	30
2.7.1 Medidor de potencia óptica.....	30
2.7.2 Analizador de espectros ópticos	31
2.7.3 Reflectometría óptica en el dominio del tiempo	34
2.8 Resumen	35
CAPÍTULO 3	36
Arreglo Experimental.....	36
3.1 Introducción	37
3.2 Arreglo experimental principal	37
3.3 Caracterización de potencia emitida del diodo láser de 980 nm.....	39
3.4 Caracterización de la pérdida de inserción del WDM	40

3.5 La caracterización de la señal ASE.	42
3.6 La caracterización de la potencia del circulador óptico.....	43
3.7 caracterización de la potencia transmitida, o potencia reflejada del Interferómetro de Sagnac	45
3.8 Resumen	48
CAPÍTULO 4	49
Resultados y Análisis	49
4.1 Introducción	50
4.2 Resultados obtenidos de la caracterización del diodo láser de 980nm	50
4.3 Caracterización de la pérdida de inserción del WDM	53
4.4 Comparación de potencia del diodo láser de 980nm contra la pérdida de inserción del WDM.....	57
4.5 Resultados de la caracterización del ruido ASE	58
4.6 Resultados de la caracterización de la inserción del	61
circulador óptico.....	61
4.7 Resultados de la caracterización de la potencia de	68
transmisión por medio del interferómetro de Sagnac	68
4.8 Resultados de la caracterización de la potencia de transmisión por medio del interferómetro de Sagnac con el circulador óptico	71
4.9 Resumen	75
CAPÍTULO 5	76
Conclusiones.....	76
Bibliografía	79
APENDICE 1. HOJA DE DATOS DEL ACOPLADOR 50/50.....	82
APENDICE 2. HOJA DE DATOS DEL LÁSER DE 980 NM	83
APENDICE 3. HOJA DE DATOS DEL WDM	84

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparación de potencia entre la caracterización realizada y los datos que provee la hoja de datos</i>	52
<i>Tabla 2. Tabla Comparativa de pérdida por inserción del WDM proporcionada por el fabricante con la obtenida en las caracterizaciones</i>	56
<i>Tabla 3. Comparación de la potencia emitida en mW contra la potencia emitida en dBm a 1548.4 nm</i>	60
<i>Tabla 4. Potencia de salida de la terminal 2 a 1548.4 nm</i>	62
<i>Tabla 5. Tabla comparativa de la pérdida de inserción del circulador óptico con valores de la hoja de datos</i>	65
<i>Tabla 6. Potencia de salida de la terminal 3 a 1548.4 nm</i>	65
<i>Tabla 7. Potencia de salida de la terminal 1, 2 y 3 a 1548.4 nm</i>	67
<i>Tabla 8. Potencia de salida de la terminal 3 a 1548.4 nm</i>	70
<i>Tabla 9. Potencia de salida de la terminal 2 a 1548.4 nm</i>	72
<i>Tabla 10. Potencia de salida de la terminal 3 a 1548.4 nm</i>	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Arreglo experimental principal</i>	5
<i>Figura 2. Rayo óptico esparcido en múltiples direcciones, esparcimiento Rayleigh</i>	12
<i>Figura 3. Representación gráfica de pérdidas por macrocurvaturas</i>	12
<i>Figura 4. Representación gráfica de atenuación por microcurvaturas</i>	13
<i>Figura 5. Mecanismos de degradación de potencia</i>	14
<i>Figura 6. Diagrama de feynman. Emisión espontánea</i>	16
<i>Figura 7. Diagrama de Feynman. Emisión estimulada</i>	16
<i>Figura 8. Diagrama de estructura atómica del erbio como un sistema de 3 niveles</i>	17
<i>Figura 9. Diagrama de las tierras raras utilizadas para dopar la fibra óptica</i>	19
<i>Figura 10. Representación de un haz de luz con birrefringencia</i>	20
<i>Figura 11. Espectros ópticos con diferente energía y longitud de onda</i>	22
<i>Figura 12. Diagrama de la multiplexación por división de longitud de onda</i>	22

<i>Figura 13. Diagrama de un circulador óptico</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14. Diagrama de un acoplador óptico 50/50</i>	<i>24</i>
<i>Figura 15. Esquema de una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo de una fibra óptica</i>	<i>25</i>
<i>Figura 16. Configuración del interferómetro de Sagnac de fibra óptica</i>	<i>27</i>
<i>Figura 17. Esquema de 4 niveles para diodos semiconductores.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 18. Gráfica de potencia de salida de un diodo láser.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 19. Arreglo experimental de un EDFA, el cual tiene insertado un circulador y un interferómetro de Sagnac que funciona como un filtro pasa banda</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20. Caracterización de potencia de emisión del diodo láser de 980nm con el medidor de potencia óptica.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 21. Caracterización de la pérdida de inserción del WDM con 3 empalmes.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22. Caracterización de la pérdida de inserción del WDM sin empalmes</i>	<i>41</i>
<i>Figura 23. Arreglo experimental para la caracterización de la señal ASE</i>	<i>42</i>
<i>Figura 24. Caracterización de la pérdida de inserción del circulador óptico en la salida 2</i>	<i>43</i>
<i>Figura 25. Arreglo experimental para caracterización de la salida 3 del circulador óptico</i>	<i>44</i>
<i>Figura 26. Arreglo experimental para la caracterización de la potencia de transmisión sin el circulador óptico</i>	<i>45</i>
<i>Figura 27. Arreglo experimental para la caracterización de la potencia de transmisión con el interferómetro de Sagnac empalmado a la salida 2 del circulador óptico.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 28. Arreglo experimental para la caracterización de la señal reflejada en la salida 3 del circulador óptico con el interferómetro de Sagnac conectado en la salida 2.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 29. Gráfica de la potencia emitida del diodo láser de 980 nm</i>	<i>51</i>
<i>Figura 30. Arreglo experimental de la pérdida de inserción del WDM con conector al medidor de potencia óptico con 3 empalmes.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 31. Arreglo experimental de la pérdida de inserción del WDM con conector al medidor de potencia óptica sin empalmes.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 32. Gráfica comparativa de potencias emitida por el diodo láser y por la pérdida de inserción del WDM</i>	<i>57</i>
<i>Figura 33. Gráfica del espectro del ruido ASE.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 34. Gráfica de comparación de potencias de la salida 2 del circulador óptico.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 35. Gráfica de comparación de potencias de la salida 3 del circulador óptico.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 36. Gráfica de la caracterización de la potencia emitida con el interferómetro de Sagnac</i>	<i>69</i>
<i>Figura 37. Gráfica donde se caracteriza la potencia de transmisión emitida por el arreglo experimental final</i>	<i>71</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier – Amplificador de Fibra Dopada con Erblio
WDM	Wavelength Division Multiplexing—Multiplexaje por División de Longitud de Onda
OSA	Optical Spectrum Analyzer—Analizador de Espectros Ópticos
ASE	Amplified Spontaneous Emission—Emisión Espontánea Amplificada
FBG	Fibre Bragg Grating—Rejillas de Bragg de Fibra Óptica
NOLM	Nonlinear Optical Loop Mirror- Espejo de Lazo Óptico no Lineal
LASER	Amplification by Stimulated Emission of Radiation-- Luz Amplificada por la Emisión Estimulada de Radiación

RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis fue implementar y caracterizar pequeños arreglos ópticos, que a su vez conforman un amplificador de fibra dopada con erbio y un sistema que atenúa ruido ASE por medio de un interferómetro de Sagnac que funciona como un filtro pasa banda. Una vez implementados los arreglos experimentales, se caracterizaron para conocer el comportamiento de los dispositivos que lo conforman. Las principales caracterizaciones realizadas fueron: potencia de un diodo láser de 980nm, pérdida de inserción de un WDM, potencia de ruido ASE, potencia de un circulador óptico, y potencia de transmisión de un interferómetro de Sagnac.

Para realizar dicha caracterización se generó un conjunto de gráficas y tablas a partir de los resultados que arrojaron los dispositivos ópticos bajo prueba, y se realizó la comparación con los parámetros que proporciona el fabricante por medio de las hojas de datos de los dispositivos.

Finalmente se dio una opinión referente a la funcionalidad de los dispositivos y los arreglos experimentales, los cuales pueden ser usados en futuros proyectos. Como aplicación inmediata, los resultados obtenidos en este trabajo serán utilizados en los proyectos de tesis “Optimización de un Sistema Óptico que Atenúa Ruido ASE por Medio de un Interferómetro de Sagnac que se usa como Filtro Pasa Banda”, por el Br. Ediel Gámez Avilés y “Medida Remota de la Temperatura de un Interferómetro de Sagnac dentro de una Red LAN”, por el Br. Abraham Sierra Calderón.

CAPÍTULO 1

Introducción

En el área de ingeniería, resolver problemas es una tarea diaria, de acuerdo al problema, puede llevar cierto tiempo. Hoy en día lo que se busca es optimizar tanto tiempo como recursos. Pero a veces se presentan situaciones, las cuales generan pérdidas de tiempo, los cuales pueden ser fallos de equipos, deterioro de los mismo dispositivos y un problema que es muy usual es no saber cómo está funcionando un dispositivo, todo estos problemas por más pequeños que puedan parecer, consumen tiempo, es por esto que se debe tener un seguimiento de los equipos, y un recurso para esto es “caracterizarlos”, saber en qué estado se encuentran, y una vez sabiendo esto comparar con las hojas de datos, para corroborar todos los resultados que se obtengan. Esto puede simplificar mucho tiempo y trabajo al momento de realizar, proyectos, porque sabiendo cómo se encuentran los equipos que se utilizan, se trabaja con más confianza y seguridad.

1.2 Antecedentes

En los últimos años los sistemas de comunicación han ido mejorando, y de igual forma han ido surgiendo nuevas tecnologías, como lo son la fibra óptica, estas han tomado gran auge. Los recientes progresos de la tecnología en rayos láser, semiconductores y en fibras ópticas de baja atenuación hacen posible la realización de sistemas de telecomunicaciones mediante fibra óptica como canal de transmisión[1], pero uno de los mayores problemas es que la señal enviada algunas veces se atenúa, es por esto que hace algunos años se empezaron a comercializar los EDFA, que son sistemas que hacen más grande la amplitud de la señal debido a que utilizan el fenómeno de emisión estimulada. El principio de funcionamiento básico del EDFA se basa en el hecho de que el ion de erbio puede existir en varios estados de energía, cuando están en un estado de energía alta, los fotones podrían ser estimulados a renunciar a parte de su energía y volver a un estado de energía más bajo, y desde allí, la amplificación de fotones se llevaría a cabo [2]. Estos son los dispositivos más comercializados en la industria de las comunicaciones para aumentar la amplitud de la señal que se desea transmitir, debido a que la señal se atenúa debido a que viajan grandes distancias. Otros usos que se le pueden dar a los EDFA, son la utilidad de sensores de magnitudes físicas y láseres de fibra óptica [3]. La mayor importancia de la caracterización,

es que tiene un gran valor significativo, debido a que gracias a este método, se puede conocer el estado de funcionamiento de los dispositivos, ya sea para hacer experimentos, o simplemente para saber en qué estado se encuentra un sistema. Técnicamente, la caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para conocer ese algo, previamente se deben identificar y organizar los datos; y a partir de ellos, describir (caracterizar) de una forma estructurada; y posteriormente, establecer su significado [4]. Una vez sabiendo esto se debe entender que la caracterización en estos dispositivos es muy importante debido a que, si el usuario no se informa, cual es el estado del elemento, si emite o no la potencia adecuada para su correcta utilización, puede traerle problemas al momento de poder utilizarlos en un arreglo experimental real. Algunos de las deficiencias que pueden ocurrir en los dispositivos son la atenuación, la cual se define como la pérdida de potencia, esto puede suceder en el láser, en la salida del multiplexor por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexer*, el circulador óptico, en la fibra dopada con erbio y en el interferómetro de Sagnac.

Este trabajo de tesis está basado en otros dos trabajos anteriores los cuales han sido tesis de licenciatura y de maestría en ciencias. La importancia de la caracterización de los componentes ópticos de esos trabajos anteriores sirve para conocer como están funcionando actualmente, es decir, su caracterización sirve para saber si los elementos están funcionando como lo especifica la hoja de datos de cada uno de ellos. Esta tesis se basa en la caracterización de los elementos ópticos usados en el tema de tesis de maestría denominada “Caracterización en potencia de un láser de fibra dopada con erbio cuya cavidad es formada con dos rejillas de Bragg y una de ellas es sometida a cambios de temperatura” la cual está por publicarse y en el tema de tesis de maestría “Caracterización de un sensor de temperatura usando 2 rejillas de Bragg de fibra óptica” la cual está por publicarse. Sin lugar a dudas los resultados aportados por esta tesis servirán de referencia para trabajos posteriores.

1.3 Identificación del problema

Para poder realizar proyectos en el área de fibra óptica, es necesario que los elementos ópticos los cuales se requieran utilizar, se encuentren en su mejor estado para que al momento de utilizarlos funcionen como se espera. A simple vista no es posible determinar su estado, es por esto que se realizarán diferentes arreglos experimentales, de los cuales se realizarán mediciones a los componentes ópticos que componen cada arreglo, lo cual será de gran ayuda, debido a que el usuario a través de estas mediciones, sabrá las condiciones de los elementos ópticos que utilizará proyectos futuros, como por ejemplo en las tesis denominadas “Optimización de un sistema óptico que atenúa ruido ASE por medio de un interferómetro de Sagnac que se usa como filtro pasa banda”, y “Medida remota de la temperatura de un interferómetro de Sagnac dentro de una red LAN”.

1.4 Propuesta de solución al problema

Para saber el estado de un dispositivo es vital, utilizarlo y tomar las medidas con los equipos necesarios, en este caso se utilizará un analizador de espectros ópticos (OSA, *Optical Spectrum Analyzer*), el cual proporciona información del contenido espectral de una determinada fuente de luz [5]. Es por esto que para solucionar el problema anteriormente mencionado, se propone realizar las mediciones de los elementos ópticos, para verificar los resultados que arrojen los dispositivos, lo obtenido se comparará con las hojas de datos que se proporcionan con cada elemento óptico, y así observar y analizar los resultados que se obtendrán, y verificar si concuerdan o son muy próximos a los de las hojas de datos. Las mediciones que realizarán son las siguientes:

- La caracterización de la potencia emitida del Diodo láser de 980nm.
- La caracterización de la pérdida de inserción del WDM.
- La caracterización de la señal ASE.
- La caracterización de la potencia del Circulador óptico.
- La caracterización de la potencia de transmisión, o potencia reflejada del Interferómetro de Sagnac.

En la figura 1 se observa el arreglo experimental propuesto para la caracterización de cada una de las mediciones mencionadas anteriormente.

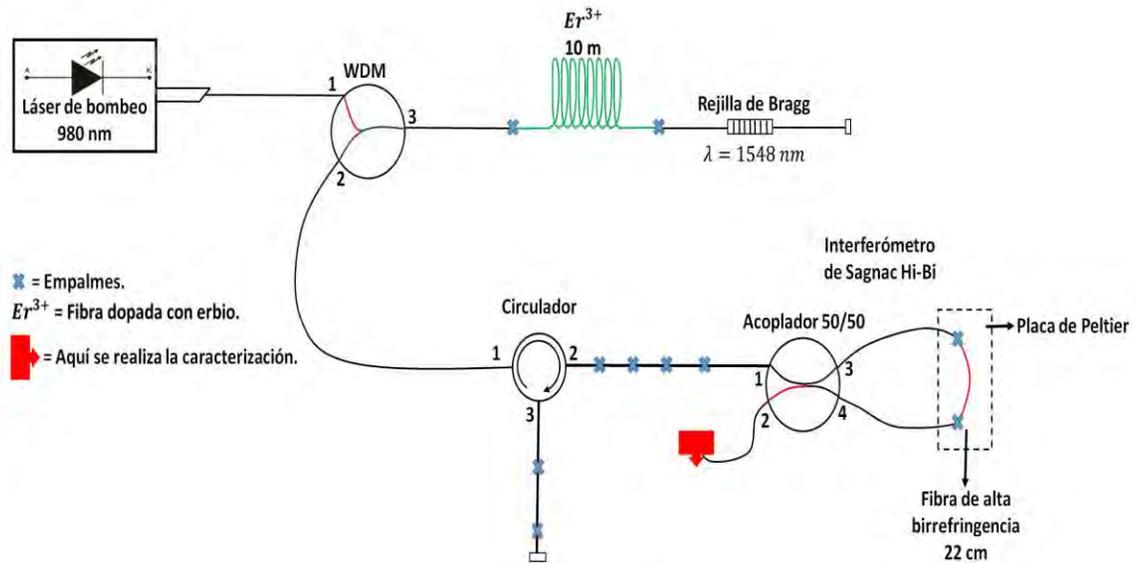


Figura 1. Arreglo experimental principal

La caracterización de potencia de los dispositivos ópticos, son medidas importantes, ya que se podrán conocer parámetros significativos de los elementos, como lo son, el diodo láser a 980 nm, el WDM, circulador óptico, interferómetro de Sagnac. Estos resultados que obtendrán se podrán aplicar para futuros trabajos de tesis que se pretendan realizar con estos elementos, al igual que para tener un control del estado de cada dispositivo de manera interna en el laboratorio.

1.5 Objetivo general

Realizar la caracterización de los componentes ópticos por medio de la medición de la potencia de emisión, de transmisión o de reflexión, usando el analizador de espectros óptico, el medidor de potencia alta y medidor de potencia baja.

1.6 Objetivos específicos

1. Seleccionar de los elementos que se usarán en la tesis denominada “Optimización de un sistema óptico que atenúa ruido ASE por medio de un interferómetro de Sagnac que se usa como filtro pasa banda”.
2. Seleccionar del instrumental adecuado para cada medición.
3. Aprender del uso de los dispositivos de medición y el programa Origin pro 8 para procesar los datos.
4. Obtener las hojas de datos para determinar los rangos que se medirán.
5. Diseñar de un arreglo experimental para incidir un haz láser a 980 nm en los elementos.
6. Analizar de los resultados obtenidos.

1.7 Metodología

Para obtener las medidas de atenuación en el diodo láser, el WDM, y en el circulador óptico se deben seguir ciertos pasos para poder realizar esta labor con éxito, a continuación se numeran los pasos que se realizaron para obtener éxito en el momento de las caracterizaciones:

1. Realizar los arreglos experimentales adecuados mostrados de las figuras 19 a la 28 del capítulo 3.
2. Verificar que el arreglo funcione correctamente.
3. Hacer emitir el Diodo Láser de 980 nm en el arreglo experimental.
4. Realizar mediciones adecuadas.
5. Guardar los datos obtenidos en las mediciones.
6. Graficar los datos obtenidos en las mediciones con el software Origin Pro 8.
7. Analizar las gráficas obtenidas.
8. Comparar las gráficas obtenidas con las hojas de datos de cada elemento.
9. Redactar la tesis.

1.8 Productos esperados

Al momento de realizar una tesis o un proyecto se debe hacer con la idea de obtener aportaciones a la sociedad científica, ya que estos son los que avalan que se estuvo trabajando en ello. Los productos esperados de esta tesis son los siguientes:

- Tablas de comparación de los resultados obtenidos del Diodo Láser contra las hojas de datos.
- Tablas de comparación de los resultados obtenidos del WDM contra las hojas de datos.
- Tablas de comparación de los resultados obtenidos del Circulador en las salidas 2 y 3 contra las hojas de datos.
- Implementación de los elementos ópticos caracterizados en la tesis “Optimización de un sistema óptico que atenúa ruido ASE por medio de un interferómetro de Sagnac que se usa como filtro pasa banda “.
- Difusión de resultados
- Tesis Redactada

A continuación se presenta como está estructurada esta tesis, en el capítulo 2 se presenta la base teórica en la que se sustenta este trabajo.

En el capítulo tres se enfocará toda la atención a lo que denominamos “arreglos experimentales”, los cuales son los diferentes escenarios en los cuales trabajamos, en esta sección se hablara porque se hacen estos arreglos experimentales y cómo funcionan.

En el capítulo cuatro se hablara sobre los resultados obtenidos en el capítulo tres, los cuales estos se analizaran detalladamente.

En el capítulo cinco se enfoca a escribir las conclusiones la cual se podrán determinar, por medio del análisis de los resultados que se obtuvieron en los capítulos previos.

CAPÍTULO 2

Bases Teóricas

2.1 Introducción

En el presente capítulo se describirán términos los cuales aportaran gran conocimiento sobre las bases teóricas para poder tener un amplio vocabulario para entender más respecto al tema de la cual trata la tesis, desde lo más básico como lo es el método para poder saber el estado de los dispositivos a utilizar, hasta como se llama cada dispositivo y como funciona, de igual manera es indispensable saber los efectos químicos que se producen en la fibra para realizar la amplificación, hablar de estos temas, al igual de los que se presentaran en los siguientes capítulos es muy importante ya que se observaran los arreglos experimentales utilizados y los resultados obtenidos de las “caracterizaciones”.

2.2 Método de descripción de dispositivos

Conocer con detalle el estado de un objeto y el funcionamiento de este mismo, es indispensable, debido a que gracias a esto se puede agilizar nuestra vida al momento de utilizar cualquier accesorio. En la actualidad en el mundo de la tecnología y la ciencia, saber el estado de un dispositivo es verdaderamente fundamental, ya que proporciona seguridad al momento de estar realizando, ya sea una práctica de campo o algún proyecto, uno de los métodos que se utiliza para poder conocer estos parámetros es la caracterización, la cual es un método para presentar o describir una cosa con sus rasgos característicos de manera que resulte inconfundible [6]. En el trabajo aquí redactado la caracterización ayudará a conocer uno de un sinfín de parámetros de los dispositivos ópticos, como son la emisión de luz si es un láser o un LED, la absorción si es un detector o una fibra óptica, las pérdidas de inserción para elemento que se introduce a un arreglo experimental entre otras. Dentro de los parámetros que más afectan a los sistemas de fibras ópticas en el régimen de baja potencia son la atenuación y la dispersión. En este trabajo de tesis como el sistema es todo de fibra y configurado como un sensor la dispersión no afecta al sistema, mientras que si lo hace la atenuación. En la siguiente sección se dan los mecanismos que originan la atenuación.

2.3 Atenuación

La atenuación de la señal es una de las principales desventajas de las fibras ópticas porque determina la separación de los amplificadores o de los repetidores entre transmisor y receptor. Debido a que los amplificadores y repetidores son caros para fabricar, instalar, y darles mantenimiento, el grado de atenuación en una fibra tiene una gran influencia en el costo del sistema [7].

La atenuación de la fibra se define de manera práctica como la disminución de la potencia de la señal a medida que ésta se propaga por kilómetro de fibra óptica. En una fibra óptica, y para un determinado modo de propagación, dicha reducción de la potencia se produce de manera exponencial con respecto a su longitud recorrida. Esta relación se expresa en unidades logarítmicas la cual hacen referencia a los decibeles. El decibel, que se usa para comparar dos niveles de potencia, se puede definir para una determinada longitud de onda como el cociente entre la potencia óptica a la entrada de la fibra p_i y la potencia óptica de salida p_o según la siguiente fórmula

$$A \left(\frac{dB}{Km} \right) = \frac{10}{L} \log_{10} \frac{p_o}{p_i}$$

donde

$A(dB)$ = atenuación de la luz a través de la fibra

p_o = potencia de salida en la fibra (watts)

p_i = potencia de entrada en la fibra (watts)

La atenuación, es adimensional ya que no tiene unidades, pero se expresa en dB/Km para fines científicos y escolares. La atenuación depende de la longitud de onda de operación, para las fibras de óxido de silicio convencionales, la atenuación es mínima alrededor de 1550nm, con un valor de $0.2 \frac{dB}{km}$, [8] es por esto que la señal que se transmite en fibras ópticas mayormente es a la longitud de onda de 1550nm, porque como se menciona es donde tiene mejor respuesta debido a que tiene menos atenuación.

Una vez que se sabe la definición de atenuación, se debe dar a conocer porqué se ocasionan los mecanismos, que contribuyen a la atenuación los cuales son: Absorción, Esparcimiento, Pérdidas por Macrocurvaturas, Pérdidas por Microcurvaturas.

2.4 Mecanismos de degradación

2.4.1 Absorción

La absorción de la luz por el material del que está hecha la fibra óptica y las impurezas que ahí se encuentran (como son Hierro, Cobre, Cromo, Manganeso, iones de Hidróxido y otras). Todo material absorbe en mayor o menor medida la luz a determinadas longitudes de onda, reduciendo así su nivel de transparencia. El material con el que está hecha la fibra óptica absorbe parte de la luz que ahí viaja, disminuyendo la energía de la señal óptica que llega al detector. Gran parte de esta energía que se absorbe se convierte en calor, el cual posteriormente es transmitido al medio circundante que se encuentra a menor temperatura [9].

2.4.2 Esparcimiento Rayleigh

El proceso de fabricación de una fibra óptica no es perfecto, la fibra siempre posee fluctuaciones de densidad microscópica o inhomogeneidades. Cuando el haz de luz que va propagándose “colisiona” con estas inhomogeneidades, parte de la luz es desviada, y escapa de la trayectoria impuesta por la fibra. La luz que se escapa representa pérdida de energía, o atenuación, del total de energía que originalmente se propagaba a lo largo de la fibra. A este proceso se le conoce como esparcimiento Rayleigh [9].

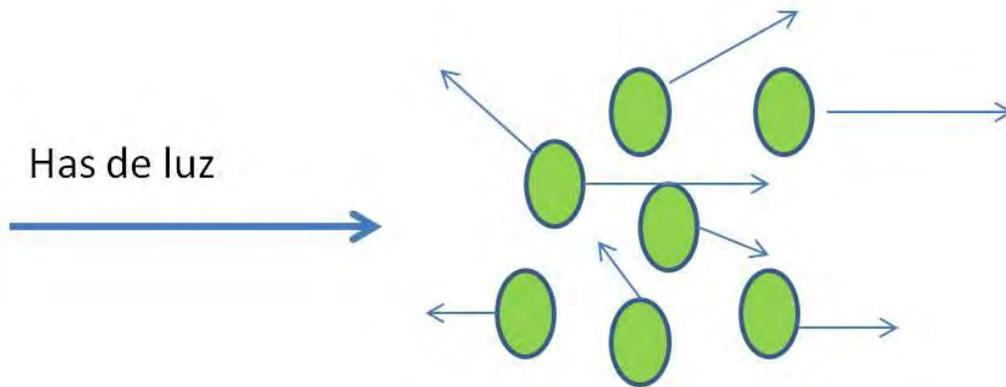


Figura 2. Rayo óptico esparcido en múltiples direcciones, esparramamiento Rayleigh

Los enlaces de fibra óptica, muchas veces se encuentran en zonas hostiles, lo cual puede provocar que estas se maltraten y se provoquen curvas en ellas las cuales pueden minimizar la calidad del servicio, existen dos tipos de atenuación por curvaturas, las cuales son por macrocurvaturas y microcurvaturas.

2.4.3 Atenuación por macrocurvaturas

La atenuación por curvatura se producen cuando le damos a la fibra óptica una curvatura excesivamente pequeña la cual hace que los haces de luz logren escapar del núcleo por superar el ángulo máximo de reflexión total interna [10].

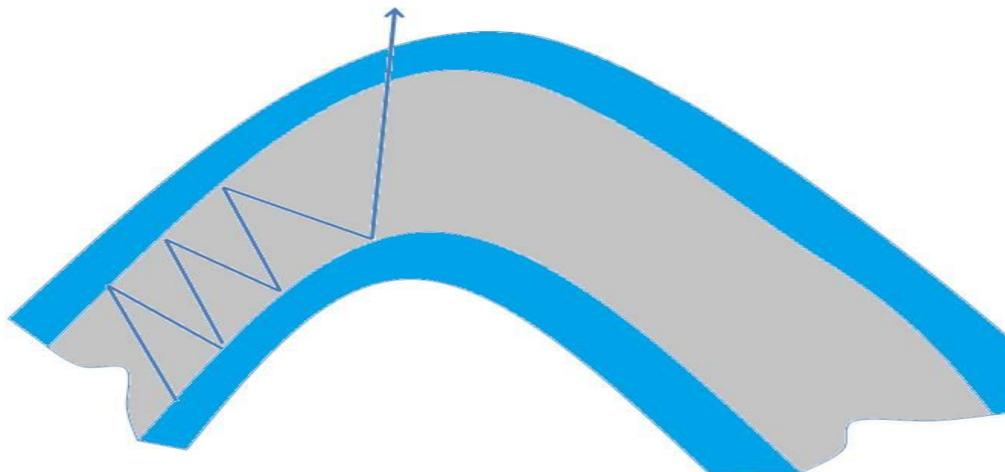


Figura 3. Representación gráfica de pérdidas por macrocurvaturas

2.4.4 Atenuación por microcurvaturas

Esta cambia el ángulo en la que se propaga la luz, e induce a un acoplamiento de modos, es decir transforma un modo m en otro modo m . Este acoplamiento solo puede lograrse si el cambio del ángulo da lugar a un nuevo ángulo correspondiente al modo m que pueda propagarse efectivamente. El cambio de ángulo depende de la microcurvaturas; si las microcurvaturas son de igual amplitud y espaciado, provocan variaciones idénticas de los ángulos, lo que sucesivamente acopla a todos los modos, con el fin de llevarlos de microcurvaturas a microcurvaturas hacia modos que no podrán propagarse, ya que no cumplen las condiciones de la reflexión total [11,12].

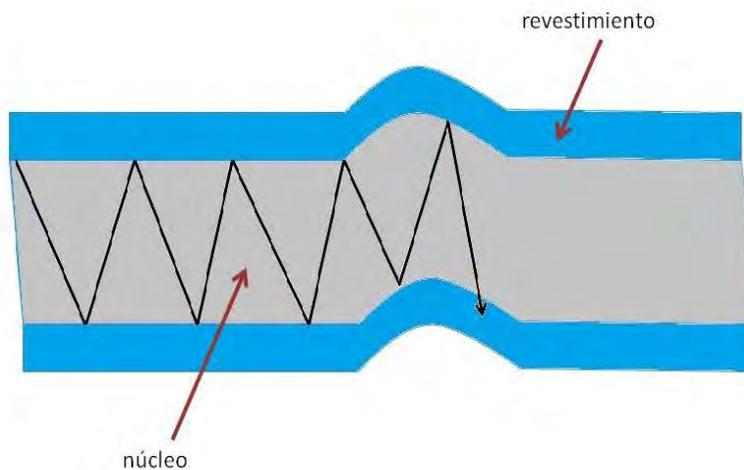


Figura 4. Representación gráfica de atenuación por microcurvaturas

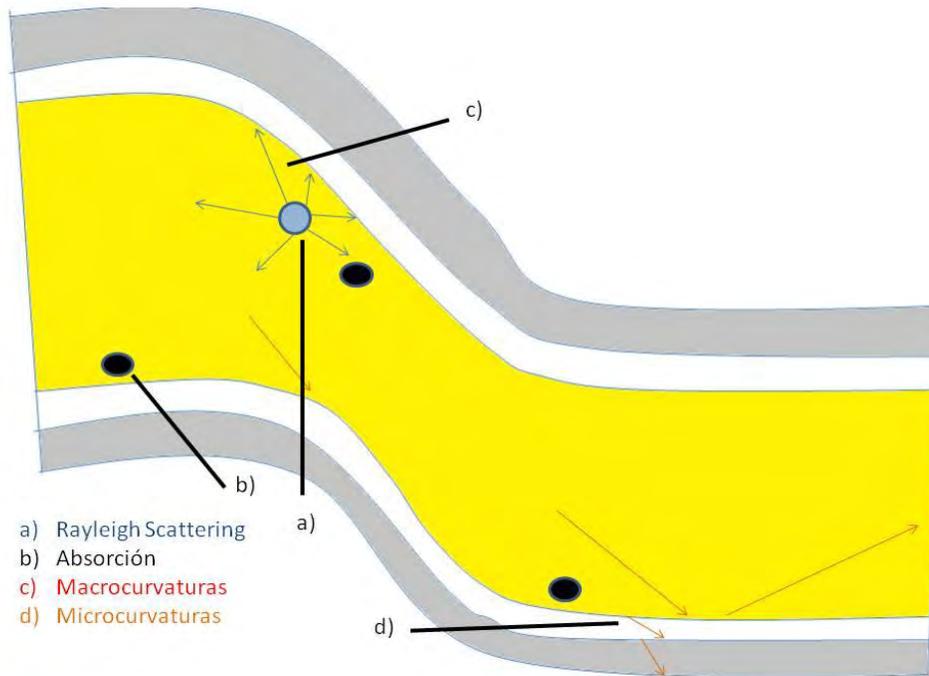


Figura 5. Mecanismos de degradación de potencia

Los casos antes mencionados son las más importantes y que comúnmente suceden en la fibra óptica pero al igual existen otros factores por los cuales la atenuación se hace presente:

No acoplamiento, pérdidas por inserción, pérdidas por envejecimiento.

La atenuación por no acoplamiento ocurre cuando al momento de realizar un empalme, este se hace con dos fibras de diferentes tamaños de núcleos, esto al suceder reducirá drásticamente la potencia óptica

La pérdida por inserción, es el principal parámetro de rendimiento de la mayoría de los componentes de fibra óptica. Para la fibra, consiste en la pérdida por unidad de longitud o coeficiente de atenuación. Existe al igual para los conectores, consiste en la pérdida por conexión cuando se une a otro conector. La fibra óptica como todo medio para transmitir

información tiene un tiempo de vida útil, el de la fibra óptica ronda entre los 25 a 30 años, sin embargo esta información no es realmente exacta debido a que existen varios factores que pueden influir en este aspecto como lo son:

Tipo de cable, tendido del cableado, zona geográfica., instalación a la que se ha sometido.

Esta información puede ayudar al momento de realizar algún arreglo experimental, para poder realizarlo de manera óptima y poder tener una comunicación con una atenuación que no perjudique.

2.5 Emisión espontánea amplificada

Como se mencionó anteriormente un sistema de transmisión por medio de fibra óptica está limitado por dos grandes dificultades las cuales son la atenuación y la dispersión. Actualmente, los amplificadores ópticos son de gran importancia para estos sistemas de transmisión a grandes distancias. La evaluación de un EDFA requiere medidas de la ganancia de un rango de señales de entrada y potencia de bombeo diferentes. La caracterización de un EDFA suele ser complicada, habiendo varios métodos para caracterizarlo. Una de las dificultades de la caracterización de un amplificador es la presencia de la emisión espontánea amplificada (Amplified Spontaneous Emission, ASE) [13].

2.5.1 Como se produce la emisión espontánea amplificada

El principio de operación que presentan los amplificadores ópticos es el siguiente. La fibra dopada con erbio, al ser estimulada mediante una señal de bombeo, provoca que los átomos absorban fotones, quedando estos en estado excitado. Al volver a su estado original, liberan energía almacenada, este fenómeno es conocido como emisión. La emisión puede presentarse en dos formas, la primera de ellas es la emisión espontánea ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la principal característica que esta presenta es que no existe una relación de fase entre los

fotones emitidos y los fotones incidentes. La emisión estimulada ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en cambio, se produce cuando un fotón incide, con lo cual los fotones emitidos coinciden con los fotones incidentes, tanto en fase como dirección lo que produce una interferencia, que finalmente produce la amplificación de la señal de la luz incidente [14].

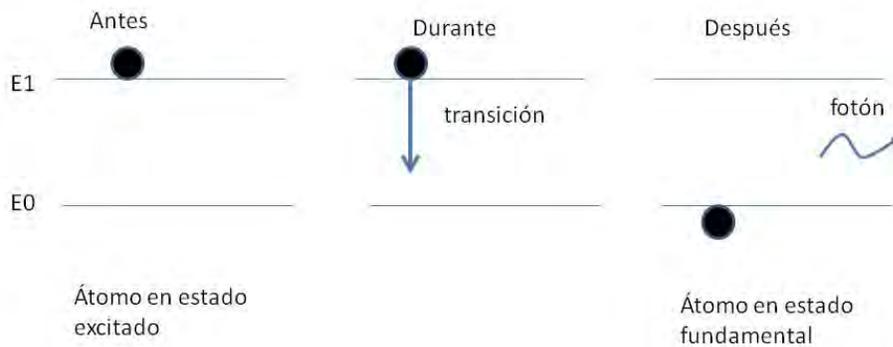


Figura 6. Diagrama de feynman. Emisión espontánea

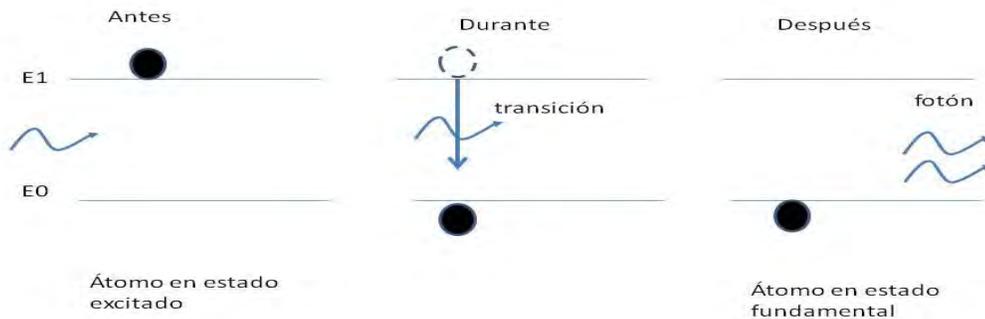


Figura 7. Diagrama de Feynman. Emisión estimulada

El principio básico de la amplificación de la señal en fibra dopada con erbio se basa en el hecho de que cuando una señal óptica pasa a través de la fibra dopada con erbio, la señal se amplifica debido a la transición estimulada entre los estados electrónicos en presencia de radiación electromagnética a la longitud de onda correcta para lograr la inversión de población ver Figura 8.

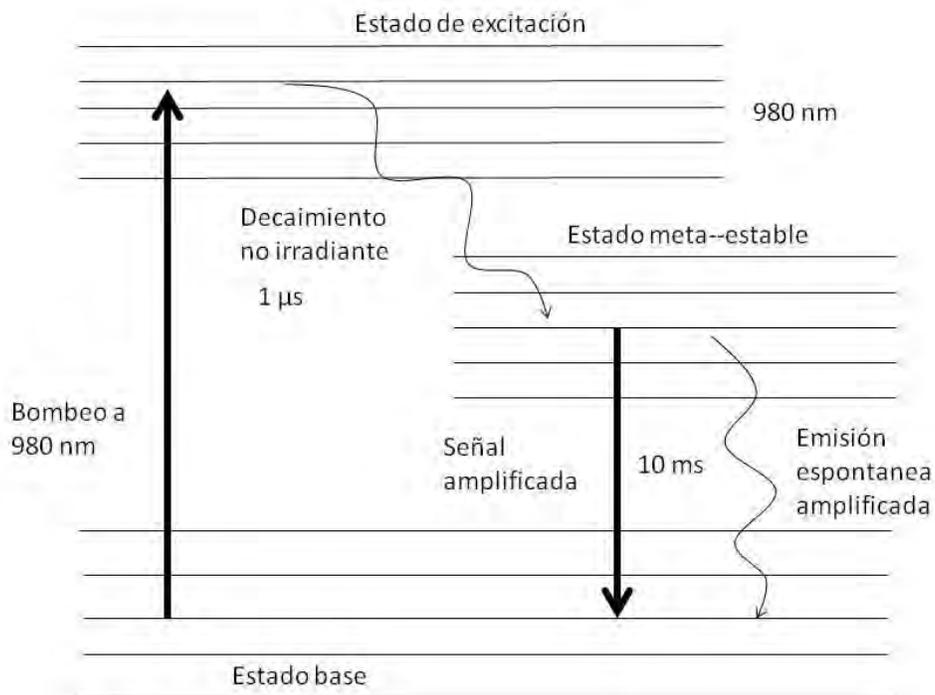


Figura 8. Diagrama de estructura atómica del erbio como un sistema de 3 niveles

Cuando un bombeo en este caso de 980 nm se aplica a la fibra dopada con erbio, los fotones que inciden son absorbidos, ocasionando una transición desde el nivel base, hasta el nivel de excitación. Teniendo en cuenta que el tiempo de vida de los fotones en el nivel de excitación es de 1 μ s y en el nivel metaestable es de 10 ms, como existe una diferencia entre los tiempos de vida, se tiene que los electrones decaerán al nivel de energía metaestable, a través de una transición, pero esta transición no irradia luz. Al contrario dada la extensa duración de vida que posee el estado metaestable, si la señal que se bombeo se mantiene, esto producirá una inversión de población, entre los niveles de energía metaestable y el estado base, es a partir de esta energía almacenada que se produce la amplificación de la señal de bombeo, mediante la emisión estimulada, además de producirse este fenómeno también se produce la emisión espontánea. Esta sucede ya que algunos fotones decaen de forma espontánea desde el nivel metaestable al nivel básico, lo cual dicha emisión espontánea de igual manera se amplifica lo que origina el ruido de emisión espontánea amplificada.

2.6 Dispositivos todo de fibra

Se ha hablado de los problemas que existen en la comunicación por fibra óptica, de igual manera del efecto el cual produce la amplificación de la señal a transmitir, pero no se mencionó que todo esto se debe realizar con los dispositivos adecuados. Con los dispositivos para fibra óptica, a continuación, se describirán los dispositivos los cuales integran un EDFA.

2.6.1 Fibra óptica estándar

En la elaboración de los arreglos experimentales utilizados para esta tesis, se utilizaron diferentes tipos de fibra óptica, entre las cuales se encuentra la fibra óptica estándar. Se dice estándar porque esta fibra se puede decir que es pura, o mejor dicho sólo tiene los compuestos químicos del vidrio. Esta fibra existen de dos tipos la multimodo y monomodo, cuando se dice monomodo se hace referencia de que a través de la fibra sólo se transmitirá

un haz de luz y cuando hace referencia a multimodo se dice que a través de la fibra se transportara dos o más haces de luz. Otra característica de la fibra estándar es que puede haber de diferentes dimensiones de núcleo, al igual que hay diferentes por su tipo de índice puede haber gradual y escalonado. Cabe mencionar que de igual manera existen las fibras de plásticos, pero para la implementación de esta tesis no se utilizó es por esto que se enfoca a las fibras ópticas de vidrio.

2.6.2 Fibra óptica dopada

Estas fibras ocupan un lugar muy importante en el área de investigación de fibras ópticas. Debido a que su estructura química es diferente a la fibra óptica estándar y esto ayuda a la investigación a descubrir cosas nuevas. La diferencia entre las fibras ópticas estándar y las dopadas, es que a las fibras dopadas su estructura química se combina con diferentes tierras raras, las cuales les otorgan ciertas características.

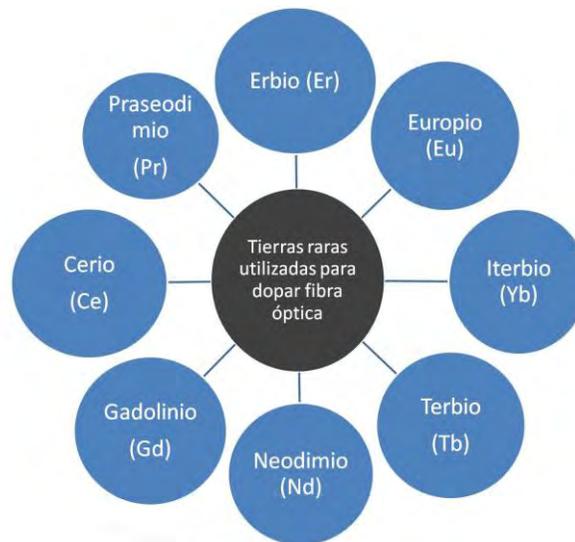


Figura 9. Diagrama de las tierras raras utilizadas para dopar la fibra óptica

En esta tesis, la tierra rara que se utiliza es el erbio, la característica que el erbio le proporciona a la fibra óptica es que amplifica la señal de bombeo.

2.6.3 Fibra de alta birrefringencia

Todas las fibras ópticas tienen birrefringencia, unos en más cantidad que otras, pueden ser de baja birrefringencia, la mayoría de las fibras tienen esta descripción, pero de igual forma hay de alta birrefringencia. La birrefringencia o de igual manera llamada doble refracción es una propiedad que tienen ciertos cuerpos, esta propiedad les permite un rayo de luz incidente en dos, linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí, como si el material tuviera dos índices de refracción diferentes. El primero de los dos rayos sigue las leyes de la refracción y se llama *rayo ordinario*, el otro tiene como característica que su velocidad es diferente y el índice de refracción es variable y se llama *rayo extraordinario*.

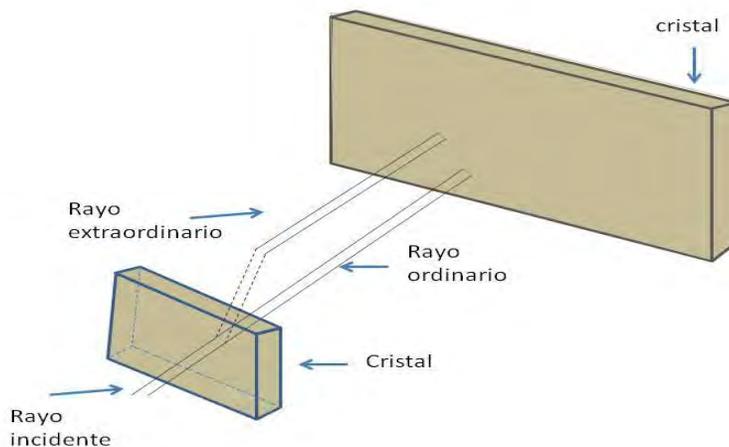


Figura 10. Representación de un haz de luz con birrefringencia

La birrefringencia se debe a la pérdida de la simetría en el índice de refracción del núcleo de la fibra, debido a cambios moleculares del material, lo cual se llama anisotropía o pérdida de la geometría circular del núcleo de la fibra óptica. Algunas de las causas por las que la fibra puede perder su geometría circular son:

Esfuerzos en el proceso de fabricación o instalación, contracción y dilatación debido a cambios de temperatura, tensiones, curvaturas.

El efecto neto de la birrefringencia en una fibra óptica es el de inducir un retardo entre los dos modos de polarización[15] .Porque se dice inducir retardos en los efectos de polarización, los haces de luz de los láser, se dicen que son luz coherente, y tiene la propiedad de tener alguna polarización, esa sería lo ideal, pero toda fibra óptica pasa por todas las polarizaciones, la lineal, la circular y la elíptica, pero dependiendo de la distancia en la que realice los cambios de polarización, por ejemplo si la distancia que le toma cambiar de polarización lineal, elíptica y circular es corta se dice que es de alta birrefringencia, y si por el contrario la distancia del cambio de polarización es mucha se dice que es de baja birrefringencia.

2.6.4 Multiplexor por división de longitud de onda

Para los canales de fibra óptica se utiliza una variante de la multiplexación la cual se llama multiplexación por división de longitud de onda (*WDM, Wavelength Division Multiplexer*) en la

Figura 11 y la Figura 12 se puede observar el principio básico de un WDM en fibra óptica. Cuatro fibras se unen en un combinador óptico, cada una con su diferente longitud de onda, los cuatro haces se combinan en una sola fibra compartida para transmitir a un destino distante. En el extremo distante, el haz se divide en tantas fibras como hayan entrado, cada fibra saliente tiene un núcleo corto especialmente construido que filtra todas las longitudes de onda, excepto una. Las señales resultantes pueden enrutarse a su destino o recombinarse en formas para transporte adicional multiplexado.

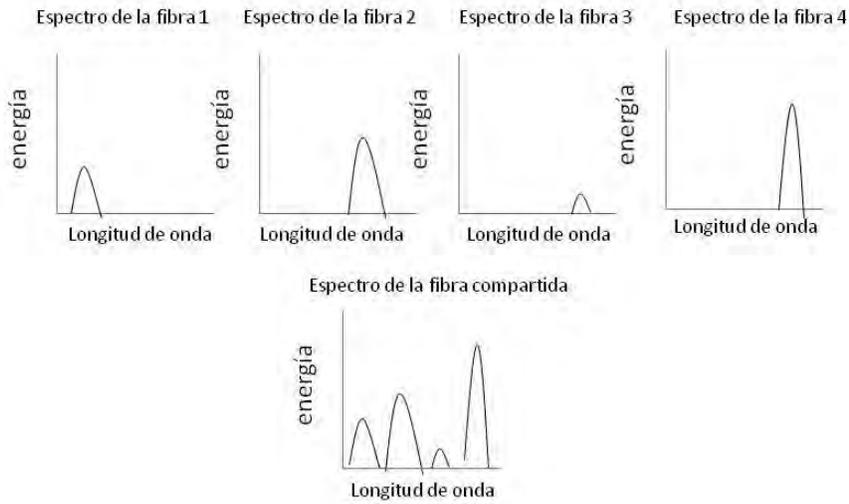


Figura 11. Espectros ópticos con diferente energía y longitud de onda

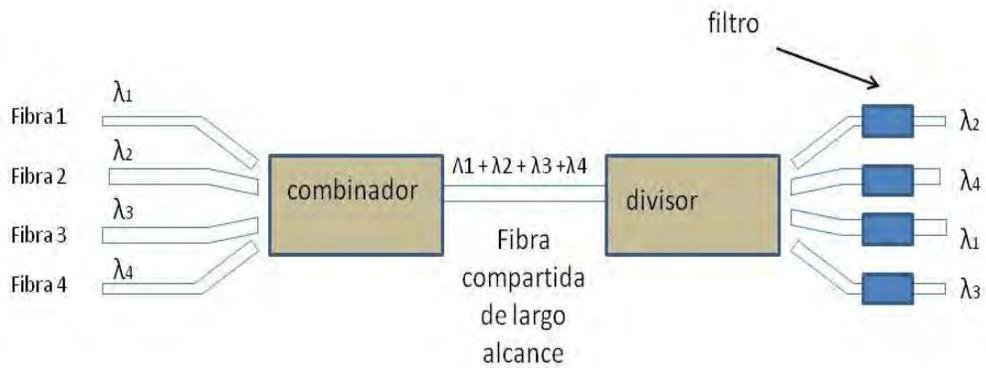


Figura 12. Diagrama de la multiplexación por división de longitud de onda

Cabe señalar que la razón por la que la tecnología WDM se volvió muy popular, es que la energía de una fibra óptica es de por lo general es de unos cuantos gigahertz y debido a que en la actualidad es imposible convertir con mayor rapidez entre los medios ópticos y eléctricos [16]. Es por eso que este dispositivo se ha vuelto esencial en la fabricación de amplificadores de fibra dopada con erbio.

2.6.5 Circulador óptico

Un circulador óptico es un dispositivo el cual dirige la señal luminosa de un puerto al siguiente, realizándolo de manera secuencial y siguiendo una sola dirección [17]. El esquema del circulador de tres puertos se presenta en la Figura 13.

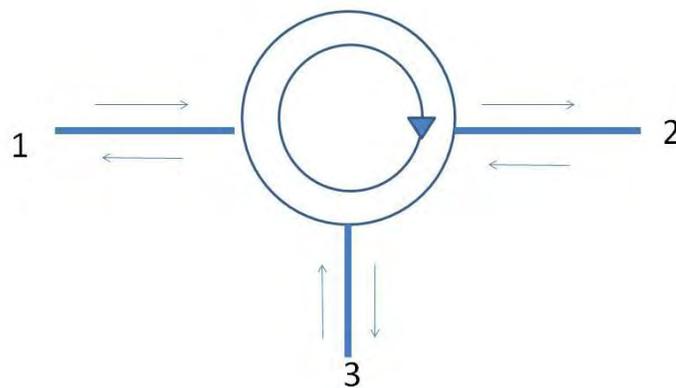


Figura 13. Diagrama de un circulador óptico

No existe un único principio de operación detrás de los circuladores ópticos. Los circuladores están hechos de un conjunto de componentes ópticos y es por esto que hay muchos diseños diferentes. La luz que viaja en una dirección a través de un rotador Faraday tiene su polarización girado en una dirección particular. La luz que entra el rotador Faraday desde la dirección opuesta tiene su fase de girado en la dirección opuesta. Otra forma de ver esto es para decir que la luz se gira siempre en el mismo sentido en relación con el

rotador independientemente de sentido de la marcha. Pero esto se complica por la presencia de polarización impredecible. Podríamos filtrar la polarización no deseada pero perderíamos en promedio la mitad de nuestra luz en hacer eso - y, a menudo mucho más. Así que separamos del rayo incidente en dos rayos polarizadas ortogonalmente y tratamos a cada polarización por separado. Las dos mitades del rayo se vuelven a combinar antes de ser mostrada en el puerto de destino.

2.6.6 Acopladores ópticos

Es un dispositivo pasivo cuya función es la combinación de señales ópticas o bien la división de potencias entre distintos caminos ópticos. Los acopladores basados en fibra monomodo fundamentan su operación en el mecanismo de acoplamiento resonante. Para que este tenga lugar, los núcleos de dos fibras se sitúan paralelamente y muy próximos entre sí, pero sin llegar a tocarse. La luz que se propaga en una de las fibras se va transfiriendo progresivamente hacia la otra, hasta que llega un momento en el que toda la potencia de la primera fibra se encuentra en la segunda. A continuación, el proceso se reinvierte y la potencia vuelve a distribuirse entre las fibras. La *longitud de acoplamiento* es la distancia recorrida, en la que se logra la transferencia completa de potencia entre la primera y segunda fibra. Eligiendo convenientemente el tramo en el que las fibras se aproximan entre sí, es posible gobernar como se produce el reparto de potencia entre ambas. Por ejemplo, si el tramo es igual a la mitad de la longitud de acoplamiento, la potencia de entrada de una fibra se reparte 50% entre ambas en la salida [18]. El acoplador óptico 50/50, tiene una pérdida de inserción de 3.8 dB de acuerdo la hoja de datos. Ver apéndice 1.

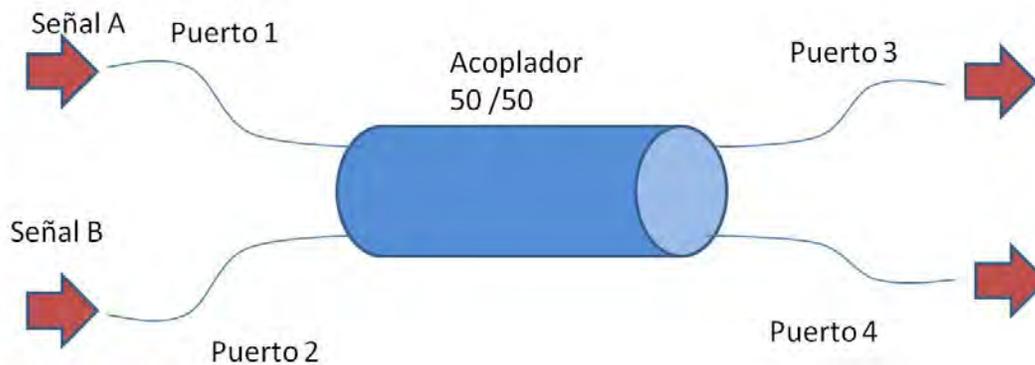


Figura 14. Diagrama de un acoplador óptico 50/50

Las rejillas de Bragg (*Fibre Bragg Gratings, FBG*) es una clase de filtro óptico muy versátil. Estos dispositivos se construyen al hacer interferir en una fibra óptica monomodo posiblemente dopada con germanio, dos haces de luz ultravioleta. Este proceso literalmente graba de forma permanente en la fibra óptica un patrón de interferencia en el que el valor del índice de refracción varía periódicamente, creando así regiones de bajo y alto índice de refracción que se alternan a lo largo de la fibra [19]. Las FBGs reflejan las señales ópticas con una longitud de onda particular establecida por la denominada condición de Bragg, la luz fuera de esa longitud de onda pasa a través de la FBGs sin sufrir cambios [20]. En su forma más común una FBG consiste en la variación periódica o aperiódica del índice de refracción efectivo de la fibra óptica. Este efecto hace posible que las FBGs realicen funciones como reflexión, dispersión y filtrado de la luz [21].

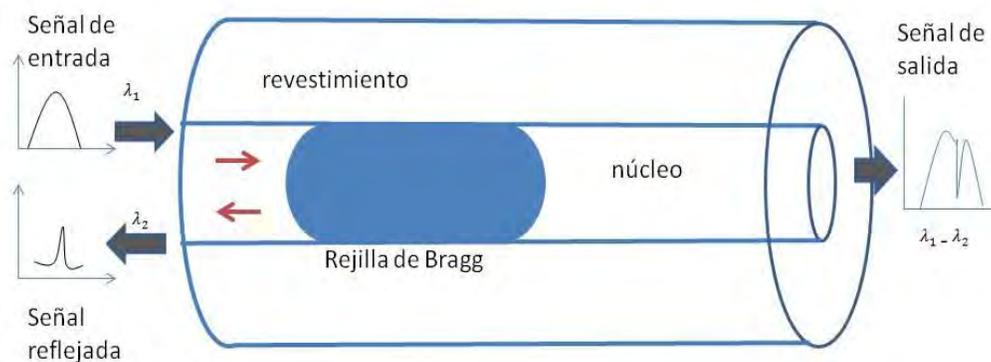


Figura 15. Esquema de una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo de una fibra óptica

El principio de funcionamiento de las FBG, puede ser inscrita en el núcleo de la fibra principalmente, por medio de dos distintas técnicas, ya sea por máscara de fase e interferometría, en cada una de estas técnicas el cambio de índice de refracción es logrado con la exposición de la fibra a radiación UV. Desde entonces las FBGs han sido implementadas en las telecomunicaciones como láseres, amplificadores, filtros, multiplexores y compensadores de dispersión.

2.6.8 Interferómetro de Sagnac

El espejo de lazo óptico no lineal (*Nonlinear Optical Loop Mirror, NOLM*), también conocido como interferómetro de Sagnac no lineal ha ganado amplia aceptación como un sistema de conmutación ultrarrápido con una excelente estabilidad [22]. El interferómetro de Sagnac consiste de un acoplador bidireccional de fibra de cuatro puertos, de los cuales dos, los puertos de salida, han sido unidos para formar una trayectoria cerrada, como se observa en la Figura 16. Cuando una señal entra al acoplador es dividida en dos campos de amplitud complementaria y con una diferencia de fase de $\frac{\pi}{2}$ entre ellas. Cada uno de estos campos sale por uno de los puertos de salida y se propagan a través de la trayectoria cerrada en direcciones opuestas. Dentro del lazo las dos señales sufren un corrimiento en fase a lo largo de la fibra, debido generalmente a algún cambio en las características del medio. Al volver a pasar por el acoplador, en donde la diferencia de fase entre los campos puede ser diferente de $\frac{\pi}{2}$, estas dos ondas interferirán dando lugar a las señales transmitidas y reflejada, que podrán ser observadas a través de los puertos de entrada. Usualmente la respuesta del lazo no depende de la longitud de onda en una banda bastante amplia, aproximadamente de 100 a 200 nm. Este interferómetro es también conocido como espejo de fibra, ya que cuando la razón es 50/50 la señal que entra en el acoplador recorre todo el lazo y sale exactamente por el mismo puerto de entrada. La polarización es importante porque en cualquier dispositivo donde la interferencia está presente, los haces deben coincidir con la misma polarización o la interferencia se verá incompleta. En dispositivos ópticos, en los cuales la luz se controla con luz, la presencia de diversas polarizaciones con diferente trayectoria no funcionará la interferencia. Por otro lado el contar con un dispositivo en el cual no se tome en cuenta la polarización de la luz, permite operar señales de cualquier polarización [23]. Comúnmente el lazo del interferómetro de Sagnac, es de fibra birrefringente ya sea de alta o de baja.

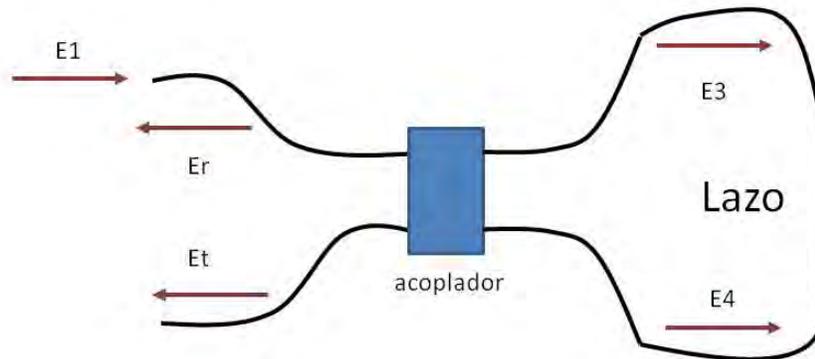


Figura 16. Configuración del interferómetro de Sagnac de fibra óptica

2.6.9 Láser

La palabra láser significa (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), es decir, *Luz Amplificada por la Emisión Estimulada de Radiación*. Los láseres se pueden dividir en varios grupos, de acuerdo a diferentes criterios

- El estado de la materia del medio activo: sólido, líquido, gas o plasma.
- El rango espectral de la longitud de onda del láser: espectro visible, espectro infrarrojo.
- El método de excitación (Bombeo) del medio activo: bombeo óptico, bombeo eléctrico.

2.6.10 Diodo láser

El diodo láser es un diodo de semiconductor que emite luz láser coherente. Esencialmente, no es más que un bloque de material semiconductor que contiene una unión p-n, con las regiones p y n muy densamente dopadas y con una estructura interna más o menos compleja que se hace funcionar a modo de diodo para producir un efecto láser. En estos

materiales, el efecto láser no ocurre por transiciones entre niveles de energía atómicos o de sistemas moleculares sino que, por el contrario, se ha de considerar la estructura de bandas de energía del cristal como un todo.

Ventajas del diodo láser.

- La emisión de luz es emitida en una sola dirección
- La emisión de la luz es monocromática.
- Alta fiabilidad.
- Pequeño peso y volumen.
- Corriente de umbral muy baja.

Desventajas del diodo láser

- Una alta sensibilidad a los cambios de temperatura.
- Alto calentamiento al pasar corriente sobre el material diodo

2.6.11 Láseres de bombeo

La comercialización de los láseres de bombeo está disponible, con una potencia suficiente para suministrar ganancia desde el dispositivo. Hay varios tipos de diodos láser para el bombeo de fibras ópticas dopadas con erbio:

- diodo láser de bombeo de 1480 nm.
- diodo láser de bombeo de 980 nm.
- diodo láser de bombeo de 800 nm.
- diodo láser de bombeo de 670 nm.

Los diodos láser más utilizados son los de 1480 nm y 980 nm. El láser de 1480 nm fue el primer diodo láser para demostrar una confianza en el uso de unos sistemas de telecomunicaciones. El láser de 980 nm de bombeo, provee un ruido menor que al de 1480nm. En la Figura 17 se muestra los esquemas de niveles de energía para el láser de semiconductor y seguidamente en la Figura 18 se muestra la gráfica de potencia de salida de un diodo láser.

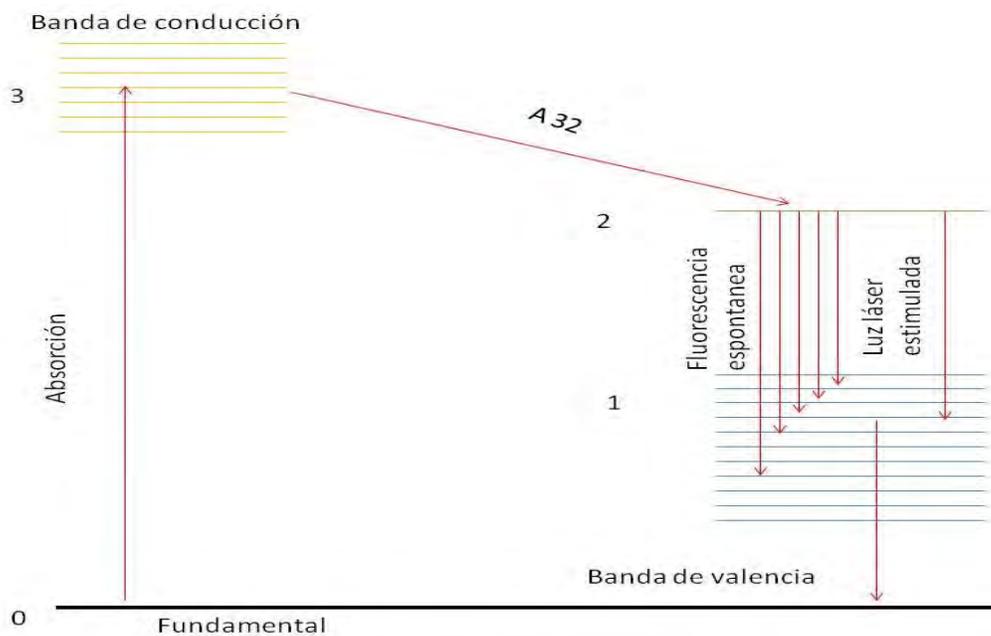


Figura 17. Esquema de 4 niveles para diodos semiconductores

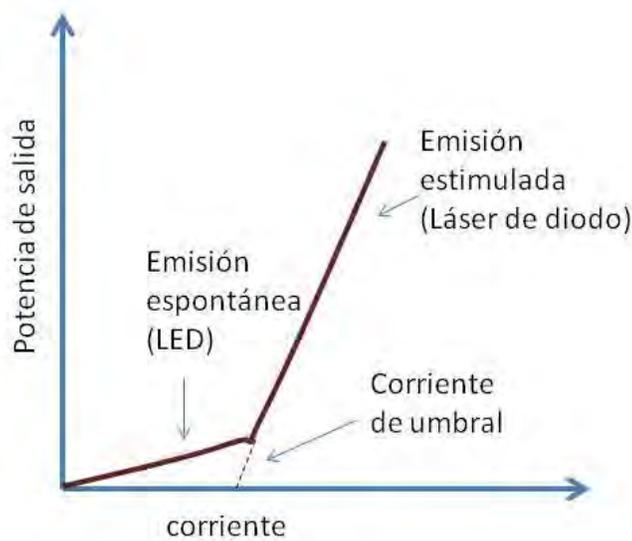


Figura 18. Gráfica de potencia de salida de un diodo láser

2.7 Instrumentos de medición ópticos

A continuación se describirán algunos de los instrumentos ópticos más empleados al momento de caracterizar un arreglo experimental óptico. Los instrumentos de medición óptica ocupan un lugar muy importante al momento de realizar un enlace de fibra óptica, debido a que gracias a ellos se pudieron realizar investigaciones y verificar que cada dispositivo funcione correctamente. A continuación se mencionarán algunos dispositivos de medición ópticos con los cuales se trabajó al momento de realizar la tesis.

2.7.1 Medidor de potencia óptica

El medidor de potencia de fibra óptica, mide cuánta potencia de luz está saliendo de un cable de fibra óptica; esta potencia puede ser utilizada para determinar la cantidad de luz que se generan por una fuente óptica, o la cantidad de luz que se acopla en un receptor óptico. La potencia óptica se mide generalmente en dBm, o decibelios referenciados a 1 mW. Estos dispositivos miden la potencia óptica promedio, no la potencia de pico, por lo

que son sensibles al ciclo de trabajo de los datos transmitidos. Su longitud de onda y rango de potencia tienen que ser emparejado apropiadamente para el sistema que se está midiendo. La mayoría de los medidores de potencia que se utilizan para probar las redes de comunicación están diseñados para funcionar a 850 nm, 1.300 nm, y 1550 nm de longitud de onda y en el rango de potencia de -15 dBm a -35 dBm, para los enlaces multimodo, o de 0-40 dBm para enlaces monomodo[24].

2.7.2 Analizador de espectros ópticos

Un analizador de espectro óptico (*Optical Spectrum Analyzer, OSA*) es un instrumento que se utiliza para medir la densidad espectral de una señal de onda de luz en diferentes longitudes de onda. Es una de las piezas más útiles de instrumentos en el sistema de fibra óptica, especialmente cuando la multiplexación por división de longitud de onda se introduce en los sistemas en los diferentes canales de datos se realizan por diferentes longitudes de onda. Además de ser capaz de identificar la longitud de onda de una señal óptica, un analizador de espectro óptico se utiliza a menudo para encontrar el nivel de potencia de la señal óptica a cada canal de longitud de onda, evaluar la relación señal-ruido y la diafonía óptica, y comprobar el ancho de banda óptica cuando una portadora óptica es modulada.

2.7.2.1 Especificaciones generales

El parámetro más importante que un OSA ofrece es la densidad espectral óptica frente a longitud de onda. La unidad de la densidad espectral óptico está generalmente expresada en watts por hertz [w / Hz], que se define como la potencia óptica dentro de un ancho de banda de un hertz medido a una cierta longitud de onda. Las cualidades más importantes de un OSA pueden ser especificados por el parámetro siguiente:

- 1. Rango de longitud de onda:** Es el rango de longitud de onda máxima que la OSA puede cubrir garantizando el cumplimiento específico. Aunque se desea una amplia gama de longitud de onda, la limitación práctica proviene de la ventana de longitud de onda aplicable de filtros ópticos, foto detectores, y los dispositivos ópticos. El rango

de longitud de onda típico del OSA disponible en el comercio es de 400 nm a 1.700 nm.

- 2. Exactitud de longitud de onda:** Está específica la precisión con la que el OSA mide la longitud de onda. La mayoría de los OSA comerciales especifican por separado exactitud de longitud de onda absoluta y exactitud de longitud de onda relativa. Exactitud de longitud de onda absoluta, específica cómo es exacto el valor de longitud de onda absoluta medida, que a menudo se ve afectada por la calibración de longitud de onda. Exactitud de longitud de onda, con respecto dice cómo es precisa la separación de longitud de onda medida entre dos señales ópticas, que está determinada principalmente por la no linealidad de los filtros ópticos. En los OSA típicos, la precisión longitud de onda de menos es de 0,1 nm.
- 3. Ancho de banda de la Resolución:** Define como un OSA corta el espectro óptico de la señal durante la medición. La densidad de espectro óptico, es la potencia óptica total dentro de un ancho de banda especificado, un ancho de banda de menor resolución significa una caracterización más detallada de la señal óptica. Sin embargo, el ancho de banda mínimo de resolución de un OSA es generalmente limitada por el ancho de banda más estrecho del sistema óptico que el OSA puede proporcionar y es limitada por la potencia óptica detectable más baja del receptor. El mejor ancho de banda de resolución óptica de un OSA comercial varía de 0,1 nm a 0,01 nm, en esta tesis se utilizaron varias resoluciones desde 0.05 nm hasta 0,1 nm.
- 4. Sensibilidad:** Especifica la potencia óptica de la mínima señal medible antes de que alcance el suelo de ruido de fondo. Por lo tanto, la sensibilidad de detección se determina básicamente por el ruido característico del fotodiodo utilizado dentro del OSA. Para un OSA de longitud de onda corta, la sensibilidad de detección es generalmente mejor, debido a la utilización de fotodiodo de silicio que cubre la longitud de onda de 400 nm a 1.000 nm. Para la longitud de onda de 1.000 nm a 1.700 nm, es usado un fotodiodo de InGaAs, pero el nivel de ruido es generalmente alto y la sensibilidad de detección es por lo tanto pobre en comparación con los OSA de longitud de onda corta. Comercialmente los OSA disponibles pueden proporcionar

una sensibilidad de detección de -120 dBm en el rango de longitud de onda de 400 a 1700nm.

5. **Máxima potencia:** Es la potencia óptica de señal máxima permitida antes de que el sistema de detección del OSA este saturado. Un OSA generalmente puede tolerar señal de niveles de potencia óptica en el orden de 20 dBm o superior.
6. **Precisión de la calibración:** Especifica la precisión de la lectura de potencia óptica absoluta en la medición. Normalmente, una precisión de calibración es de menos de 0,5 dB en un OSA comercial.
7. **Sensibilidad de amplitud:** Especifica la fluctuación máxima permitida de la lectura de la potencia con el tiempo, cuando la señal de entrada real de potencia óptica es constante. la estabilidad de amplitud típica de un OSA comercial es menos de 0,01 dB por minuto.
8. **Rango dinámico:** Es la diferencia de amplitud máxima distinguible entre dos señales ópticas con su longitud de onda en cierto número de nanómetros aparte. Esto se convierte en una preocupación porque en la práctica, si una señal óptica débil se encuentra en las cercanías de una señal óptica fuerte la señal débil puede llegar a ser no-mensurable debido a que el receptor se siente abrumado por la señal fuerte. El típico rango dinámico de un OSA comercial es de aproximadamente 60 dB durante un intervalo de longitud de onda de 0,8 nm y 52 dB durante un intervalo de longitud de onda de 0,2 nm.
9. **Frecuencia de repetición de barrido:** Especifica la velocidad de un OSA barriendo sobre la longitud de onda durante la medición. Esta depende de la extensión de longitud de onda de medición y el ancho de banda de resolución utilizada. Generalmente, el número de muestras de medición que una toma un OSA en cada barrido es igual a la anchura dividido por el ancho de banda de resolución. En las aplicaciones prácticas, la elección de velocidad de barrido también depende de los niveles de potencia de la señal óptica. En los niveles de baja potencia, el promedio puede tener que ser hecho en la detección, y que puede ralentizar la velocidad de barrido.

10. Dependencia de polarización: Especifica las fluctuaciones máximas admisibles de la lectura de la potencia mientras se cambia el estado de polarización de la señal óptica. La dependencia de la polarización de un OSA es generalmente causada por la polarización de transmisión dependiente del sistema óptico, como rejillas y filtros ópticos utilizados en los OSA. Los OSA comerciales por lo general tienen menos de 0,1 dB dependencia de la polarización [25].

El OSA es un elemento óptico indispensable al momento de caracterizar dispositivos ópticos debido a que, gracias a éste podemos observar el espectro de la señal luminosa que estamos tratando y así ver sus características y saber si lo que estamos visualizando nos puede ayudar al momento de querer respuestas al realizar alguna investigación.

2.7.3 Reflectometría óptica en el dominio del tiempo

La reflectometría óptica en el dominio del tiempo (Optical Time Domain Reflectometry, OTDR), es una técnica de medición empleada con frecuencia para caracterizar y evaluar el estado de enlaces de fibra óptica. Su interés práctico deriva de varios factores entre los que destacan:

- Es una técnica no destructiva, lo que permite su aplicación sobre enlaces ya instalados y operativos.
- Sólo se precisa el acceso a uno de los extremos de la fibra, facilitando la toma de medidas *in situ* de manera cómoda y sencilla, sobre todo tomando en cuenta las largas distancias de los enlaces habituales.

A pesar de sus limitaciones en cuanto a la resolución espacial, generalmente en el orden de los metros, la OTDR constituye el mecanismo de medición más ampliamente implementado en equipos comerciales, debido a sus inferiores requisitos tecnológicos, si se compara con otras técnicas que arrojen los mismos resultados.

2.7.3.1 Fundamentos de operación del OTDR

El principio de operación de estos instrumentos, denominados reflectómetros, es el principio de dispersión Rayleigh, según el cual una pequeña fracción de la potencia insertada en la fibra se dispersa y cambia su dirección y sentido de propagación, volviendo hacia el emisor. A ella se le suma la potencia reflejada en el extremo final de la fibra y en otros puntos de discontinuidad en la misma. Esta luz de retroceso, después de sufrir una atenuación y un retardo en su camino de propagación, es detectada mediante un fotodiodo y, a continuación, procesada de modo adecuado para ser presentado en la pantalla del dispositivo [26].

Este dispositivo es de gran ayuda, al momento de querer resolver problemas en el ámbito real, debido a que, nos permite saber si algún enlace de fibra óptica, posee alguna ruptura de algún empalme o si la atenuación de ese enlace es demasiada como para que usuario final no reciba la señal transmitida, de igual manera, puede ayudarnos al momento de querer realizar enlaces nuevos, ya que nos permite saber cuál es la distancia, a la que el emisor deja de emitir señal con potencia adecuada para poder realizar un enlace de calidad.

2.8 Resumen

La teoría es un aspecto importante, para poder entender cualquier tema científico, es por eso que en el capítulo 2 presentamos ciertos aspectos teóricos, desde algunos conceptos básicos para familiarizarnos con la tecnología de fibras ópticas, fenómenos que pueden alterar transmisión, y concluimos el capítulo con un conjunto de dispositivos que fueron utilizados para poder realizar todas las caracterizaciones necesarias en este trabajo.

CAPÍTULO 3

Arreglo Experimental

este arreglo experimental y era de suma importancia saber si funcionaba correctamente todos los elementos ópticos que lo componen, la principal función del arreglo experimental es amplificar la señal a transmitir ya que esa es la tarea de un EDFA, el circulador sólo le sirve para obligar a la luz a viajar en una sola dirección para tener la menor pérdida posible, al momento de llegar al interferómetro de Sagnac este funciona como un espejo y divide el haz de luz por medio de un acoplador 50/50. Cabe mencionar que el arreglo experimental completo no se utilizó para tomar medidas de caracterización si no que se dividió en varios segmentos para poder tomar medias de los dispositivos de los cuales se requerían y así evitar que algún otro elemento óptico interfiera al momento de la caracterización. A continuación se mencionan las caracterizaciones que se realizar para mostrar su arreglo experimental adecuado conforme a lo que se requiere medir.

- La caracterización de la potencia emitida del Diodo láser de 980nm.
- La caracterización de la pérdida de inserción del WDM.
- La caracterización de la señal ASE.
- La caracterización de la potencia del circulador óptico.
- La caracterización de la potencia transmitida, o potencia reflejada del Interferómetro de Sagnac.

3.3 Caracterización de potencia emitida del diodo láser de 980 nm

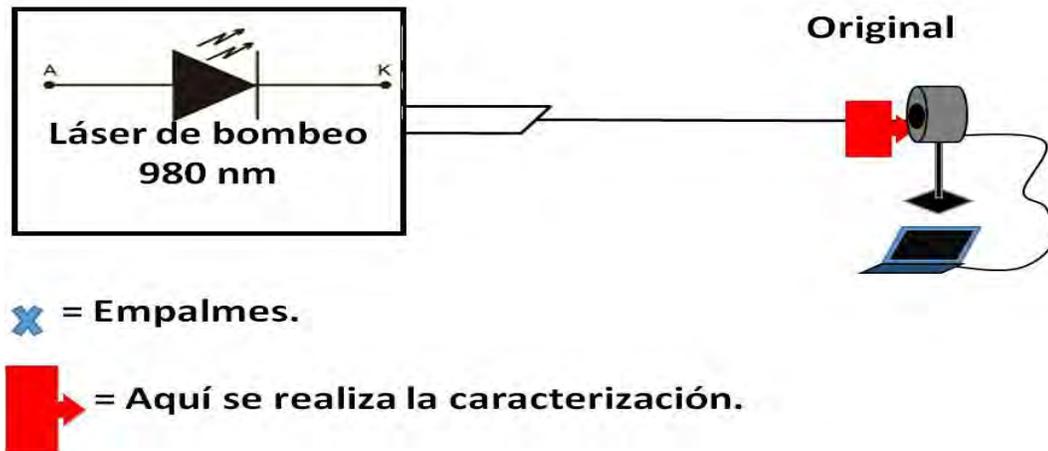


Figura 20. Caracterización de potencia de emisión del diodo láser de 980nm con el medidor de potencia óptica

En la Figura 20 podemos observar el arreglo experimental utilizado para poder caracterizar la potencia a la cual emite el diodo láser de 980 nm. Este arreglo a pesar de visualizarse algo sencillo es de gran importancia debido a que, este nos podrá ayudar a caracterizar uno de los dispositivos más importantes del arreglo el cual es el diodo láser, ya que este es el que funciona como bombeo del arreglo, el arreglo lo constituyen sola mente dos dispositivos los cuales son el láser de 980 nm y el sensor del medidor de potencia óptica, su funcionamiento es sencillo, solo se hace incidir el haz de luz del láser directamente al medidor de potencia óptica y esté conectado a una computadora captura la potencia emitida del láser una vez capturados los datos necesarios, estos se grafican con el software Origin pro 8.

3.4 Caracterización de la pérdida de inserción del WDM

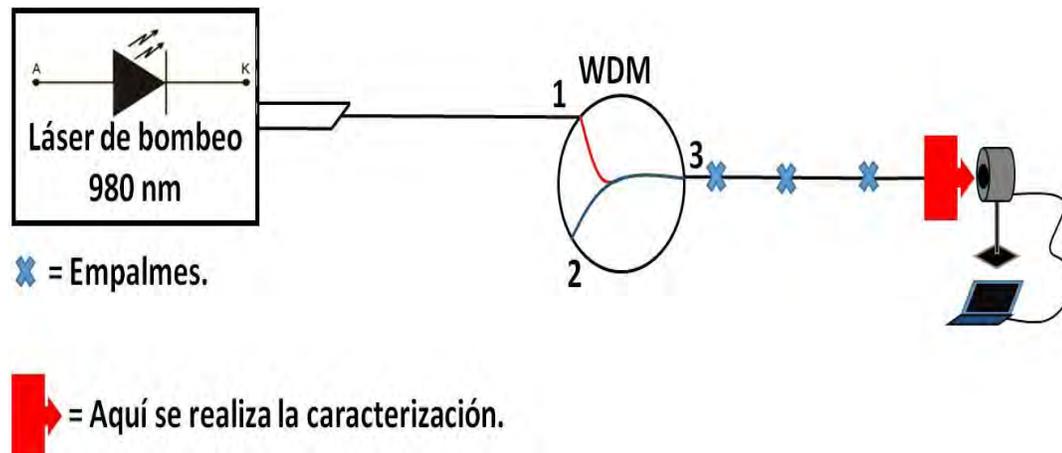


Figura 21. Caracterización de la pérdida de inserción del WDM con 3 empalmes

En la Figura 21 se muestra el segundo arreglo experimental utilizado, como podemos observar es similar al arreglo de la Figura 20 solo que en esta ocasión se insertó un WDM, el cual permitirá multiplexar las dos señales que se le suministraran, este arreglo se implementó por que el multiplexor es muy importante en un EDFA y se quiere determinar cuanta pérdida por inserción se produce al insértalo en el arreglo, su funcionamiento es sencillo, el WDM se empalma a la fibra óptica que proviene del láser de bombeo de 980 nm, por una de las entradas que posee, y a la salida del WDM se le empalma un conector FC este empalme era rustico y era la unión de otras fibras es por esto que cuenta con 2 empalmes más, a la salida de este conector se encuentra el medidor de potencia óptica el cual ayudara a medir la potencia que se emite a la salida de este elemento óptico y saber cuánto se pierde por la inserción del WDM y por la fibra con varios empalmes.

De igual manera se decidió hacer esta caracterización con el mismo arreglo experimental como se muestra en la Figura 22 pero en esta ocasión, la fibra que contenía el conector FC

fue una fibra uniforme, lo que quiere decir que no tenía ningún empalme, desde la salida del WDM hasta el conector. Esto se hizo para tener igual una información recabada de si los empalmes por fusión influyen en la pérdida de la señal.

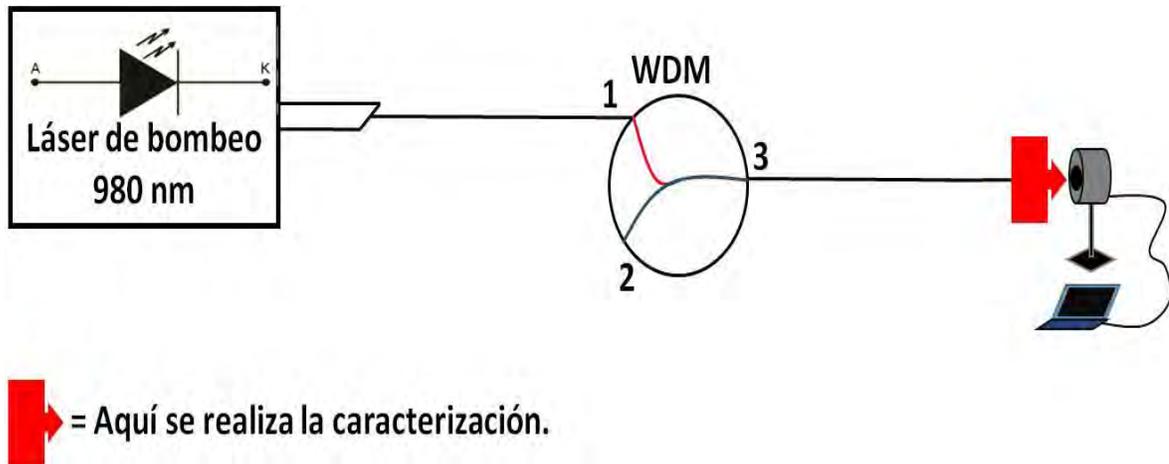


Figura 22. Caracterización de la pérdida de inserción del WDM sin empalmes

3.5 La caracterización de la señal ASE.

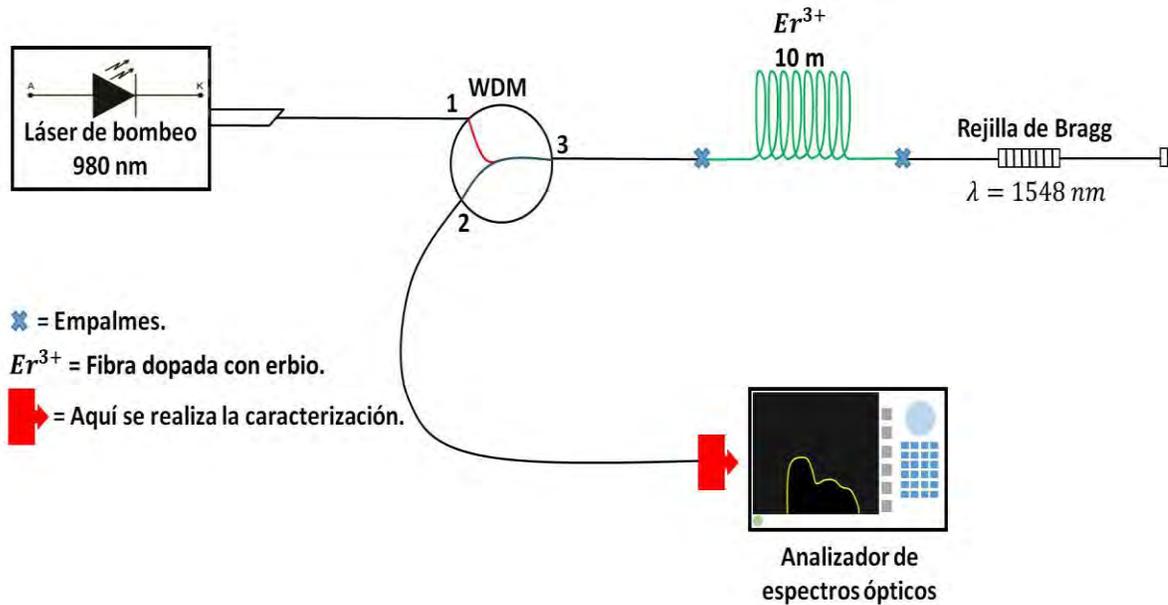
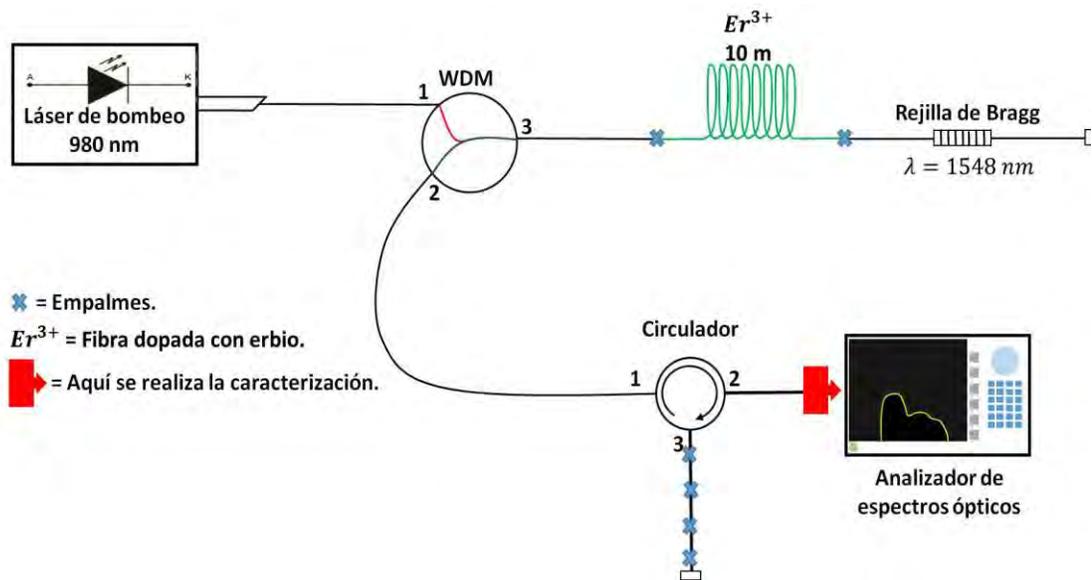


Figura 23. Arreglo experimental para la caracterización de la señal ASE

Como se mencionó en el capítulo 2 la señal ASE hace referencia a la emisión espontánea amplificada, la cual es el ruido que genera la fibra dopada con erbio al momento de hacer la amplificación de la señal. En la Figura 23 se puede observar el arreglo experimental utilizado para poder medir la potencia que se genera por ruido ASE. Cabe mencionar que este arreglo experimental ya viene siendo la estructura de un EDFA. El funcionamiento de este diagrama, es el siguiente, el láser de bombeo envía un tren de pulsos de luz, este pasa por el WDM, y seguidamente por la fibra dopada con erbio, es ahí donde se produce la amplificación de la señal a 1550 nm, una vez que esta señal se amplifica esta sigue su camino e ingresa a la rejilla de Bragg, la cual funciona como un espejo y como un filtro rechaza banda, a la cual a la longitud de onda de Bragg en este caso 1548 nm hace un corte y elimina ese segmento de la señal, pero como al igual funciona como un espejo la rejilla de Bragg refleja pero el segmento que elimino en este caso a 1548 nm y entonces la señal se refleja pero ahora el espectro que se visualiza en el OSA es el del ruido ASE en conjunto

con el reflejo que emitió la rejilla de Bragg la cual será un pico en el espectro del ruido ASE a la altura de 1548 nm.

3.6 La caracterización de la potencia del circulador óptico



En la **Figura 24. Caracterización de la pérdida de inserción del circulador óptico en la salida 2**

partir de estos datos, podemos realizar, más caracterizaciones de más dispositivos ópticos.

En la Figura 24 podemos visualizar el arreglo experimental utilizado para medir la pérdida que se produce al momento de insertar el circulador óptico, este arreglo se realizó pensando en que a veces la luz puede sufrir cambios de dirección por la reflexión, es por esto que se pensó utilizar este dispositivo para dirigir la luz en un solo sentido.

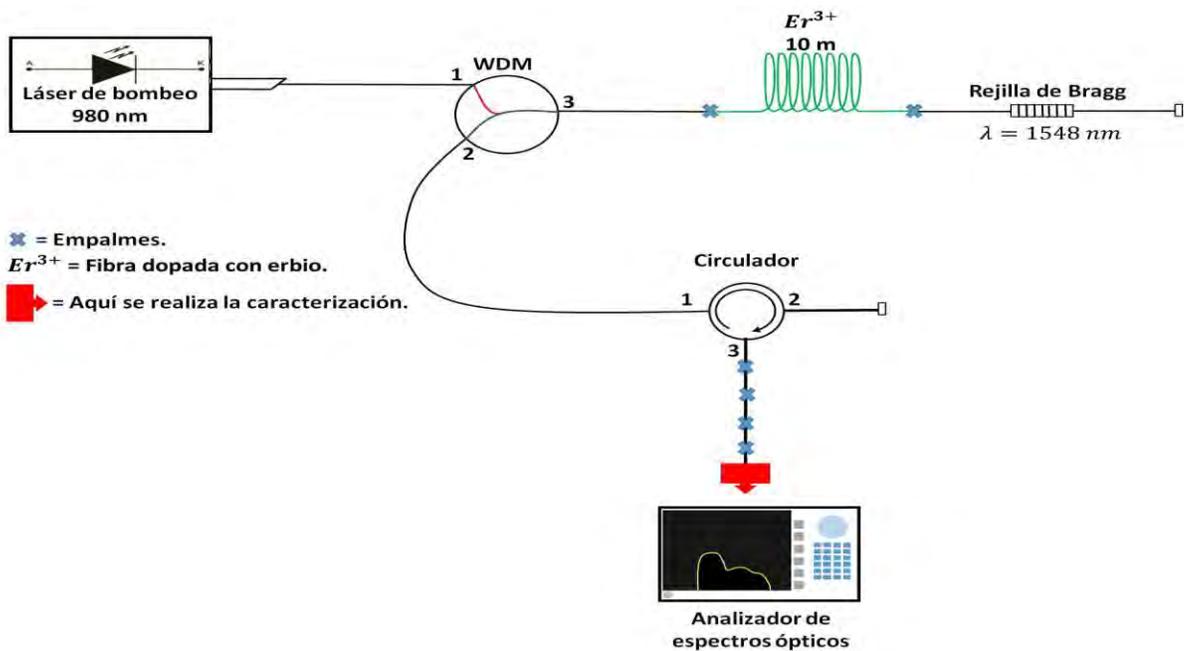


Figura 25. Arreglo experimental para caracterización de la salida 3 del circulator óptico

En la Figura 25 se puede observar el mismo arreglo que en el de la Figura 24, pero en esta ocasión se caracteriza la salida 3 del circulator óptico, como se menciona antes en la salida 3 del circulator óptico se mide la señal reflejada de la salida 2, en este caso, sabiendo que la señal a enviar es él 100% y la señal reflejada un tanto %, con una simple formula se puede saber el % de señal que se envía dónde T_t , es la señal transmitida.

$$T_t = \text{se al enviada} - \text{la se al reflejada}$$

Esta caracterización nos podrá servir, simplemente para saber la señal que se pierde o refleja.

3.7 caracterización de la potencia transmitida, o potencia reflejada del Interferómetro de Sagnac

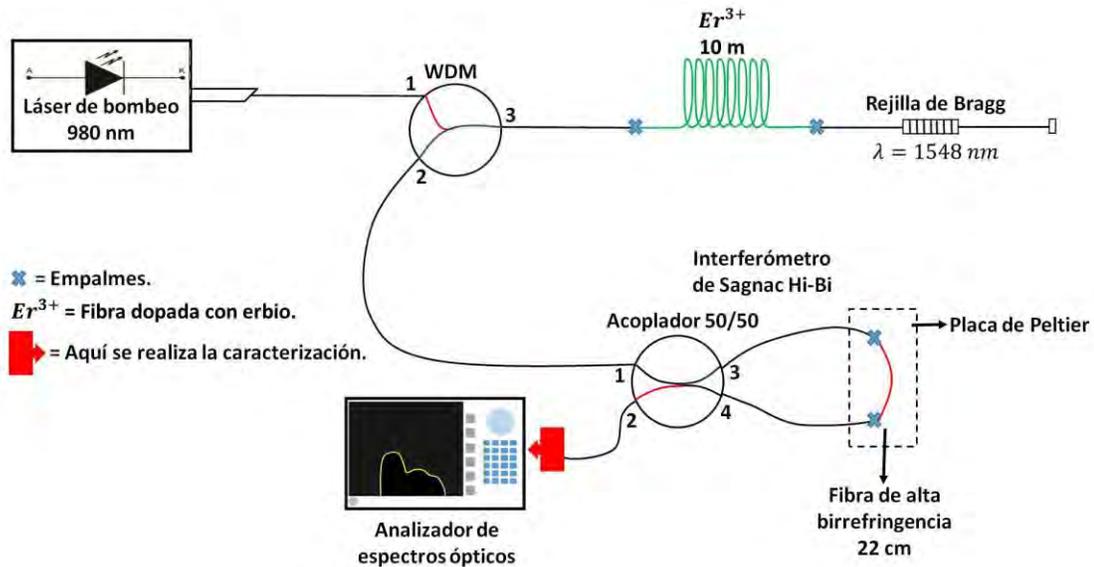


Figura 26. Arreglo experimental para la caracterización de la potencia de transmisión sin el circulador óptico

En la Figura 26 podemos observar el arreglo experimental utilizado para poder medir la potencia transmitida o lo que es igual para poder observar la cantidad total de señal que circula a través de todo el arreglo. La funcionalidad general de este sistema es el mismo que el de Figura 25, pero ahora en vez de que la salida 2 del WDM se empalme a un circulador, esta va empalmada a un interferómetro de Sagnac, el cual nos servirá como un sensor, el cual por medio de temperatura, se propone situar el pico resultante del efecto de reflejo que genera la rejilla de Bragg, en un valle máximo, esto con la finalidad de poder utilizar el Ruido ASE a nuestro favor, para poder brindar mayor potencia a la señal a transmitir, este arreglo experimental, es de suma importancia, debido a que en conjunto estamos utilizando un EDFA y un sensor de temperatura en forma de un interferómetro de Sagnac, para poder manipular, la potencia total que deseamos que se le suministre al usuario final. De igual forma esta no es la única opción, en la Figura 24, podemos observar que se insertó un

circulador óptico, por lo tanto de igual manera se puede realizar la caracterización como se muestra en la Figura 27.

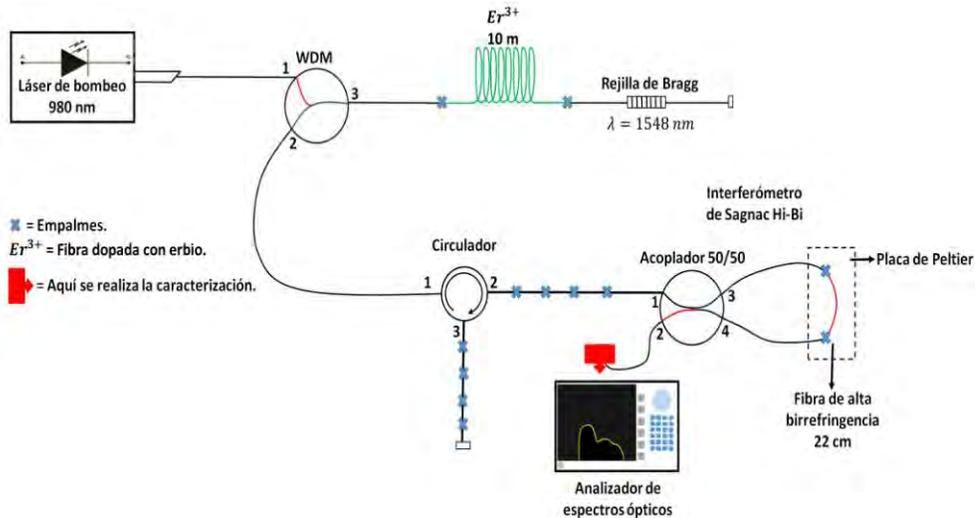


Figura 27. Arreglo experimental para la caracterización de la potencia de transmisión con el interferómetro de Sagnac empalmado a la salida 2 del circulador óptico

Este arreglo es más complejo, por la cantidad de dispositivos ópticos que se utilizan, de igual manera en este arreglo se caracteriza la potencia transmitida por la salida 2 del interferómetro de Sagnac, pero la única diferencia es que la luz pasa por el circulador óptico antes de llegar al interferómetro lo cual garantiza que la luz solo está viajando a una sola dirección.

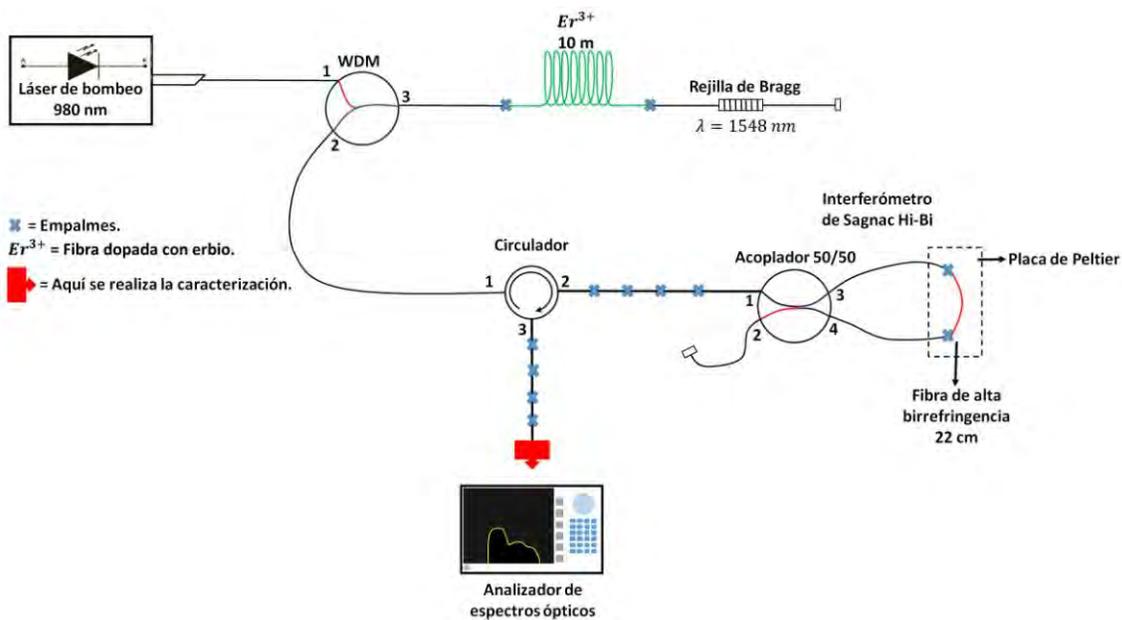


Figura 28. Arreglo experimental para la caracterización de la señal reflejada en la salida 3 del circulator óptico con el interferómetro de Sagnac conectado en la salida 2

En el arreglo experimental en la Figura 28, se podría decir que es similar al de la Figura 25, pero a comparación de ese arreglo experimental, este tiene conectado por la salida 2 del circulator óptico el interferómetro de Sagnac, lo que puede ocasionar, menos pérdida o alguna pérdida por inserción del interferómetro. Este arreglo experimental, es el completo el cual ya cuenta con todos los dispositivos ópticos, para funcionar como un EDFA y un sensor, y ya trabajando en conjunto se puede denominar como lleva por nombre esta tesis. “*Caracterización de los Componentes Ópticos en un Sistema que Atenúa Ruido ASE por Medio de un Interferómetro de Sagnac que Funciona como Filtro Pasa Banda*”

3.8 Resumen

El capítulo 3 de esta tesis, se centró en los arreglos experimentales utilizados para poder realizar las caracterizaciones necesarias y de esta manera dar una opinión sobre el funcionamiento adecuado de cada dispositivo óptico bajo prueba. Se abordaron un arreglo principal y 8 arreglos más pequeños en los cuales la caracterización fue más detallada según de acuerdo al dispositivo bajo prueba.

CAPÍTULO 4

Resultados y Análisis

4.1 Introducción

Como toda investigación científica, nunca estará completa sin tener resultados concretos, que avalen el trabajo que se realizó. Este capítulo tiene el objetivo de dar a conocer de forma detallada los resultados que se obtuvieron durante el proceso de caracterización. Los resultados son presentados en forma de gráficas o en forma de tabla principalmente, después son analizados para interpretar su validez o la información que estos representan.

4.2 Resultados obtenidos de la caracterización del diodo láser de 980nm

En la Figura 20 se pudo observar el arreglo experimental, del cual se realizó la caracterización del diodo láser, los resultados obtenidos de todos los datos recabados, se expresó en una gráfica la cual indica cuanta potencia emite el láser de 980 nm por cada corriente suministrada. Utilizando el medidor de potencia óptica, se logró realizar las caracterizaciones necesarias, se utilizó este dispositivo debido a que este proporciona un número al momento de fijarlo en cierta corriente y este sirve para poder realizar la gráfica, en cambio con el OSA, este proporcionaba el espectro que emitía, el diodo láser y para esta caracterización, el espectro no proveía la información que requeríamos.

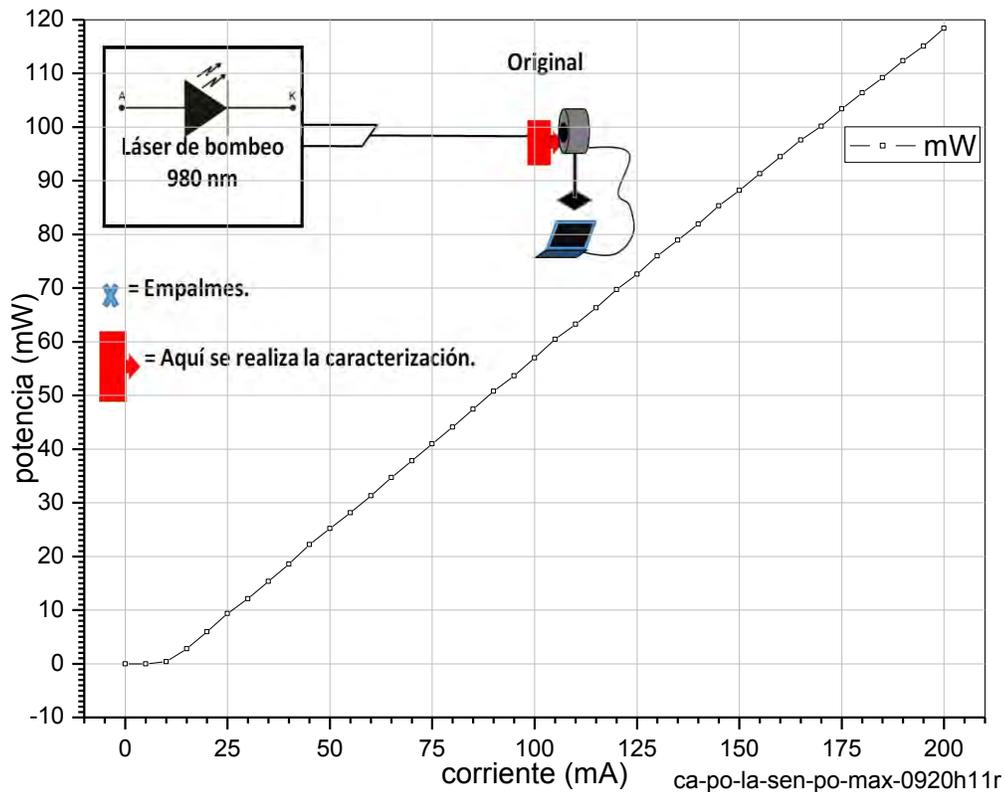


Figura 29. Gráfica de la potencia emitida del diodo láser de 980 nm

Se puede observar en la gráfica obtenida, una recta con una cierta pendiente, se observa que el diodo tiene un umbral que empieza a los 10 mA, lo cual significa que antes de esa corriente el diodo se comporta como un led que emite luz de forma incoherente, mientras que para valores mayores de 10 mA, el diodo se empieza a comportarse como debe ser, es decir como un láser, que emite luz coherente. Para comparar el significado de esta gráfica es necesario hacer la comparación con la hoja de datos del proveedor del diodo láser QFBGLD-980-150S en este caso fue QPHOTONICS, LLC, para hacer el análisis con datos que avalen los resultados que obtuvimos y así dar una conclusión respecto en qué condiciones se encuentra el diodo láser. La hoja de datos se muestran en el apéndice 2.

Tabla 1. Comparación de potencia entre la caracterización realizada y los datos que provee la hoja de datos

mA suministrados	Potencia de Hoja de Datos	Potencia de Datos obtenidos con la caracterización
50 mA	50 mW	25 mW
100 mA	92 mW	56 mW
150 mA	138 mW	89 mW
200 mA	179 mW	118 mW

Analizando los datos obtenidos y los proporcionados por el proveedor, podemos observar que la potencia que se caracterizó para esta tesis, es menor a la que se plasma en la hoja de datos, pero de igual forma se debe mencionar que es normal que haya un poco menos de potencia de acuerdo a la hoja de datos, esto puede ser por diversos factores, como lo son el tiempo de vida o por el mal uso. Pueden ser diversos factores. Pero basándonos en los resultados que obtuvimos podemos decir que el diodo láser, aun cuenta con un bombeo de potencia extraordinario, aun se puede contar con él, sin temor de saber si emite a la potencia adecuada, obviamente se debe dar un seguimiento a este dispositivo ya que es muy sensible, y se le debe dar un mantenimiento y caracterizarlo seguidamente para tener un control de su estado.

4.3 Caracterización de la pérdida de inserción del WDM

El segundo arreglo realizado fue en la cual se mide la pérdida de inserción del WDM, este arreglo tuvo dos modificaciones, a continuación analizaremos el primer escenario la cual es donde la fibra óptica que va de la salida del WDM al conector fc, para posterior mente adaptarse al medidor de potencia óptico, cuenta con 3 empalmes por fusión, después de realizar las caracterizaciones necesarias y procesar los datos estas fueron los resultados obtenidos.

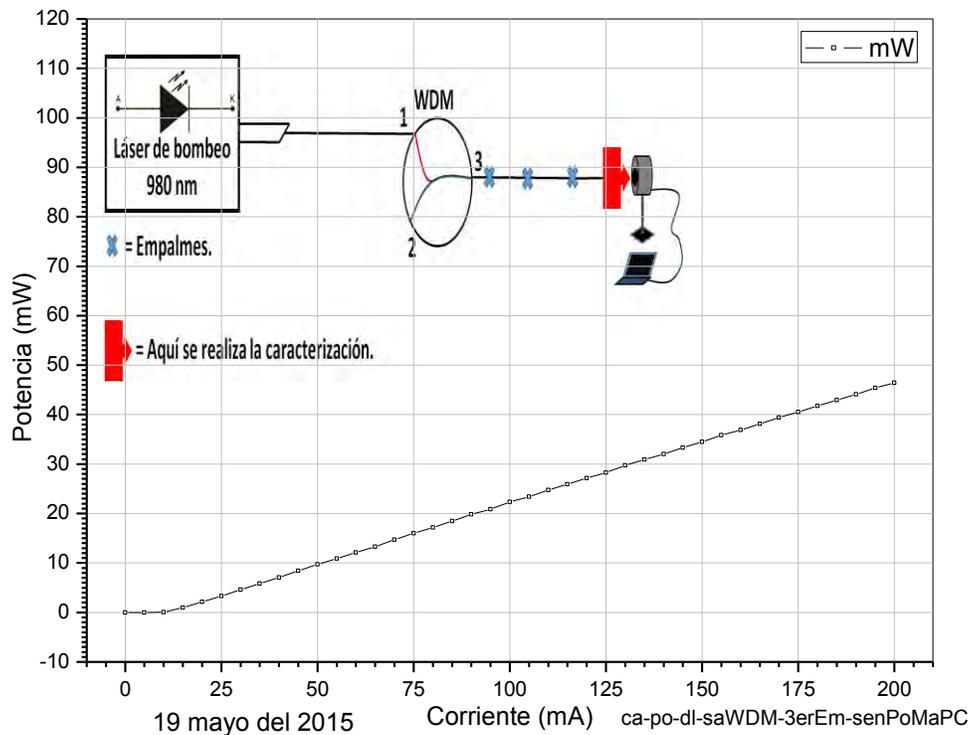


Figura 30. Arreglo experimental de la pérdida de inserción del WDM con conector al medidor de potencia óptico con 3 empalmes

Como se puede observar, en comparación a los resultados obtenidos, con la caracterización del diodo láser, se puede observar una notable pérdida de potencia, el umbral permanece a los 10 mA, pero la mayor potencia que alcanza, a los 200 mA, es de 47 mW, si lo comparamos con los 118 mW que se obtuvo al caracterizar el diodo láser, estamos obteniendo una pérdida de potencia de 71 mW, lo cual para la industria de las telecomunicación es una pérdida de potencia muy significativa. Ahora pasaremos al segundo escenario, en el cual es el mismo arreglo experimental, solo que la fibra que se encuentra a la salida del WDM y que va adaptada al medidor de potencia óptica, no cuenta con empalmes, lo cual lo hace un poco menos sensible a pérdidas por empalmes, después de armar el arreglo necesario, y caracterizarlo, los datos que se arrojaron a la pc, se procesaron y lo que se obtuvo fue la siguiente gráfica, de igual forma se hicieron los cálculos a mano para corroborar y sacar la pérdida que se obtuvo.

$$\text{Pérdida por inserción del WDM} = (\text{Pot. salida del diodo} - \text{Pot. salida del WDM}) \times 100 / (\text{Pot. salida del diodo}) = (118 \text{ mW} - 47 \text{ mW}) \times 100 / 118 \text{ mW} = 60.16\% \text{ de pérdidas}$$

Ahora en dB

$$P(\text{dB}) = 10 \log(47 \text{ mW} / 118 \text{ mW}) = -3.99 \text{ dB} \text{ el signo negativo implica pérdidas}$$

O

$$P(\text{dBm}) = 10 \log(47 \text{ mW} / 1 \text{ mW}) - 10 \log(118 \text{ mW} / 1 \text{ mW})$$

$$P(\text{dBm}) = 16.72 \text{ dBm} - 20.71 \text{ dBm}$$

$$P(\text{dBm}) = -3.99 \text{ dB} \text{ El signo menos indica pérdidas}$$

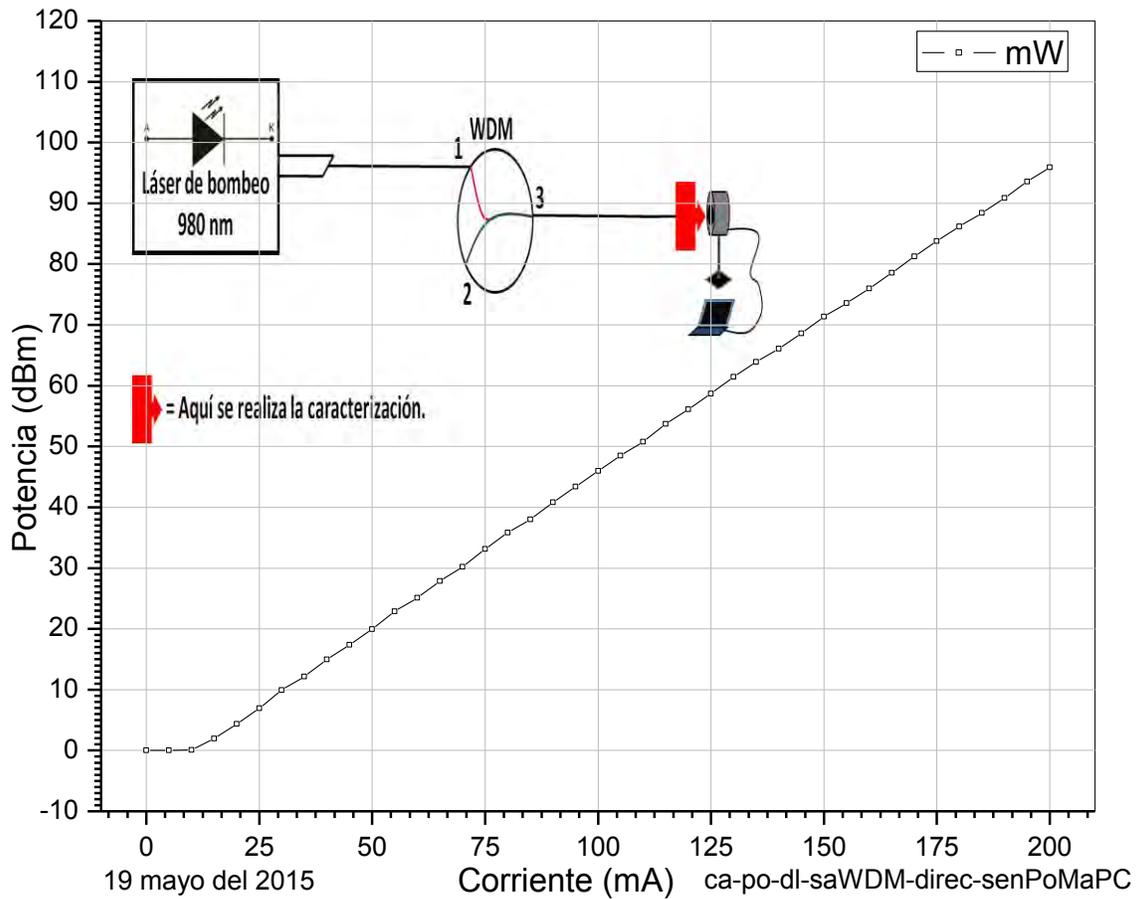


Figura 31. Arreglo experimental de la pérdida de inserción del WDM con conector al medidor de potencia óptica sin empalmes

A comparación del arreglo anterior con 3 empalmes, el presente muestra una notable mejoría, lo cual con cálculos y a simple vista podemos deducir que, es más óptimo utilizar conectores de fibra óptica sin empalmes o con los menores empalmes posibles, debido a que estos producen una gran pérdida. El umbral de esta gráfica de igual manera se pierde a los 10 mA, y a los 200 mA se puede visualizar una potencia de 96 dBm, si realizamos los cálculos para saber la pérdida obtenemos que

$$P(\text{dBm}) = 10 \log(118\text{mW}/ 1\text{mW}) - 10 \log(95 \text{ mW}/ 1\text{mW})$$

$$P(\text{dBm}) = 20.71 \text{ dBm} - 19.77 \text{ dBm}$$

$$P(\text{dBm}) = .94 \text{ dB}$$

Como se puede observar la potencia que se pierdes no es demasiada, de acuerdo a estas arreglos y medidas se puede concluir de esta parte, que mientras menos empalmes por fusión contenga una fibra, menos pérdidas habrá, y esto es bueno al momento de realizar algún experimento porque podemos estar seguros que si no tenemos demasiados empalmes en nuestro arreglo experimental no tendremos mayor pérdida, simplemente contaremos con una pérdida menor por la inserción del dispositivo. La perdida por inserción del WDM es de casi 1 dB y comparando con la hoja de datos del fabricante se tiene que es de .55 dB, ver el apéndice 3. Una vez teniendo este dato y tomando como relevante la pérdida del WDM sin empalmes, procederemos a comparar los resultados obtenidos, con la pérdida que indica el fabricante que se obtiene al momento de insertar el WDM. En la hoja de datos proporcionada por el fabricante indica que la pérdida por inserción del WDM modelo WD202A, es de 0.55 dB, comparando el dato de pérdidas de inserción de la hoja de datos con la pérdida encontrada experimentalmente se observa que esta última es de 0.94 y no 0.55, lo cual indica que aún se encuentra dentro del margen de pérdida aceptable, en la siguiente tabla se muestra de forma ordenada la comparación.

Tabla 2. Tabla Comparativa de pérdida por inserción del WDM proporcionada por el fabricante con la obtenida en las caracterizaciones

Pérdida de inserción proporcionada por el fabricante	Pérdida de inserción obtenida con las caracterizaciones quitando todos los empalmes extra.	Pérdida de inserción obtenida con las caracterizaciones con tres empalmes extra.
0.55 dB	0.94 dB	-3.99 dB

4.4 Comparación de potencia del diodo láser de 980nm contra la pérdida de inserción del WDM.

Una vez que se realizamos estas tres primeras caracterizaciones, compararemos, si al agregar el WDM al arreglo experimental, se produce alguna pérdida de inserción, a continuación se muestra una gráfica comparativa de las tres primeras caracterizaciones, la de la potencia del diodo láser, la pérdida de inserción del WDM, con 3 y sin empalmes respectivamente.

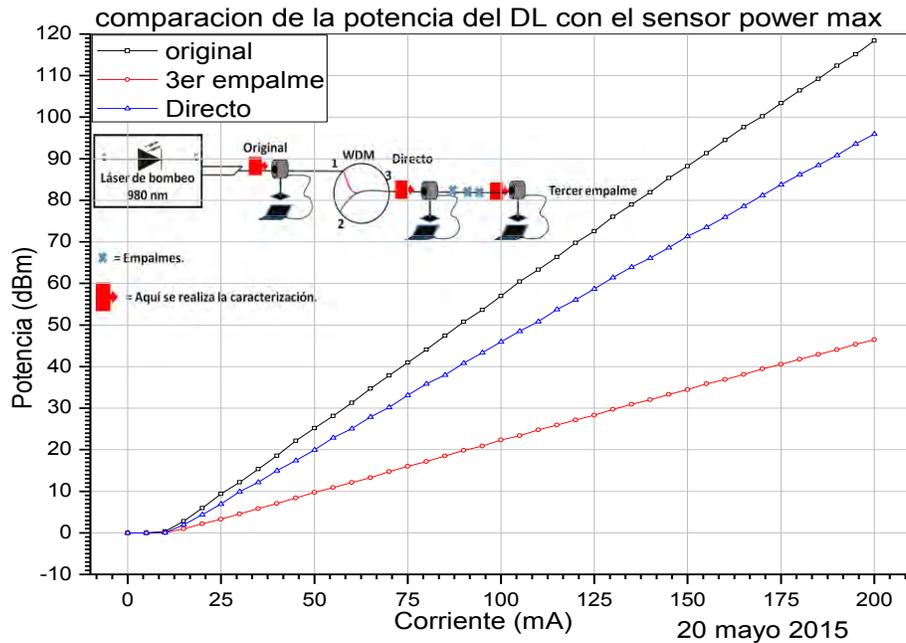


Figura 32. Gráfica comparativa de potencias emitida por el diodo láser y por la pérdida de inserción del WDM

Como se puede observar, existe una gran diferencia de potencias, entre la caracterización del láser de bombeo de 980 nm, y la potencia que se emite al momento de insertar el WDM, entre las dos opciones del WDM, con 3 empalmes y sin empalmes, la que se muestra con mayor déficit de potencia es la que tiene 3 empalmes, y la que no contiene empalmes, si

tiene pérdida, pero es menor, en comparación a la otra, en conclusión de esta caracterización se puede decir que al momento de insertar un WDM, se debe verificar que no contenga empalmes, o si se tiene que sea los menores posibles, para que al momento de insertar el dispositivo solo nos afecte la pérdida por inserción. Ahora dando un veredicto de cómo se encuentra el diodo láser y el WDM los cuales son dispositivos ópticos se puede observar que aun cuentan características óptimas para poder trabajar provechosamente.

4.5 Resultados de la caracterización del ruido ASE

La caracterización del ruido ASE es una parte importante, porque esta es la base de la tesis, debido a que este es el espectro en donde se posiciona el pico que se refleja de la rejilla de Bragg, para proporcionar una señal de referencia con respecto a una longitud de onda y potencia emitida al momento de hacer las caracterizaciones, el arreglo experimental está compuesto por un diodo láser de 980 nm, un WDM, una fibra dopada con erbio y una rejilla de Bragg de fibra óptica, después de saber cómo se constituye el arreglo se denotan los parámetros que se manipulaban, uno de los parámetros que era la corriente que se le suministraba, en este caso se fue cambiando en secuencia de 10 mA, empezando por 70mA, hasta llegar a 130 mA, estos parámetro no se tomaron de manera aleatoria, si no que se empezó a caracterizar de 10 mA, pero con el dispositivo que se caracterizó en este caso el OSA ,a pesar de tener una resolución de 0.05 nm, en el spam utilizado de 1500nm a 1600nm , no se visualizaba el pico reflejado, se fue aumentando la potencia, hasta llegar a los 70mA, que fue donde hubo una variación y empezó a visualizarse el pico, así se fueron tomando las medidas, hasta que nos dimos cuenta que si seguíamos caracterizando visualizábamos el espectro como si fuera el de 130mA, es por esto que se escogió ese rango, porque más allá de 130 mA, el OSA se satura y ya no se refleja una potencia mayor. A continuación se muestra la gráfica resultante de la caracterización de 70 mA a 130 mA.

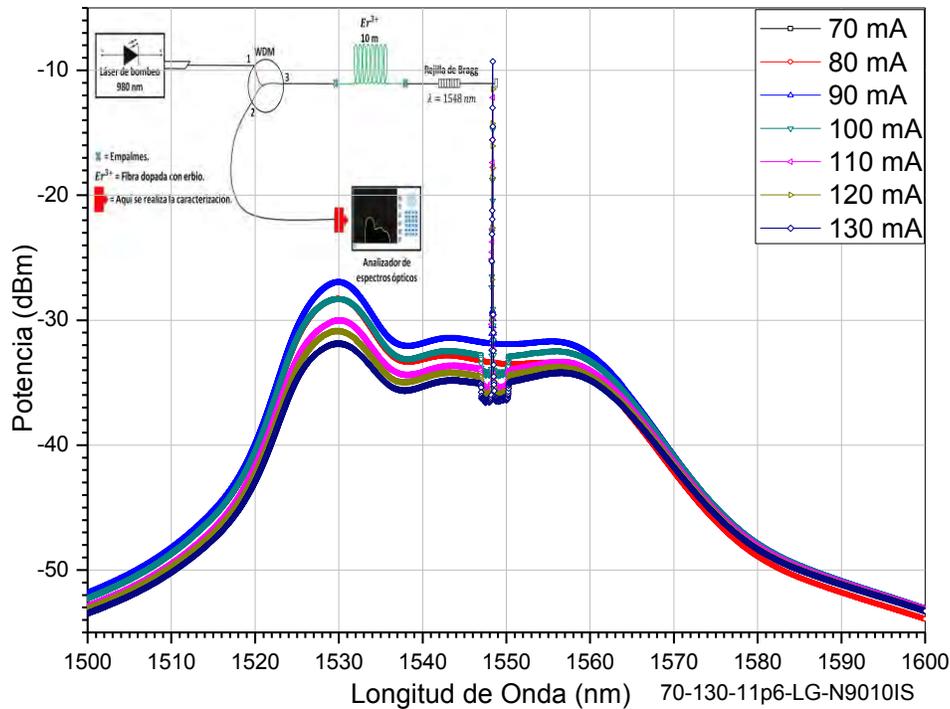


Figura 33. Gráfica del espectro del ruido ASE

En la Figura 33, se puede observar el espectro del ruido ASE con el reflejo de la rejilla de Bragg a la longitud de onda de 1548 nm, en el eje de abajo llamado longitud de onda se muestra el rango en el que se trabajó, el cual fue de 1500 a 1600nm, esta longitud de onda es en la que el espectro se muestra en mejor estado, en el eje izquierdo se muestra la potencia en dBm, la cual va desde -55dBm hasta -5dBm. Los espectros obtenidos para las diferentes corrientes se muestran en la Figura 33, en diferentes colores, cada color representa una cantidad diferente de mA, sobresaliendo entre ellas, la de color azul marino, que representa la caracterización en 130 mA, en la siguiente tabla se muestran los valores máximos que se obtuvieron en los diferentes parámetros de corriente.

Tabla 3. Comparación de la potencia emitida en mW contra la potencia emitida en dBm a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA A 1548.4 nm (dBm)
70 mW	-31 dBm
80 mW	-31 dBm
90 mW	-30 dBm
100 mW	-27 dBm
110 mW	-15 dBm
120 mW	-12 dBm
130 mW	-8 dBm

Podemos observar en la Tabla 3 las comparaciones de potencia, en la cual se muestra el mayor valor de potencia con -8 dBm, esto quiere decir que la corriente adecuada para el láser de bombeo es de 130 mA, para tener la mayor potencia al momento de transmitir. Al no haber una hoja de datos la cual muestre la potencia del ruido ASE, ya que esta sólo la proporciona el dispositivo que realiza la caracterización en este caso el OSA, no se puede comparar, es por esto que estos resultados gráficos, son una gran contribución.

4.6 Resultados de la caracterización de la inserción del circulator óptico

Otro dispositivo que se deseaba saber si era factible utilizarlo en el arreglo experimental era el circulator óptico, dispositivo que permite viajar a la luz en una sola dirección. Haciendo análisis de la caracterización que se realizó, primero se tomaran los datos de la salida 2 del circulator, el rango de medida de corriente que se fue manejando fue un poco más amplia, debido a que al momento de empezar a caracterizar, con 20 mA, ya nos marcaba parámetros de potencia para trabajar, así se caracterizó hasta los 200 mA, ya que ahí era donde el sistema se saturaba, la longitud de onda en la cual se observaba el espectro, es la misma la de 1500nm a 1600nm . A continuación aparece la gráfica de los datos recabados.

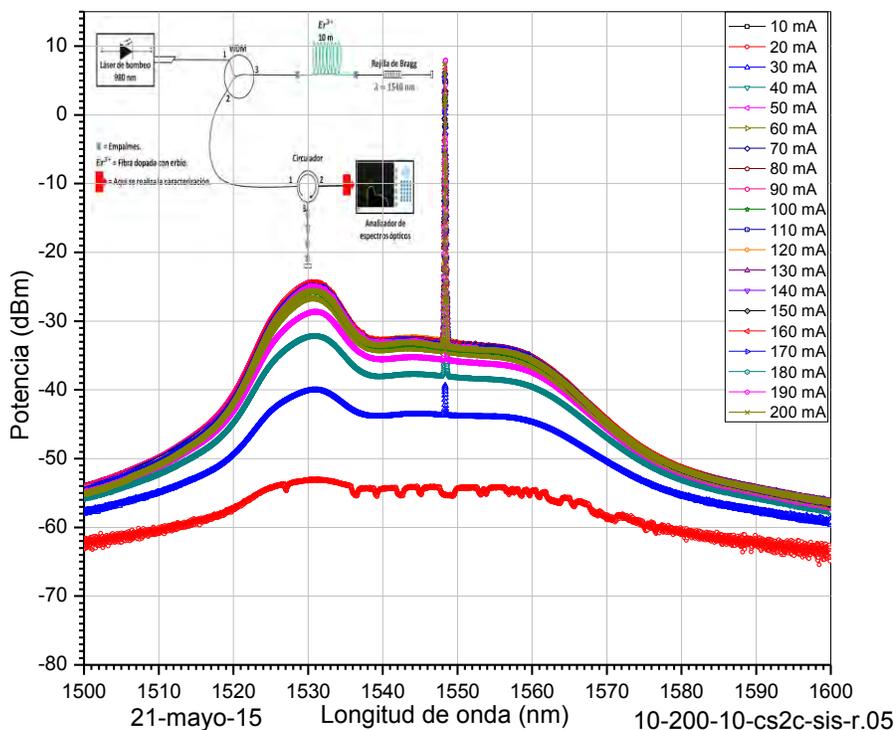


Figura 34. Gráfica de comparación de potencias de la salida 2 del circulator óptico

Analizando los resultados obtuvimos podemos observar que la potencia que se emite es congruente con los resultados esperados, si la comparamos con la gráfica de la Figura 33, la cual la máxima potencia que se obtuvo fue de -8 dBm, en cambio la máxima potencia que se obtuvo en la salida 2 del circulador fue a los 200 mA, con lo cual proporciono 8 dBm de potencia, debido a que hay una ganancia de 10 dBm. Si se tuviera que dar una conclusión, general en este momento de podría que el circulador óptico es un dispositivo indispensable en un arreglo experimental que atenúa ruido ASE por medio de un interferómetro de Sagnac que funcione como un filtro pasa banda, ya que al momento de insertarlo no produce muchas pérdidas de inserción, al contrario proporciona una ganancia, pero aun debemos seguir tomando muestras de los demás dispositivos, para saber cómo trabajan en conjunto.

Tabla 4. Potencia de salida de la terminal 2 a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA A 1548.4 nm EN LA TERMINAL 2.
10 mW	0 dBm
20 mW	0dBm
30 mW	-39 dBm
40 mW	-33 dBm
50 mW	-31 dBm
60 mW	-29 dBm
70 mW	-24 dBm
80 mW	-20 dBm
90 mW	-18 dBm
100 mW	-12 dBm
110 mW	-8 dBm
120 mW	-4dBm

130 mW	-1.9 dBm
140 mW	2.22 dBm
150 mW	4.58 dBm
160 mW	6.85 dBm
170 mW	7.03 dBm
180 mW	7.41 dBm
190 mW	7.78 dBm
200 mW	8 dBm

A continuación procederemos con la segunda parte del circulator óptico la cual es la salida 3, la salida que permite visualizar el espectro de la señal reflejada. Verificaremos si la existe alguna pérdida al momento de inserta el dispositivo, o si genera alguna ganancia, como en la salida 2 del mismo. De igual manera los parámetros que se utilizaron para la caracterización fueron comparados a los que se utilizaron para caracterizar la salida 2. En la siguiente gráfica se presentas los datos conseguidos gracias a la caracterización de este.

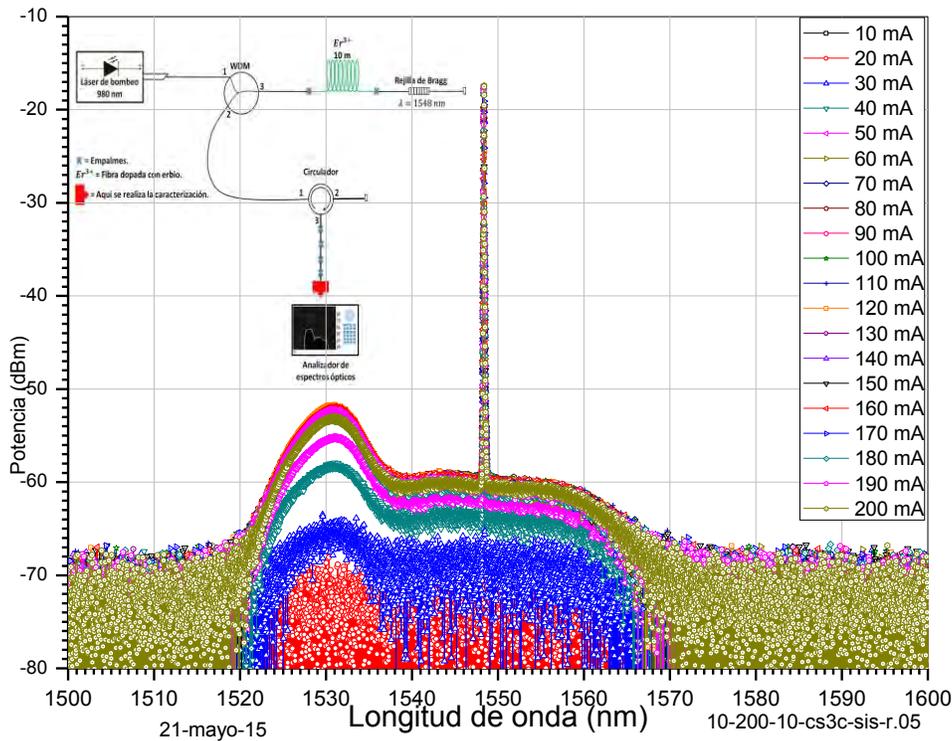


Figura 35. Gráfica de comparación de potencias de la salida 3 del circulator óptico

Los resultados obtenidos en esta caracterización fueron los esperados, en comparación con la otra salida del circulator óptico, ya que en la salida tres del circulator se mide lo que es la reflexión de la señal a transmitir o de igual forma llamada pérdida, como se puede observar, la potencia emitida es baja, con lo cual podemos decir que es bueno, ya que esto significa que la señal que se está transmitiendo no se está perdiendo y al contrario es mayor la que se está transmitiendo, por consiguiente las mediciones indican cosas positivas. Una vez teniendo los resultados que se obtuvieron de las caracterizaciones de las dos salidas del circulator óptico, procederemos a comparar los resultados con los parámetros de la hoja de datos, los cuales indican que este dispositivo tiene una pérdida de inserción máxima de 1 dBm, ver apéndice 4.

Tabla 5. Tabla comparativa de la pérdida de inserción del circulador óptico con valores de la hoja de datos

Pérdida De Inserción Del Circulador óptico	Pérdida de Inserción del Circulador óptico por medio de la práctica de laboratorio
1 dBm	En este caso como se comparó con el arreglo experimental del Ruido ASE, este emitió -8 dBm, y al medir en la salida dos se obtuvo 8 dBm, este caso fue extraordinario y un gran aporte, debido a que no se aplicó la pérdida de inserción.

Tabla 6. Potencia de salida de la terminal 3 a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA A 1548.4 nm EN LA TERMINAL 3.
10 mW	0 dBm
20 mW	-68 dBm
30 mW	-62 dBm
40 mW	-55 dBm
50 mW	-43 dBm
60 mW	-39 dBm
70 mW	-35 dBm

80 mW	-33 dBm
90 mW	-31 dBm
100 mW	-28. dBm
110 mW	-26 dBm
120 mW	-24 dBm
130 mW	-22 dBm
140 mW	-22 dBm
150 mW	-21 dBm
160 mW	-21 dBm
170 mW	-19 dBm
180 mW	-19 dBm
190 mW	-18 dBm
200 mW	-18 dBm

Tabla 7. Potencia de salida de la terminal 1, 2 y 3 a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA 1548.4 nm EN LA TERMINAL 1	A A EN LA TERMINAL 2	POTENCIA EMITIDA 1548.4 nm EN LA TERMINAL 3.	A A EN LA TERMINAL 3.	Perdidas de inserción entre terminal 1 y 2	Perdidas de inserción entre terminal 1 y 3
10 mW	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0dBm
20 mW	0 dBm	0dBm	-68 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm
30 mW	0 dBm	-39 dBm	-62 dBm	-39dBm	-62 dBm	-62 dBm
40 mW	0 dBm	-33 dBm	-55 dBm	-33 dBm	-55 dBm	-55 dBm
50 mW	0 dBm	-31 dBm	-43 dBm	-31 dBm	-43 dBm	-43 dBm
60 mW	0 dBm	-29 dBm	-39 dBm	-29 dBm	-39 dBm	-39 dBm
70 mW	-31 dBm	-24 dBm	-35 dBm	-55 dBm	-66 dBm	-66 dBm
80 mW	-31 dBm	-20 dBm	-33 dBm	-51 dBm	-64 dBm	-64 dBm
90 mW	-30 dBm	-18 dBm	-31 dBm	-48 dBm	-61 dBm	-61 dBm
100 mW	-27 dBm	-12 dBm	-28. dBm	-39 dBm	-55 dBm	-55 dBm
110 mW	-15 dBm	-8 dBm	-26 dBm	-23 dBm	-41 dBm	-41 dBm
120 mW	-12 dBm	-4dBm	-24 dBm	-16 dBm	-36 dBm	-36 dBm
130 mW	-8 dBm	-1.9 dBm	-22 dBm	-9.9 dBm	-30 dBm	-30 dBm
140 mW	-	2.22 dBm	-22 dBm			
150 mW	-	4.58 dBm	-21 dBm			
160 mW	-	6.85 dBm	-21 dBm			
170 mW	-	7.03 dBm	-19 dBm			

180 mW	-	7.41 dBm	-19 dBm
190 mW	-	7.78 dBm	-18 dBm
200 mW	-	8 dBm	-18 dBm

4.7 Resultados de la caracterización de la potencia de transmisión por medio del interferómetro de Sagnac

Otra parte importante en el proyecto es el interferómetro de Sagnac el cual es un sensor que por medio de temperatura, permitirá manipular la señal. El Arreglo experimental utilizado en esta sección está compuesto por un diodo láser de 980 nm, un WDM, fibra dopada con erbio, una rejilla de Bragg, y el interferómetro de Sagnac, el interferómetro de Sagnac cuenta con 22 cm de fibra de alta birrefringencia. Esta longitud fue seleccionada debido a que la longitud de la fibra de alta birrefringencia mientras mayor sea más oscilaciones tendrá. Una vez teniendo esta información, denotaremos los parámetros que se utilizaron para la caracterización los cuales fueron manipular la corriente de 70 mA a 130 mA, se empezó de 70, debido a que a una corriente menor, no se visualizaba el pico, y por ende se terminó en 130 porque fue la medida en la cual se originaba la saturación, a continuación se muestra el espectro que se generó.

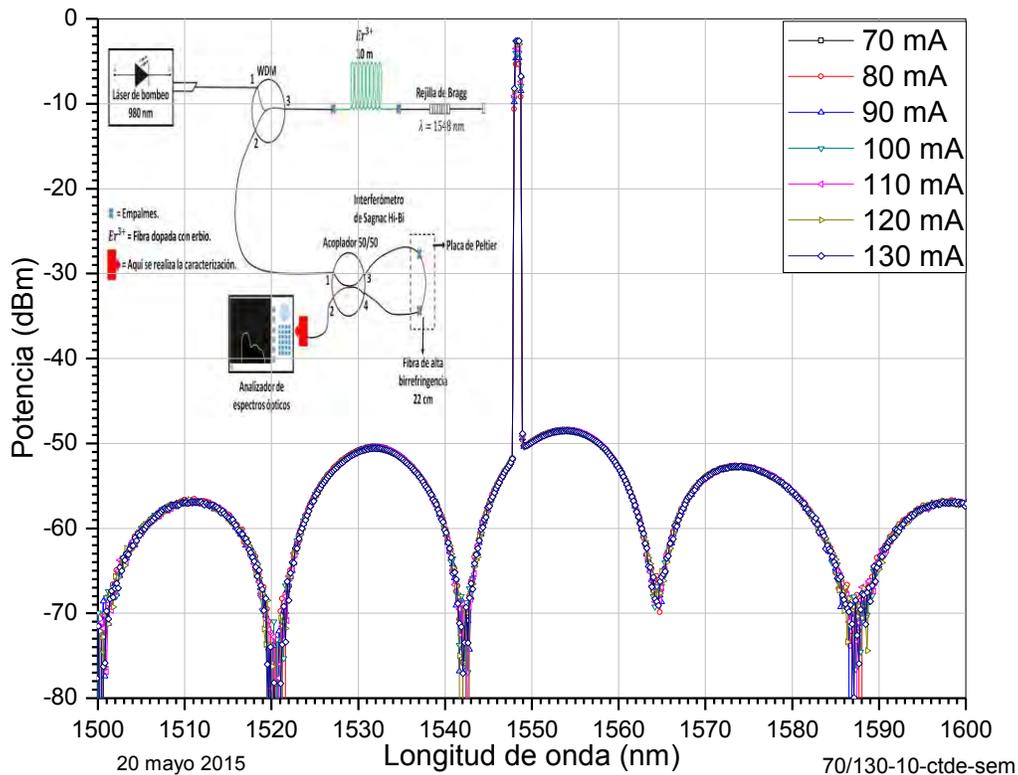


Figura 36. Gráfica de la caracterización de la potencia emitida con el interferómetro de Sagnac

Como se puede observar el espectro es muy diferente al espectro que genera el ruido ASE, esto sucede porque la señal fluye a través del interferómetro de Sagnac y a su vez por la fibra de alta birrefringencia, en el capítulo 2 se menciona como mana la luz a través del interferómetro, aquí podemos observar que el rango de longitud de onda sigue siendo la misma de 1500 a 1600 nm, como podemos observar la potencia que se genera es la misma que se produce al caracterizarla en el ruido ASE, pero una de las ventajas de esto, es que podemos manipular donde colocar el pico reflejado, en este caso se posiciona desde un principio, casi en la cima, pero aun así no se encuentra en su punto máximo, en conclusión podemos decir que el interferómetro, no genera alguna pérdida ya que es la misma potencia de transmisión que fluye en el arreglo, sin insertarle los circuladores ópticos, sin duda el interferómetro nos proporcionará una gran ayuda al momento de generar potencia, porque sin estar situado en su punto máximo generamos la misma, que el ruido ASE en su máxima

potencia, ya después con ayuda de calor o frío en futuros proyectos, se puede hacer que las oscilaciones se muevan hacia una dirección dependiendo si se calienta o se enfría la fibra de alta birrefringencia

En teoría este sería el último arreglo experimental pero, como vimos aún hay posible soluciones, por lo cual aún se presentan dos arreglos más los cuales son con los que se trabajarán en los demás proyecto que servirán como seguimiento a esta tesis.

Tabla 8. Potencia de salida de la terminal 3 a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA A 1548.4 nm EN LA TERMINAL DE TRANSMITANCIA DEL INTERFERÓMETR DE SAGNAC. (SIN CIRCULADOR)
70 mW	-50dBm
80 mW	-10 dBm
90 mW	-10 dBm
100 mW	-9 dBm
110 mW	-9dBm
120 mW	-8 dBm
130 mW	-8 dBm

4.8 Resultados de la caracterización de la potencia de transmisión por medio del interferómetro de Sagnac con el circulador óptico

Como se comentó anteriormente aún queda dos arreglos experimentales por mostrar, estos son los mismos que la Figura 36, pero con una modificación, la cual es que tiene insertado un circulador óptico, con el cual, en este momento verificaremos, si es conveniente ponerlo en el arreglo experimental o simplemente, omitirlo, pero para eso debemos tener información que respalde esa respuesta. A continuación se muestran los arreglos experimentales en el primero se mide la potencia de transmisión de la señal, la cual será la cantidad de potencia total que le llegara al usuario o a la empresa que suministre servicios.

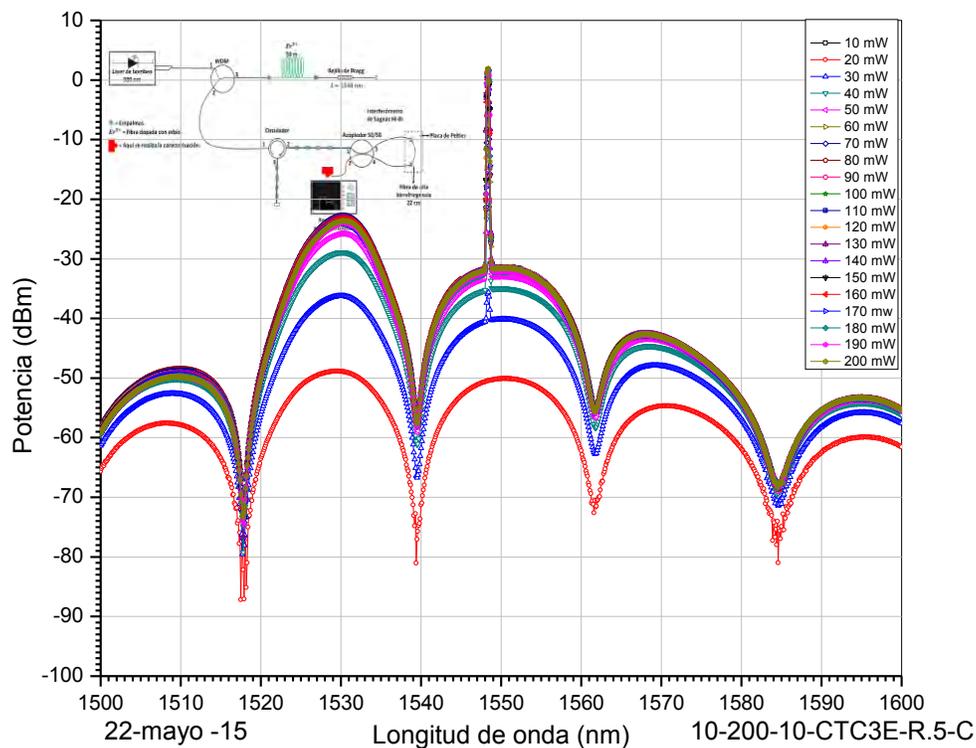


Figura 37. Gráfica donde se caracteriza la potencia de transmisión emitida por el arreglo experimental final

Tabla 9. Potencia de salida de la terminal 2 a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA A 1548.4 nm EN LA TERMINAL DE TRANSMITANCIA DEL INTERFERÓMETRO DE SAGNAC. (CON CIRCULADOR)
10 mW	0 dBm
20 mW	0 dBm
30 mW	-33 dBm
40 mW	-30 dBm
50 mW	-29 dBm
60 mW	-27 dBm
70 mW	-26 dBm
80 mW	-23 dBm
90 mW	-21 dBm
100 mW	-17 dBm
110 mW	-14 dBm
120 mW	-11 dBm
130 mW	-8 dBm
140 mW	-4 dBm
150 mW	-2 dBm
160 mW	-1 dBm
170 mW	0 dBm
180 mW	1 dBm
190 mW	3 dBm
200 mW	3 dBm

Como se puede observar, los parámetros que se utilizaron son los mismos, en la longitud de onda, adentrándonos a analizar la gráfica detenidamente podemos ver que, la potencia que se emite es realmente magnífica ya que se sobrepasa los 3 dBm de potencia, para ser exactos emite a 3 dBm, lo cual para un arreglo experimental, no comercial es bastante bueno, esta es una aportación, muy gratificante, debido a que en trabajos anteriores no se había podido llegar a esa potencia de emisión. Pero el trabajo aun no culmina aquí aún falta ver los resultados de la caracterización de la señal reflejada, se utilizará el mismo arreglo experimental, pero en esta ocasión se caracterizara la salida 3 del circulador óptico.

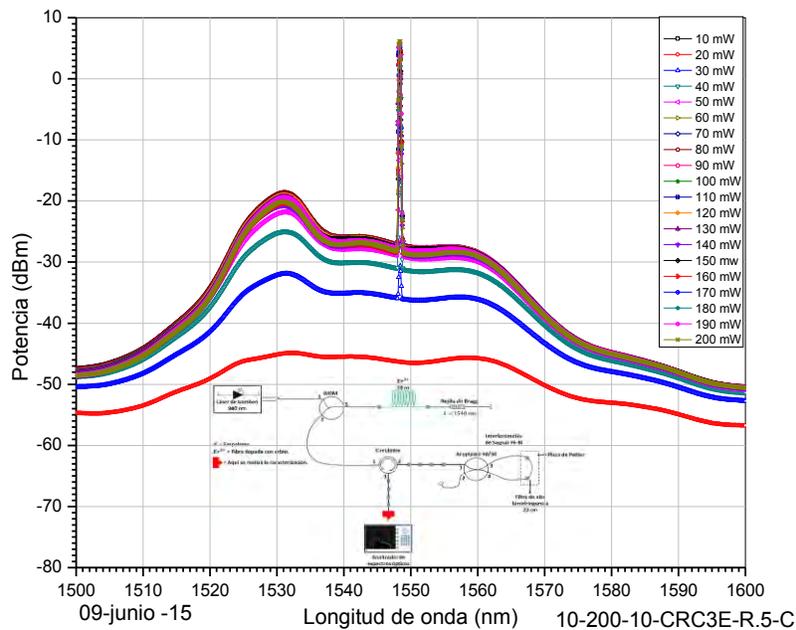


Figura 38. Gráfica donde se caracteriza la potencia de transmisión emitida por el arreglo experimental final

Podemos observar que el espectro es diferente al del arreglo anterior, pero esto es porque aquí se está analizando el espectro del ruido ASE, es por esto que las oscilaciones no se encuentran. De igual forma al igual que algunas caracterizaciones se empezó a verificar a partir de 10mA, pero fue en los 30 mA en donde se empezó a visualizar el pico reflejado de la rejilla de Bragg, aquí podemos observar que la potencia, emitida al igual que la anterior,

es sumamente buena, sobrepasa el decibel de potencia, pero como se está midiendo la señal que se refleja, entonces esta medición se representa como pérdida. Es por esto que podemos tomar como conclusión que la pérdida que se produce es considerable, esto puede ser por diferentes factores, ya sea el pulido de la fibra, empalmes, entre otros, pero a pesar de que la pérdida es alta, la potencia de transmisión es buena, pero pudiese ser mejor.

Tabla 10. Potencia de salida de la terminal 3 a 1548.4 nm

CORRIENTE (mA)	POTENCIA EMITIDA A 1548.4 nm EN LA TERMINAL 3 DEL CIRCULADOR.
10 mW	0 dBm
20 mW	0 dBm
30 mW	-30 dBm
40 mW	-28 dBm
50 mW	-27 dBm
60 mW	-25 dBm
70 mW	-22 dBm
80 mW	-21 dBm
90 mW	-18 dBm
100 mW	-16 dBm
110 mW	-15 dBm
120 mW	-13 dBm
130 mW	-10 dBm
140 mW	-9 dBm
150 mW	-5 dBm

160 mW	-2 dBm
170 mW	4 dBm
180 mW	6 dBm
190 mW	8 dBm
200 mW	8 dBm

4.9 Resumen

Concluyendo con el capítulo 4, se dieron a conocer los resultados obtenidos de cada arreglo experimental implementado y probado, estos resultados fueron representados mediante gráficas y tablas comparativas contrastadas con las hojas de datos de los dispositivos bajo prueba. Finalmente se emitió una opinión referente al correcto funcionamiento de los dispositivos ópticos y su factibilidad de uso.

CAPÍTULO 5

Conclusiones

Trabajar con dispositivos ópticos es un reto muy interesante, más aún, cuando es un tema completamente nuevo que desarrolla como proyecto de tesis en el programa de Ingeniería de Redes de la Universidad de Quintana Roo, sin embargo, es muy gratificante concluirlo de manera satisfactoria y con aportaciones que pueden ser validadas mediante referencias sólidas.

En este proyecto de tesis se implementó un conjunto de arreglos ópticos y se caracterizaron los principales dispositivos que conforman dichos arreglos.

Las principales caracterizaciones que se realizaron fueron: potencia de un diodo láser de 980nm, pérdida de inserción de un WDM, potencia de ruido ASE, potencia de un circulador óptico, y potencia de transmisión de un interferómetro de Sagnac.

Para realizar dicha caracterización se generó un conjunto de gráficas y tablas a partir de los resultados que arrojaron los dispositivos ópticos bajo prueba, y se realizó la comparación con los parámetros que proporciona el fabricante por medio de las hojas de datos de los dispositivos.

Las conclusiones acerca del diodo de bombeo de 980 nm son que a pesar de haber perdido un poco de potencia comparada con la que indica la hoja de datos, podemos decir que aún se encuentra en óptimas condiciones para seguir ejerciendo su labor de bombear a 980nm con una gran potencia de salida, pero de igual manera hay que darle un seguimiento al dispositivo y sobre todo el uso apropiado.

Las conclusiones de las pérdidas de inserción del WDM son que el dispositivo con el que se cuenta en el laboratorio, aun cumple las características necesarias para seguir trabajando de acuerdo a sus características, a pesar de que presenta pérdida por inserción, esta es relativamente baja, y por tanto se recomienda seguir usándolo. Sin embargo, es recomendable trabajar con el menor número de empalmes posibles para evitar la pérdida por empalme, que sumadas a la pérdida por inserción, podrían generar considerables decibeles de potencia perdida al momento de enviar información.

Los resultados de la caracterización del ruido ASE presentados en forma de tablas será de gran utilidad para trabajos futuros. Estos resultados marcan la pauta para saber cuánta

potencia tendrá al final el arreglo experimental, y mediante las gráficas y tablas comparativas, el usuario podrá hacer comparaciones cada vez que lo necesite.

Las conclusiones acerca del circulador óptico son que la salida dos proporciona una buena potencia de salida, y la salida 3 presenta pérdidas, la cual no es muy alta, por tal motivo, se recomienda utilizar el circulador óptico.

Uno de los arreglos experimentales más importantes, es el arreglo compuesto por el diodo láser de bombeo, el WDM, la fibra dopada con erbio, la rejilla de Bragg y el interferómetro de Sagnac, este arreglo experimental será la base, del presente trabajo. Una de las premisas referente a la potencia máxima del ruido ASE fue que esta debería ser igual o mayor, debido a que es la misma potencia que se suministra, sin embargo, después de la caracterización, se encontró que la potencia máxima fue mayor, aun cuando el pico no se encuentra situado en la parte más alta, nos da una excelente potencia. Por otro lado, la pérdida resultante fue alta, pero no lo suficiente para opacar la potencia de transmisión. Derivado de estos resultados, se puede concluir de manera general que tanto los dispositivos, como el arreglo experimental están en excelentes condiciones y todavía se puede utilizar de manera confiable tanto en ambiente solo de pruebas de laboratorio o proyectos futuros, sin embargo es importante darles un seguimiento para conservarlos en óptimas condiciones.

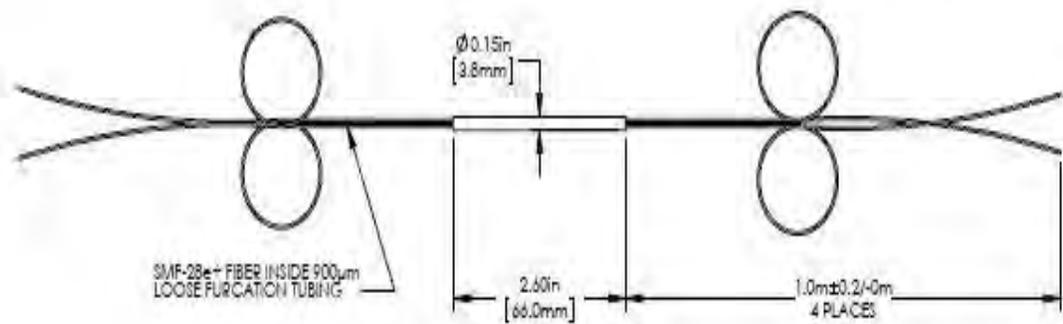
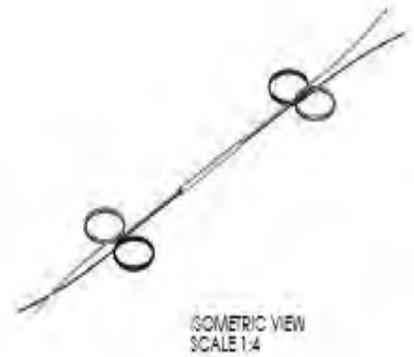
Bibliografía

- [1]. **Nérou, Jean Pierre.** *Introducción a las telecomunicaciones por Fibra Óptica.* Mexico : Trillas, 1991.
- [2]. **Binh, Le Nguyen.** *Optical Fiber Communications System: theory and practice with MATLAB and simulink models.* New York : CRC Press, 2010.
- [3]. **E. Bonilla Castro, J. Hurtado Prieto, C. Jaramillo Herrera.** *La Investigación. Aproximaciones a la Contrucción del Conocimiento Científico.* Colombia : Alfaomega, 2009.
- [4]. **Martinez, José Ramón Magaña.** *Caracterización de un Sensor de Temperatura usando 2 Regillas de Bragg de Fibra Óptica .* Carmen, Campeche : Tesis M. Cien. por Públicar, 2011.
- [5]. **José Capmany, F. JAVier Fraile-Peláez.** *Dispositivos de Comunicaciones Ópticos.* Vallehermoso, España : Sintesis, 1999.
- [6]. **Larousse.** *Diccionario manual de la lengua española.* España : Larousse Editorial, S.L, 2007.
- [7]. **Alarcón, Manuel May.** *Radiación Materia y Materiales "Desarrollo de ciencia y tecnología desde la perla del golfo".* Carmen, Campeche : Unacar, 2010.
- [8]. **Boquera, María Carmen España.** *Comunicaciones ópticas conceptos esenciales y resolucion de ejercicios.* Madrid : Diaz De Santos, 2005.
- [9]. **Castrejón, Ramón Gutiérrez.** *Hacia un sistema de comunicaciones completamente óptico.* Mexico : Instituto de Ingenieria UNAM, 2005.

- [10]. *Bend loss in single-mode fibers*. **Martini, L. Faustini and G.** 4, 1997, J. of lighthouse Technol., Vol. 1, págs. 671-679.
- [11]. *Microwave Theory and Techniques*. **T.G.Giallorenzi**. MTT-30, 1981, IEEE, Vol. 1, pág. 472.
- [12]. *Appl. Opt.* **N.Lagakos, J.H. Cole, and J.A. Bucaro.** 26, 1987, IEEE, Vol. 1, pág. 2171.
- [13]. *Caracterización de un amplificador de fibra dopada con erbio con pulsos en funcion del tiempo* . **J.L Camas Anzueto, E.A Kuzin, R. Téllez, B. Ibarra E. y G.Beltrán.** 1, 2003, Revista Mexicana de Física , Vol. 50, págs. 60-63.
- [14]. *Propagación de pulsos ópticos a través de amplificadores de fibra dopada con erbio*. **Fideromo Saavedr, Dante Leonelli, Álvaro Lamas.** 3, 2010, Scielo, Vol. 13, págs. 82-88.
- [15]. *Efectos de la dispersión por modo de polarizacion(PDM) en la propagacion de pulsos a través de fibras ópticas*. **Ariel Leiva, Marco Tarifeño, Ricardo Olivares.** 3, 2007, Revista Chilena de Ingeniería, Vol. 15, págs. 336-343.
- [16]. **Tanenbaum, Andrew S.** *Redes de computadoras*. Mexico : PEARSON EDUCACIÓN, 2003.
- [17]. **Castrejón, Ramó Gutiérrez.** *Hacia un sistema de comunicaciones completamente óptico*. Mexico : Instituto de ingenieria de la UNAM, 2005.
- [18]. **Boquera, María Carmen España.** *Comunicaciones ópticas conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. España : Ediciones Diaz de Santos S.A, 2005.
- [19]. **Castrejón, Ramón Gutiérrez.** *Hacia un sistema de telecomunicaciones completamente óptico*. México : Instituto de Ingeniería de la UNAM , 2005.

- [20]. **Jonathan, Rendón Pérez.** *Rejillas de Bragg en fibras ópticas como sensores de tensión y temperatura, en el monitoreo de estructuras.* México : Tesis para obtener grado de Ing. en Telecomunicaciones, 2004.
- [21]. *Photonics fiber optic sensor an their applications in smart structures.* **A. Selvarajan, A. Asundi.** 1995, Vol. 15.
- [22]. *Láser de fibra de amarre de modos de figura ocho basados en un espejo de lazo óptico no lineal simétrico.* **R. Grajales-Coutiño, B. Ibarra-Escamilla, E.A Kuzin, J. Gutiérrez-Gutiérrez, O. Pottiez, P. Zaca-Morán.** 5, 2007, Revista Mexicana de Física, Vol. 53, págs. 380-385.
- [23]. *Interferómetro de sagnac con selectividad espectral.* **D. Monzón, A.N Storodumov, L.A Zenteno, A. Boyain, E. de la Rosa.** 6, 1997, Revista mexicana de física, Vol. 43, págs. 972-980.
- [24]. **Casimer DeCusantis, Carolyn J. Sher DecuSantis.** *Fiber Optic Essentials.* California : Academic Press, 2006.
- [25]. **Rongqing Hui, Maourice O' Sullivan.** *Fiber optica measurement techniques* . San diego, California : Elsiever Academic Press, 2009.
- [26]. **Boquera, María Carmen España.** *Comunicaciones ópticas conceptos esenciales y resolución de ejercicios.* Madrid : Diaz de Santos S.A , 2005.

APENDICE 1. HOJA DE DATOS DEL ACOPLADOR 50/50



COUPLER SPECIFICATIONS	
CENTER WAVE LENGTH	1310/1550 nm
OPERATING BAND WIDTH	± 40 nm
COUPLING RATIO	50:50
INSERTION LOSS	3.8/3.8 dB
TYPICAL EXCESS LOSS	0.2 dB
PDL	≤ 0.15 dB
DIRECTIVITY	> 60 dB
OPERATING TEMPERATURE °C	-40 TO 65 °C

FOR INFORMATION ONLY
NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

DRAWING PROJECTION				THORLABS www.thorlabs.com	
NAME	DATE	2X2, 1310/1550nm SM COUPLER 50:50			
DRAWN TDG	24/OCT/11	MATERIAL		REV B	
APPROVAL KH	9/NOV/11	N/A			
COPYRIGHT © 2013 BY THORLABS					
VALUES IN PARENTHESES ARE CALCULATED AND MAY CONTAIN ROUND-OFF ERRORS		ITEM #	APPROX WEIGHT		
		10202A-50	0.05 kg		

APENDICE 2. HOJA DE DATOS DEL LÁSER DE 980 NM



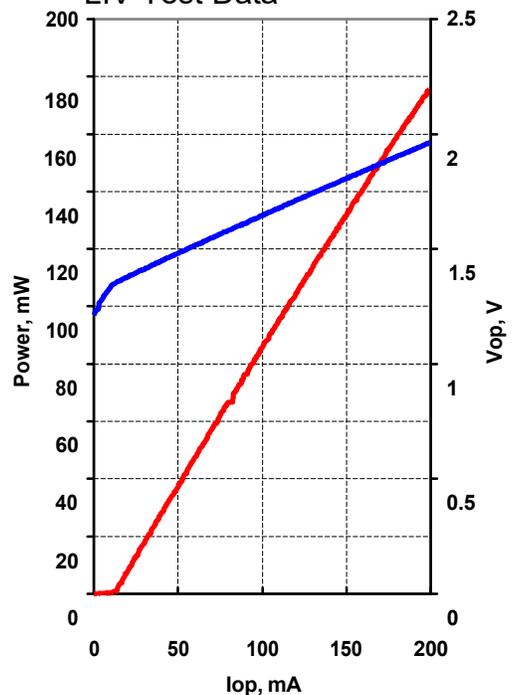
QPHOTONICS, LLC

1435 Crossways Blvd Phone: 757-213-0560
 Ste: 101 FAX: 757-213-0563
 Chesapeake, VA 23320 E-mail: info@qphotonics.com
 USA http://www.qphotonics.com

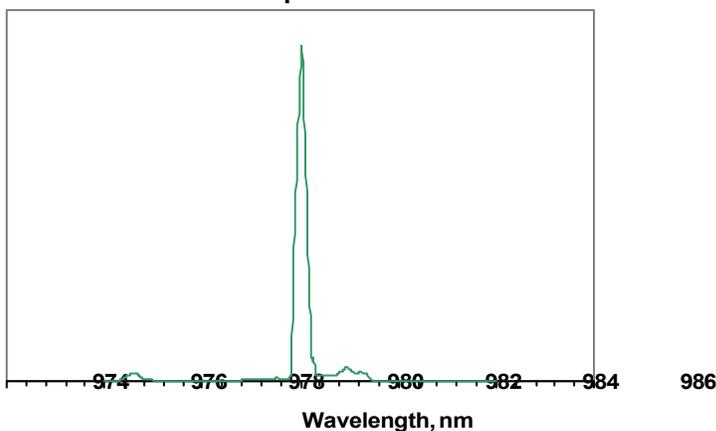
MODEL	QLD-980-150S
PART NUMBER	SAMPLE

Parameter	Value	Units
Case Temperature	25	°C
Optical Output Power	150	mW
Threshold Current	19	mA
Operating Current	170	mA
Operating Voltage	1.87	V
Monitor Current	0.19	mA
Monitor Dark Current	0	nA
Center Wavelength	980	nm
Spectral Width	0.24	nm

LIV Test Data



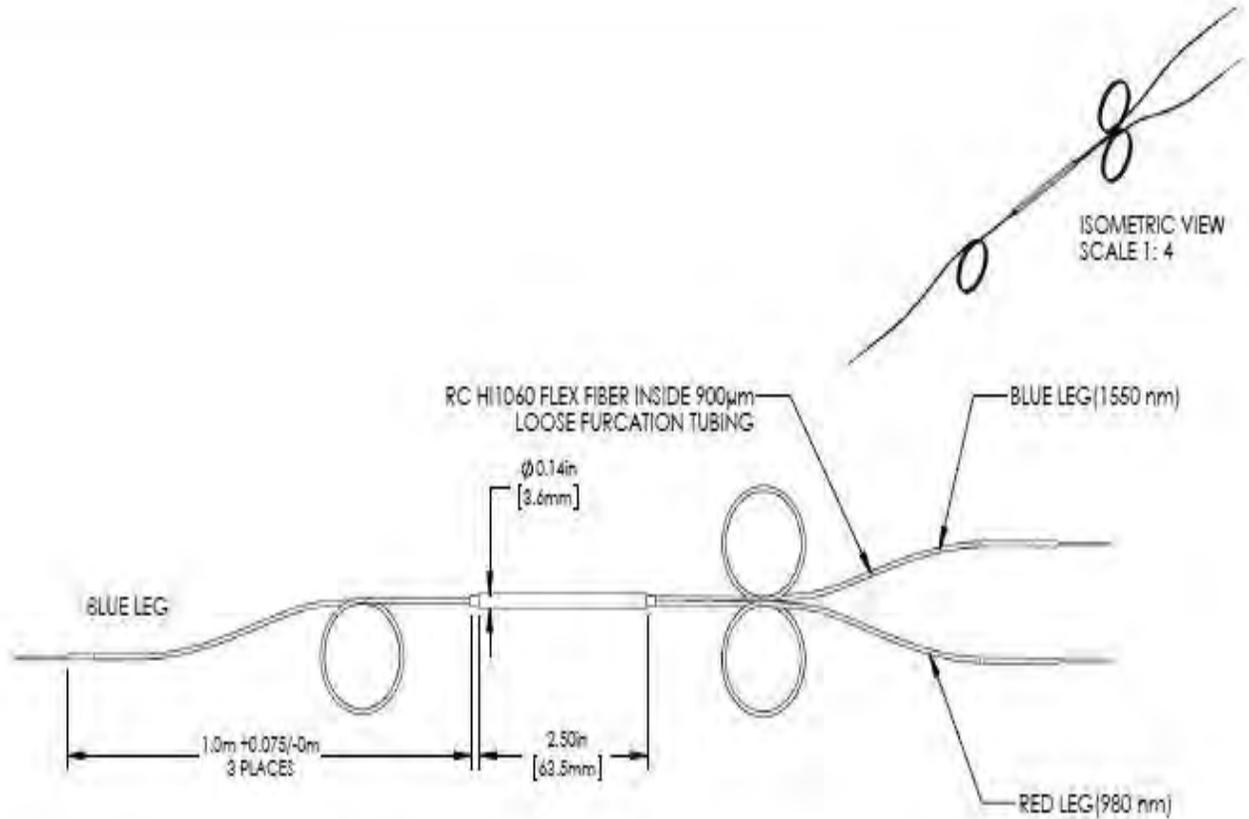
Emission Spectrum



This type of laser diodes must be used with temperature controlled mount.

Pin	Connection
1	PD Anode
2	LD Cathode
3	LD Anode
4	PD Cathode

APENDICE 3. HOJA DE DATOS DEL WDM

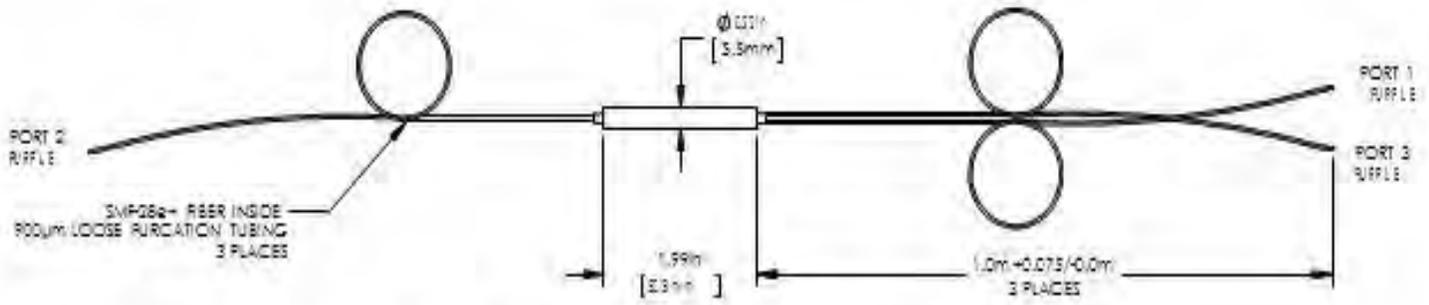
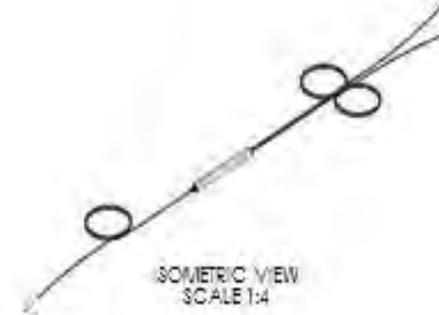
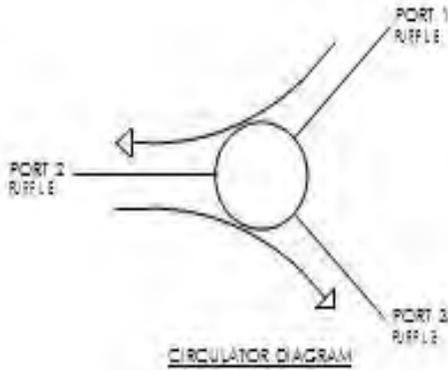


COUPLER SPECIFICATIONS	
CENTER WAVELENGTH	980nm (RED LEG)/1550nm (BLUE LEG)
OPERATING BANDWIDTH	+/- 10.0 nm
INSERTION LOSS(MAX)	0.55 dB
ISOLATION(MIN)	19 dB
POLARIZATION-DEPENDENT LOSS	<0.1 dB
CW POWER(MAX)	300 mW
DIRECTIVITY	50.0 dB
OPERATING TEMPERATURE °C	-40 TO 85°C
STORAGE TEMPERATURE °C	-50 TO 85 °C

FOR INFORMATION ONLY
NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

DRAWING PROJECTION		THORLABS www.thorlabs.com	
NAME	DATE	2x1, 980/1510 nm SM WDM	
DRAWN IR	14/SEPT/15	MATERIAL	REV B
APPROVAL BAG	09/OCT/15	N/A	
COPYRIGHT © 2015 BY THORLABS			
VALUES IN PARENTHESES ARE CALCULATED AND MAY CONTAIN ROUND-OFF ERRORS		ITEM #	APPROX WEIGHT
		WD202A	0.09 kg

APENDICE 4. HOJA DE DATOS DEL CIRCULADOR ÓPTICO



COUPLER SPECIFICATIONS	
WAVELENGTH RANGE	1525 - 1610 nm
MAX INSERTION LOSS	1.0 dB
ISOLATION	>40 dB
DIRECTIVITY (1-3)	>50 dB
POLARIZATION DEPENDENT LOSS	±0.1 dB
POLARIZATION MODE	±0.05 dB
POLARIZATION EXTINCTION	N/A
RETURN LOSS	≥ 50 dB
MAX OPTICAL POWER	500 mW
OPERATING TEMPERATURE (C)	0 TO 70 C
STORAGE TEMPERATURE (C)	-40 TO 85 C
OPERATING RELATIVE HUMIDITY	5% - 80%
STORAGE RELATIVE HUMIDITY	5% - 85%

FOR INFORMATION ONLY NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

DRAWING PROJECTION		THORLABS	
NAME	DATE	www.thorlabs.com	
DRAWN	BY	FIBER OPTIC CIRCULATOR, 1525	
APPROVAL	DATE	MATERIAL N/A	
COPYRIGHT © 2012 BY THORLABS		ITEM#	APPROVAL
VALUING PARTS/ISSUES HAS CALCULATED		8015-3	
AND MAY CONTAIN SOME OF THE			