



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:
**Implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos
direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas
utilizando software OptiSystem**

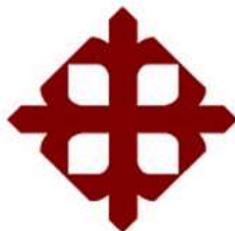
AUTOR:
Jara Iza, Ronny Mauricio

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:
M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

6 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Jara Iza, Ronny Mauricio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 6 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Jara Iza, Ronny Mauricio**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo: Implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando software OptiSystem, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 6 de marzo del 2020

EL AUTOR

JARA IZA, RONNY MAURICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Jara Iza, Ronny Mauricio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo: Implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando software OptiSystem**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 6 de marzo del 2020

EL AUTOR

JARA IZA, RONNY MAURICIO

REPORTE DE URKUND

URKUND

Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento: Ronny_Jara_EC2019B.docx (D64652115)

Presentado: 2020-03-01 04:29 (-05:00)

Presentado por: fernandopm23@hotmail.com

Recibido: edwin.palacios.ocsg@analysis.orkund.com

Mensaje: Revisión EC de Ronny Jara [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 12 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	Alvarado_Diana_v2.docx
	DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SUPERFICIES SELEC...
	https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bit...
Fuentes alternativas	
	TT_-_Jimmy_Sanchez.docx
Fuentes no usadas	

0 Advertencias

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando software OptiSystem

AUTOR: Jara Iza, Ronny Mauricio

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

DEDICATORIA

A mi padre Alejandro Jara que gracias a su apoyo y ejemplo de perseverancia y esfuerzo me sirvió de inspiración para seguir adelante con mis estudios y poder ser un profesional, a mi madre María Mercedes Iza que gracias a su comprensión y cariño me ayudó a no rendirme hasta cumplir mis metas y objetivos que me he propuesto. Este es el resultado de todo su esfuerzo y apoyo incondicional, este triunfo también es de ustedes.

A mis hermanos Xavier, Milena y Jean Paul por su apoyo incondicional y que este paso que acabo de culminar sea de inspiración para cumplir sus metas propuestas.

A mis abuelos que me brindaron su apoyo durante todas mis etapas académicas y por enseñarme desde pequeño los valores más importantes que pude aprender como son la humildad y honestidad y que día a día trato de poner en práctica.

A mis amigos y compañeros de facultad que durante nuestro trayecto académico se formó una gran amistad donde hemos compartido alegrías y experiencias y espero poder seguir compartiendo más momentos una vez terminado nuestra etapa académica y poder contar con todos ustedes en nuestra etapa profesional.

EL AUTOR

JARA IZA, RONNY MAURICIO

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por permitirme termina esta etapa más de mi vida, a mis padres que han estado siempre guiándome y apoyándome incondicionalmente durante toda mi vida.

Agradezco a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por haberme aceptado ser parte de esta prestigiosa entidad, y a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo por el conocimiento brindado para poder culminar mi carrera.

Gracias a nuestros catedráticos que durante todo el transcurso de mi etapa como estudiante me supieron transmitir sus conocimientos para formar fututos profesionales.

Al M.sc. Edwin Palacios que me brindó su experiencia y conocimientos que durante gran parte de mi vida como estudiante y en el transcurso de este trabajo de titulación.

Agradezco a mis amigos Mauricio, Fabricio, Alejandro y María Belén por brindarme su valiosa amistad y compañerismo y compartir momentos durante toda nuestra etapa como estudiante.

EL AUTOR

JARA IZA, RONNY MAURICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____
M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO	2
1.1. Introducción.	2
1.2. Objetivo General.	3
1.3. Objetivos Específicos.	3
CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.	4
2.1. Descripción general de los sistemas de comunicaciones por fibra óptica.	4
2.2. Estructura de guías de ondas ópticas	4
2.3. Tipos de fibra óptica	5
2.4. Descripción general de los acopladores ópticos.	5
2.5. Acoplador óptico direccional.	6
Capítulo 3: Diseño y análisis de resultados	8
3.1. Primer escenario de simulación de acopladores ópticos.	8
3.2. Segundo escenario de simulación de acopladores ópticos.	11
3.3. Tercer escenario de simulación de acopladores ópticos.	17
3.4. Cuarto escenario de simulación de acopladores ópticos.	26
Conclusiones	30
Recomendaciones.	31
Bibliografía.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Esquema elemental de un sistema de comunicación por fibra óptica.....	4
Figura 2. 2: Estructura de una fibra óptica.	5
Figura 2. 3: Clasificación de las fibras ópticas.	5
Figura 2. 4: Esquema de acopladores de (a) borde, y (b) de rejilla.	6
Figura 2. 5: (a) Modelo general para acopladores de impacto (b) acoplador de puntal de tipo a granel (c) acoplador de puntal de fibra fundida.	7

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diseño del primer escenario de simulación utilizando acopladores direccionales ópticos.....	8
Figura 3. 2: Cambio de la potencia de salida del láser CW que funciona en THz de acuerdo con la longitud de onda.	9
Figura 3. 3: Cambio en la potencia del acoplador óptico de dirección en la primera puerta de salida de acuerdo con la longitud de onda.	9
Figura 3. 4: Cambio en la potencia del acoplador óptico de dirección en la segunda puerta de salida de acuerdo con la longitud de onda.	10
Figura 3. 5: Información de potencia total en las puertas de salida primera y segunda del acoplador óptico direccional con coeficiente de acoplamiento de 0.5.	10
Figura 3. 6: Información de potencia total en las puertas de salida primera y segunda del acoplador óptico direccional con coeficiente de acoplamiento de 0.4.	11
Figura 3. 7: Diseño del segundo escenario de simulación utilizando acopladores direccionales ópticos.....	12
Figura 3. 8: Variación de la potencia de salida de acuerdo con la longitud de onda para el primer canal del conjunto de láser CW que funciona a 193.1 THz.	12

Figura 3. 9: Variación de la potencia del multiplexor de división de onda en el dominio de (a) el tiempo y (b) la longitud de onda.....	13
Figura 3. 10: Potencias de salida (a) del multiplexor, y (b) de fibra óptica. ...	14
Figura 3. 11: La potencia de la salida del amplificador óptico semiconductor.	14
Figura 3. 12: Variación de la potencia en la salida del amplificador óptico semiconductor de acuerdo con la longitud de onda.	15
Figura 3. 13: (a) La potencia de la primera puerta de salida del acoplador óptico direccional varía de acuerdo con la longitud de onda cuando el coeficiente de acoplamiento es 0.5. (b) La medición de potencia de la primera puerta de salida del acoplador óptico direccional.	16
Figura 3. 14: (a) La potencia de la segunda puerta de salida del acoplador óptico direccional de acuerdo con la longitud de onda cuando el coeficiente de acoplamiento es 0.5. (b) La medición de potencia de la segunda puerta de salida del acoplador de dirección óptica.....	16
Figura 3. 15: Variación de la potencia del acoplador óptico direccional de acuerdo con el coeficiente de acoplamiento.	17
Figura 3. 16: Acoplador de bombeo mecanismo de trabajo general.	18
Figura 3. 17: Infraestructura técnica de acoplador de bombeo óptico.	18
Figura 3. 18: Diseño del tercer escenario de simulación utilizando acopladores direccionales ópticos.....	19
Figura 3. 19: Modulador Mach-Zehnder.	20
Figura 3. 20: Variación de potencia en modulador MZ según la longitud de onda.....	20
Figura 3. 21: Variación de potencia del multiplexor ideal según la longitud de onda.....	21
Figura 3. 22: Variación de potencia de la señal de salida EDFA de acuerdo con la longitud de onda.	21
Figura 3. 23: Medición de potencia óptica en la señal de salida del EDFA. ...	22
Figura 3. 24: Modificación del tercer escenario con acopladores de bombeo óptico.....	22

Figura 3. 25: Variación de la potencia de salida del acoplador de la bomba según la longitud de onda.	23
Figura 3. 26: Potencia de la señal salida del EDFA.	24
Figura 3. 27: Variación de la potencia de la señal de salida del EDFA de acuerdo con la longitud de onda.	24
Figura 3. 28: Subsistema de acoplador de bombeo para diferentes valores de parámetros de atenuación para la señal de entrada y la señal de bombeo del acoplador óptico de bombeo.	25
Figura 3. 29: Diseño de refuerzo de correa separado.	27
Figura 3. 30: Variación de la potencia del acoplador X bidireccional en la primera puerta de salida de acuerdo con la longitud de onda.	28
Figura 3. 31: Salida del analizador WDM.	28

Resumen

El presente trabajo corresponde al componente práctico del examen complejo que se deriva como análisis previo de temas tratados en clases de la asignatura de comunicaciones ópticas. Se realizó la propuesta de la implementación de cuatro escenarios de simulación empleando acopladores ópticos tanto direccionales como bidireccionales en un sistema de comunicación óptica a través del software OptiSystem 7.0. En el capítulo 1 se describen brevemente la introducción, objetivo general y objetivos específicos del componente práctico. En el capítulo 2 se describe los fundamentos teóricos básicos. En el capítulo 3 se utiliza el software de simulación OptiSystem 7.0 para poder realizar los diseños de los cuatro escenarios de simulación. En esta parte se realizó un análisis profundo en el aprendizaje del software mediante manuales, páginas tutoriales, publicaciones y ayuda del tutor, que al final dio sus resultados con el correcto funcionamiento de las simulaciones creadas. Posteriormente, se visualizan los resultados obtenidos en cada escenario evaluado.

Palabras claves: ACOPLADORES, DIRECCIONALES, BIDIRECCIONALES, COMUNICACIONES, FIBRA, SOFTWARE

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

1.1. Introducción.

El uso de la luz para fines de comunicación se remonta a la antigüedad si se interpreta a la comunicación óptica en un sentido amplio, lo que implica cualquier esquema de comunicación que haga uso de la luz. La mayoría de las civilizaciones han utilizado espejos, balizas de fuego o señales de humo para transmitir una sola información (como la victoria en una guerra). Por ejemplo, se afirma que los griegos construyeron en 1084 a. C. una línea de faros de fuego de 500 km de largo para transmitir la noticia de la caída de Troya. (Agrawal, 2016; Hurdeman, 2003)

La principal limitación de dicho esquema es que el contenido de la información es inherentemente limitado y debe acordarse de antemano. Se hicieron intentos a lo largo de la historia para aumentar la cantidad de información transmitida. Por ejemplo, los indios norteamericanos cambiaron el color de una señal de humo para este propósito. Del mismo modo, se utilizaron persianas dentro de los faros para encender y apagar la señal de la baliza a intervalos predeterminados. Esta idea no está muy lejos de nuestros esquemas modernos en los que la información se codifica en la luz emitida por un láser modulándola a alta velocidad. (Agrawal, 2012, 2016)

Las fibras ópticas son finas hebras de vidrio o plástico, de las cuales una o varias se utilizan para la transmisión de radiación de un compartimento a otro a varios cientos de pies, no solo con fines de observación, sino también para la iluminación de objetos. La característica esencial para la transmisión de luz en una fibra óptica que ocurre por reflexión interna total es que la fibra transmisora debe estar recubierta con un material que tenga un índice de refracción más pequeño (material de revestimiento) que el del material de fibra (núcleo). La emisión de radiaciones ultravioletas, visibles o infrarrojas por la fibra depende de la elección del material de construcción.

La fibra es una guía de onda dieléctrica que consta de un número discreto de modos de propagación. En función de los modos, las fibras se

pueden clasificar como monomodo (SMF) y multimodo (MMF) de dos tipos que son de índice gradual y escalonado. (Sharma et al., 2013)

1.2. Objetivo General.

Evaluar la implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando software OptiSystem

1.3. Objetivos Específicos.

- a. Describir los fundamentos teóricos o estado del arte de la comunicación por fibra óptica.
- b. Diseñar los escenarios de simulación de sistemas de comunicación óptica empleando acopladores ópticos direccionales y bidireccionales.
- c. Evaluar los escenarios de simulación utilizando acopladores ópticos sobre el software OptiSystem.

CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.

2.1. Descripción general de los sistemas de comunicaciones por fibra óptica.

La fibra óptica es un medio para transportar información de un punto a otro en forma de luz. A diferencia de la forma de transmisión de cobre, la fibra óptica no es de naturaleza eléctrica (Alzate C. & Cárdenas, 2011). Un sistema básico de fibra óptica consiste en un dispositivo de transmisión que convierte una señal eléctrica en una señal de luz, un cable de fibra óptica que transporta la luz y un receptor que acepta la señal de luz y la convierte nuevamente en una señal eléctrica. La complejidad de un sistema de fibra óptica puede variar desde muy simple (es decir, red de área local) hasta extremadamente sofisticada y costosa (es decir, líneas telefónicas de larga distancia o canales de televisión por cable).

Por ejemplo, el sistema que se muestra en la figura 2.1 podría construirse de manera muy económica utilizando un LED visible, fibra de plástico, un fotodetector de silicio y algunos circuitos electrónicos sencillos. El costo total podría ser inferior a \$ 20. Por otro lado, un sistema típico utilizado para telecomunicaciones de larga distancia y gran ancho de banda podría costar decenas o incluso cientos de miles de dólares.

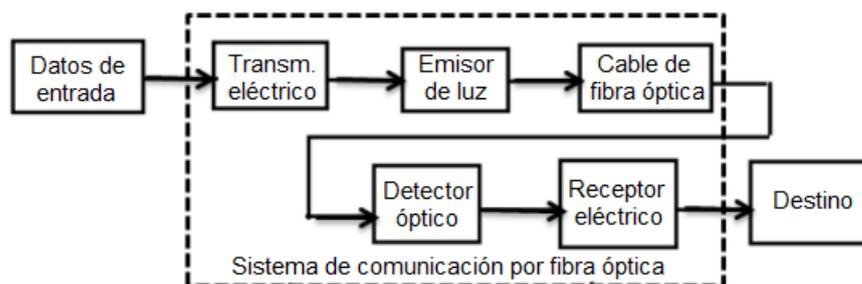


Figura 2. 1: Esquema elemental de un sistema de comunicación por fibra óptica.

Fuente: (Moosa & Abood, 2017)

2.2. Estructura de guías de ondas ópticas

Las fibras ópticas son guías de onda dieléctricas que funcionan a frecuencias ópticas, generalmente tienen una forma cilíndrica, tal como se muestra en la figura 2.2, consta de tres regiones: una fibra óptica clásica, núcleo, funda y cubierta. (Kumar & Deen, 2014)

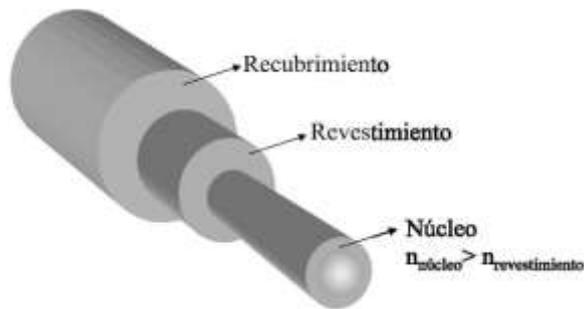


Figura 2. 2: Estructura de una fibra óptica.
Fuente: (Hernández-García et al., 2010)

- ✓ La región central es el núcleo y la luz se transmite aquí.
- ✓ El área del revestimiento asegura que la luz permanezca dentro del núcleo y no se filtre, protegiéndola de los factores ambientales. La segunda tarea de la región de revestimiento es expandir el diámetro de la fibra óptica y aumentar su durabilidad y facilidad de uso.
- ✓ La zona de recubrimiento es la capa externa que protege la fibra óptica de los efectos químicos y mecánicos.

2.3. Tipos de fibra óptica

Las fibras ópticas se clasifican según el número de señales que transportan y su índice de refracción. En la figura 2.3, se da la clasificación de las fibras ópticas.

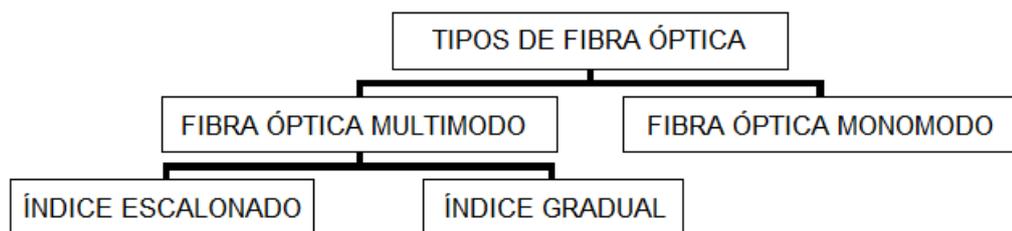


Figura 2. 3: Clasificación de las fibras ópticas.
Fuente: (Senior & Jamro, 2009)

2.4. Descripción general de los acopladores ópticos.

Los acopladores ópticos realizan funciones tales como recopilar y distribuir ondas de luz que son importantes para muchas aplicaciones. Los acopladores de dirección ideales y los acopladores en estrella son elementos insensibles a la longitud de onda. Los acopladores conectados por división de longitud de onda son elementos selectivos de longitud de onda. Los

acopladores de dirección se utilizan a menudo en sistemas de transmisión bidireccional y sistemas de medición (Türkmen, 2005).

Un acoplador óptico es un componente para acoplar la luz de una fibra óptica a la guía de ondas y viceversa. Hay dos tipos de mecanismos de acoplamiento utilizados en la fotónica: acoplamiento en línea y acoplamiento vertical. Se utiliza un acoplamiento de borde para el acoplamiento en línea, donde el acoplador de rejilla es un componente comúnmente utilizado para el acoplamiento vertical. La figura 2.4 (a) y (b) muestra el esquema del borde y el acoplador de rejilla para en línea y vertical, respectivamente.

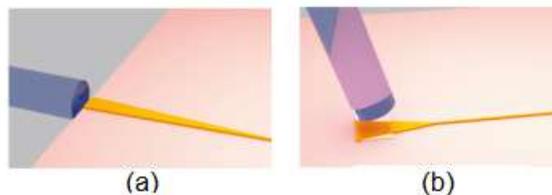


Figura 2. 4: Esquema de acopladores de (a) borde, y (b) de rejilla.
Fuente: (Pathak, 2019).

En general, la fibra monomodo tiene un diámetro de núcleo de 8 – 10 μm y un diámetro de revestimiento de 125 μm con un diámetro de campo de modo (*Mode Field Diameter, MFD*) de $\sim 10.5 \mu\text{m}$. El MFD es aquel en el que la densidad de potencia se reduce a $1/e^2$ de la densidad de potencia máxima. Para los escenarios de simulación diseñador en el capítulo 3 se utiliza parámetros para estimar la eficiencia de acoplamiento de la fibra a la guía de onda.

2.5. Acoplador óptico direccional.

Los acopladores ópticos de dirección están compuestos simplemente por dos fibras ópticas paralelas. Dichas fibras ópticas paralelas se pueden aplicar como rectas, una torcida, la otra recta, o ambas torcidas. La figura 2.5 muestra la estructura de los acopladores de dirección. El mecanismo de acoplamiento mutuo entre las fibras ópticas se examina con la ayuda de la teoría del modo acoplado y la teoría de las caricias.

Según la teoría del modo acoplado, si la distancia entre los ejes de las fibras ópticas es mucho menor que la longitud de onda de trabajo, se produce

la interacción mutua de los campos evanescentes. La constante de propagación del modo en una de las fibras ópticas cambia por el efecto del modo en la otra fibra óptica en el estado acoplado. La constante de fase de la fibra en el estado acoplado puede ser igual o diferente a la constante de fase del otro modo. (Cabezudo Sánchez-Valverde, 2018)

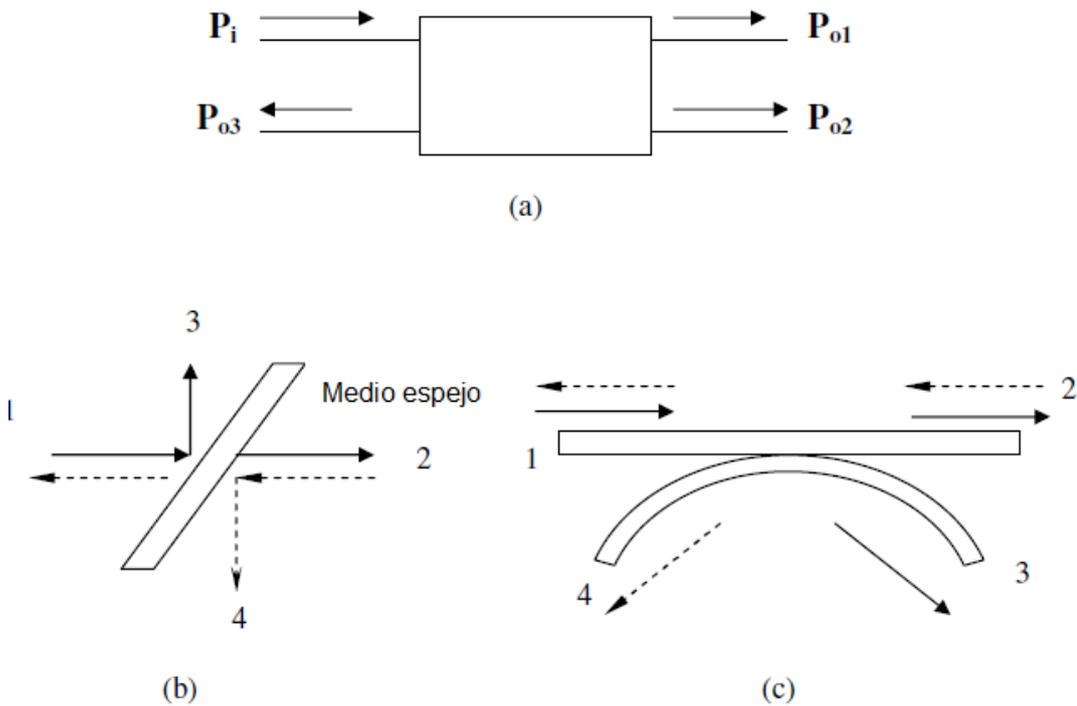


Figura 2. 5: (a) Modelo general para acopladores de impacto (b) acoplador de puntal de tipo a granel (c) acoplador de puntal de fibra fundida.

Elaborado por: Autor.

El acoplador óptico de dirección es un elemento de circuito de cuatro puertos que proporciona transmisión de datos desde los puertos de salida cuando es alimentado por cualquier fuente óptica a través de un puerto de entrada. Las señales tomadas de las puertas de salida se aplican a las puertas de entrada de los elementos en el sistema. Dependiendo del uso previsto del sistema, se proporciona la absorción de la onda electromagnética que llega a la puerta utilizando el elemento de terminación apropiado o la reflexión de todos o parte de los datos, dependiendo de la impedancia del elemento de terminación utilizado.

Capítulo 3: Diseño y análisis de resultados

3.1. Primer escenario de simulación de acopladores ópticos.

En esta sección, el software OptiSystem 7.0 se utiliza para modelar sistemas de comunicaciones ópticas. En la figura 3.1, el mecanismo de trabajo del acoplador direccional se simula con un mecanismo simple. El sistema funciona con un láser de señal u onda continua (*Continuous Wave, CW*) estándar que opera a una frecuencia de 193.1 THz y una potencia de 0 dBm. Una de las salidas del acoplador tiene un coeficiente de acoplamiento de 0.5, las otras dos se evaluaron con un medidor de potencia óptica y un analizador de espectro óptico.

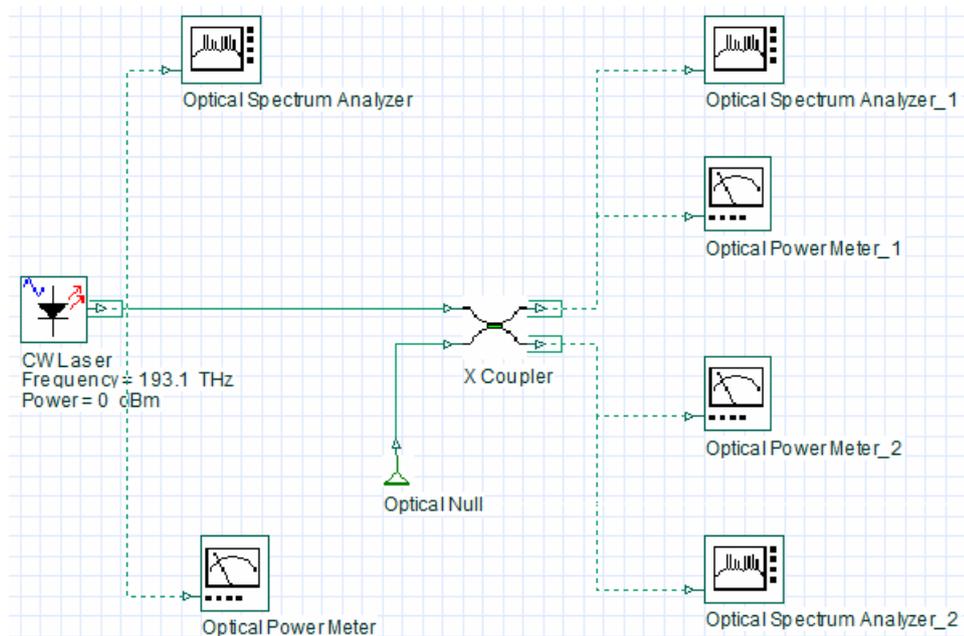


Figura 3. 1: Diseño del primer escenario de simulación utilizando acopladores direccionales ópticos.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.2, la potencia del láser de onda continua que funciona a una frecuencia de 193.1 THz cambia de acuerdo con la longitud de onda. Se puede ver que el láser transmite potencia a una sola longitud de onda y no se alimenta a otras longitudes de onda. Se ha observado que el acoplador óptico de dirección cambia dependiendo de la longitud de onda de la potencia en las puertas de salida con los analizadores de espectro óptico conectados a las puertas de salida. En la figura 3.3 y la figura 3.4, se ve que las características de salida son similares y la potencia de salida disminuye.

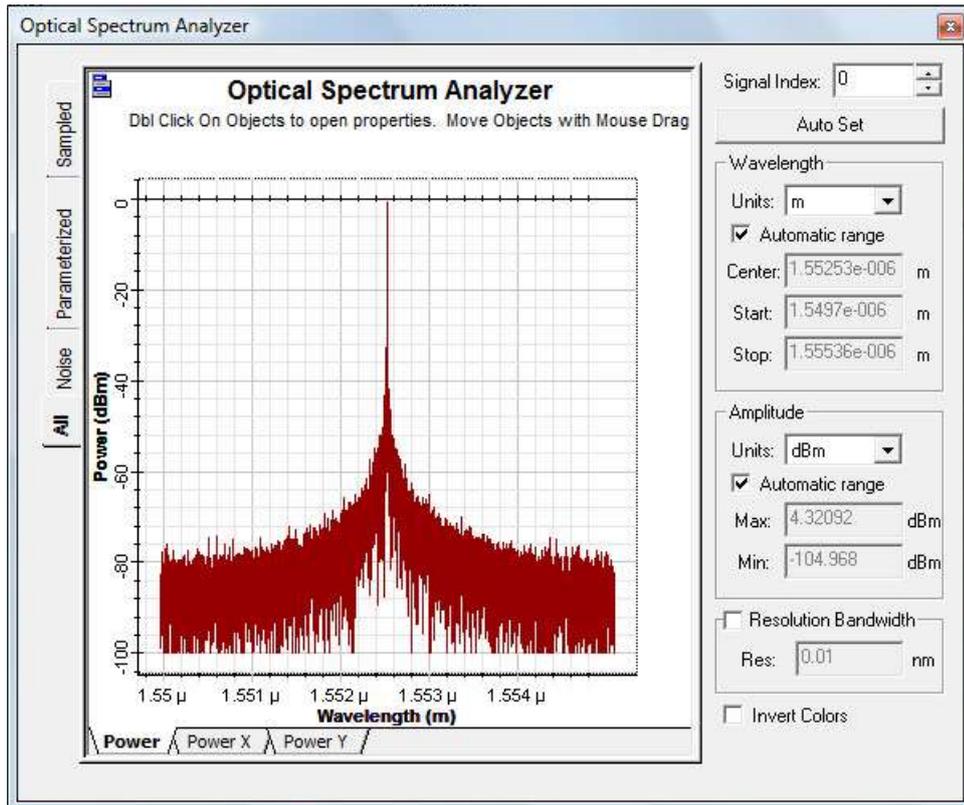


Figura 3. 2: Cambio de la potencia de salida del láser CW que funciona en THz de acuerdo con la longitud de onda.

Elaborado por: Autor.

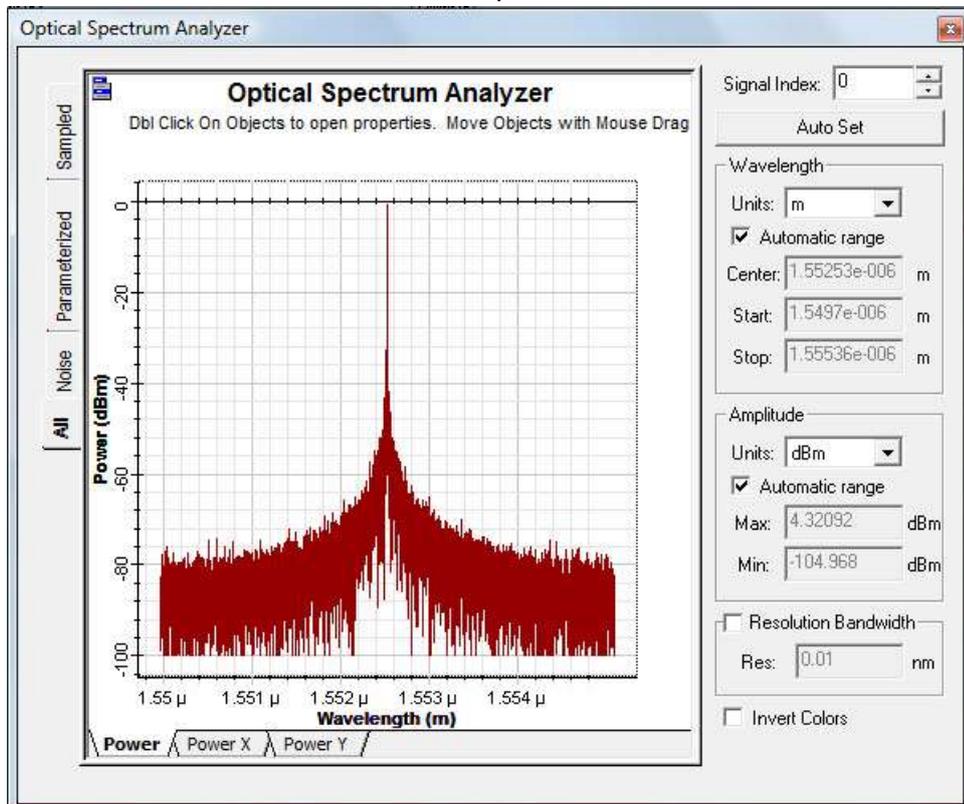


Figura 3. 3: Cambio en la potencia del acoplador óptico de dirección en la primera puerta de salida de acuerdo con la longitud de onda.

Elaborado por: Autor.

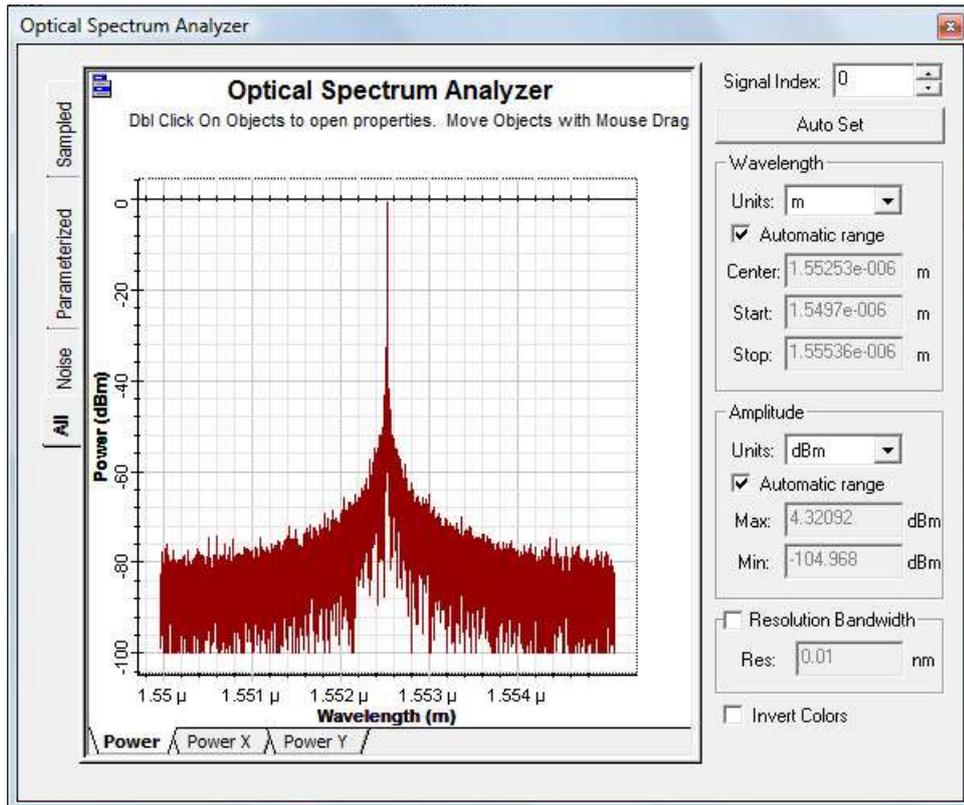


Figura 3. 4: Cambio en la potencia del acoplador óptico de dirección en la segunda puerta de salida de acuerdo con la longitud de onda.
Elaborado por: Autor.

Las puertas de salida del acoplador de dirección óptica se examinaron con un medidor de potencia óptica y, como se ve en la figura 3.5, se observó que la potencia total para ambas puertas de salida es -3.010 dBm.

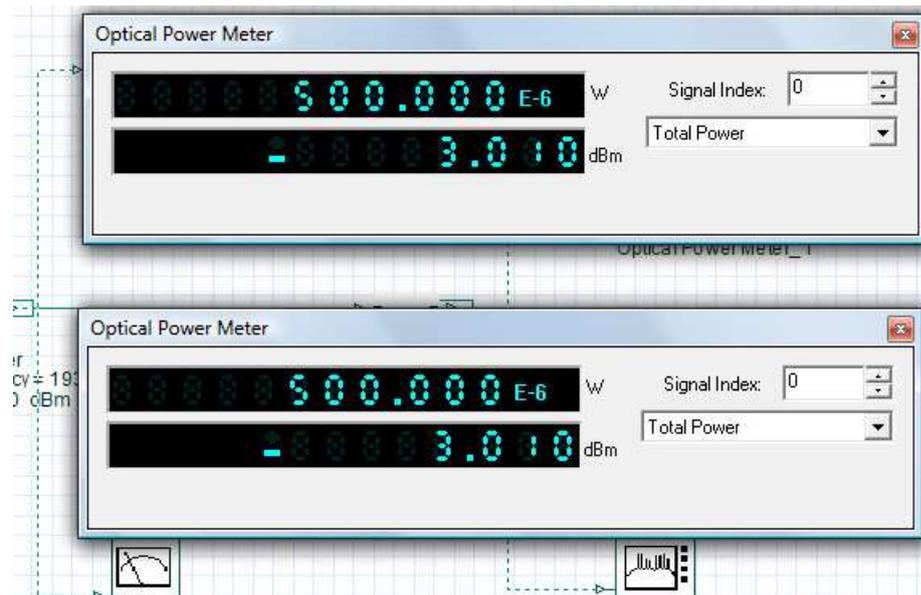


Figura 3. 5: Información de potencia total en las puertas de salida primera y segunda del acoplador óptico direccional con coeficiente de acoplamiento de 0.5.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.6, si el coeficiente de acoplamiento es 0.4, se incluye el cambio de potencia en las puertas de salida. Cuando el coeficiente de acoplamiento disminuye, se observa que la potencia de salida de la primera puerta disminuye y la potencia de salida de la segunda puerta aumenta.

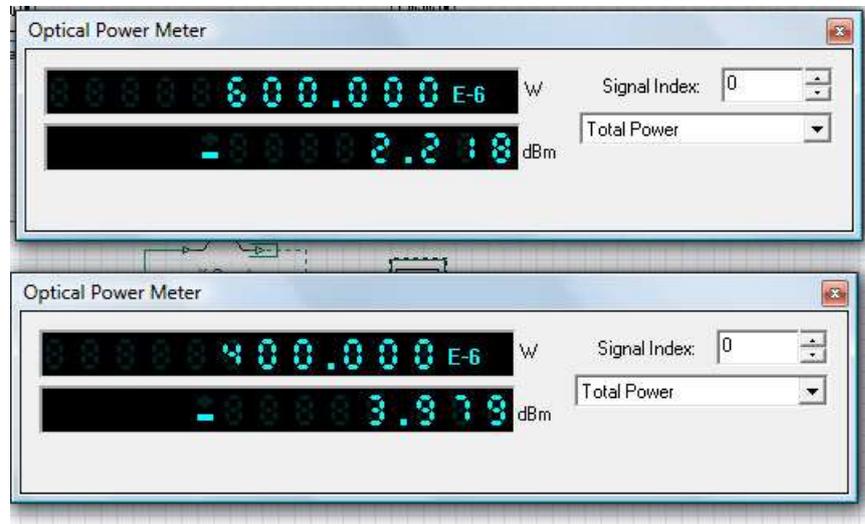


Figura 3. 6: Información de potencia total en las puertas de salida primera y segunda del acoplador óptico direccional con coeficiente de acoplamiento de 0.4.
Elaborado por: Autor.

3.2. Segundo escenario de simulación de acopladores ópticos.

En esta parte, el acoplador direccional ha sido analizado en un sistema de comunicación. El sistema de la figura 3.7 ha sido alimentado con una señal láser con una señal continua de 0 dBm, que opera en el rango de 193.1 – 193.8 THz con un cambio de frecuencia de 0.1 THz. La salida de la matriz láser de 8 canales se proporcionó al multiplexor ideal, lo que resultó en una señal multiplexada. La señal se da a la entrada de fibra óptica, que tiene 50 km de largo y 1550 nm de longitud de onda y tiene una pérdida de 0.2 dBm/km. Este escenario se fortalece con un amplificador ideal debido al efecto de atenuación en la salida de fibra óptica. El medidor de potencia óptica agregado a la salida del amplificador está asociado con las potencias de salida al medir la potencia de entrada del acoplador direccional.

En la figura 3.8 se observa la variación de la potencia de salida láser de señal continua (CW) con respecto la longitud de onda para el primer canal de 193.1 THz. En la figura 3.9 (a), la potencia del multiplexor se da en el dominio del tiempo y (b) la potencia del multiplexor se da con la longitud de onda.

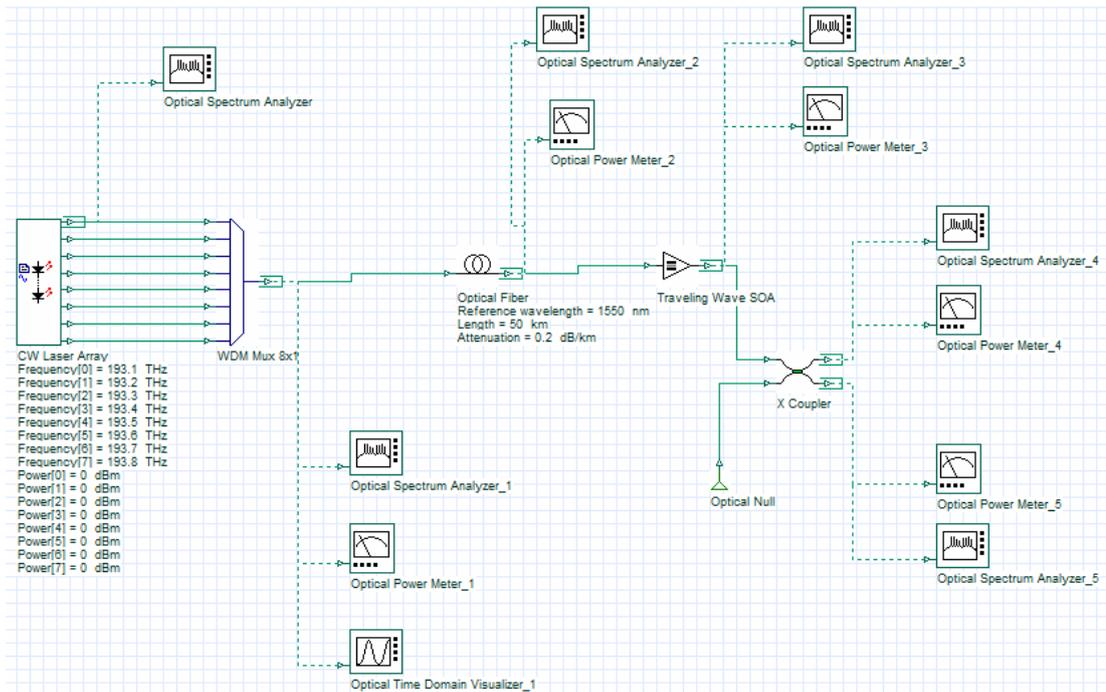


Figura 3. 7: Diseño del segundo escenario de simulación utilizando acopladores direccionales ópticos.
Elaborado por: Autor.

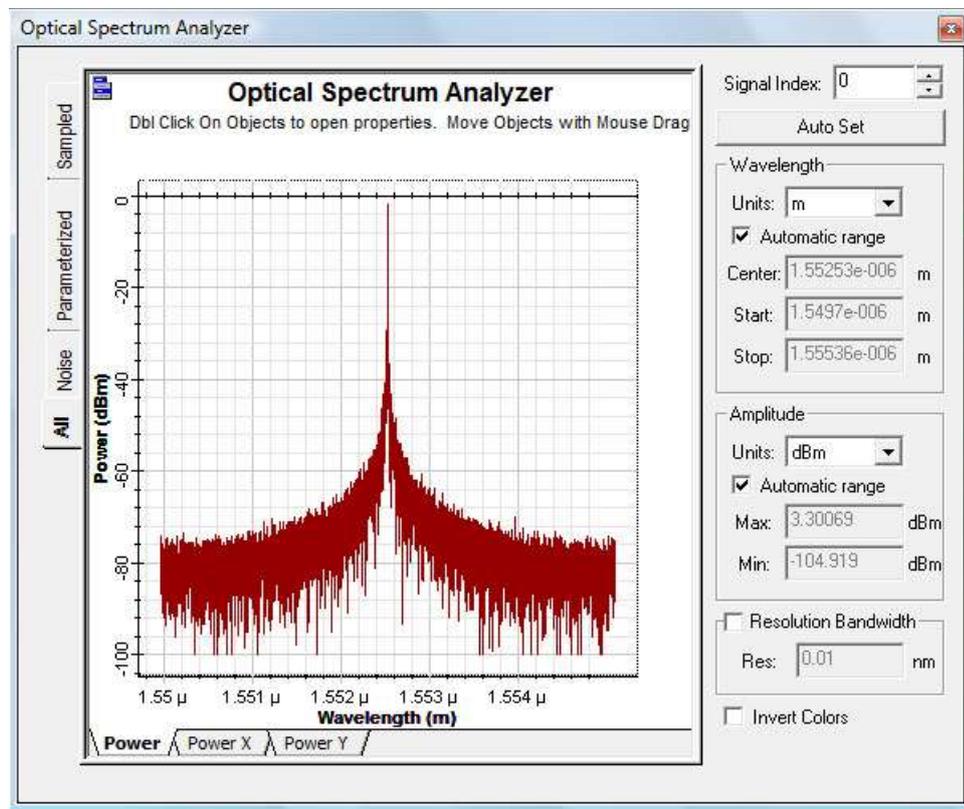
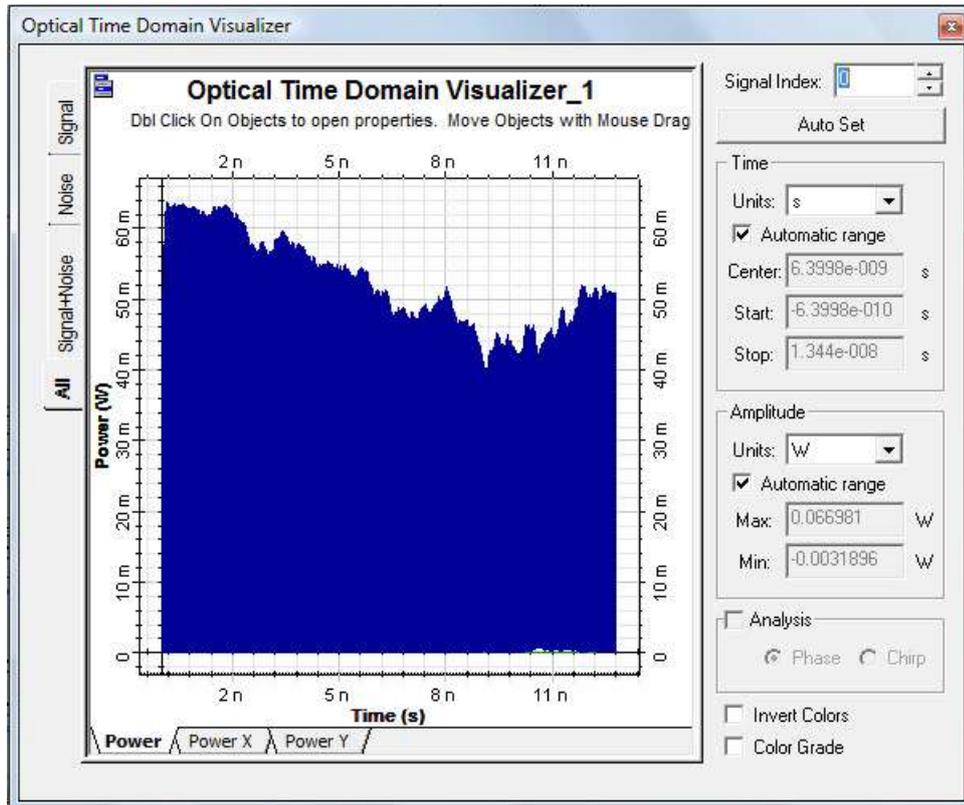
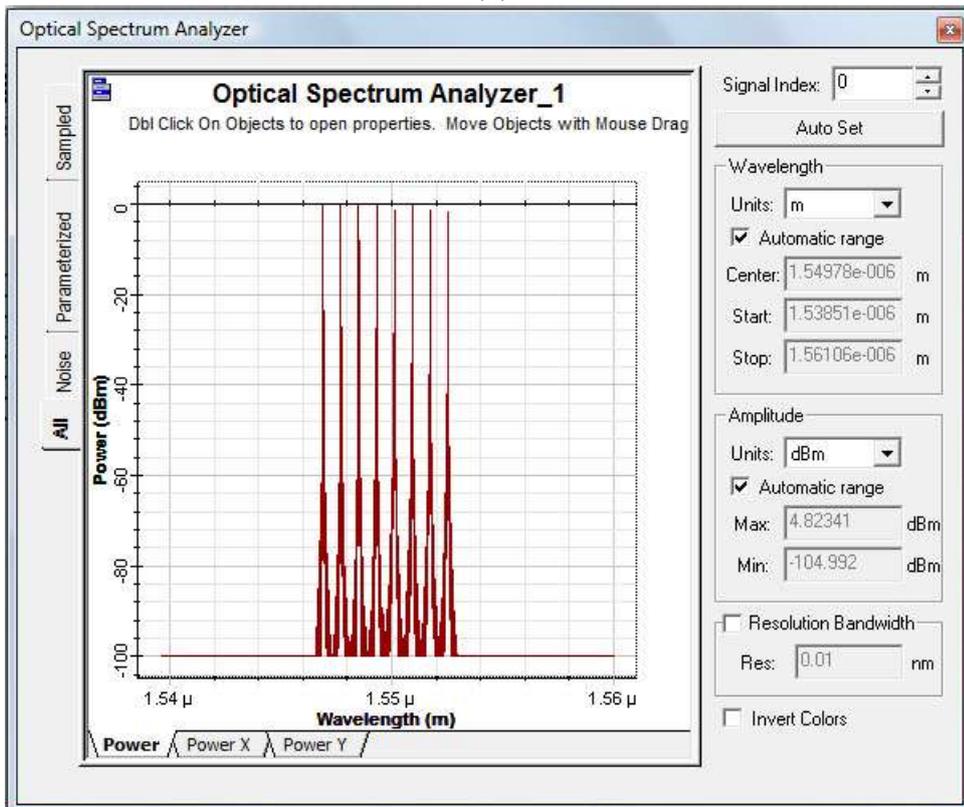


Figura 3. 8: Variación de la potencia de salida de acuerdo con la longitud de onda para el primer canal del conjunto de láser CW que funciona a 193.1 THz.
Elaborado por: Autor.



(a)



(b)

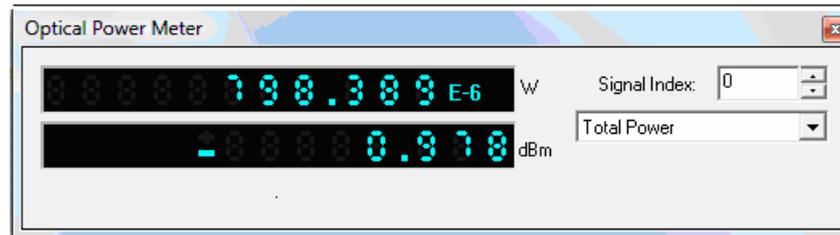
Figura 3. 9: Variación de la potencia del multiplexor de división de onda en el dominio de (a) el tiempo y (b) la longitud de onda.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.10, se muestran las potencias de salida del multiplexor de división de onda y salida de la fibra óptica, que tiene una longitud de 50 km. Se observa que la potencia total a lo largo de la fibra óptica con una pérdida de 0.2 dB/km y una pérdida de 10 dB.



(a)



(b)

Figura 3. 10: Potencias de salida (a) del multiplexor, y (b) de fibra óptica.
Elaborado por: Autor.

La señal debilitada en la salida de la fibra óptica se reforzó con un amplificador óptico semiconductor y se transfirió al acoplador óptico. En la figura 3.11, se puede ver la potencia de la señal de salida del amplificador óptico semiconductor.



Figura 3. 11: La potencia de la salida del amplificador óptico semiconductor.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.12, la potencia de la señal de salida del amplificador óptico semiconductor varía de acuerdo con la longitud de onda. La figura 3.13 muestra los resultados de la potencia de la primera puerta de salida del acoplador óptico direccional variando el coeficiente de acoplamiento a 0.5. Mientras que en la figura 3.14 se observa la salida de la potencia de la segunda salida del acoplador, y de la salida del medidor de potencia óptica.

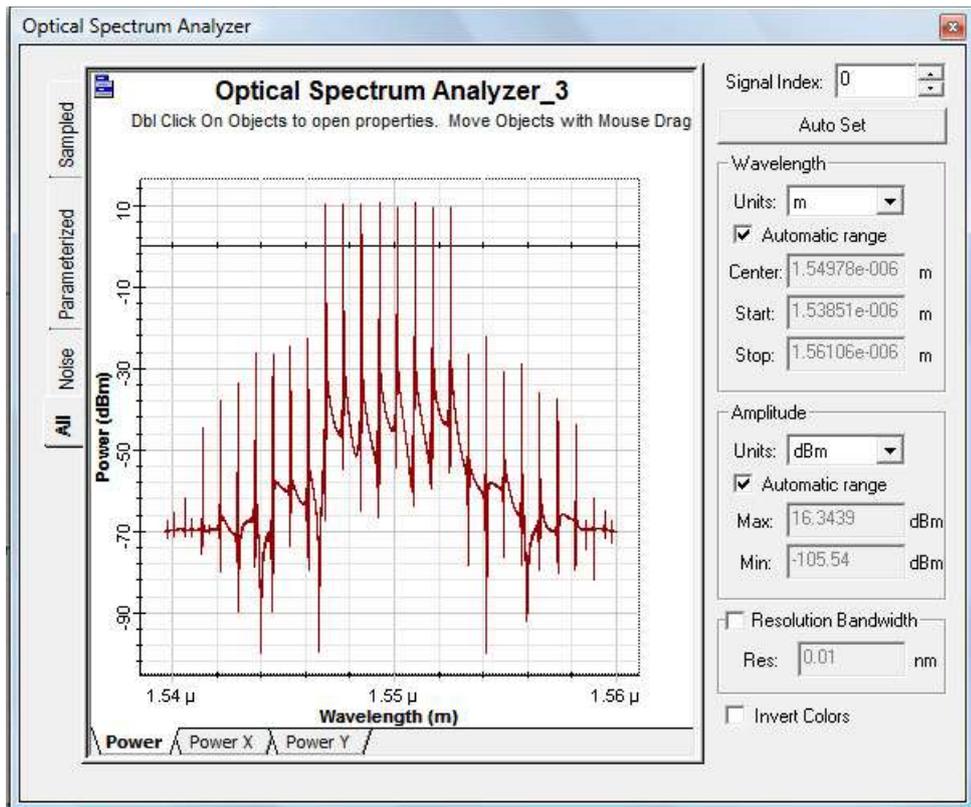
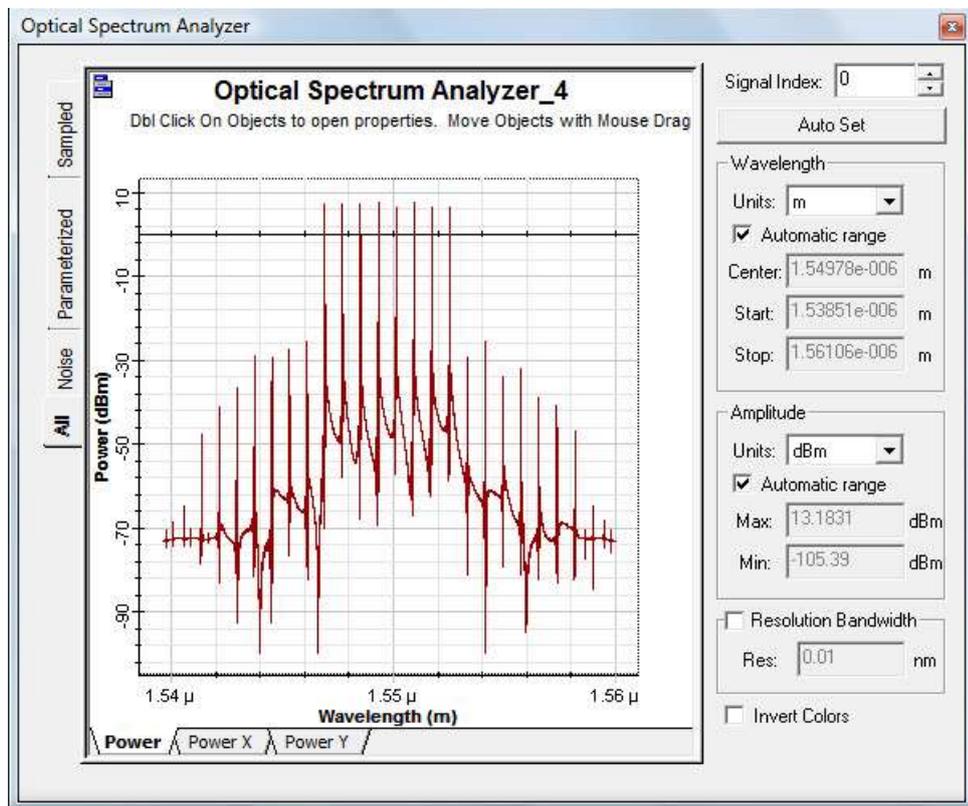
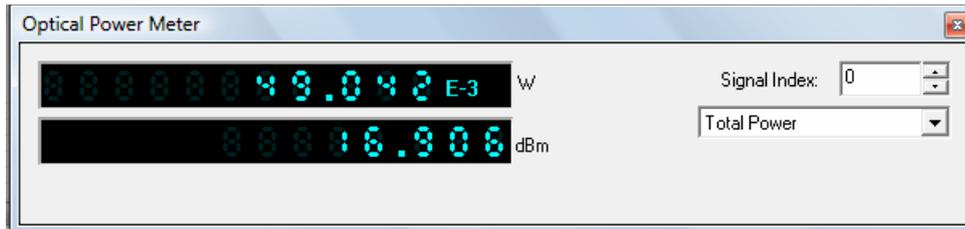


Figura 3. 12: Variación de la potencia en la salida del amplificador óptico semiconductor de acuerdo con la longitud de onda.
Elaborado por: Autor.



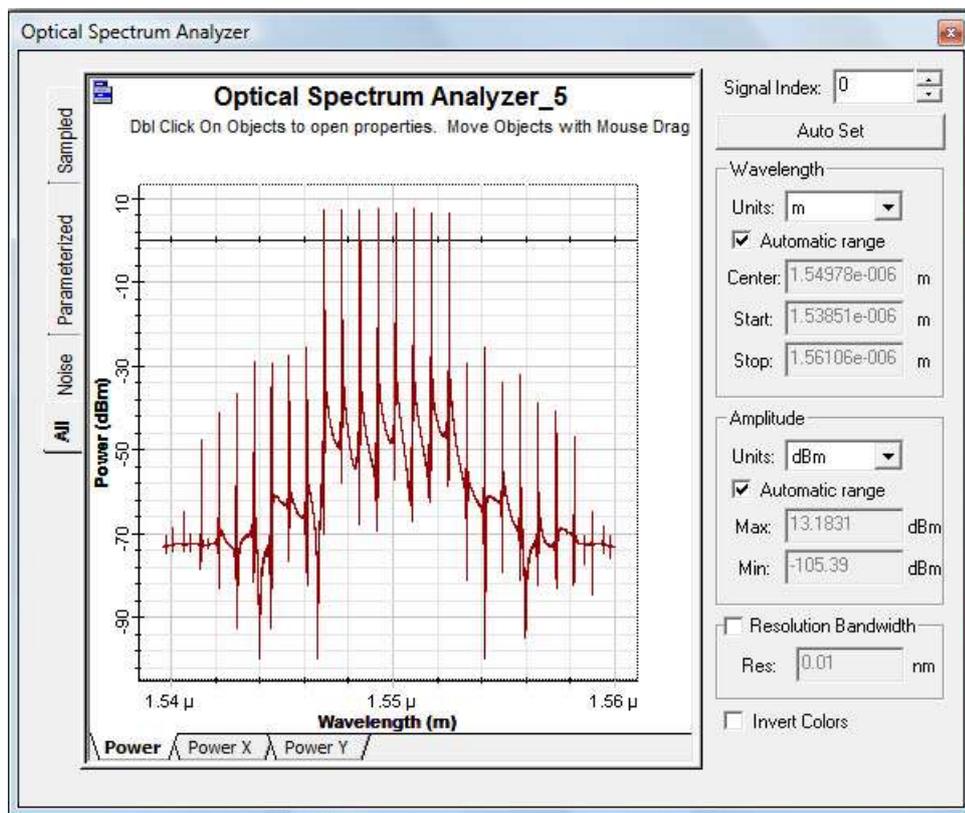
(a)



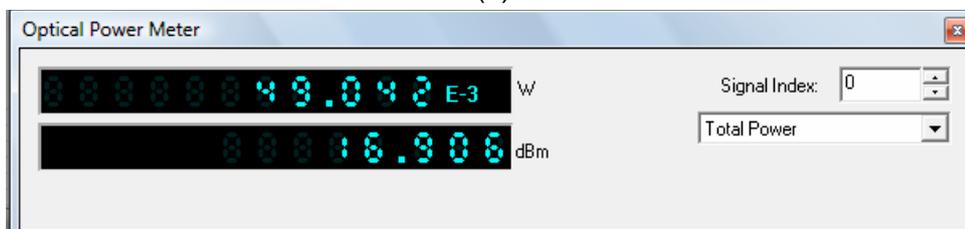
(b)

Figura 3. 13: (a) La potencia de la primera puerta de salida del acoplador óptico direccional varía de acuerdo con la longitud de onda cuando el coeficiente de acoplamiento es 0.5. (b) La medición de potencia de la primera puerta de salida del acoplador óptico direccional.

Elaborado por: Autor.



(a)



(b)

Figura 3. 14: (a) La potencia de la segunda puerta de salida del acoplador óptico direccional de acuerdo con la longitud de onda cuando el coeficiente de acoplamiento es 0.5. (b) La medición de potencia de la segunda puerta de salida del acoplador de dirección óptica.

Elaborado por: Autor.

En las imágenes mostradas por las figuras 3.13 y 3.14, cuando el coeficiente de acoplamiento es 0.5, se ve que el acoplador de dirección óptica transfiere la potencia de entrada a las puertas de salida iguales entre sí.

El gráfico que se muestra en la Figura 3.15 se obtuvo cambiando el coeficiente de acoplamiento del acoplador óptico direccional utilizado entre 0.1 y 0.9 y normalizando los cambios de potencia en las puertas de salida. La figura 3.15 muestra el mecanismo de operación de los acopladores ópticos. En el análisis, relacionado con el cambio del coeficiente de acoplamiento, se observa que la potencia de la primera puerta de salida disminuye mientras que la potencia de la segunda puerta de salida aumenta. Esto apoya los principios de funcionamiento del acoplador óptico.

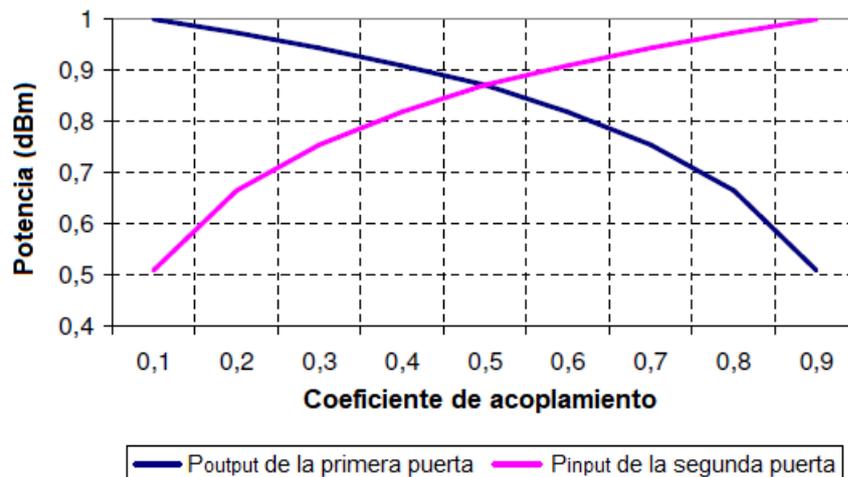


Figura 3. 15: Variación de la potencia del acoplador óptico direccional de acuerdo con el coeficiente de acoplamiento.

Elaborado por: Autor.

3.3. Tercer escenario de simulación de acopladores ópticos.

En esta sección, se examinan los mecanismos de acoplamiento de bombeo óptico. El mecanismo de operación de acopladores de bombeo se muestra en la figura 3.16 y se utiliza para crear subsistemas de bombeo independientes en los puntos donde se desea controlar el debilitamiento de la señal y el debilitamiento de bombeo de forma independiente. El acoplamiento técnico del acoplador de bombeo que se propaga conjuntamente utilizado en el software de simulación OptiSystem 7.0 se muestra en la figura 3.17.

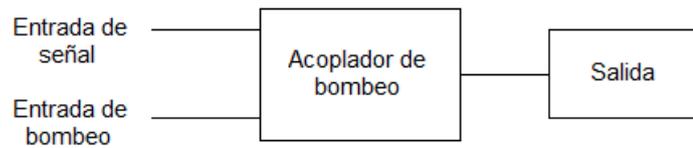


Figura 3. 16: Acoplador de bombeo mecanismo de trabajo general.
Elaborado por: Autor.

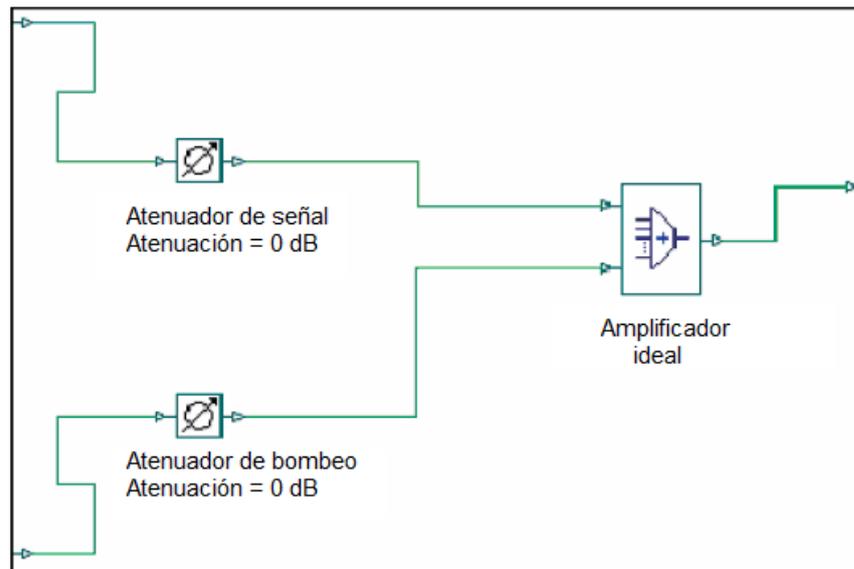


Figura 3. 17: Infraestructura técnica de acoplador de bombeo óptico.
Elaborado por: Autor.

En el acoplador de la bomba, las señales de entrada se debilitan independientemente y salen a la salida con la ayuda de un multiplicador ideal. En las simulaciones de esta sección, se ha evaluado el mecanismo de trabajo del acoplador de la bomba óptica.

El sistema que se muestra en la figura 3.18 se alimenta con un subsistema de transmisor óptico. En cada uno de estos subsistemas, se obtiene una secuencia numérica mediante un generador aleatorio de secuencia de bits y se alimenta un generador de impulsos. La salida del generador de impulsos y un láser con una marca permanente alimentan al modulador Mach-Zehnder (*Mach-Zehnder Modulator, MZM*). El modulador Mach-Zehnder tiene dos acopladores, que consisten en combinar dos guías de onda de igual longitud, la señal portadora es óptica, la señal de modulación es un modulador eléctrico y su salida es una señal óptica. Las características del modulador Mach-Zehnder se muestra en la figura 3.19.

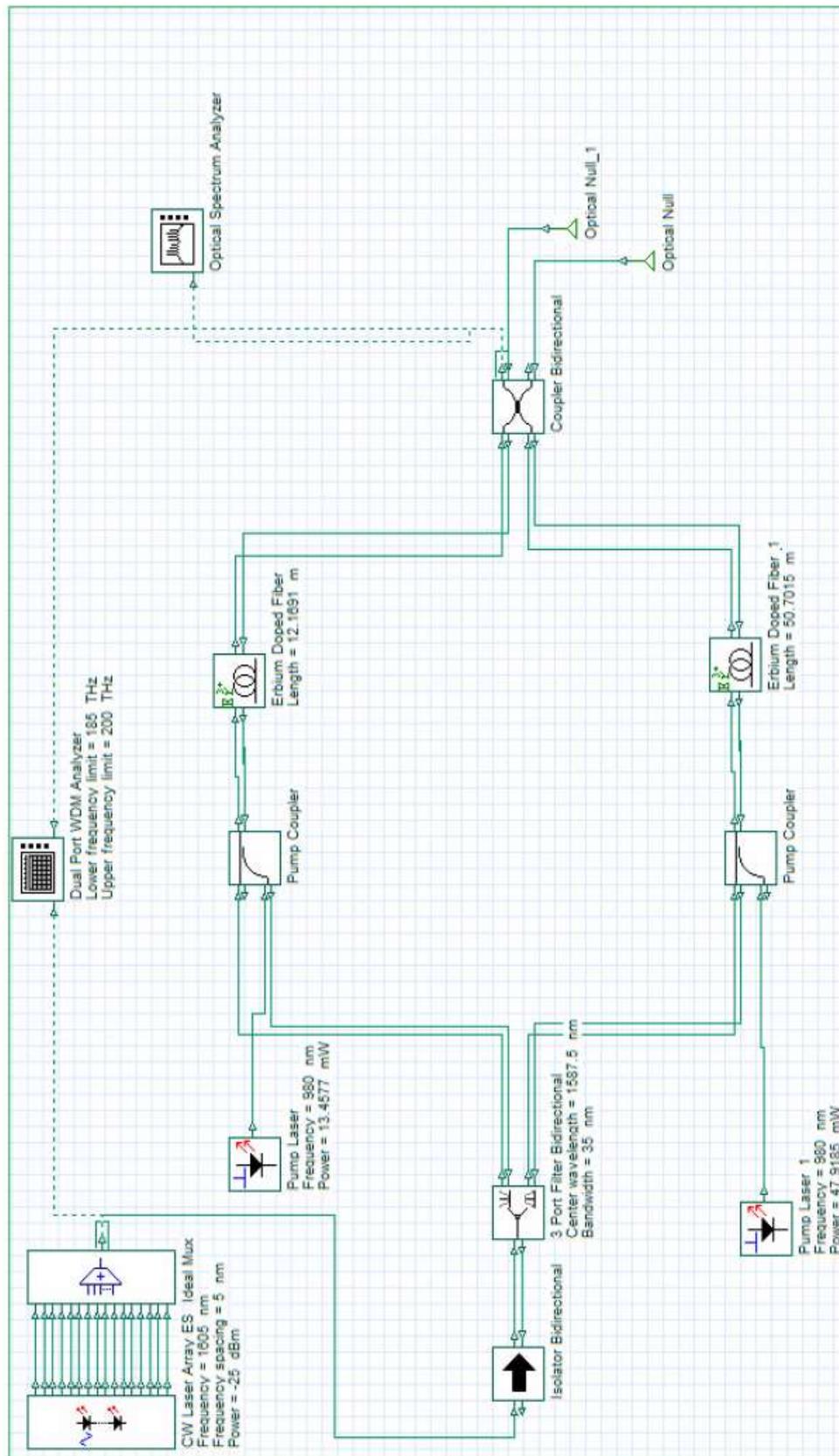


Figura 3. 18: Diseño del tercer escenario de simulación utilizando acopladores direccionales ópticos.
Elaborado por: Autor.

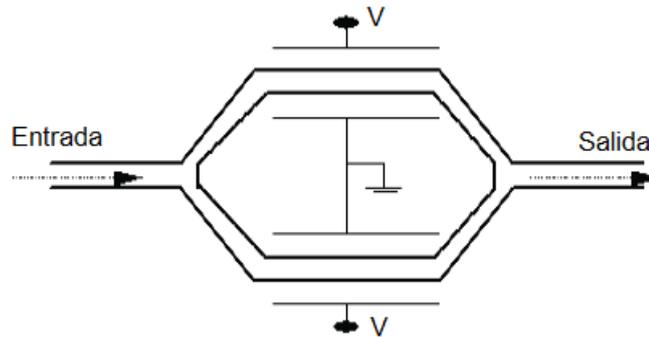


Figura 3. 19: Modulador Mach-Zehnder.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.20 muestra la variación de la potencia del MZM por longitud de onda. Las salidas de los 4 subsistemas de transmisor óptico se utilizaron con un multiplexor ideal y se aplican al amplificador de fibra dopada con erbio (*Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA*) sobre un aislador ideal. La señal obtenida en la salida del multiplexor se muestra en la figura 3.21. La otra entrada del EDFA se alimentó con un láser de bombeo y se transmitió a un receptor óptico con la ayuda del multiplexor a través de un aislador ideal. La señal obtenida en la salida EDFA se analizó con un analizador de espectro óptico y medidor de potencia óptica

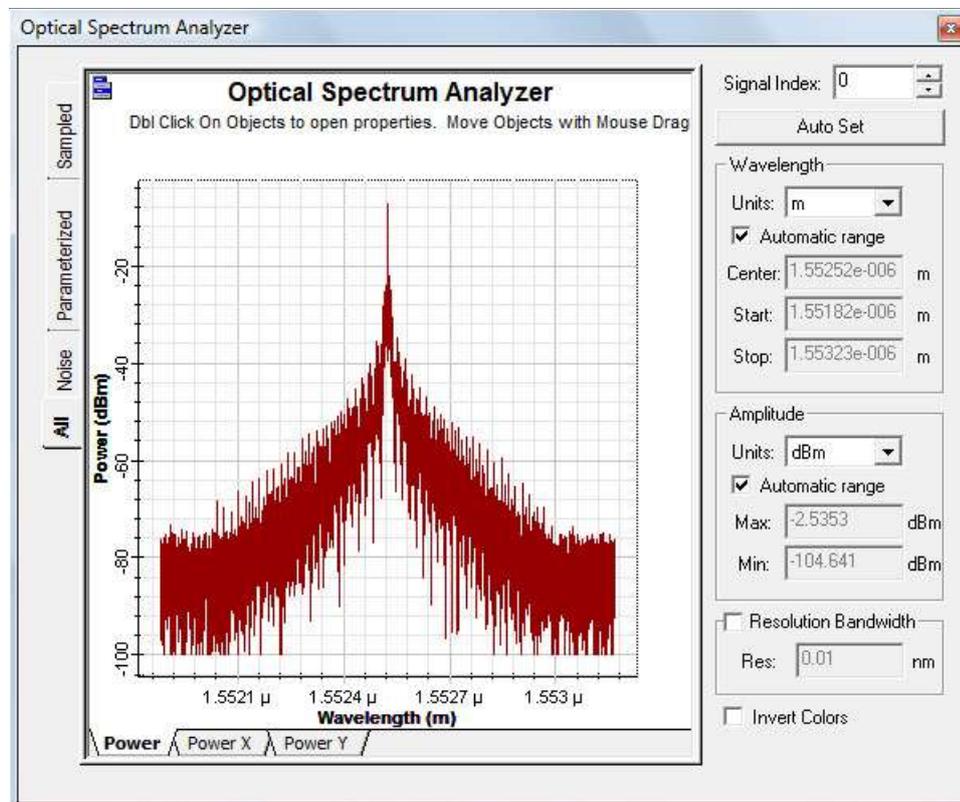


Figura 3. 20: Variación de potencia en modulador MZ según la longitud de onda.
Elaborado por: Autor.

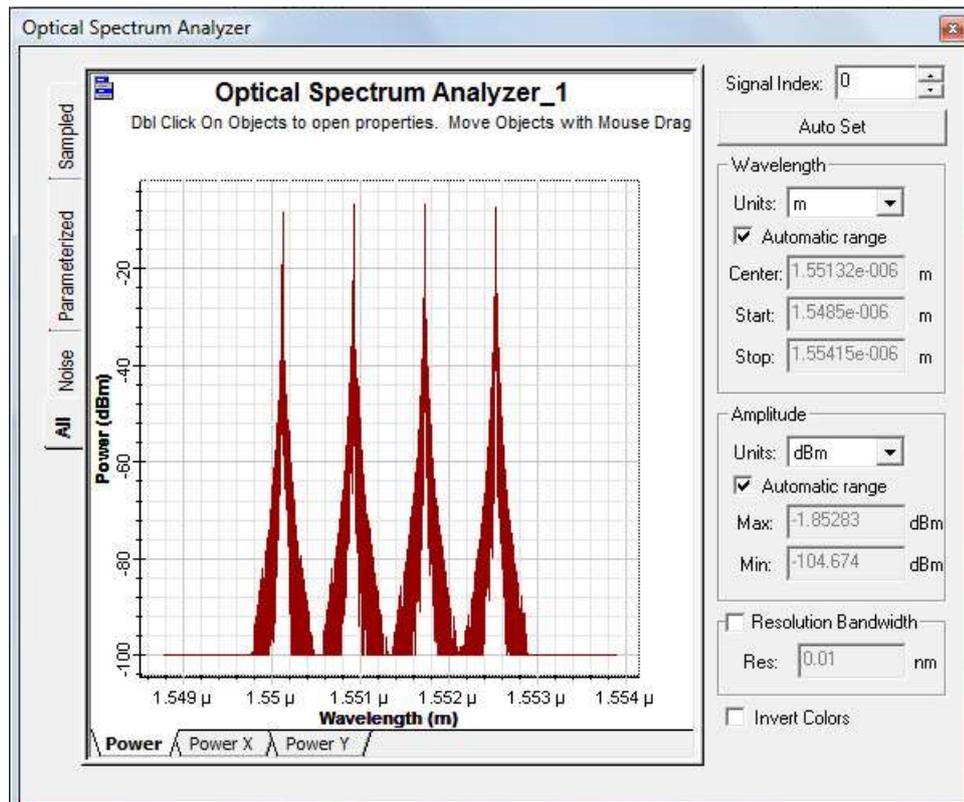


Figura 3. 21: Variación de potencia del multiplexor ideal según la longitud de onda.
Elaborado por: Autor.

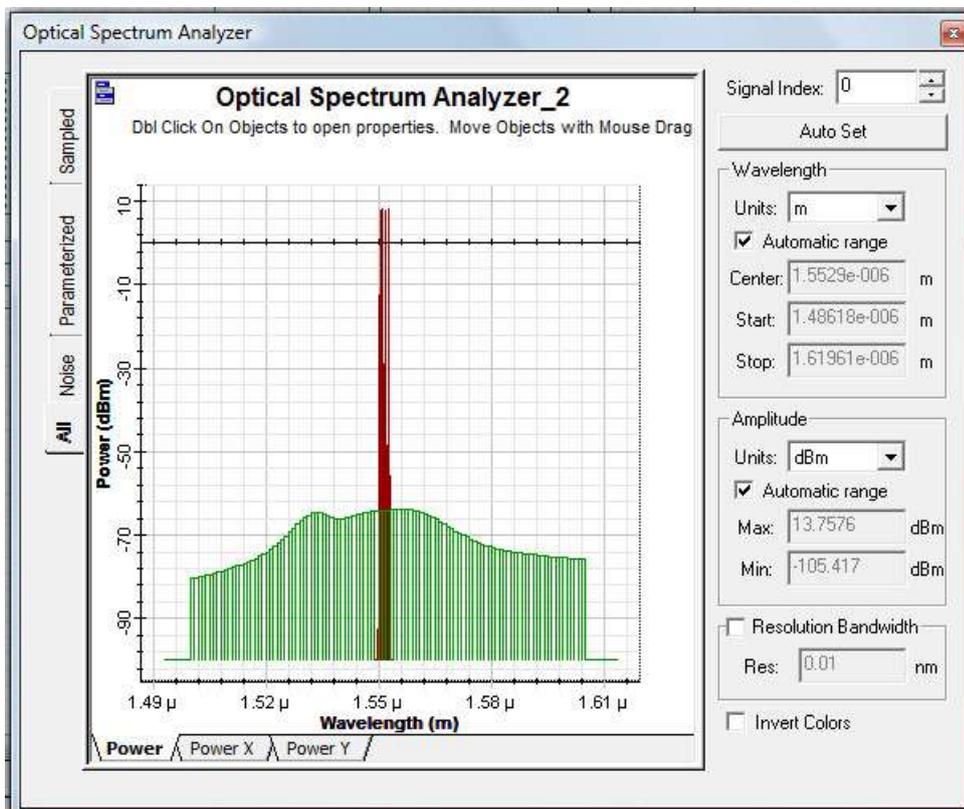


Figura 3. 22: Variación de potencia de la señal de salida EDFA de acuerdo con la longitud de onda.
Elaborado por: Autor.

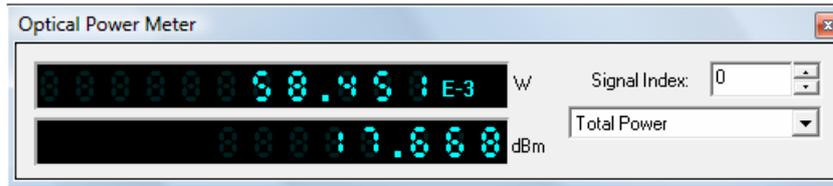


Figura 3. 23: Medición de potencia óptica en la señal de salida del EDFA.
Elaborado por: Autor.

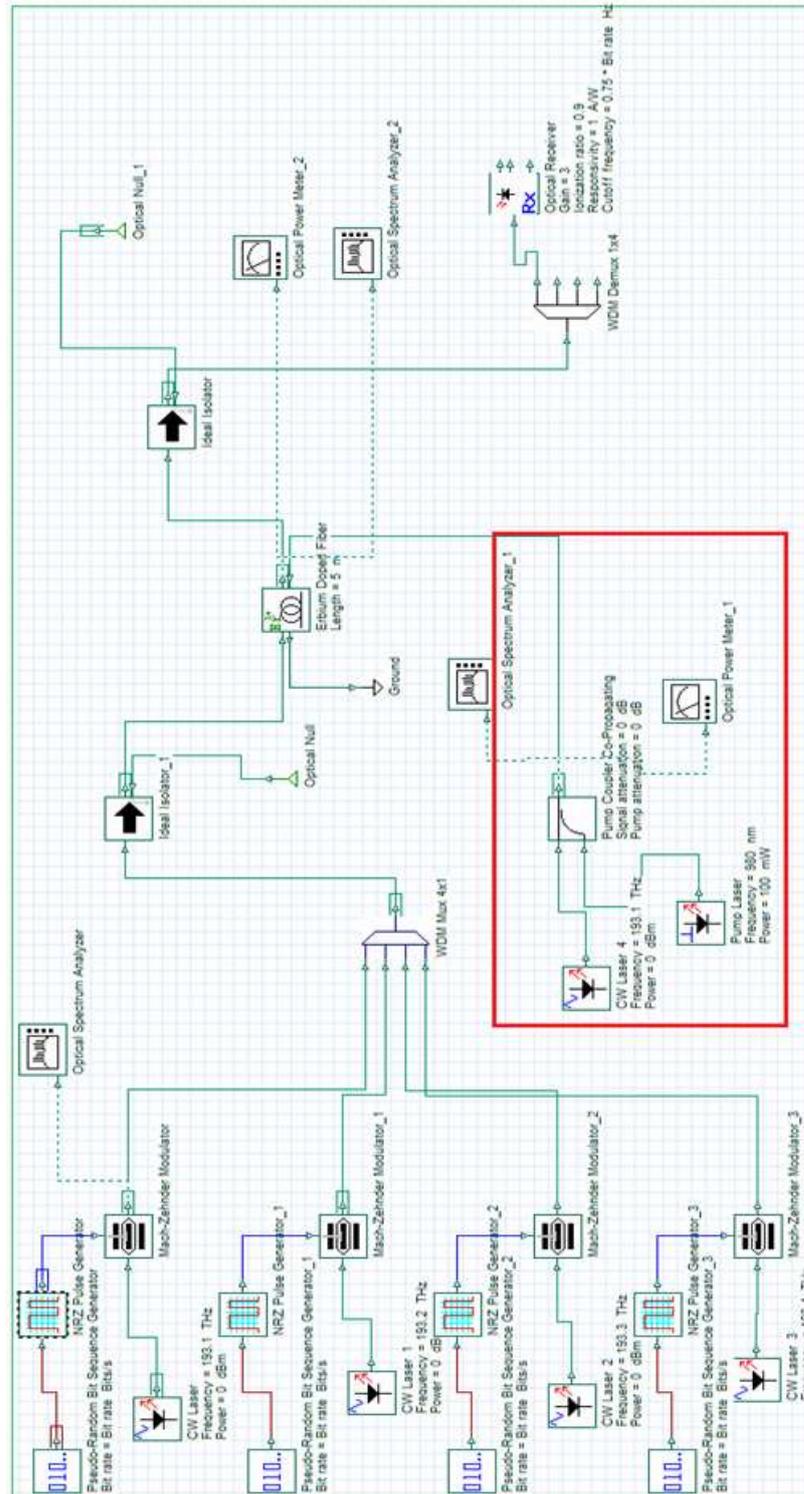


Figura 3. 24: Modificación del tercer escenario con acopladores de bombeo óptico.
Elaborado por: Autor.

En el diseño dado en la figura 3.18, EDFA se alimentó con un acoplador de bombeo óptico. En la figura 3.24, se alimentó el mismo diseño con el subsistema del acoplador de bombeo y se examinó el mecanismo de trabajo del acoplador. Como se mencionó anteriormente, el acoplador de bombeo asegura que la señal de entrada y la potencia de bombeo se combinen y atenúen, en este diseño se analizará la característica del efecto de amortiguación del acoplador de bombeo óptico.

En el sistema que se muestra en la figura 3.24, el subsistema de acoplador de bombeo óptico que alimenta el EDFA está señalado con un marcador rectangular rojo. La salida del acoplador de bombeo se transmitió a un analizador de espectro óptico, cuya señal de salida se muestra en la figura 3.25. En la figura 3.25, la señal de la izquierda pertenece a la señal de bombeo y la señal de la derecha pertenece a la señal de entrada.

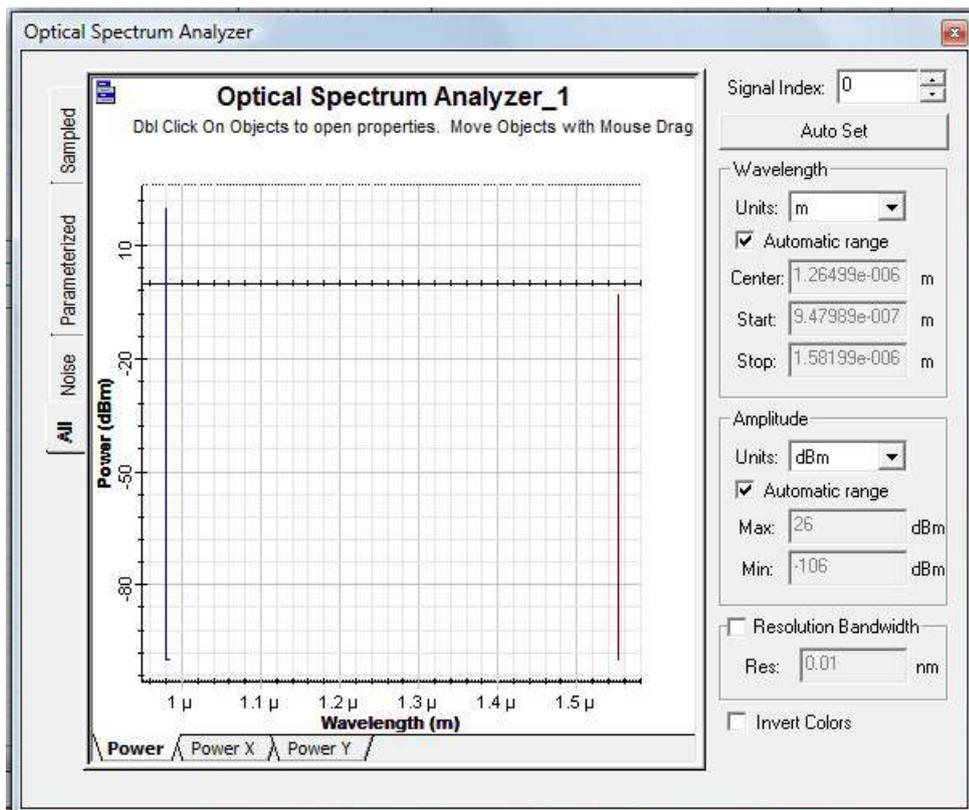


Figura 3. 25: Variación de la potencia de salida del acoplador de la bomba según la longitud de onda.

Elaborado por: Autor.

La figura 3.26 muestra la potencia de salida del EDFA. La potencia de salida dada en la figura 3.23 es la potencia obtenida solo cuando el EDFA se

alimenta con el láser de bombeo y es 58.451 mW, mientras que la potencia de salida del EDFA alimentado con el subsistema del acoplador de bombeo óptico es 38.120 mW, tal como se muestra en la figura 3.26.



Figura 3. 26: Potencia de la señal salida del EDFA.
Elaborado por: Autor.

En el indicador del lado derecho del gráfico que se muestra en la figura 3.27, la amplitud máxima es de 12.0153 dBm, mientras que la amplitud máxima de la salida del EDFA es de 13.7576 dBm solo en el sistema de bombeo alimentado por láser. Aquí, se puede ver el efecto debilitador del acoplador en la señal.

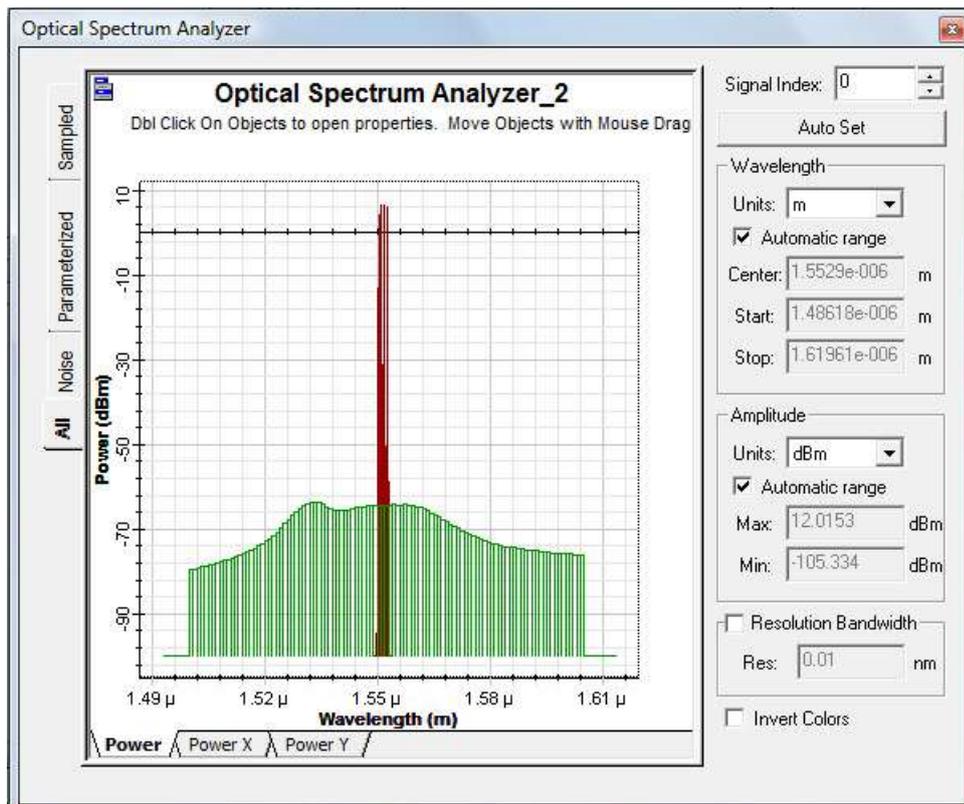
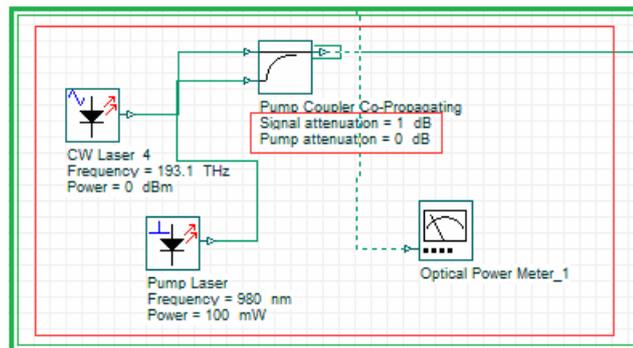


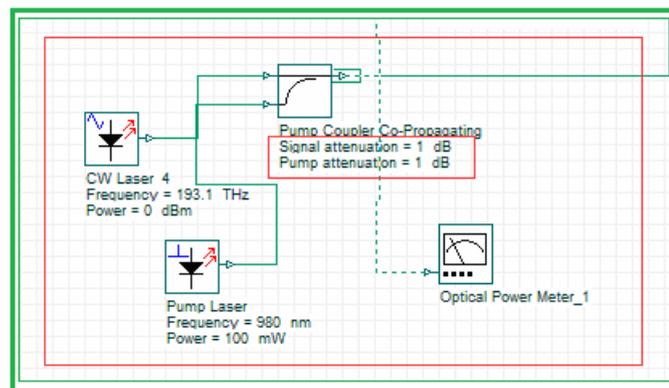
Figura 3. 27: Variación de la potencia de la señal de salida del EDFA de acuerdo con la longitud de onda.
Elaborado por: Autor.

Como se indica en la definición del acoplador de bombeo óptico, ha debilitado las potencias de bombeo y de la señal de entrada aplicada a su

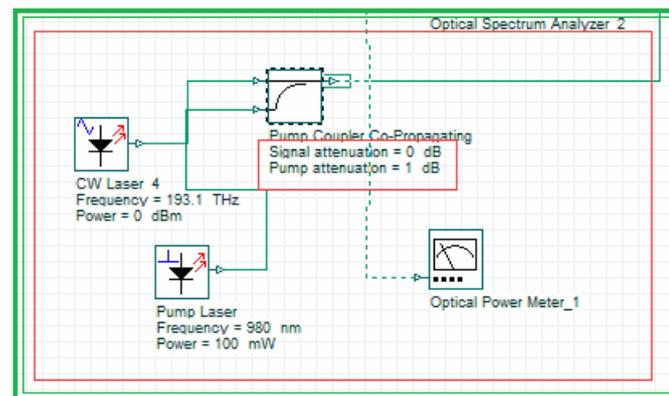
entrada. En la siguiente sección se analizarán los efectos de atenuación del acoplador de bombeo, que son independientes entre sí para la señal de entrada y la señal de bombeo.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. 28: Subsistema de acoplador de bombeo para diferentes valores de parámetros de atenuación para la señal de entrada y la señal de bombeo del acoplador óptico de bombeo.

Elaborado por: Autor.

Los efectos de atenuación del acoplador para la señal de entrada y la señal de bombeo en el subsistema del acoplador de bombeo del sistema de comunicación óptica que se mostró en la figura 3.24 han cambiado según lo

que se muestra en la figura 3.28. En el subsistema dado en la figura 3.28 (a), la atenuación para la señal de entrada óptica es de 0 dB para la señal de bombeo de 1 dB, la potencia de salida del EDFA es de 16.131 mW. En el subsistema dado en la figura 3.28 (b), la atenuación para la señal de entrada óptica es de 1 dB para la señal de bombeo de 1 dB, en este caso la potencia de salida del EDFA es 15.089 mW. En el subsistema dado en la figura 3.28 (c), la atenuación de la señal de entrada óptica es de 0 dB, la atenuación de la señal de bombeo es de 1 dB, en este caso la potencia de salida del EDFA es de 14.773 mW.

La atenuación del acoplador se utiliza en los puntos donde se desean los efectos del control. La investigación muestra que la señal de entrada y la señal de bombeo pueden debilitar la potencia del acoplador de bombeo óptico de forma independiente.

3.4. Cuarto escenario de simulación de acopladores ópticos.

En los primeros tres escenarios diseñados, se examinaron los mecanismos de trabajo del acoplador X y el acoplador de bombeo dentro de los sistemas de comunicación óptica. En esta sección, se discuten los sistemas donde se utilizan estos acopladores en ambas direcciones, es decir bidireccionales.

En el sistema que se muestra en la figura 3.29, el espectro de ganancia se divide en dos canales, 1530 – 1560 nm y 1570 – 1610 nm, utilizando un filtro de separación de banda para aumentar el ancho de banda del EDFA utilizado. La ganancia se optimiza por separado en ambos canales. El sistema se alimentó con una matriz de láser de señal continua de 16 canales y la señal se transmitió a un filtro separador de banda de tres puertas con la ayuda de un multiplexor ideal de 16 canales.

El primer canal está diseñado con una longitud de onda de 1530 – 1565 nm y el segundo canal como 1570 – 1605 nm. En cada canal, la señal se refuerza con un acoplador de bombeo bidireccional y se transporta al reforzador de fibra con un EDFA adicional (véase la figura 3.29). La señal de

ambos canales se combina con un acoplador X de dos vías conocido como bidireccional.

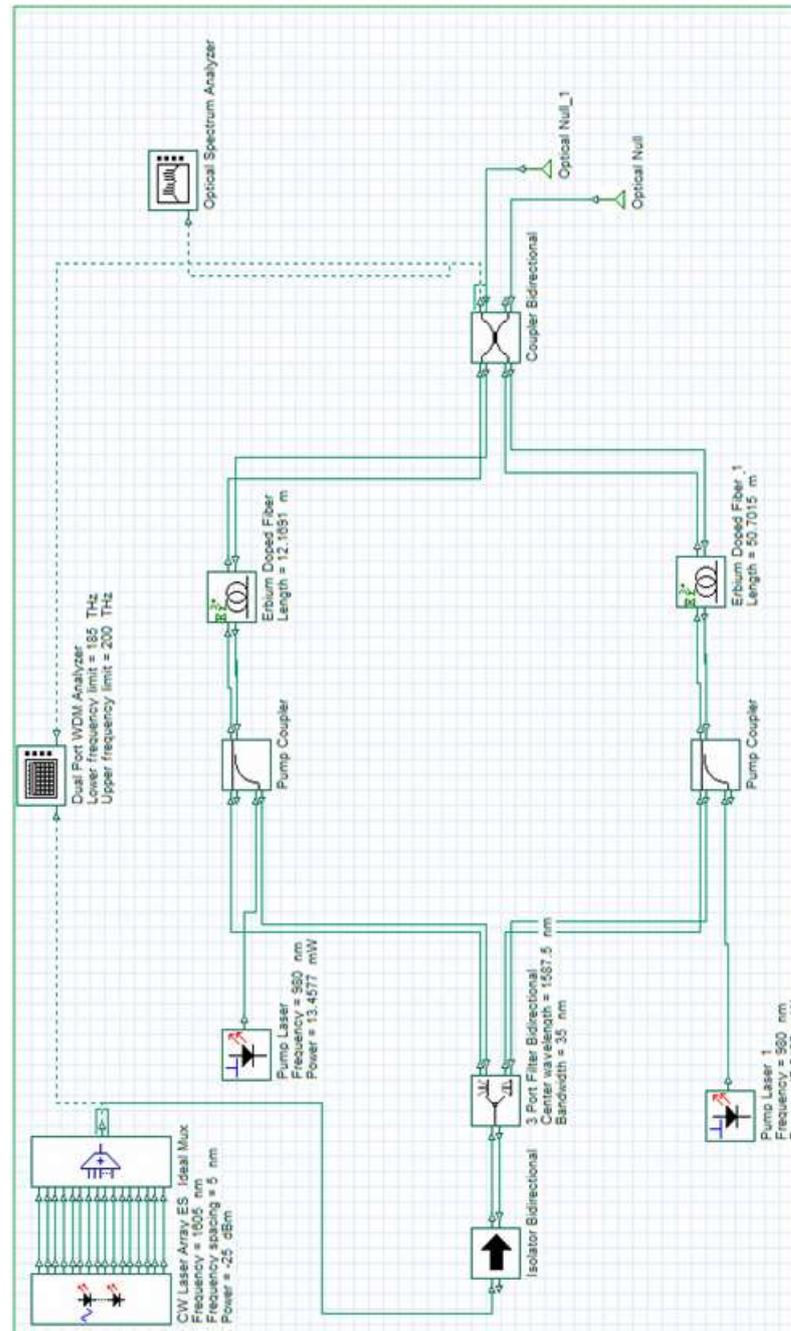


Figura 3. 29: Diseño de refuerzo de correa separado.

Elaborado por: Autor.

El cambio de la potencia de la primera puerta de salida del acoplador X bidireccional de acuerdo con la longitud de onda se muestra en la figura 3.30, la señal de la izquierda pertenece a la señal de bombeo y la señal de la derecha pertenece a la señal de entrada.

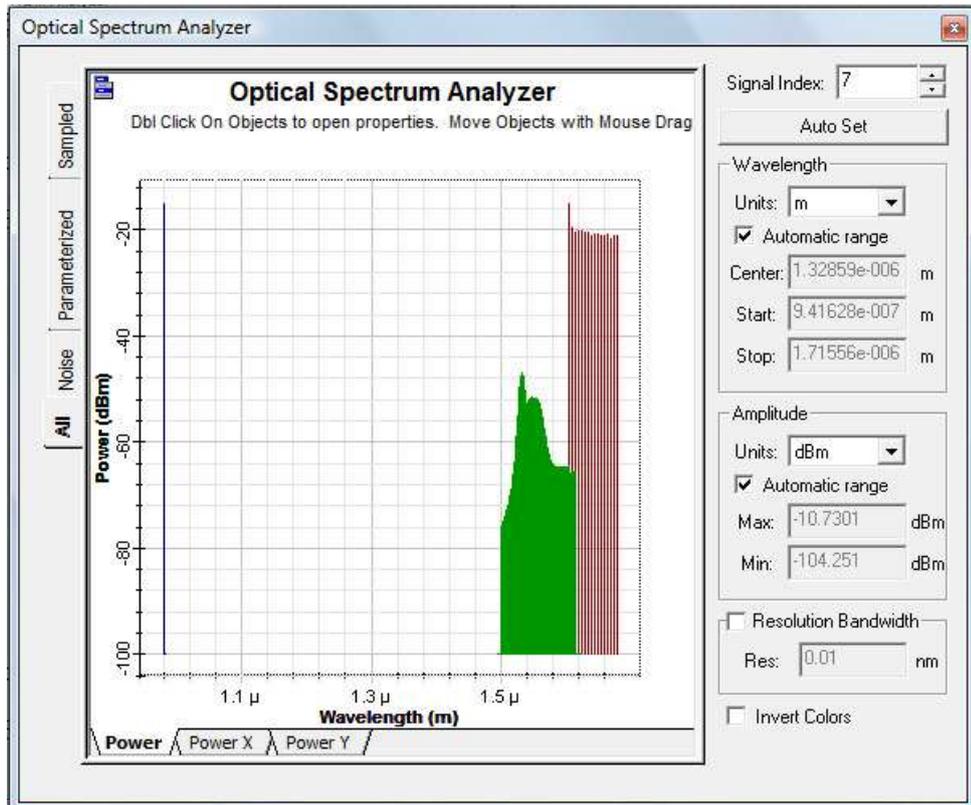


Figura 3. 30: Variación de la potencia del acoplador X bidireccional en la primera puerta de salida de acuerdo con la longitud de onda.

Elaborado por: Autor.

El sistema se examinó con un analizador WDM y la salida del analizador se muestra en la figura 3.31.

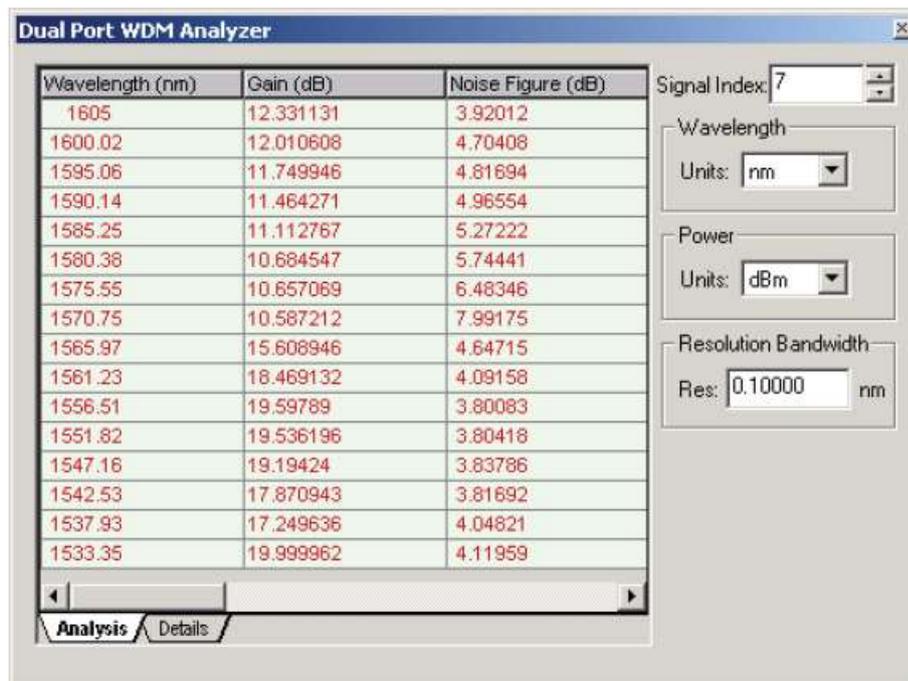


Figura 3. 31: Salida del analizador WDM.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.31, se ve que la ganancia es de 20 dB en la región de 1530 – 1 565 nm del rango operativo del primer canal, mientras que es de alrededor de 11 dB en el rango del segundo canal de 1570 – 1605 nm.

Conclusiones

En el presente componente práctico, se ha examinado la tecnología de fibra óptica, cuyo uso ha aumentado significativamente en la actualidad. Las fibras ópticas con guías de onda dieléctricas tienen modos discretos de guía espectral, modos de radiación de espectro continuo y modos con fugas que representan parte del campo de radiación.

Mediante el uso del software de simulación OptiSystem 7.0, se han diseñado mecanismos que involucran acopladores ópticos y se han analizado los mecanismos de trabajo de los acopladores. En los resultados obtenidos, se vio que el acoplador X transfiere la potencia de la señal aplicado a la entrada a las salidas en proporción directa al coeficiente de acoplamiento. Se ha observado que el acoplador de bombeo óptico combina las señales aplicado a la entrada y la potencia de bombeo debilitándolo y lo transfiere a la salida.

Recomendaciones.

Incentivar a los estudiantes en la realización de proyectos utilizando herramientas de simulación con diferentes programas, MatLab, LabVIEW, Riverbed Modeler, OMNeT++, NS-s, NS-3, Python que son los empleados para modelar sistemas de comunicaciones.

Realizar un estudio comparativo con el uso de acopladores óptico mediante aplicación de diferentes esquemas de modulaciones en redes de radio sobre fibra (RoF).

Bibliografía.

- Agrawal, G. P. (2012). *Fiber-Optic Communication Systems*. John Wiley & Sons. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201411309859>
- Agrawal, G. P. (2016). Optical Communication: Its History and Recent Progress. En M. D. Al-Amri, M. El-Gomati, & M. S. Zubairy (Eds.), *Optics in Our Time* (pp. 177–199). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31903-2_8
- Alzate C., D. F., & Cárdenas, A. (2011). Retos en la transmisión de 40/100Gb/s sobre fibra óptica. *Revista en Telecomunicaciones e Informática*, 1(2), 23–60.
- Cabezudo Sánchez-Valverde, P. M. (2018). *Caracterización de dispositivos avanzados de fibra óptica* [Trabajo Fin de Grado, Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/29346>
- Hernández-García, J. C., Estudillo-Ayala, J. M., Rojas-Laguna, R., Mata Chávez, R. I., Martínez-Ríos, A., Gutiérrez, J. G., Trejo-Durán, M., Vargas-Rodríguez, E., Andrade-Lucio, J. A., & Alvarado-Méndez, E. (2010). Instrumentación y diseño de una fuente de alto voltaje para fabricar rejillas de fibra óptica mediante la técnica de arco eléctrico. *Revista mexicana de física*, 56(3), 255–261.
- Hurdeman, A. A. (2003). *The worldwide history of telecommunications*. J. Wiley.
- Kumar, S., & Deen, M. J. (2014). *Fiber optic communications: Fundamentals and applications*. Wiley.
- Moosa, A., & Abood, M. (2017). Telecommunication of a Secure Data in Optical Fiber. *Al-Mansour Journal*, 27, 119–137.

Pathak, S. (2019). Photonics Integrated Circuits. En *Nanoelectronics*(pp. 219–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813353-8.00008-7>

Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2009). *Optical fiber communications: Principles and practice* (3rd ed). Financial Times/Prentice Hall.

Sharma, P., Arora, R., Pardeshi, S., & Singh, M. (2013). Fibre Optic Communications: An Overview. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(5), 474–479.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **JARA IZA, RONNY MAURICIO** con C.C: # 095170540-9 autor del Trabajo de Titulación: **Implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando software OptiSystem** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de Marzo del 2020

f. _____

Nombre: JARA IZA, RONNY MAURICIO

C.C: 095170540-9

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación de escenarios de simulación de acopladores ópticos direccionales y bidireccionales en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando software OptiSystem.		
AUTOR(ES)	Jara Iza, Ronny Mauricio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. PACHECO BOHÓRQUEZ, HÉCTOR IGNACIO		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	6 de marzo del 2020	No. DE PÁGINAS:	33
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de comunicación, comunicaciones ópticas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Acopladores, Direccionales, Bidireccionales, Comunicaciones, Fibra, Software		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El presente trabajo corresponde al componente práctico del examen complejo que se deriva como análisis previo de temas tratados en clases de la asignatura de comunicaciones ópticas. Se realizó la propuesta de la implementación de cuatro escenarios de simulación empleando acopladores ópticos tanto direccionales como bidireccionales en un sistema de comunicación óptica a través del software OptiSystem 7.0. En el capítulo 1 se describen brevemente la introducción, objetivo general y objetivos específicos del componente práctico. En el capítulo 2 se describe los fundamentos teóricos básicos. En el capítulo 3 se utiliza el software de simulación OptiSystem 7.0 para poder realizar los diseños de los cuatro escenarios de simulación. En esta parte se realizó un análisis profundo en el aprendizaje del software mediante manuales, páginas tutoriales, publicaciones y ayuda del tutor, que al final dio sus resultados con el correcto funcionamiento de las simulaciones creadas. Posteriormente, se visualizan los resultados obtenidos en cada escenario evaluado.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-93534196	E-mail: ronnymjarai@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			