



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico

AUTOR:

Molina Rivera, Andrea Gabriela

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

16 de Septiembre 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 trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. **Molina Rivera, Andrea Gabriela** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Molina Rivera, Andrea Gabriela**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico**” previo a la obtención del Título de **Ingeniera en Telecomunicaciones**, 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, a los 16 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

MOLINA RIVERA, ANDREA GABRIELA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Molina Rivera, Andrea Gabriela**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

MOLINA RIVERA, ANDREA GABRIELA

REPORTE DE URKUND

URKUND Bloques **Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)**

Documento	Andrea_Molina_Final.docx (D78475283)
Presentado	2020-09-01 21:29 (-05:00)
Presentado por	Andres Molina Rivera (andreita_mr16@hotmail.com)
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	REVISION TRABAJO DE TITULACION ANDREA MOLINA URKUND Mostrar el mensaje completo 1% de estas 24 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Lista de fuentes	Categoría	Enlace/nombre de archivo	
+		Zambrano_Oscar_EC_FINAL_2018B.docx	<input type="checkbox"/>
+		TESIS NB.docx	<input type="checkbox"/>
+		Agreda_Roger_Final.docx	<input checked="" type="checkbox"/>
+		DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SUPERFICIES SEL...	<input type="checkbox"/>
+		TT Final HENRY PAUCAR.docx	<input type="checkbox"/>
+		https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handl...	<input type="checkbox"/>
+		Vinicio Chango CABITULO IV.LVL.doc	<input checked="" type="checkbox"/>

Reiniciar Exportar Compartir

0 Advertencias

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

TEMA:
Evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico

AUTOR: Molina Rivera, Andrea Gabriela

Trabajo de Titulación
previo a
la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando
Guayaquil, Ecuador

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, Él es por quien hoy en día estoy aquí y quien me da la sabiduría necesaria para así poder realizar una de mis metas.

A los docentes que me encaminaron día a día para realizar un buen trabajo y me permitieron obtener un poco de sus sabios conocimientos.

Por último este trabajo de titulación se lo dedico con todo amor y cariño a mis padres, a mi esposo y a mi hijo, que son los pilares fundamentales de mi vida, los que me impulsan a seguir adelante y no quedarme en el camino y por quienes me he esforzado para realizar lo que me propongo, en este caso mi trabajo de titulación.

EL AUTOR

MOLINA RIVERA, ANDREA GABRIELA

AGRADECIMIENTO

Agradecida profundamente con Dios, por darme vida y salud, por haberme guiado a lo largo de mi vida, en especial en este largo proceso, por ser mi luz y fortaleza.

No tengo palabras para describir el apoyo incondicional que me han dado en mi hogar, tanto mis padres por los valores que me han inculcado y por darme la oportunidad de tener una excelente educación, como mi esposo que estuvo siempre ahí dándome apoyo y fuerzas para seguir adelante.

Por último le agradezco a mi tutor por el apoyo, su dedicación de tiempo y por haber compartido conmigo sus conocimientos.

EL AUTOR

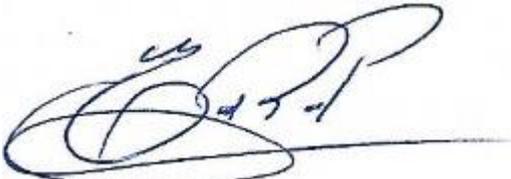
MOLINA RIVERA, ANDREA GABRIELA



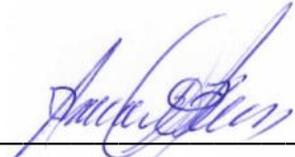
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. 

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

f. 

M. Sc. ZAMORA CEDEÑO, NÉSTOR ARMANDO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XIV
Resumen	XV
Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	3
1.3. Definición del Problema.....	4
1.4. Justificación del Problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	5
Capítulo 2: Fundamentación Teórica	6
2.1. Visión general de las redes ópticas.....	6
2.1.1. ¿Por qué utilizar redes ópticas?	7
2.1.2. Estructura del cable de fibra óptica.....	8
2.1.3. Principio y mecanismo de la fibra óptica.....	9
2.2. Tipos de fibras ópticas.	10
2.2.1. Fibra monomodo (SMF).....	10
2.2.2. Fibra multimodo (MMF) de índice gradual.	11
2.2.3. Fibra multimodo (MMF) de índice escalonado.....	12
2.3. Ventajas y desventajas de las redes ópticas.....	13
2.4. Sistema de transmisión de fibra óptica.....	16
2.5. Evolución de los sistemas de comunicación por fibra óptica.....	17
2.5.1. Redes ópticas de primera generación.	17

2.5.2. Redes ópticas de segunda generación.....	19
2.6. Sistema de multiplexación por división de longitud de onda (WDM)..	20
2.7. Componentes del sistema WDM	20
2.6.1. Acopladores ópticos	20
2.6.2. Amplificadores ópticos.....	23
2.6.3. Multiplexores.....	24
2.8. Beneficios del sistema WDM.....	25
2.9. Clasificación de multiplexación por división de longitud de onda (WDM).....	26
Capítulo 3: Diseño, configuración y resultados de simulación.	28
3.1. Reseña del capítulo.....	28
3.2. Resultados obtenidos y su respectivo análisis.	34
Conclusiones.	48
Recomendaciones.	49
Bibliografía.....	50

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Estructura del cable de fibra óptica.....	9
Figura 2. 2: Principio de funcionamiento de reflexión total interna en la fibra óptica.	9
Figura 2. 3: Principio de propagación de la luz en una fibra monomodo.	10
Figura 2. 4: Principio de funcionamiento de propagación de la luz en fibras multimodo de índice gradual.....	11
Figura 2. 5: Principio de funcionamiento de propagación de la luz en fibras multimodo de índice escalonado.....	12
Figura 2. 6: Esquemático de un comparador utilizado en señales PWM.	16
Figura 2. 7: Arquitectura SONET de primera generación.	18
Figura 2. 8: Representación del funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo (TDM).	19
Figura 2. 9: Arquitectura SONET/WDM de segunda generación.....	19
Figura 2. 10: Esquemático de un acoplador direccional pasivo 2x2.	21
Figura 2. 11: Esquemático de un acoplador óptico de estado en cruz.....	21
Figura 2. 12: Esquemático de un acoplador óptico de estado en barra.	22
Figura 2. 13: Funcionamiento de un amplificador óptico.....	23
Figura 2. 14: Funcionamiento de la multiplexación y demultiplexación óptica.	24
Figura 2. 15: Arquitectura básica del sistema WDM.	26

Capítulo 3

Figura 3. 1: Vista interna del modelo de simulación del transmisor DPSK. .	28
Figura 3. 2: Vista interna del modelo de simulación del receptor DPSK.	28
Figura 3. 3: Modelos básicos de simulación para esquemas de compensación de dispersión (a) pre, (b) post y (c) simétrico.....	30
Figura 3. 4: Modelo de simulación para el sistema DPSK – DWDM para esquemas de pre-dispersión.....	31

Figura 3. 5: Modelo de simulación para el sistema DPSK – DWDM para esquemas de post-dispersión.	32
Figura 3. 6: Modelo de simulación para el sistema DPSK – DWDM para esquemas de dispersión simétrica.....	33
Figura 3. 7: Factor Q de compensación de la dispersión posterior para el 1er canal a 200 km.....	35
Figura 3. 8: BER de compensación de dispersión posterior para el 1er canal a 200 km.	36
Figura 3. 9: Factor Q de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 200 km.....	36
Figura 3. 10: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 200 km.	37
Figura 3. 11: Factor Q de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 200 km.....	37
Figura 3. 12: BER de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 200 km.	38
Figura 3. 13: Factor Q de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 8500 km.	39
Figura 3. 14: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 8500 km.	39
Figura 3. 15: Factor Q de compensación de la dispersión posterior para el 1er canal a 8500 km.....	40
Figura 3. 16: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 8500 km.	40
Figura 3. 17: Factor Q de compensación de la dispersión simétrica para el 1er canal a 8500 km.....	41
Figura 3. 18: BER de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 8500 km.	41
Figura 3. 19: Factor Q de compensación de la dispersión simétrica para el 1er canal a 9000 km.....	42
Figura 3. 20: BER de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 9000 km.	43

Figura 3. 21: Factor Q de compensación de la dispersión posterior para el 1er canal a 9000 km.....	43
Figura 3. 22: BER de compensación de dispersión posterior para el 1er canal a 9000 km.	44
Figura 3. 23: Factor Q de compensación de la dispersión previa para el 1er canal a 9000 km.....	44
Figura 3. 24: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 9000 km.	45
Figura 3. 25: Representación gráfica comparativa de la distancia y factor Q para los esquemas de compensación de dispersión previa, posterior y simétrica del sistema DPSK – DWMD.	46
Figura 3. 26: Representación gráfica comparativa de la distancia y la BER para los esquemas de compensación de dispersión previa, posterior y simétrica del sistema DPSK – DWMD.	47

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Especificaciones dimensionales de los diferentes tipos de robot sumo.	8
Tabla 2. 2: Cuadro comparativo entre las fibras monomodo y multimodo. ..	13
Tabla 2. 3: Cuadro comparativo entre las fibras monomodo y multimodo. ..	27

Resumen

En la mayoría de los sistemas de comunicación de fibra óptica, ya sea PON, BPON, GPON o XGPON, cada canal de transmisión de datos requiere una fuente de luz (por ejemplo, láser) como portadora, lo que puede encarecer estos sistemas de transmisión. Por ejemplo, para proporcionar la operación de un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) de 4 canales, se necesitan cuatro láseres separados en longitudes de onda de operación específicas. El presente documento muestra el desarrollo del trabajo de titulación y que trata de la evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico. El sistema propuesto es diseñado y simulado en la plataforma OptiSystem, este software fue escogido para la implementación del sistema ya que es el más apropiado y dispone de una librería completa para el modelamiento de redes de acceso óptico.

Palabras claves: COMUNICACIONES, MULTIPLEXACIÓN, TRANSMISIÓN, MODULACIÓN, DESPLAZAMIENTO, DIFERENCIAL

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción.

La expansión y los avances en el campo de la comunicación ha resultado en la necesidad de un diseño eficiente de los sistemas de comunicación. La enorme cantidad de transferencias de datos lleva a la necesidad de un gran ancho de banda con alta eficiencia sin comprometer el costo. La comunicación por fibra óptica ha cambiado el mundo con su capacidad para satisfacer las crecientes demandas de conexión rápida a Internet, multimedia basada en video, comunicación entre pares, transferencia de archivos, juegos HD, etc. La tecnología de fibra ha jugado un papel vital en el campo médico. (Sugumaran et al., 2019)

Las redes construidas antes de la aparición de la tecnología de fibra óptica son la primera generación de redes: redes colocadas sobre cables de cobre o radio. Las redes de segunda generación aplican fibras en arquitecturas tradicionales. La elección de fibra se debe a su gran ancho de banda, baja tasa de error, confiabilidad, disponibilidad y sustentabilidad. (Sharma & Sachdeva, 2016)

Aunque se pueden lograr algunas mejoras en el rendimiento empleando fibras, el rendimiento de esta generación se ve afectado por la velocidad máxima de la electrónica (unos pocos gigabits por segundo) suministrada en conmutadores y nodos finales. Esta situación se denomina cuello de botella electrónico. Para lograr los crecientes requisitos de ancho de banda de las aplicaciones emergentes, se contratan enfoques totalmente nuevos para explotar el gran ancho de banda disponible en las fibras. Por lo tanto, las redes de tercera generación se fabrican totalmente ópticas para evitar el cuello de botella de la electrónica.

La tecnología de multiplexación por división de longitud de onda densa es conocida como la mejor tecnología para transmitir señales ópticas de diferente frecuencia (longitud de onda) en una sola fibra óptica para comunicaciones de larga distancia. Con el aumento en la tasa de tráfico, el

requisito de personas depende de la calidad es mayor para la comunicación, por lo que se necesita una enorme cantidad de ancho de banda para proporcionar servicios a los consumidores. (Uthayasuriyan & Rani, 2015)

Investigaciones recientes se centraron en implementar la técnica de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) debido a su capacidad para aumentar la capacidad del sistema cuando sea necesario. Los desarrolladores de redes adoptaron la idea del híbrido DWDM/CWDM debido a su costo reducido, ya que utilizaban la infraestructura de la multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM) ya existente y la ventaja de seguir invirtiendo a medida que crece la red. DWDM tiene especificaciones diferentes a las de CWDM, especialmente en el espaciado de su canal de frecuencia, ya que se puede implementar en uno de dos enfoques, uno es una red fija y el otro es una red flexible. (Kumar et al., 2019)

1.2. Antecedentes.

Las simulaciones por computadora son herramientas sólidas que respaldan el mejor conocimiento de cómo funciona un sistema de red óptica. En el entorno de simulación de red, el diseñador tiene la flexibilidad de implementar diferentes tipos de arquitectura de sistema para analizar diferentes capas, como la física, de transporte y la capa superior, mejorando y validando el sistema para diferentes topologías, arquitecturas de nodos, protocolos de enrutamiento, tráfico y mucho más. También permite trabajar en diferentes dominios, tales como acceso, metro y redes core. Los simuladores de red en varias circunstancias ahorran mucho dinero y tiempo, y logran eficientemente la planificación del sistema de redes ópticas.

Actualmente existen muchos simuladores de red que tienen diferentes características para diferentes aspectos. En este trabajo, no pretendemos evaluar el desempeño de los simuladores de red, comparando algunos de los simuladores para obtener el mejor. Solo se quiere presentar la existencia de estas herramientas y mostrar que se pueden utilizar para apoyar el desarrollo de un proyecto de red de comunicaciones ópticas. El simulador apropiado para este proyecto es OptiSystem.

1.3. Definición del Problema.

Se están encontrando varias técnicas para aumentar la velocidad y la longitud del enlace de fibra óptica. El problema principal que surge al lograr enlaces ópticos de alta velocidad y larga distancia son varios tipos de ruido como la dispersión cromática, dispersión por modo de polarización (PMD) y el efecto no lineal. Fuera de estos ruidos, la dispersión cromática afecta significativamente la calidad del sistema. Por esto se plantea la evaluación del esquema de modulación DPSK en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) para redes de acceso óptico a través del software de simulación OptiSystem.

1.4. Justificación del Problema.

Mediante la implementación del esquema de modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) en el sistema DWDM para redes de acceso óptico se pretende demostrar que modificando la compensación de dispersión, previa, posterior y simétrica el factor de calidad (Q) y la tasa de error de bits dan los mejores resultados para enlaces ópticos a diferentes distancias.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico utilizando el software OptiSystem.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir la fundamentación teórica de las comunicaciones por fibra óptica y de elementos de la red.
- Diseñar los modelos de simulación de la red óptica con esquema de modulación DSPK en sistemas DWDM utilizando el software OptiSystem.
- Evaluar los resultados obtenidos para los escenarios de simulaciones implementados en OptiSystem.

1.6. Hipótesis.

El presente trabajo permitirá aumentar más la distancia al disminuir la dispersión y el efecto no lineal, ya que se puede aumentar el número de canales para proporcionar datos a varios usuarios. En general, si se sabe que la fibra óptica es el futuro para todo el mundo ya que es el mejor formato de comunicación comparada con las comunicaciones inalámbricas y por cable.

1.7. Metodología de Investigación.

La metodología de investigación que se tomará para completar la disertación o proyecto se describe a continuación: El primer paso será la simulación y el diseño del enlace de fibra óptica de alta velocidad de largo alcance utilizando diferentes esquemas de modulación. Esto se hará mediante el software OptiSystem de Optiwave. En primer lugar, se realizará el estudio sobre software. El software OptiSystem es fácil de usar, flexible, potente y rápido que otros. OptiSystem permite a los usuarios planificar, probar y simular lo siguiente:

1. Diseño de red WDM/TDM o CATV.
2. Estimación de BER y penalizaciones del sistema con diferentes modelos de receptor.
3. Diseño de transmisor, canal, amplificador y receptor.
4. Diseño de mapas de dispersión.
5. Diseño de anillo SONET / SDH.
6. Cálculos de balance de enlaces y BER del sistema amplificado.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Visión general de las redes ópticas.

Una red de alta velocidad se ha vuelto esencial en todos los aspectos de la vida. La demanda de ancho de banda de red se ha multiplicado por muchos durante los últimos años. Se ha convertido en un gran desafío para los ingenieros de redes proporcionar Internet más rápido a un precio asequible. El sistema de comunicación por fibra óptica ha creado una solución para afrontar este desafío.

Este sistema ha sido reconocido como la mejor solución para asegurar los requisitos de ancho de banda de los usuarios y las aplicaciones para soportar diferentes servicios de red. Es posible debido a la gran capacidad de las fibras ópticas. Una fibra óptica normalmente puede soportar una demanda de ancho de banda de hasta 50 THz. También proporciona tasas de error de bits extremadamente bajas. Las redes de alto rendimiento son esenciales para la infraestructura de información global, el crecimiento económico y la conectividad de las comunidades.

La atracción de la transmisión a través de una fibra óptica se debe principalmente a una mayor capacidad en comparación con las contrapartes de cobre y a la inmunidad a las interferencias electromagnéticas y otras influencias externas. En el escenario actual, los sistemas de comunicación por fibra óptica se consideran una tecnología dominante tanto para las redes de larga distancia como de corta distancia. (Quinchagual R. & Rodríguez F., 2013)

Se utiliza como canal un sistema de comunicación que utiliza una línea de cobre. El ancho de banda es limitado debido a la velocidad de los equipos electrónicos. El crecimiento explosivo de las aplicaciones de Internet y las aplicaciones en tiempo real ha afectado inevitablemente la necesidad de proporcionar no solo una demanda acelerada y sin precedentes de requisitos de ancho de banda y velocidad, sino que también requiere una infraestructura

de red más rápida y diferentes tecnologías. Las redes ópticas son redes de comunicación de alta capacidad que utilizan tecnologías ópticas para la transmisión de datos. Dado que la luz tiene frecuencias más altas y longitudes de onda más cortas, se puede transmitir un mayor número de bits de información en las redes ópticas. Las redes ópticas funcionan a una velocidad de terabits por segundo. Por lo tanto, el sistema de comunicación de fibra óptica puede proporcionar una mayor velocidad y capacidad.

2.1.1. ¿Por qué utilizar redes ópticas?

Las redes ópticas son preferibles a otras redes debido a muchas razones. Algunas de estas razones son las siguientes:

- Alto ancho de banda: la fibra óptica puede proporcionar un ancho de banda mucho mayor en comparación con el medio de cobre. La Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA) ha clasificado el cable de categoría 6A para manejar un ancho de banda de hasta 600 MHz en 100 metros. Puede transportar alrededor de 18000 llamadas simultáneamente. La fibra óptica puede proporcionar un ancho de banda de más de 1000 MHz que puede transportar casi 31000 llamadas simultáneas.
- Interferencia electromagnética (EMI): las señales durante la comunicación se ven afectadas por campos eléctricos y magnéticos, esto se denomina Interferencia Electromagnética (*Electro-Magnetic Interference, EMI*). La fibra óptica es inmune a EMI ya que es de naturaleza dieléctrica, ya que no puede conducir señales eléctricas o magnéticas a diferencia del cableado de cobre, si no se instala correctamente, es vulnerable a las EMI's.
- Peso ligero: un cable de fibra óptica pesa menos en comparación con el cable de cobre. Por lo que se puede transportar fácilmente de un lugar a otro.
- No inflamable: un cable de fibra óptica es de naturaleza dieléctrica, por lo que no genera corriente eléctrica. Pero el cable de cobre lleva una corriente eléctrica y puede provocar un incendio si está viejo o gastado.

- Pérdida de señal baja: habrá una pérdida en la intensidad de la señal a medida que aumenta la longitud del cable. Esta pérdida se llama atenuación y se mide en decibelios (dB). Esta pérdida es menor en el cable de fibra óptica en comparación con el cable de cobre.
- Seguridad: La transmisión de datos en cable de fibra óptica es en formato digital. Es difícil de intervenir a una fibra óptica, ya que este modo de transmisión es seguro. Mientras, que el cable de cobre se puede intervenir fácilmente y se puede escuchar cualquier conversación telefónica, mientras que esto no es posible en las redes ópticas.

En la tabla 2.1 se muestran resumidas todas estas características.

Tabla 2. 1: Especificaciones dimensionales de los diferentes tipos de robot sumo.

Características	Cable de Cobre	Fibra Óptica
Ancho de Banda (BW)	Bajo	Alto
Peso	Pesado	Liviano
Seguridad	Baja	Excelente
Atenuación/km @ 1 GHz	>45 dB	1 dB

Elaborado por: Autor.

2.1.2. Estructura del cable de fibra óptica

Un cable de fibra óptica se puede dividir en tres partes diferentes. Estas partes son el núcleo, el revestimiento y el recubrimiento. La figura 2.2 muestra la estructura interna de una fibra óptica. La parte media del cable se llama núcleo y este núcleo está hecho de material de sílice. Es la sección de transmisión de luz de la fibra. Después del núcleo, la siguiente capa es el revestimiento. El revestimiento actúa como una guía de ondas para que las ondas de luz viajen en el cable y está hecho de sílice pura. El revestimiento tiene un papel muy importante en la propagación de ondas. Las ondas saldrán disparadas del núcleo si este componente no está presente. Este revestimiento eventualmente se reflejará nuevamente en el núcleo. Después

de eso hay una capa intermedia. Esta capa amortiguadora generalmente protege el núcleo y el revestimiento contra la luz ultravioleta. Además, proporciona rigidez al cable. En cuanto al búfer, está en el medio de estas tres capas. Está hecho de polímero acrílico.

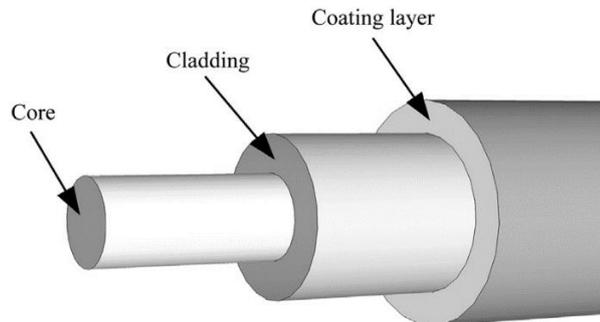


Figura 2. 1: Estructura del cable de fibra óptica.
Fuente: (Ye et al., 2018)

2.1.3. Principio y mecanismo de la fibra óptica.

Las ondas de luz son guiadas con mínima atenuación en fibra óptica. La fibra óptica puede transmitir luz a muy alta velocidad. Esta velocidad es aproximadamente dos tercios de la velocidad de la luz en el vacío. La fibra óptica está compuesta por finos hilos de vidrio en capas. Se compone de dos partes, es decir, núcleo y revestimiento.

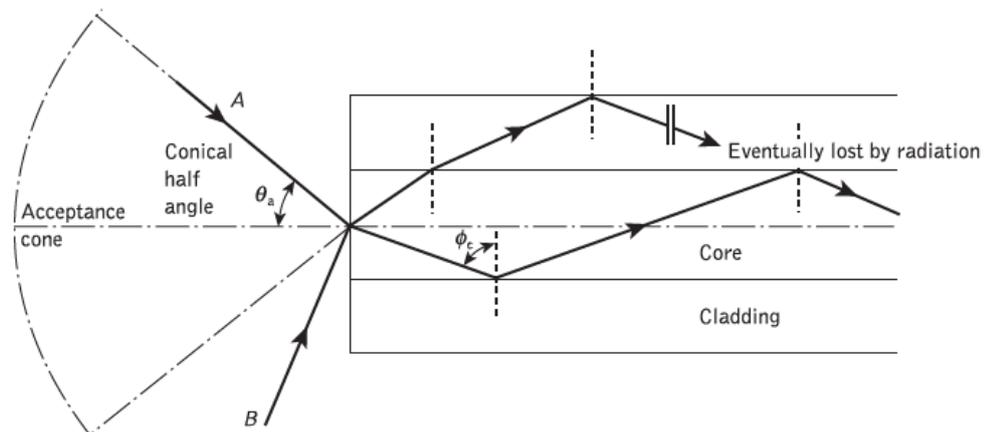


Figura 2. 2: Principio de funcionamiento de reflexión total interna en la fibra óptica.
Fuente: (Senior & Jamro, 2009)

El concepto de transmisión de luz en fibra óptica se basa en el principio de reflexión interna total. La luz se refleja o refracta según el ángulo de incidencia. El ángulo en el que la luz incide en la interfaz entre un material ópticamente más denso y uno ópticamente más delgado. El núcleo tiene un índice de refracción más alto en comparación con el revestimiento. Permite

que se refleje el rayo que incide en esa superficie en un ángulo inferior al crítico, tal como se muestra en la figura 2.2.

2.2. Tipos de fibras ópticas.

Las fibras ópticas se pueden dividir en tres categorías, monomodo (*Single Mode Fiber, SMF*), multimodo (*Multi Mode Fiber, MMF*) de índice gradual y escalonado. Estas categorías se explican a continuación:

2.2.1. Fibra monomodo (SMF).

Cualquier fibra óptica con un diámetro de núcleo pequeño que sea menos de aproximadamente diez veces la longitud de onda de la luz que se propaga no puede modelarse utilizando óptica geométrica. Por lo tanto, se requiere que se analice como una estructura electromagnética y la solución la proporcionan las ecuaciones de Maxwell reducidas a la ecuación de ondas electromagnéticas. El análisis electromagnético también es necesario para comprender ciertos comportamientos, como “speckle”, que se producen cuando la luz coherente se propaga en una fibra multimodo.

Como guía de ondas óptica, cualquier fibra puede soportar uno o más modos transversales confinados en los que la luz puede propagarse a lo largo de la fibra. Una fibra que admite solo un modo de propagación se denomina fibra monomodo (SMF), y el comportamiento de propagación se muestra en la figura 2.3.



Figura 2. 3: Principio de propagación de la luz en una fibra monomodo.
Fuente: (ICC, 2018)

La ecuación de onda puede modelar el comportamiento de la fibra multimodo de núcleo más grande. Muestra que dicha fibra puede soportar más de un modo de propagación. Los resultados de tal modelado de fibra

multimodo concuerdan aproximadamente con las predicciones de la óptica geométrica, si el núcleo de la fibra es lo suficientemente grande para soportar más de unos pocos modos.

Se ha observado y analizado que toda la energía lumínica de la fibra no está completamente confinada en el núcleo. Una cantidad significativa de energía luminosa en el modo ligado viaja en el revestimiento como una onda evanescente. Este concepto es ampliamente aplicable en fibras monomodo. Una fibra monomodo típica (véase la figura 2.3) tiene un diámetro de núcleo de 8 a 10 μm (micrómetros) y está diseñada para utilizarse en el entorno del infrarrojo cercano. La estructura de modo de la fibra depende de la longitud de onda de la luz utilizada.

2.2.2. Fibra multimodo (MMF) de índice gradual.

Es el segundo tipo de fibra óptica, donde el índice de refracción en el núcleo sigue disminuyendo continuamente entre el eje y el revestimiento para fibra de índice graduada. La reducción en el índice de refracción provoca la curvatura suave de los rayos de luz a medida que se acercan al revestimiento, en lugar de reflejarse abruptamente desde el límite del revestimiento del núcleo, tal como se muestra en la figura 2.4.

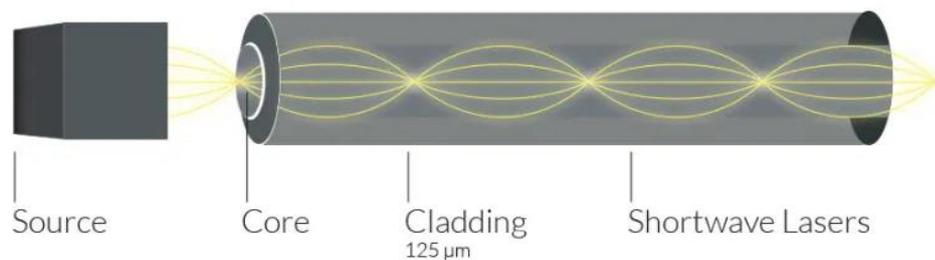


Figura 2. 4: Principio de funcionamiento de propagación de la luz en fibras multimodo de índice gradual.

Fuente: (ICC, 2018)

Los rayos de ángulo alto pasan más a través de la periferia del núcleo de índice más bajo, en lugar del centro de índice alto. Las trayectorias curvas han reducido la dispersión de trayectorias múltiples. El perfil de índice se elige para minimizar la diferencia en las velocidades de propagación axial de los diversos rayos en la fibra. Este perfil de índice ideal está muy cerca de una relación parabólica entre el índice y la distancia desde el eje.

2.2.3. Fibra multimodo (MMF) de índice escalonado.

La fibra óptica con un diámetro de núcleo grande (superior a 10 micrómetros) puede analizarse mediante óptica geométrica. Dicha fibra se denomina fibra multimodo del análisis electromagnético. En la fibra multimodo de índice escalonado, los rayos no conducen luz a lo largo del núcleo de la fibra por reflexión interna total. Los rayos que se encuentran con el límite del revestimiento del núcleo en un ángulo alto (medido en relación con una línea normal al límite) mayor que el ángulo crítico para este límite, se reflejan completamente, tal como se muestra en la figura 2.5.

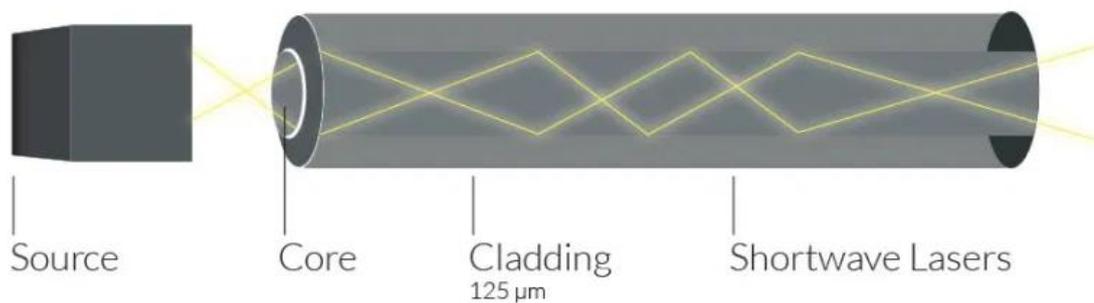


Figura 2. 5: Principio de funcionamiento de propagación de la luz en fibras multimodo de índice escalonado.

Fuente: (ICC, 2018)

El ángulo mínimo para la reflexión interna total se llama ángulo crítico. El ángulo crítico está determinado por la diferencia en el índice de refracción entre el núcleo y los materiales del revestimiento. Todos los rayos que se encuentran con el límite en un ángulo bajo se refractan desde el núcleo hacia el revestimiento y no transmiten ninguna luz. De modo que no se transmite información a lo largo de la fibra. Este ángulo crítico se utiliza para determinar el ángulo de aceptación de la fibra y se denomina apertura numérica.

Un alto valor de apertura numérica permite que la luz se propague por la fibra en forma de rayos. Se propaga cerca del eje y en varios ángulos, lo que permite un acoplamiento eficiente de la luz en la fibra. El alto valor de apertura numérica aumenta la cantidad de dispersión ya que los rayos en diferentes ángulos tienen diferentes longitudes de trayectoria. Por tanto, necesitan un tiempo diferente para atravesar la fibra. La propagación de la luz a través de una fibra óptica multimodo se muestra en la figura 2.5. La comparación de fibra monomodo y multimodo se ha resumido en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2: Cuadro comparativo entre las fibras monomodo y multimodo.

Parámetro	Fibra multimodo – MMF	Fibra monomodo – SMF
Conectores	Conectores de bajo costo	Conectores de alto costo
Instalación	Bajo costo	Alto costo
Ancho de banda (BW)	Pérdida alta, BW bajo	Pérdida baja, BW alto
Distancia	Hasta 2 Km	Hasta 60 Km
Aplicación	LAN, Centro de datos	MAN, WAN, PON

Elaborado por: Autor.

2.3. Ventajas y desventajas de las redes ópticas.

Las redes ópticas ofrecen una serie de ventajas en comparación con otras redes. Algunos de estos son:

- 1) Baja pérdida de energía: una fibra óptica ofrece una pérdida de energía muy baja durante la transmisión. Debido a la baja pérdida de potencia, son los más adecuados para distancias de transmisión más largas.
- 2) Gran capacidad de ancho de banda: los cables de fibra óptica tienen una capacidad de ancho de banda mucho mayor que los cables metálicos. La cantidad de datos transmitidos por unidad de tiempo es muy alta en los cables de fibra óptica. Es la ventaja más significativa sobre otros medios de transmisión.
- 3) Tamaño: el cable de fibra óptica es muy fino. Normalmente, una fibra óptica es 30 veces más delgada que el cable de cobre.
- 4) Transmisión segura: los cables de fibra óptica son los medios de transmisión más seguros. Los datos se transmiten en forma digital, por lo que es muy difícil aprovechar la información. Incluso se requiere equipo sofisticado para dañar físicamente el cable.
- 5) Peso: los cables de fibra óptica son mucho más delgados y livianos que los cables metálicos. Debido a su peso ligero, es más fácil transportar e instalar estos cables.

- 6) Capacidad dinámica de ancho de banda: el ancho de banda del cable de fibra tendido se puede mejorar dinámicamente utilizando tecnología y equipos recientes. Las tecnologías como la multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) otorgan al cableado de fibra óptica la capacidad de encender y apagar a voluntad varias longitudes de onda de luz que viajan por la fibra. Entonces, el ancho de banda se puede administrar de forma dinámica.
- 7) Resistencia a la interferencia electromagnética: el cable de fibra óptica es de naturaleza dieléctrica. Por lo que no se ve afectado por campos eléctricos o magnéticos. La transmisión de fibra óptica está prácticamente libre de ruido.
- 8) Detección temprana de daños en los cables: la comunicación por fibra óptica es el medio de transmisión más seguro. El monitoreo constante de la red óptica y la medición cuidadosa del tiempo que tarda la luz en reflejarse en la fibra permiten detectar fácilmente cualquier daño en el cable.
- 9) Flexibilidad: una fibra óptica tiene mayor resistencia a la tracción que las fibras de cobre o acero del mismo diámetro. Es flexible y se dobla fácilmente en comparación con otros cables metálicos. Esta función hace que sea fácil de instalar y administrar.

Las redes ópticas ofrecen una serie de ventajas. Aunque, si hay algunas desventajas de estas redes. Algunos de ellos se enumeran a continuación:

- 1) Alto costo de instalación: los cables ópticos son costosos de instalar, ya que el equipo necesario para instalar y configurar es costoso. Es el hecho de que los costos de instalación de fibra óptica están cayendo hasta en un 60% al año, aunque instalar fibra óptica es relativamente costoso. A medida que disminuye el costo de instalación de la fibra óptica, las redes de fibra óptica se expanden más allá de las redes troncales. En la actualidad sigue creciendo la demanda para que el suscriptor y el usuario final tengan acceso de banda ancha.
- 2) Costo de transmisión: por lo general, la fibra óptica se utiliza para transmisiones de larga distancia. También se requieren repetidores

para la transmisión a larga distancia, lo que se incrementa al costo total de la red.

- 3) Frágil: los cables de fibra óptica pueden romperse o tener pérdidas de transmisión cuando se envuelven alrededor de curvas de unos pocos centímetros de radio. Sin embargo, al revestir el cable de fibra con una funda de plástico, se puede proteger. La lámina de plástico protege el cable para que se doble en un radio pequeño.
- 4) Se requiere equipo sofisticado: se requiere equipo especial y sofisticado para la instalación, prueba y mantenimiento de fibra óptica. El equipo tradicional utilizado para la red convencional basada en electrones es obsoleto para las redes ópticas. Se requieren equipos como un medidor óptico de reflexión en el dominio del tiempo (OTDR) y otros equipos de prueba ópticos especializados para realizar las pruebas y el mantenimiento adecuados de los puntos finales de fibra y los nexos de conexión.
- 5) Riesgos de daños físicos: un cable de fibra óptica es muy pequeño y de tamaño compacto. La fibra óptica es muy susceptible a daños o cortes durante las actividades de instalación y mantenimiento. Los ferrocarriles se utilizan a menudo para la instalación de fibra óptica, por lo que los descarrilamientos de los vagones representan una amenaza significativa de daños en los cables. Estos eventos de falla pueden interrumpir el servicio de un gran grupo de personas ya que los cables de fibra óptica brindan enormes capacidades de transmisión de datos en un solo enlace. Por lo tanto, es muy importante abordar los problemas de recuperación de fallas, respaldo y capacidad de supervivencia de la red cuando se elige el cable de fibra óptica como medio de transmisión.
- 6) Amenazas de animales y aves: el cable de fibra óptica tiene amenazas de aves y animales. El material de las cubiertas de los cables de fibra es particularmente atractivo para algunas aves por sus nidos, por lo que picotean las cubiertas de los cables de fibra para utilizar trozos de ese material. Los castores y otros roedores usan cables de fibra expuestos para afilar sus dientes. Algunos insectos, como las hormigas, quieren el blindaje de plástico en su

dieta, por lo que a menudo se los puede encontrar mordisqueando el cableado de fibra óptica. El cableado de fibra óptica submarina tiene diferentes tipos de amenazas. Los tiburones solían dañar el cable de fibra óptica mordiéndolo

2.4. Sistema de transmisión de fibra óptica.

El sistema de transmisión de fibra óptica es el sistema de transmisión más favorable debido a sus características únicas, como se describe en la sección 2.6. Este sistema de transmisión tiene ciertos componentes básicos. Un sistema típico de transmisión de fibra óptica punto a punto consta de tres elementos básicos, es decir, el transmisor óptico (Transmitter Block), el cable de fibra (fiber-optic cable) y el receptor óptico (Receiver Block), tal como se muestra en la figura 2.6. (Coimbra Gutiérrez, 2020)

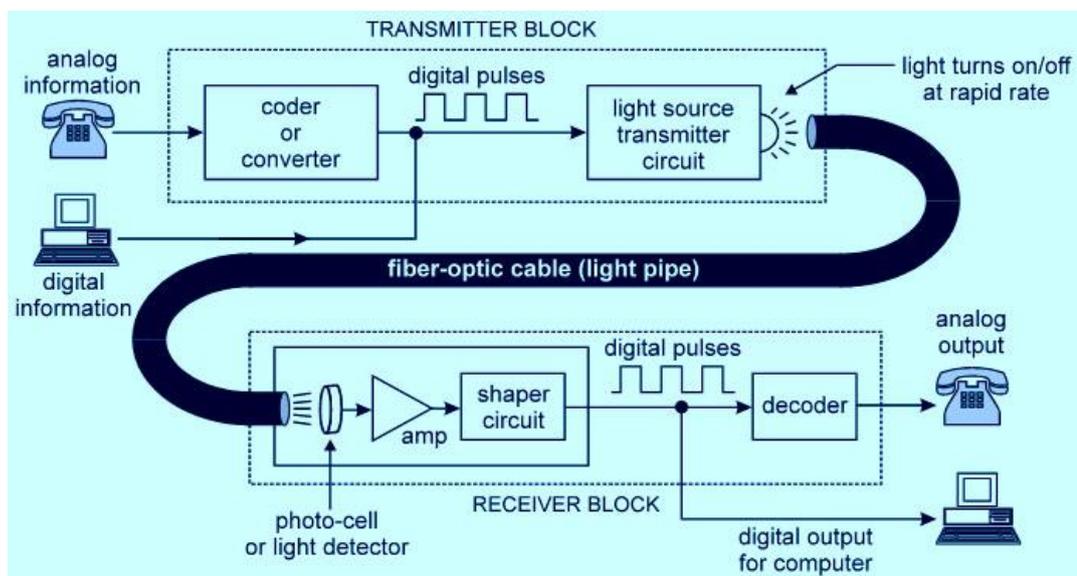


Figura 2. 6: Esquemático de un comparador utilizado en señales PWM.

Fuente: (Coimbra Gutiérrez, 2020; Pandit, 2019)

El transmisor convierte una señal eléctrica analógica o digital en la señal óptica correspondiente, tal como se muestra en la figura 2.6. La fuente de la señal óptica puede ser un diodo emisor de luz (LED) para enlaces con fibra multimodo (MMF) o un diodo láser de estado sólido para enlaces con fibra monomodo (SMF). La fuente de luz puede modularse según una señal de entrada eléctrica para producir un haz de luz que se transmite al medio de transmisión. El medio de transmisión está hecho de fibra óptica. Cuando la

información óptica llega al receptor, las señales ópticas se vuelven a convertir en señales eléctricas mediante un detector óptico (photo-cell o light detector).

En este sistema, la información se somete a una conversión electrónica-óptica-electrónica. Las características de transmisión de una fibra óptica se dan generalmente en términos de atenuación para una longitud de onda determinada en una distancia determinada. A medida que aumenta la distancia recorrida por la señal, también aumenta la atenuación. Cuando la señal se debilita a larga distancia, la información transportada no se puede recuperar de la señal. Para evitar una atenuación excesiva, los regeneradores se utilizan para aumentar la potencia de la señal y restaurar la forma de la señal.

2.5. Evolución de los sistemas de comunicación por fibra óptica

Este tipo de sistemas de comunicación utilizan ondas ópticas como portadoras. Los portadores ópticos ofrecen un gran ancho de banda disponible y una pérdida de señal muy baja. Debido a estas razones, el producto de distancia de velocidad de bits se ha mejorado en varios órdenes de magnitud en comparación con los sistemas de microondas y coaxiales. Los medios más apropiados que se utilizan como canales en estos sistemas son las fibras ópticas, que fueron propuestas en 1966. (Tomkos et al., 2012)

2.5.1. Redes ópticas de primera generación.

En estas redes solo los cables de cobre fueron reemplazados por fibras ópticas como medio de transmisión. Solo se cambió el medio de transmisión, pero la conmutación y el procesamiento de bits se manejó en el dominio electrónico. Se prefirieron las fibras ópticas para velocidades de bits superiores a 10 Mbps. Ejemplos de redes ópticas de primera generación son las redes de redes ópticas síncronas (SONET)/jerarquía digital síncrona (SDH) que forman las redes de telecomunicaciones a nivel mundial. En la figura 2.7 se muestra la arquitectura de SONET de primera generación de las redes ópticas.

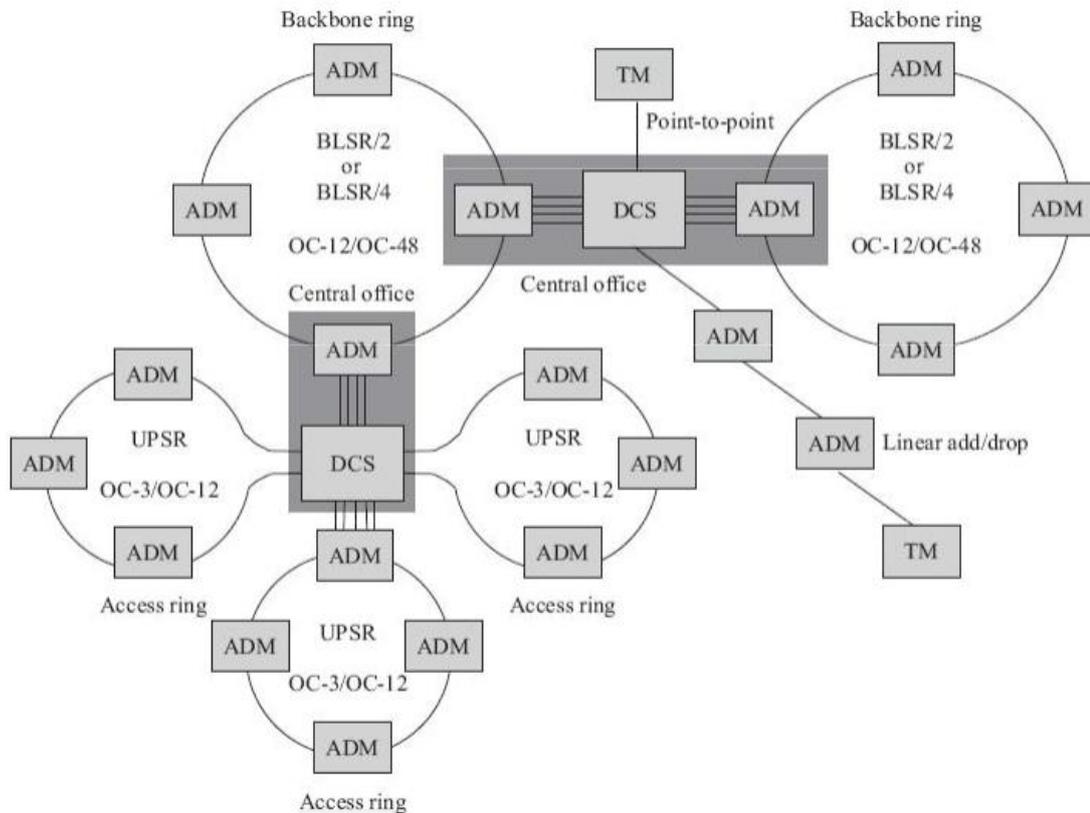


Figura 2. 7: Arquitectura SONET de primera generación.
 Fuente: (Ramaswami et al., 2010)

Otros ejemplos de la primera generación de redes ópticas incluyen redes empresariales basadas en interfaces de datos distribuidos por fibra (FDDI). Existen principalmente dos formas fundamentales de aumentar la velocidad en las redes; (1) aumentando las velocidades de procesamiento electrónico mejorando las técnicas de multiplexación por división de tiempo (*Time Division Multiplexing, TDM*) y (2) aumentando la capacidad utilizando múltiples longitudes de onda portadoras en la fibra al mismo tiempo. TDM es un esquema en el que se combinan numerosas señales para su transmisión en una sola línea o canal de comunicación.

Cada señal se divide en muchos segmentos, cada uno de los cuales tiene una duración muy corta. El circuito que combina señales en el extremo de transmisión del enlace de comunicación se conoce como multiplexor. Acepta la entrada del usuario final, divide cada señal en segmentos y asigna cada segmento a la señal compuesta en secuencia rotativa y repetida. Por

tanto, la señal compuesta contiene datos de todos los usuarios finales. Se ha mostrado en la Figura 1.5.

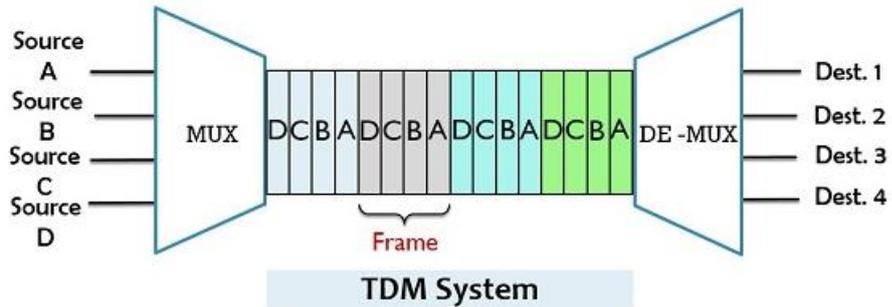


Figura 2. 8: Representación del funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo (TDM).

Fuente: (Circuit Globe, 2019)

2.5.2. Redes ópticas de segunda generación

En estas redes se utilizó la técnica denominada multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Estas redes WDM son capaces de utilizar múltiples longitudes de onda portadoras que fueron multiplexadas en una sola fibra, ofreciendo así un alto ancho de banda. La principal mejora de las redes ópticas de segunda generación sobre sus contrapartes de primera generación desde un punto de vista tecnológico consistió en incorporar la funcionalidad de conmutación y enrutamiento en el dominio óptico y permitir la transparencia del formato de datos, el protocolo y las velocidades de bits.

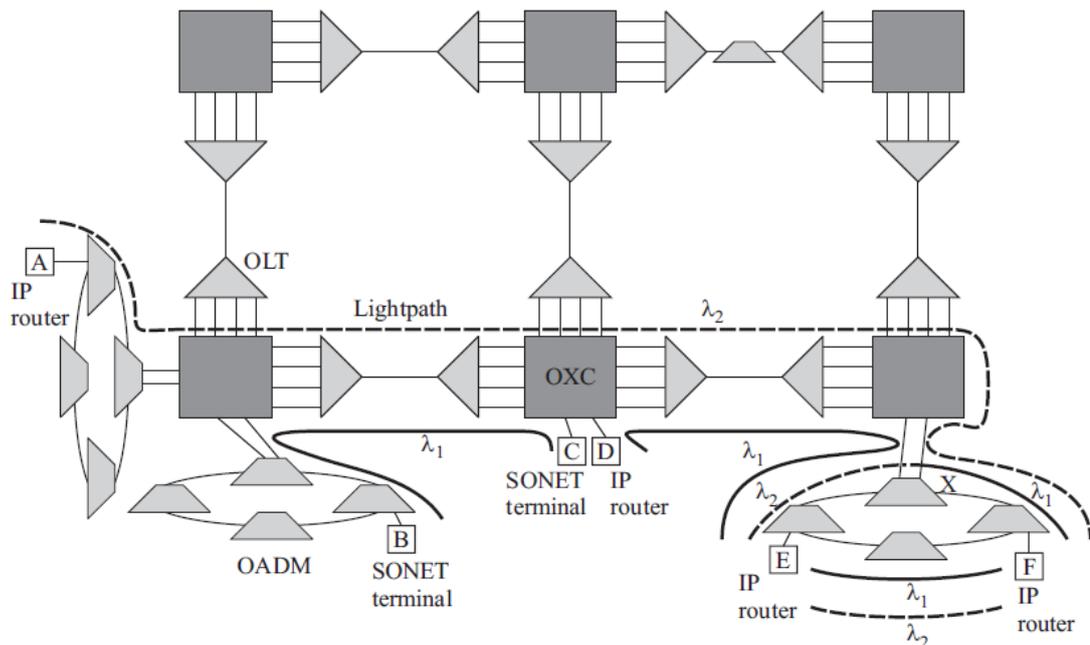


Figura 2. 9: Arquitectura SONET/WDM de segunda generación.

Fuente: (Ramaswami et al., 2010)

2.6. Sistema de multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

Los sistemas WDM han proporcionado la base para una gran capacidad de ancho de banda en redes ópticas. Las redes WDM pueden transportar una serie de señales ópticas en una sola fibra mediante el uso de diferentes longitudes de onda de luz láser. Permite una comunicación bidireccional más rápida a través de una fibra estándar con mayor capacidad. Como la red óptica admite un gran ancho de banda, la red WDM lo divide en varios canales ópticos de ancho de banda pequeño. WDM permite el empleo de una parte sustancial del ancho de banda de fibra disponible al permitir que se transmitan muchas señales independientes con diferentes longitudes de onda al mismo tiempo.

2.7. Componentes del sistema WDM

Los componentes esenciales de un sistema WDM son los mismos que para cualquier otra red, es decir, transmisor, enlace y receptor. El sistema WDM también requiere algunos otros componentes como interruptores, moduladores, amplificadores, etc. En el sistema WDM, el transmisor es una fuente láser con longitudes de onda sintonizables estables. Antes de enviar la señal a través del enlace, los multiplexores mezclan las longitudes de onda. El enlace es de fibra óptica de baja pérdida, mientras que en el extremo del receptor hay fotodetectores y demultiplexores de longitud de onda. Los componentes de un sistema WDM típico son acopladores ópticos, amplificadores ópticos y multiplexores. Estos se describen brevemente en las siguientes secciones.

2.6.1. Acopladores ópticos

Los acopladores ópticos dividen la luz para desviarlos en múltiples caminos o combinan la luz de múltiples caminos para canalizarlos en un solo camino. La señal luminosa se propaga de forma diferente a la señal eléctrica. Una señal eléctrica pasa a través de un receptor al suelo. Sin embargo, una señal luminosa es absorbida por un receptor de modo que, si uno coloca una serie de receptores ópticos en el extremo de salida, casi ninguna señal pasará por el primer receptor. Por lo tanto, es necesario dividir el haz y colocar los receptores en paralelo.

Un acoplador óptico es un dispositivo que se utiliza para combinar o dividir señales en una red óptica. El acoplador puede ser pasivo o activo. El acoplador pasivo redistribuye las señales sin conversión optoelectrónica y no requiere alimentación externa. El acoplador activo emplea dispositivos electrónicos. En la figura 2.10 se muestra un acoplador direccional pasivo 2x2, el mismo que consiste en un par de guías de ondas de canales ópticos paralelos muy próximos.

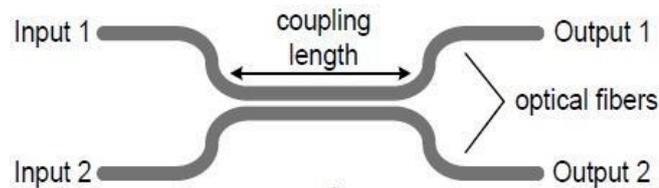


Figura 2. 10: Esquemático de un acoplador direccional pasivo 2x2.

Fuente: (Furdek et al., 2010)

Los acopladores más comúnmente utilizados, llamados acopladores de fibra fundida, se fabrican fusionando dos fibras en el medio. La fracción de la potencia de la señal que se transfiere desde la entrada a la salida de una guía de ondas óptica se define por la relación de acoplamiento α . Denota que una fracción α de la potencia de la señal en la entrada de una guía de ondas se transfiere a su salida. El resto $(1-\alpha)$ de la potencia se dirige a la salida de la otra guía de ondas. Dependiendo del acoplamiento entre las guías de ondas, un acoplador puede tener dos estados, es decir, estado cruzado y estado de barra. Idealmente, toda la potencia de entrada en una guía de ondas de un acoplador direccional está acoplada a la otra guía de ondas para el estado cruzado, mientras que en el estado de barra no debería haber acoplamiento entre dos guías de ondas.

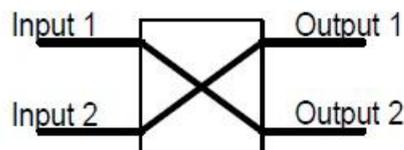


Figura 2. 11: Esquemático de un acoplador óptico de estado en cruz.

Fuente: (Furdek et al., 2010)

Las figuras 2.11 y 2.12 muestran el estado en cruz y de barra de un acoplador óptico, respectivamente. Los acopladores pasivos son dispositivos recíprocos, lo que significa que su funcionalidad permanece sin cambios

cuando se invierten sus entradas y salidas. Los acopladores en los que uno de los puertos está aislado se pueden utilizar para combinar o dividir señales.

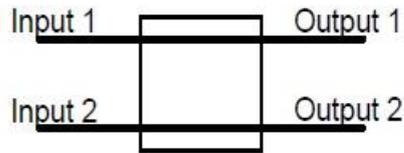


Figura 2. 12: Esquemático de un acoplador óptico de estado en barra.

Fuente: (Furdek et al., 2010)

Un acoplador con una sola entrada se denomina divisor, mientras que un acoplador con una sola salida se denomina combinador. Los acopladores también pueden ser selectivos en longitud de onda y, a menudo, se utilizan para combinar señales a 1310 nm y 1550 nm en una sola fibra. Otra aplicación de tales dispositivos es acoplar la luz de la bomba a 980 nm con la señal del usuario en la entrada del amplificador.

Los acopladores son elementos esenciales en las redes ópticas con una amplia variedad de aplicaciones. Lo más importante es que son los componentes básicos de varios dispositivos ópticos: conmutadores ópticos, multiplexores y demultiplexores, moduladores, filtros y convertidores de longitud de onda. Además, los acopladores con el valor de α cercano a uno se pueden utilizar para aprovechar pequeñas porciones de señales ópticas con fines de monitorización.

Los acopladores ópticos se caracterizan por su pérdida de división, pérdida de inserción y directividad. La pérdida de división se define como la relación entre el nivel de potencia en la salida y el nivel de potencia en la entrada de un acoplador. Normalmente, para un acoplador 2x2, este valor es 3 dB.

Por razones de conservación de energía, las dos señales en la salida tienen un retardo de fase relativo de $\pi/2$, una característica muy útil que encontró su aplicación en filtros ópticos. La pérdida de inserción surge debido a imperfecciones en el proceso de fabricación y generalmente varía de 0.1 dB a 1 dB.

2.6.2. Amplificadores ópticos

Ningún material de fibra óptica en un sistema de comunicaciones de fibra óptica es perfectamente transparente. Los rayos de luz visible o infrarrojos (IR) transportados por una fibra se atenúan a medida que viajan a través del material. Por lo tanto, se requieren repetidores en la fibra óptica de más de unos 100 kilómetros. Un repetidor convencional pasa una señal óptica modulada a través de tres etapas, es decir, conversión óptica a electrónica, amplificación de señal y conversión electrónicas a óptica.

El uso de tales repetidores en sistemas de comunicaciones de fibra óptica limita el ancho de banda de las señales que pueden transmitirse en tramos largos de cable de fibra óptica. Porque los circuitos electrónicos de un repetidor convencional son muy lentos en comparación con las señales ópticas. El desarrollo comercial de las redes WDM fue posible gracias al desarrollo de amplificadores ópticos (véase la figura 2.13) conocidos como amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA) que proporcionan una forma de amplificar ópticamente todas las longitudes de onda al mismo tiempo, independientemente de sus velocidades de bits individuales, esquemas de modulación o potencia. niveles.

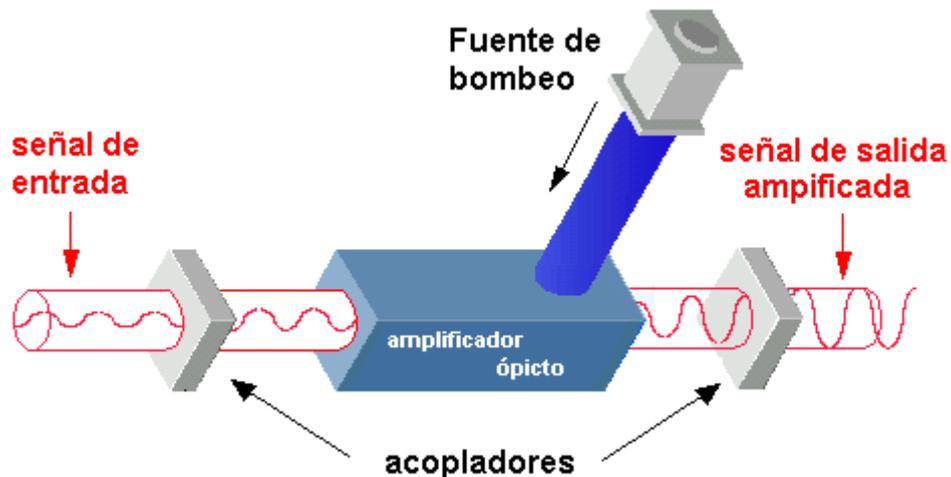


Figura 2. 13: Funcionamiento de un amplificador óptico.
Fuente: (De la Cruz R., 2017)

Un amplificador EDFA es un repetidor óptico que amplifica un rayo láser modulado directamente, sin conversión optoelectrónica y electroóptica. El dispositivo utiliza un tramo corto de fibra óptica dopada con el elemento de

tierras raras erbio. Cuando el rayo láser que transporta la señal pasa a través de esta fibra, se aplica energía externa, generalmente en longitudes de onda infrarrojas. Este llamado bombeo excita los átomos en la sección de fibra óptica dopada con erbio aumentando la intensidad de los rayos láser que la atraviesan. Los haces que emergen del EDFA conservan todas sus características de modulación originales, pero son más energéticos que los haces de entrada.

2.6.3. Multiplexores

A primera vista, parecería que la multiplexación de diferentes longitudes de onda sería un trabajo relativamente simple de simplemente permitir que diferentes señales de longitud de onda caigan sobre una fibra óptica dentro del ángulo de aceptación de esta última. Sin embargo, hay que tener cuidado de que el ruido asociado con cada canal se mantenga al mínimo. Los canales deben estar aislados para garantizar que el ruido de una longitud de onda diferente no interfiera con la señal que se transmite.

Un multiplexor de longitud de onda (MUX) combina longitudes de onda incidentes y lanza la salida a la fibra, tal como se muestra en la figura 2.14.

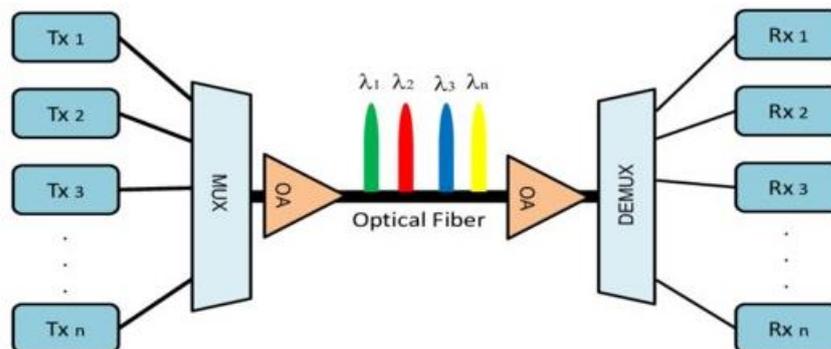


Figura 2. 14: Funcionamiento de la multiplexación y demultiplexación óptica.
Fuente: (Granada-Torres et al., 2015)

En el extremo receptor, un demultiplexor (DEMUX) invierte lo anterior y separa la señal en los componentes. Los multiplexores se basan generalmente en uno de dos principios, a saber, dispersión angular y filtrado óptico. Las rejillas de prisma y reflexión se utilizan para separar longitudes de onda. Los mismos elementos pueden combinar longitudes de onda al invertir la dirección de los haces.

2.8. Beneficios del sistema WDM

La tecnología Wavelength Division Multiplexing (WDM) es la tecnología más adecuada para redes ópticas debido a varias razones. Esta tecnología ofrece una serie de funciones para la satisfacción del usuario. Algunas de estas características son:

a. Soporte para ancho de banda alto:

La comunicación mediante fibra óptica proporciona un ancho de banda muy grande. Aquí, el portador del flujo de datos es ligero. En WDM, las luces que tienen diferentes longitudes de onda se multiplexan en una sola fibra óptica. Entonces, una sola fibra óptica puede transmitir más datos de forma bidireccional. Esto aumenta significativamente la capacidad de la red.

b. Flexibilidad para la transmisión de datos:

La red WDM admite la transmisión de datos a diferentes velocidades de bits. Esta red también admite varios protocolos. Por lo tanto, existe la libertad de transmitir datos en varias formas bajo diferentes protocolos.

c. Reutilización de longitud de onda:

Las redes WDM permiten el enrutamiento de longitud de onda. Permite que la misma longitud de onda se pueda utilizar una y otra vez para diferentes enlaces de fibra. Esto permite la reutilización de la longitud de onda, lo que a su vez ayuda a aumentar la capacidad.

d. Fácil de mejorar:

Las redes WDM son muy flexibles para los cambios en la infraestructura de la red. Cualquier cambio se puede realizar según los requisitos cambiantes. Se pueden agregar fácilmente unidades de procesamiento adicionales a los extremos del transmisor y del receptor si es necesario. Por lo tanto, la capacidad de una red existente se puede mejorar fácilmente para satisfacer demandas adicionales.

e. Fiabilidad y seguridad:

Las redes WDM son extremadamente fiables y seguras. La posibilidad de atrapar los datos y la diafonía es muy baja. La recuperación de fallos de

las redes también es muy eficiente. Existe la posibilidad de desviar una ruta entre un par de origen y destino. No se pierden datos en caso de avería.

2.9. Clasificación de multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

En la comunicación óptica, la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) es una tecnología que transporta varias señales portadoras ópticas en una sola fibra mediante el uso de diferentes longitudes de onda de luz láser. Esto permite la comunicación bidireccional sobre una fibra estándar con mayor capacidad. Esta tecnología permite a los ingenieros aumentar la capacidad de la red sin colocar más fibra. Tiene más seguridad en comparación con otros tipos de comunicación de interferencias y también es inmune a la diafonía.

En un sistema WDM simple como se muestra en la figura 2.15, el lado de transmisión tiene una serie de fuentes de luz sintonizables o de longitud de onda fija, cada una de las cuales emite señales en una longitud de onda única. Se utiliza un multiplexor para combinar estas señales ópticas en un espectro continuo de señales y acoplarlas en una sola fibra. Dentro del enlace óptico, existen varios tipos de amplificadores ópticos. En el extremo receptor, se utiliza un demultiplexor para separar las señales ópticas en canales de detección apropiados para el procesamiento de señales.

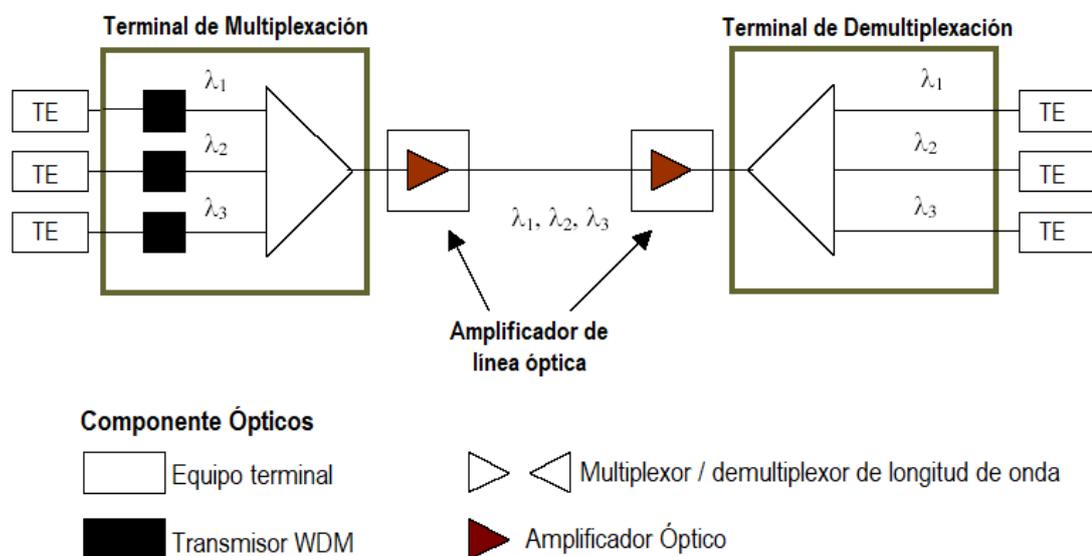


Figura 2. 15: Arquitectura básica del sistema WDM.
Fuente: (Sharma & Sachdeva, 2016)

Los sistemas WDM se clasifican en dos categorías, es decir, multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) y multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM). Estos se explican a continuación:

- a. En multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM), el multiplexor / demultiplexor se ocupa de tramos de longitud de onda más estrechos (tan pequeños como 0,8 nm, 0,4 nm o incluso 0,2 nm) y puede acomodar 40, 80 o incluso 160 longitudes de onda.
- b. En multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM), el multiplexor / demultiplexor se ocupa de pequeñas cantidades de longitudes de onda, normalmente ocho, pero con grandes intervalos entre las longitudes de onda (normalmente espaciados alrededor de 20 nm). La comparación de diferentes tipos de redes WDM se ha presentado en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Cuadro comparativo entre las fibras monomodo y multimodo.

Parámetros	WDM	CWDM	DWDM
Espaciado de canales	1310 nm & 1550 nm	1.6 nm – 25 nm	1.6 nm o menor
No de bandas base utilizadas	C (1521-1560 nm)	S (1480-1520 nm) C (1521-1560nm) L (1561-1620 nm)	C (1521-1560 nm) L (1561-1620 nm)
Costo por canal	Low	Low	High
Mejor aplicación	Redes Ópticas Pasiva	Redes de corto alcance (Short Haul)	Redes de largo alcance (Long Haul)

Elaborado por: Autor.

Capítulo 3: Diseño, configuración y resultados de simulación.

3.1. Reseña del capítulo

En esta investigación, se va a utilizar un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa (*Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM*) de 8 canales con la técnica de modulación por desplazamiento de fase diferencial (*Differential Phase Shift Keying, DPSK*). La figura 3.1 muestra la configuración de simulación para el modelo de transmisor DPSK (vista interior).

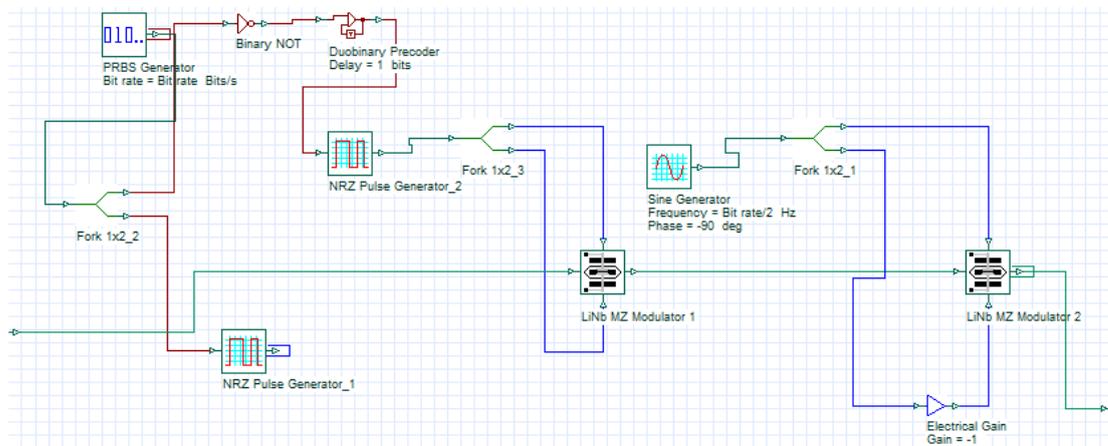


Figura 3. 1: Vista interna del modelo de simulación del transmisor DPSK.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.2 se muestra el modelo de simulación (vista interna) del subsistema de recepción DPSK en el software OptiSystem.

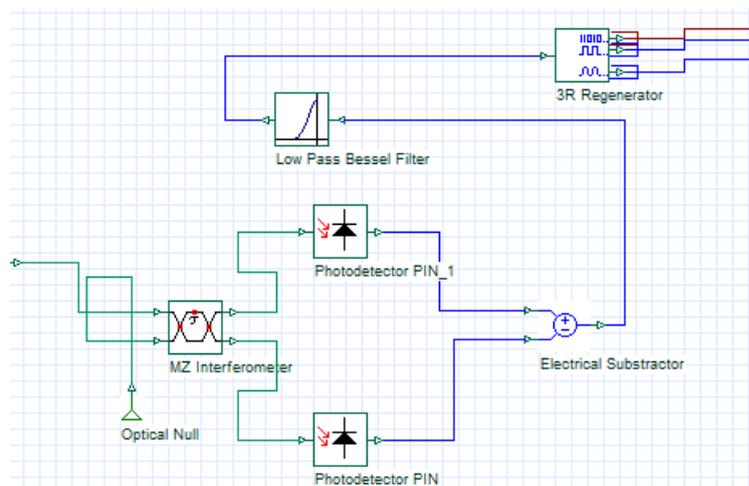


Figura 3. 2: Vista interna del modelo de simulación del receptor DPSK.
Elaborado por: Autor.

Una vez conocidos los modelos del transmisor DPSK y receptor DPSK (vista interna) se procederá con la configuración de la simulación para los esquemas de compensación de dispersión. En la tabla 3.1 se especifica la configuración de los parámetros de la simulación diseñada en OptiSystem. En la tabla 3.2 se muestran los parámetros de simulación para dos tipos de fibras, la fibra monomodo (SMF) y fibra de compensación de dispersión (*Dispersion Compensating Fibre, DCF*) que son utilizados en el sistema DWDM.

Tabla 3. 1: Valores para la configuración de parámetros de simulación.

Tasa de bits	40 Gbps
Longitud de secuencia	128
Muestras por bits	64
Ancho de banda (BW)	20
Frecuencia central del 1er canal	193
Capacidad	8*40 Gbps

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2: Parámetros de simulación para la fibra óptica.

Parámetros	Fibra monomodo (SMF)	Fibra de compensación de dispersión (DCF)
Atenuación (dB/Km)	0.2	0.5
Dispersión (ps/nm/Km)	17	-85
Pendiente de dispersión cero (ps/Km- nm ²)	0.075	-0.3
Retardo de grupo diferencial (ps/km)	0.2	0.2
Área efectiva	70	22

Elaborado por: Autor.

La configuración de la simulación se compone de un transmisor, un receptor y una fibra por medio del análisis de la simulación de formación para la multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) mediante el uso de modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) en diferentes esquemas de compensación de dispersión y modelos de esquemas de compensación de dispersión para la simulación pre, post y simétrica. La figura 3.3 muestra los diagramas de los modelos básicos para la simulación de esquemas de compensación de dispersión. Mientras que en las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 se muestran los diseños de los modelos de simulación en el software OptiSystem.

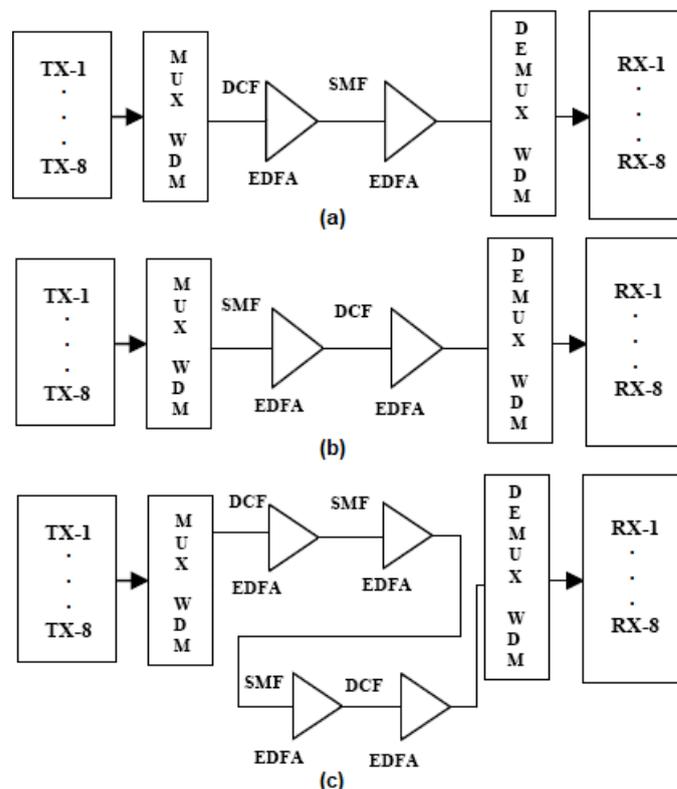


Figura 3. 3: Modelos básicos de simulación para esquemas de compensación de dispersión (a) pre, (b) post y (c) simétrico.

Elaborado por: Autor.

La simulación configurada para el sistema con modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) y multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) utilizando la técnica de compensación de dispersión tal como se muestra en la figura 3.4.

y multiplexación de longitud de onda densa (DWDM) que utiliza la técnica de compensación post dispersión, tal como se muestra en la figura 3.5.

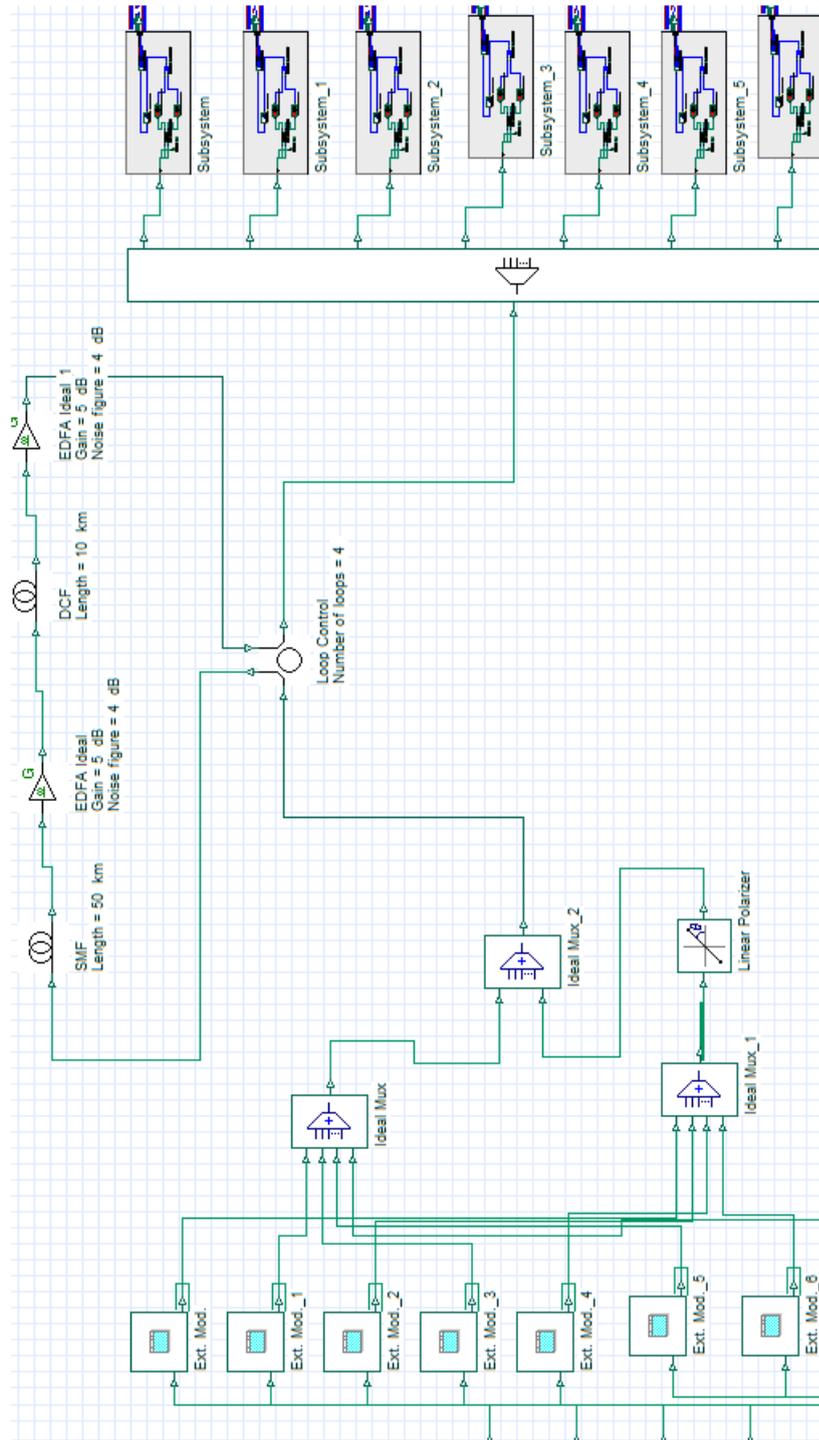


Figura 3. 5: Modelo de simulación para el sistema DPSK – DWDM para esquemas de post-dispersión.

Elaborado por: Autor.

Por último, se realiza la simulación y configuración del sistema de modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) y multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) utilizando la técnica de compensación de dispersión simétrica, tal como se muestra en la figura 3.6.

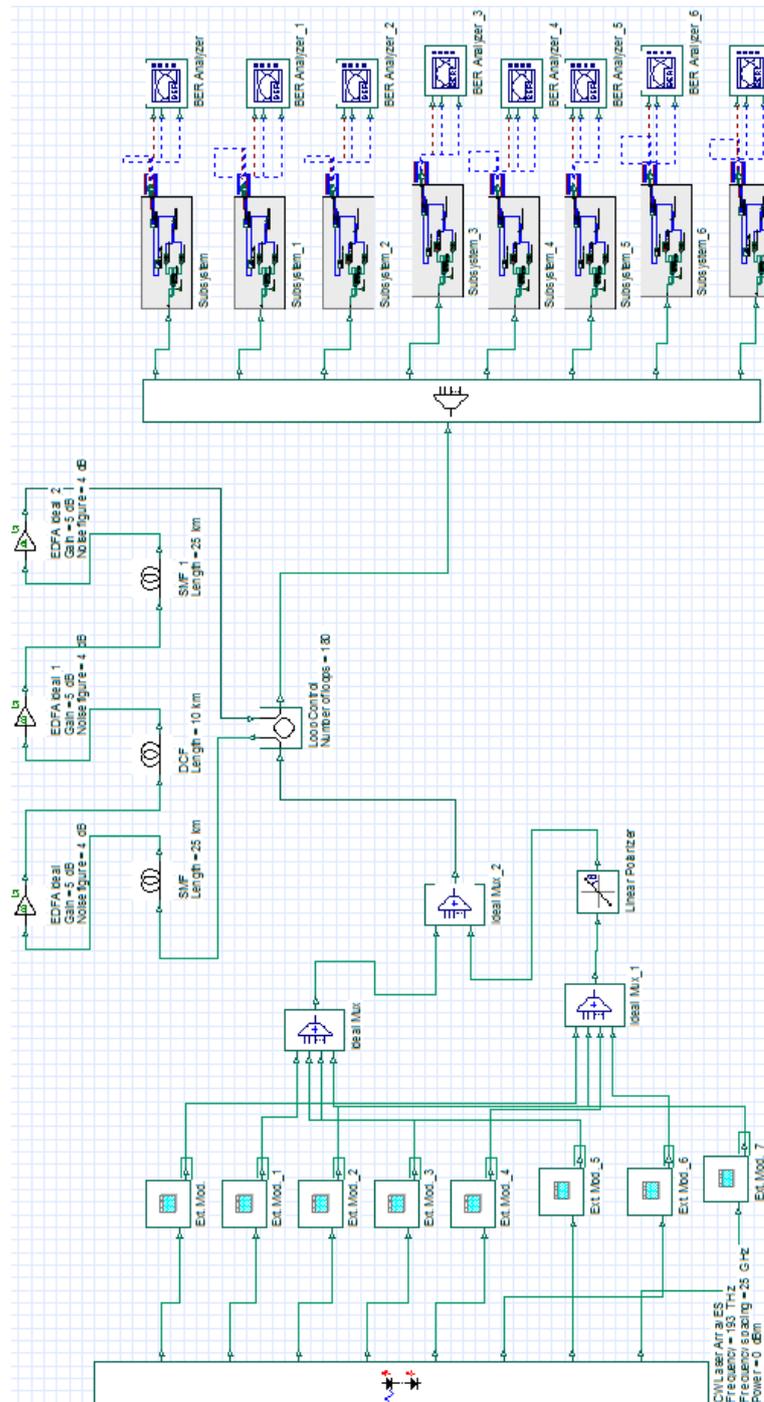


Figura 3. 6: Modelo de simulación para el sistema DPSK – DWDM para esquemas de dispersión simétrica.
Elaborado por: Autor.

3.2. Resultados obtenidos y su respectivo análisis.

El formato de modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) para diferentes esquemas de compensación de dispersión, es decir: esquemas de compensación pre, post y simétrica para 8 canales, los resultados del sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) se obtienen en términos de factor de calidad (Q) y BER (tasa de error de bits) mediante el uso de la formación de diagrama de ojo.

Para analizar el sistema DPSK – DWDM se han tomado los resultados del primer canal ya que es un formato más desfavorable con el peor factor Q que viene en el 1er y 8vo canal ya que experimentan la mayor dispersión y efectos no lineales. Se ha analizado el rendimiento de la compensación previa, posterior y simétrica para distintas distancias.

El espaciado estrecho de canales se realiza para 25 GHz desde la frecuencia central del primer canal 193 THz a 193.2 THz del octavo canal utilizando la técnica de entrelazado de polarización. Se ha simulado el sistema DPSK – DWDM en el enlace óptico a 40 Gbps. Al utilizar los tres esquemas de compensación de dispersión pre, post y simétrico, se llegó a la conclusión de que el resultado de compensación posterior (post) se muestra hasta una distancia de 200 km después de que la BER se acerque a 10^{-8} , lo que no está exceptuado por la UIT.

Para el esquema de compensación previa se está obteniendo el mejor resultado hasta 8500 km después de que no se exceptúe la misma BER. Y finalmente se utiliza la técnica simétrica que brinda el mejor descanso en el sistema DPSK – DWDM hasta la distancia más grande que es de 9000 km. Y este esquema de compensación simétrico resulta ser el mejor entre las tres técnicas de compensación de la dispersión. Por lo tanto, se utilizó principalmente la compensación simétrica para el formato de modulación DPSK.

Ahora se mostrará el análisis y la comparación de las técnicas utilizadas en términos de diagramas de ojo y gráficos para BER (tasa de error de bits) y

factor de calidad de esquemas pre, post y simétricos para la modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) utilizando el sistema DWDM.

En primer lugar, al tomar los resultados a 200 km como técnica de compensación posterior a la dispersión, solamente se muestran los resultados de la simulación hasta 200 km ya que la BER conduce a más de 10^{-9} , lo que no es posible excepto por la UIT. Ahora, el factor BER y Q para todos los pre, post y simétrico a 200 km se muestran en las figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12.

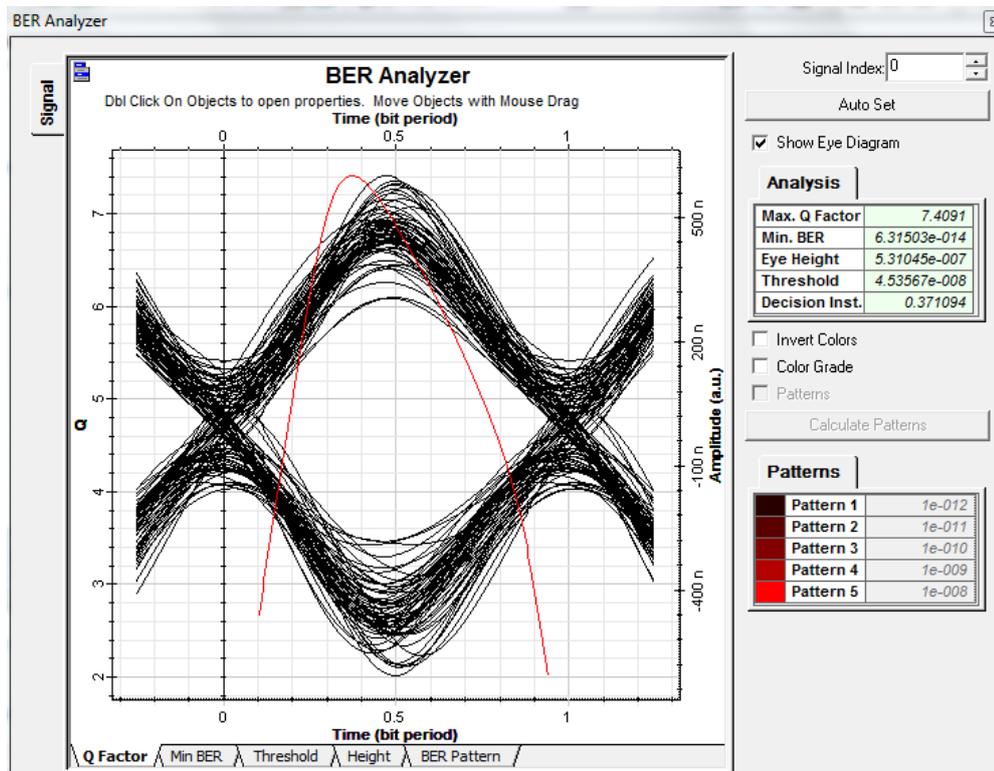


Figura 3. 7: Factor Q de compensación de la dispersión posterior para el 1er canal a 200 km.

Elaborado por: Autor

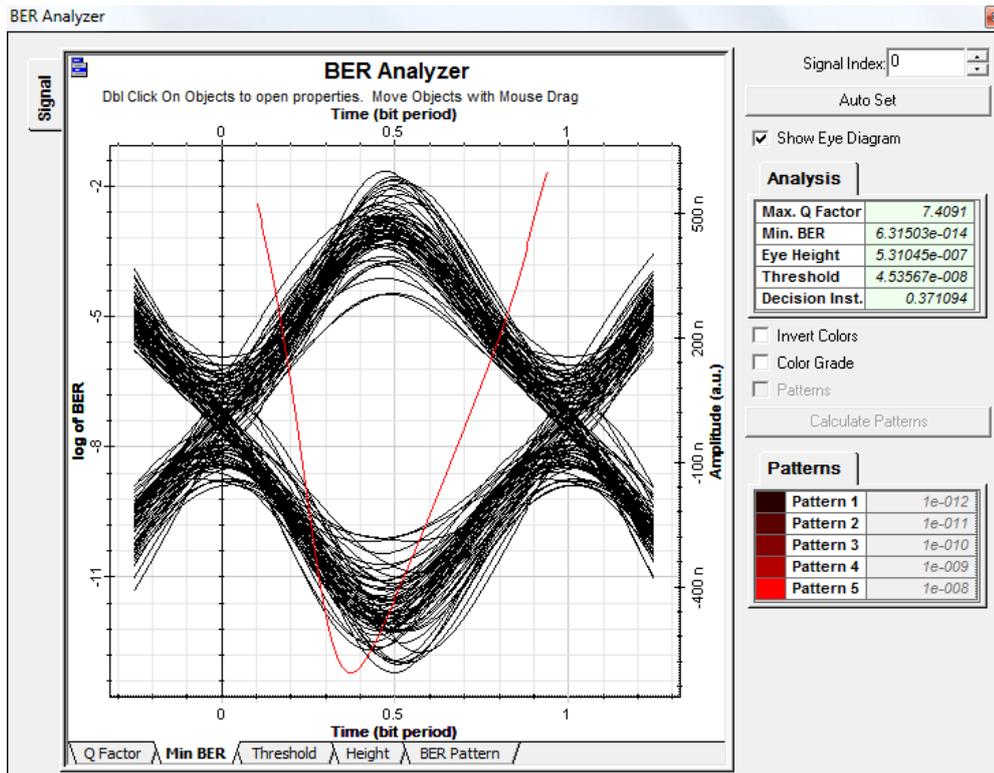


Figura 3. 8: BER de compensación de dispersión posterior para el 1er canal a 200 km.

Elaborado por: Autor.

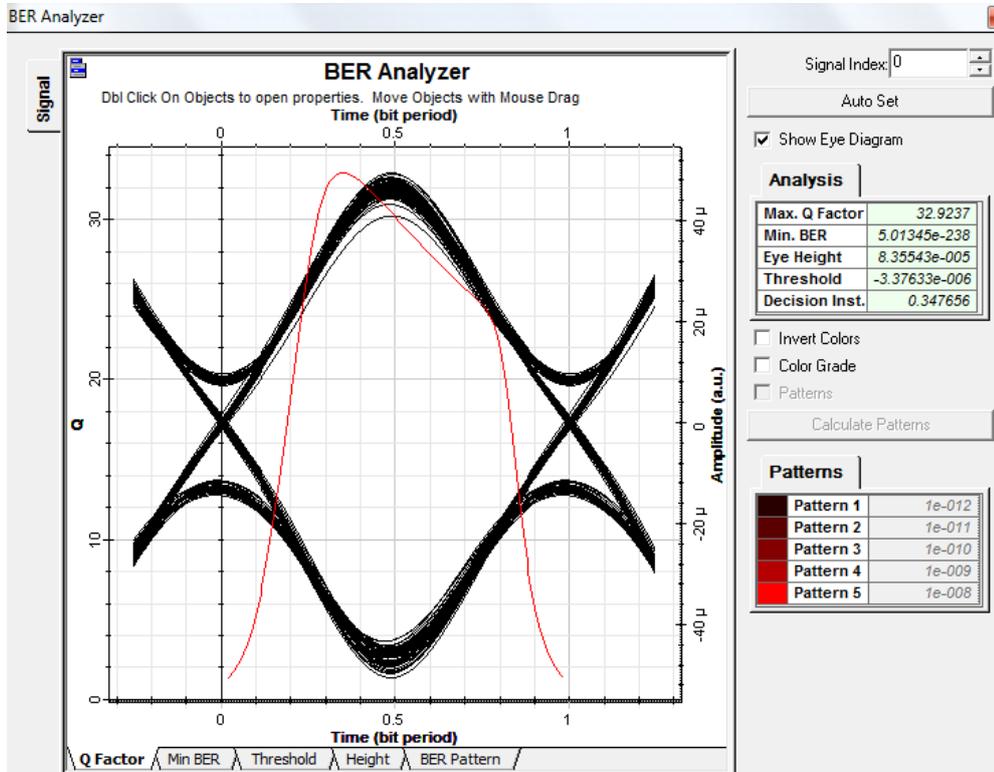


Figura 3. 9: Factor Q de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 200 km.

Elaborado por: Autor.

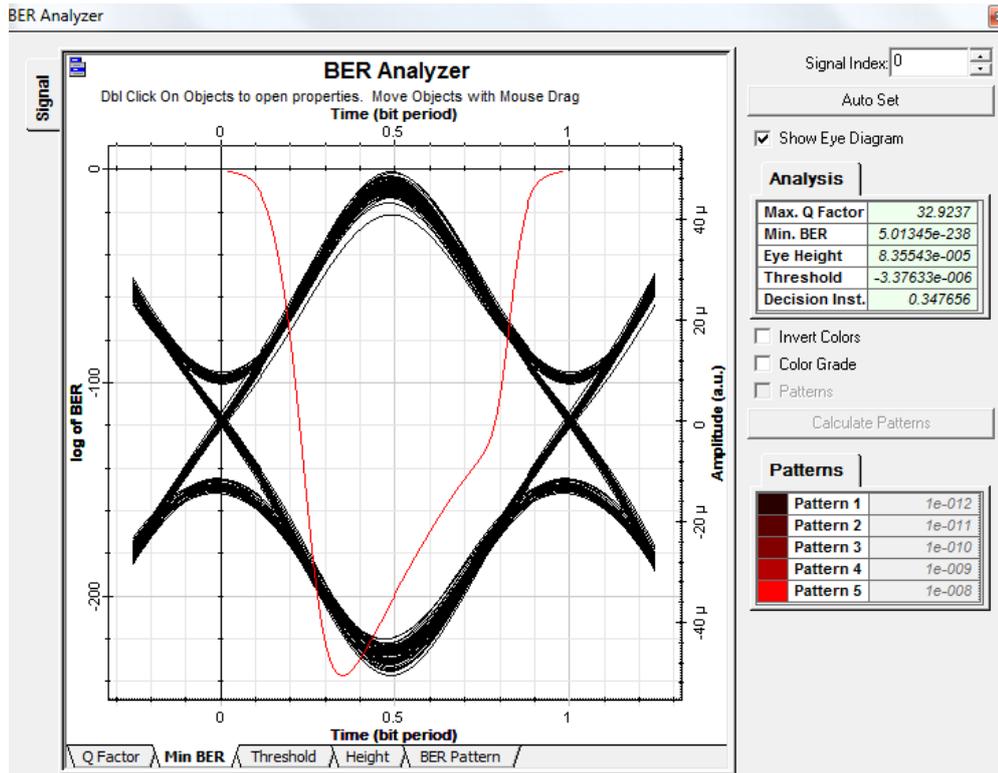


Figura 3. 10: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 200 km.

Elaborado por: Autor.

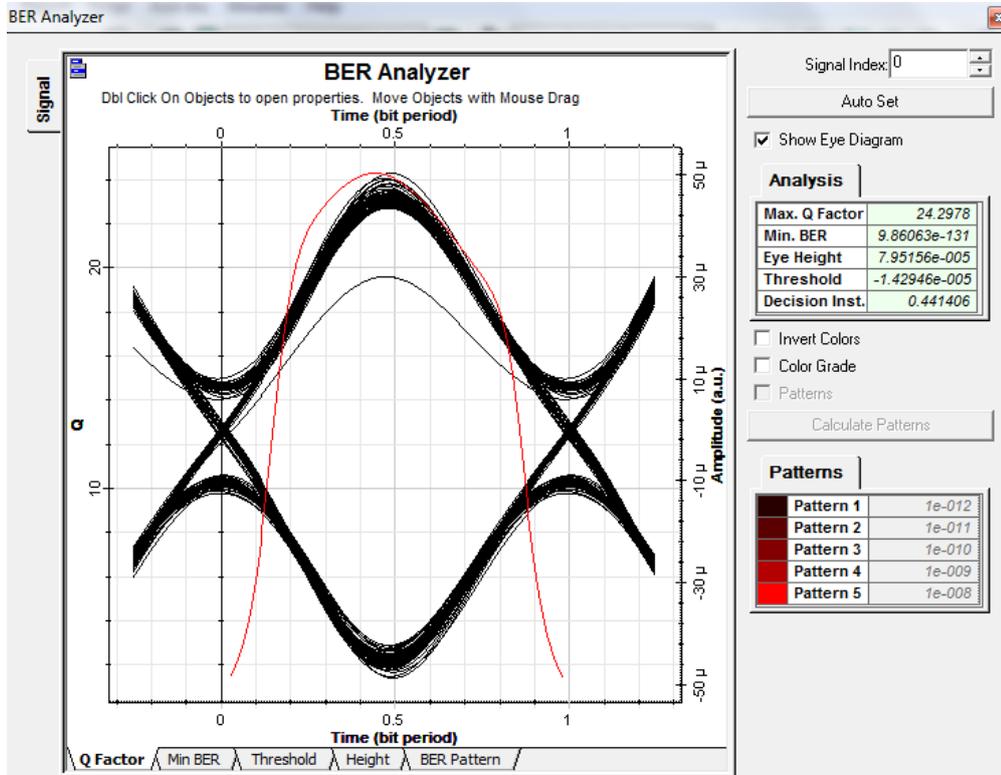


Figura 3. 11: Factor Q de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 200 km

Elaborado por: Autor.

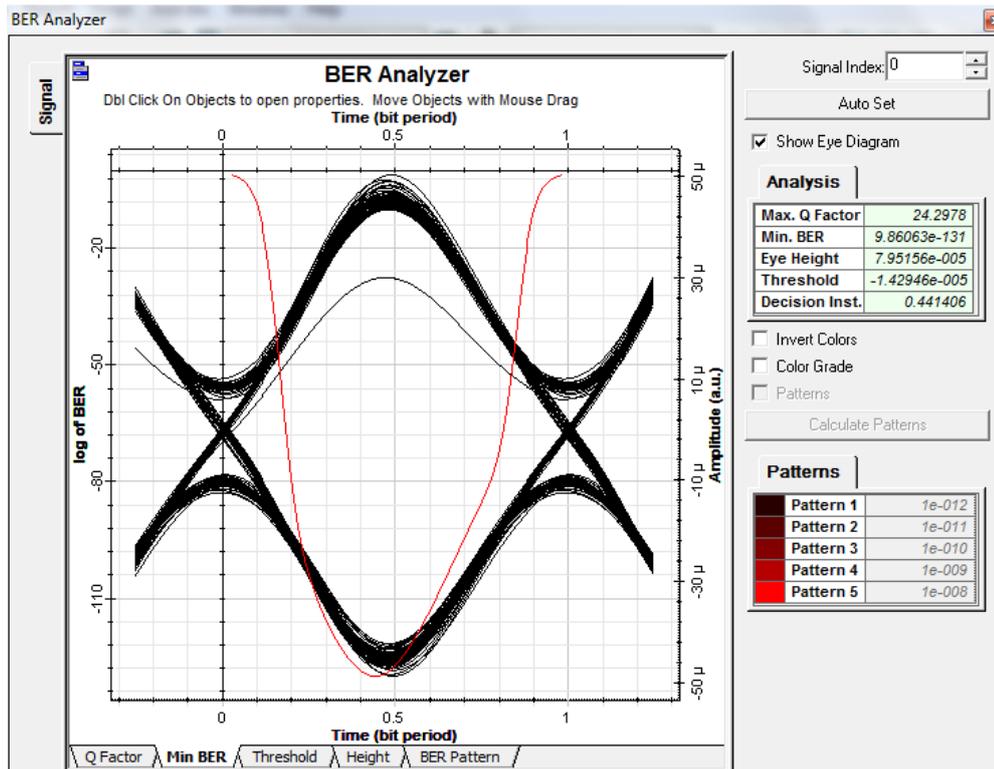


Figura 3. 12: BER de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 200 km.

Elaborado por: Autor.

Ahora, en segundo lugar, al tomar los resultados a 8500 km como técnica de compensación previa a la dispersión, se muestran los resultados hasta 8500 km. La BER conduce a más de 10^{-9} pero no está exceptuada por la UIT. Por lo tanto, la simulación se realiza hasta 8500 km para la técnica de compensación previa que muestran los mejores resultados para el sistema DPSK-DWDM. Ahora se compara el factor BER y Q para todo pre, post y simétrico y luego se muestran en las figuras del diagrama de ojo comparando el pre y simétrico señalados en las figuras 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18.

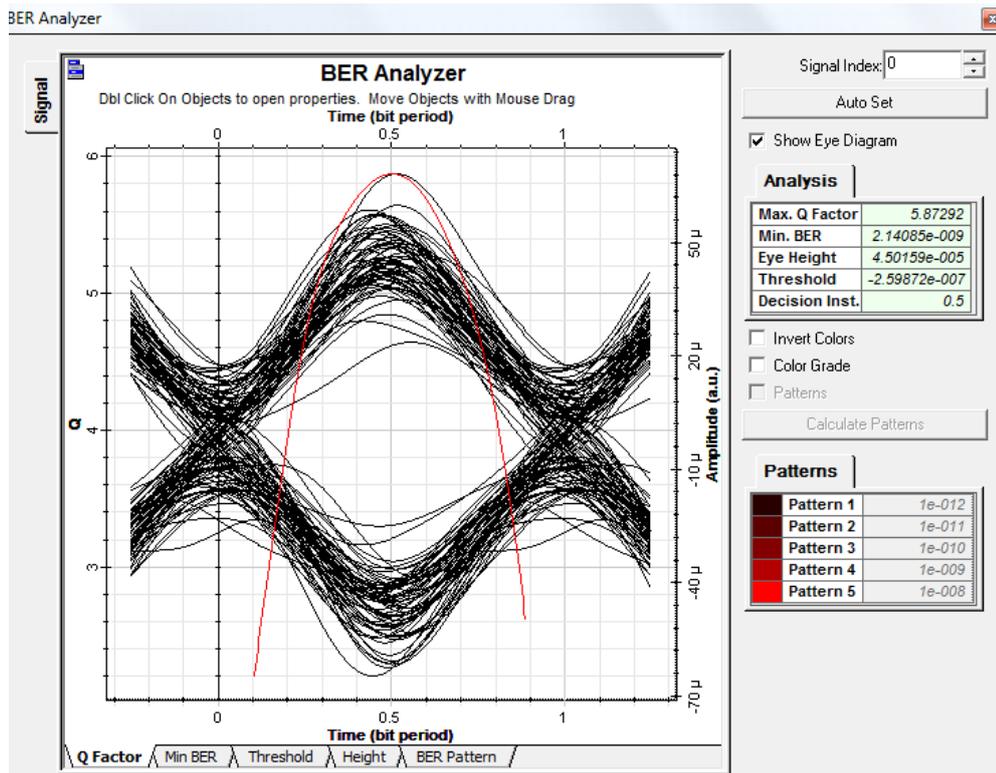


Figura 3. 13: Factor Q de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 8500 km.
Elaborado por: Autor.

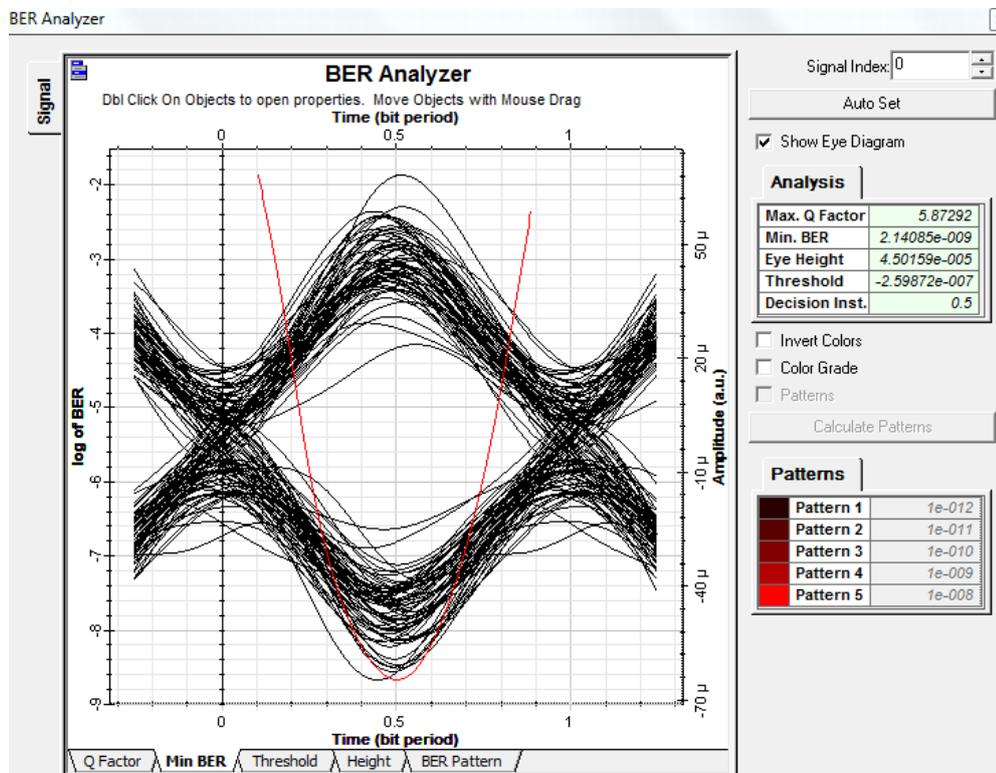


Figura 3. 14: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 8500 km.
Elaborado por: Autor.

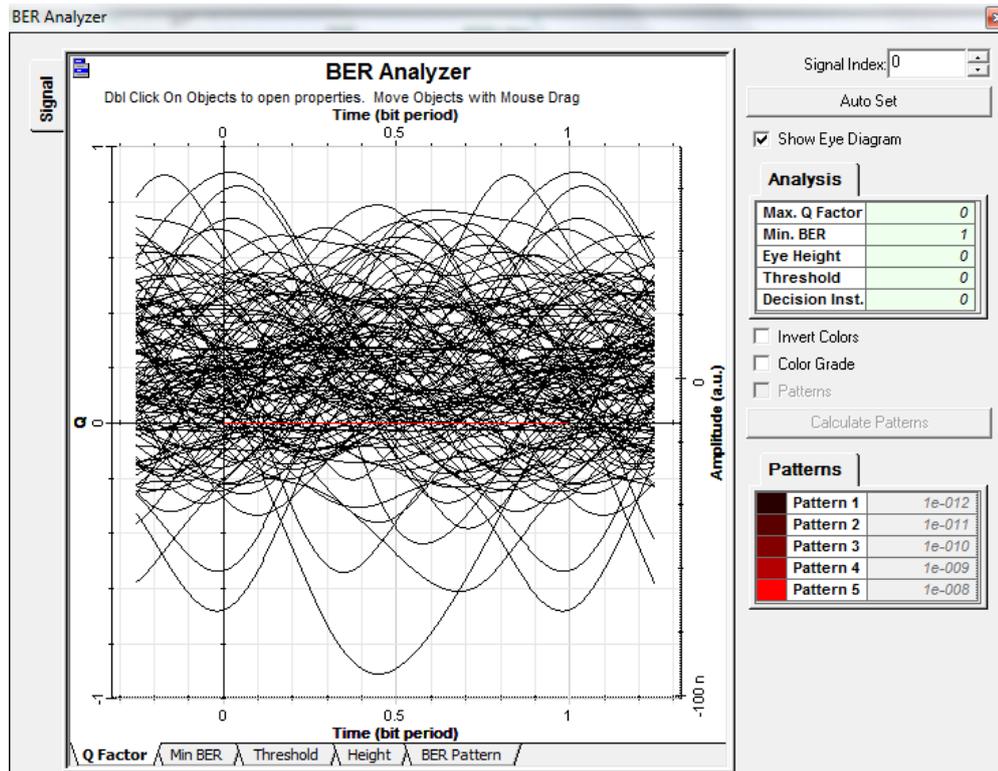


Figura 3. 15: Factor Q de compensación de la dispersión posterior para el 1er canal a 8500 km.
Elaborado por: Autor

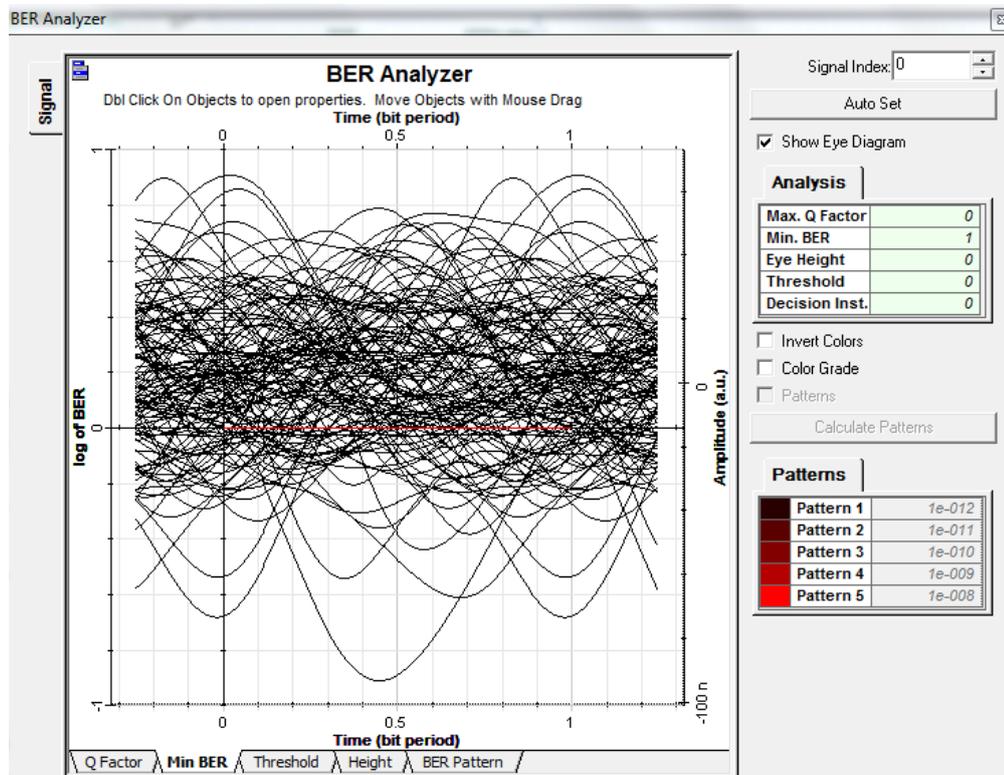


Figura 3. 16: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 8500 km.
Elaborado por: Autor.

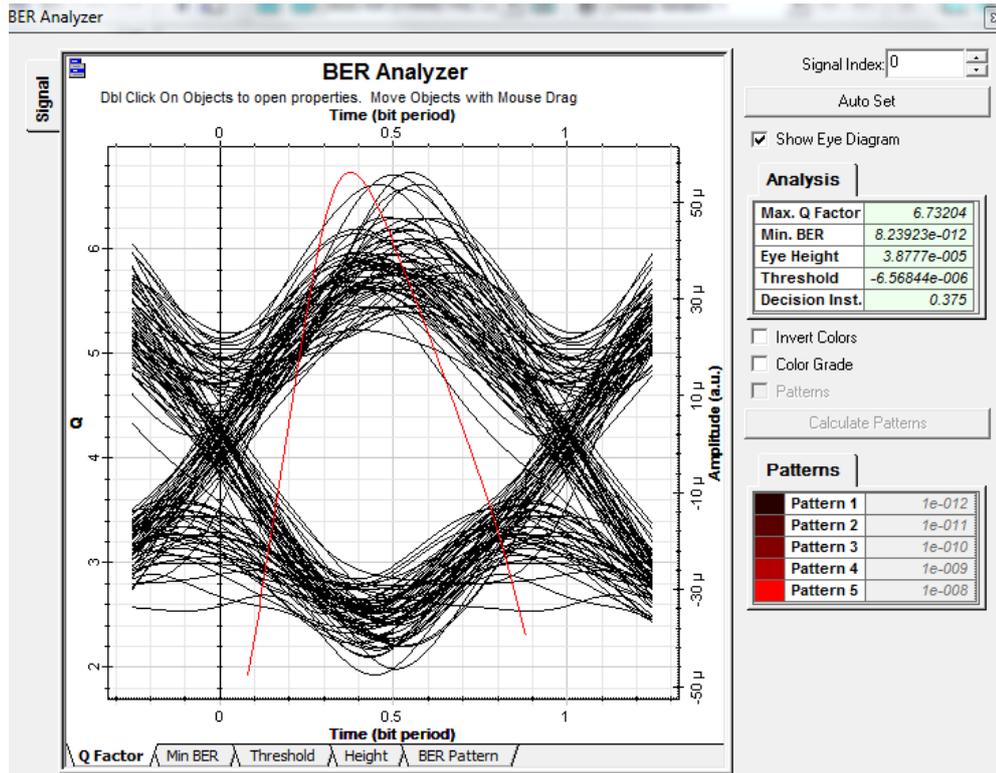


Figura 3. 17: Factor Q de compensación de la dispersión simétrica para el 1er canal a 8500 km.
Elaborado por: Autor

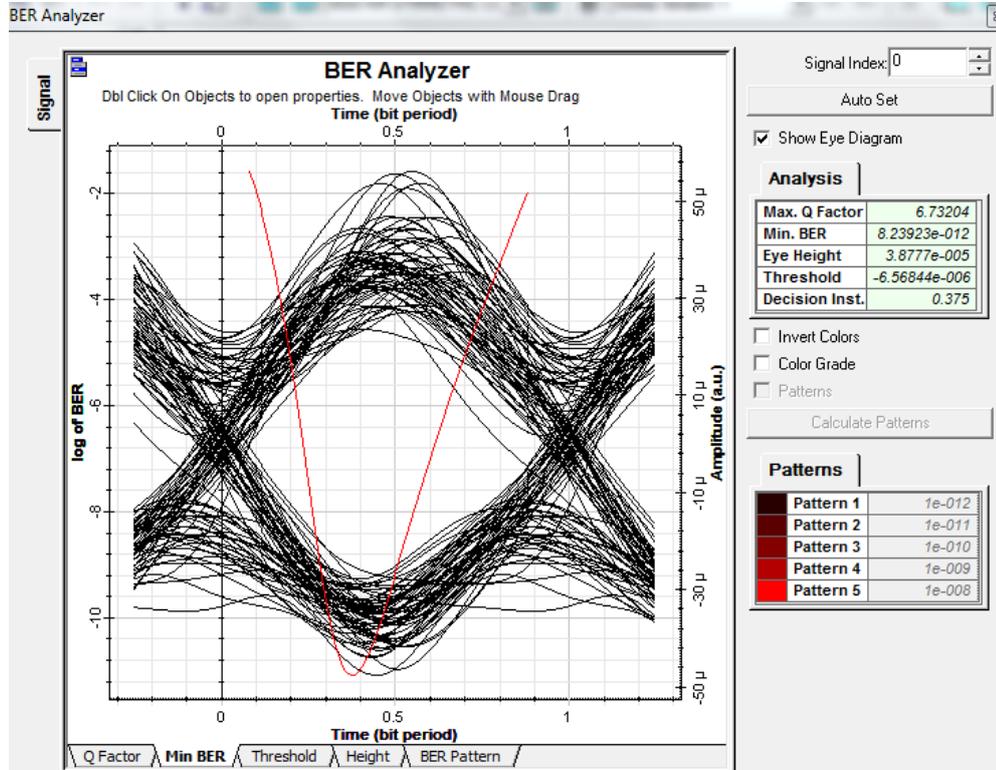


Figura 3. 18: BER de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 8500 km.
Elaborado por: Autor.

Por último, al tomar los esquemas de compensación de dispersión simétrica, estamos obteniendo los mejores resultados hasta 9000 km, ya que la técnica de compensación de dispersión previa muestra los resultados hasta 8500 km, mientras que la técnica simétrica muestra hasta 9000 km.

La UIT no exceptúa la conclusión de que simétrico muestra los mejores resultados para distancias mayores, ya que la BER conduce a más de 10^{-9} . Entonces la simulación se realiza hasta 9000 km para la técnica de compensación simétrica mostrando los mejores resultados para el sistema DPSK-DWDM.

Ahora se compara el factor BER y Q para todo pre, post y simétrico y luego se muestra en las figuras del diagrama de ojo comparando el pre y simétrico en las figuras 3.19 a 3.24.

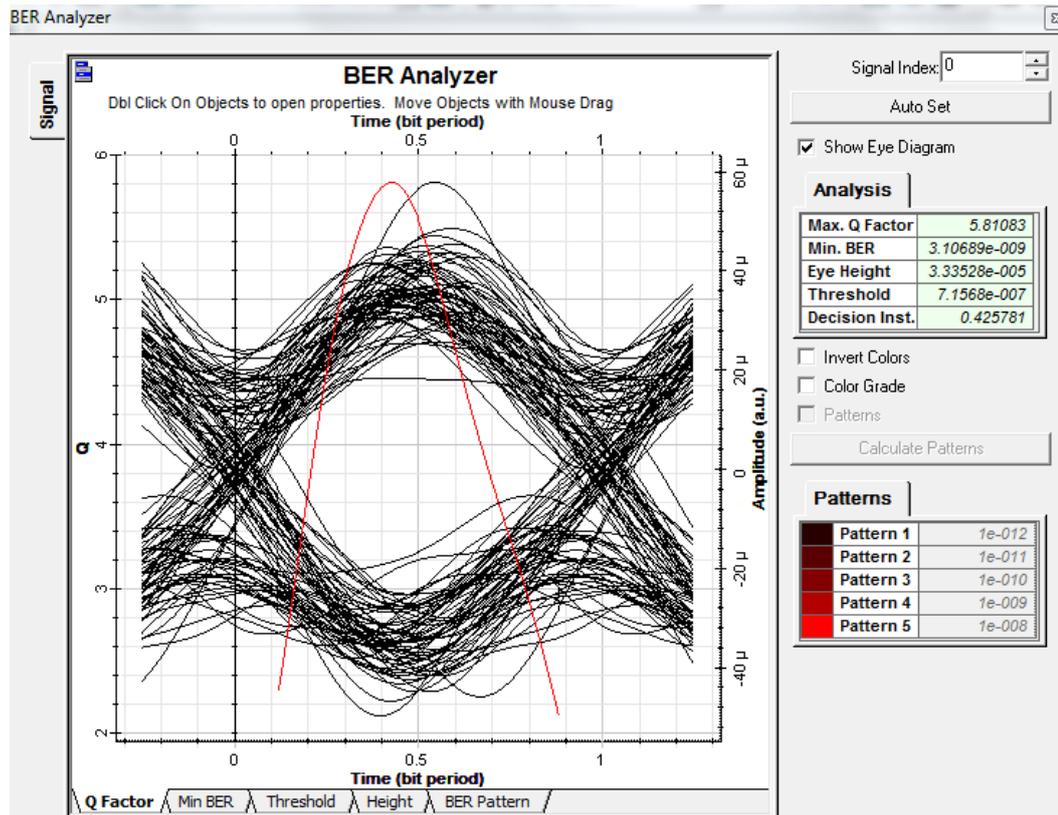


Figura 3. 19: Factor Q de compensación de la dispersión simétrica para el 1er canal a 9000 km.

Elaborado por: Autor

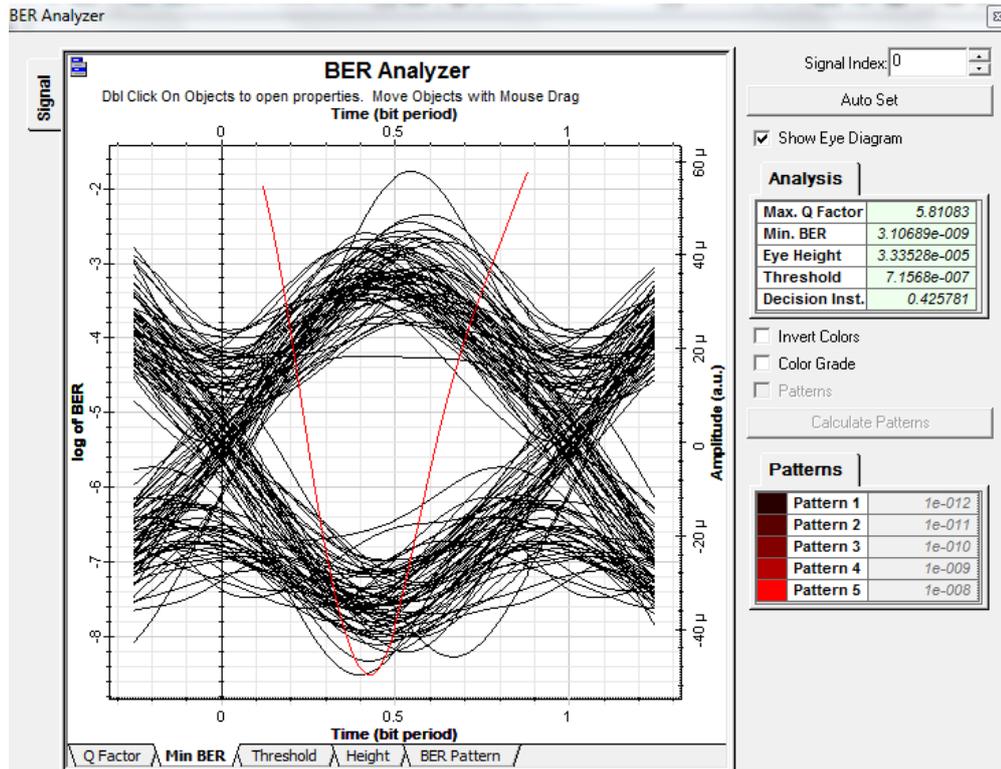


Figura 3. 20: BER de compensación de dispersión simétrica para el 1er canal a 9000 km.
Elaborado por: Autor.

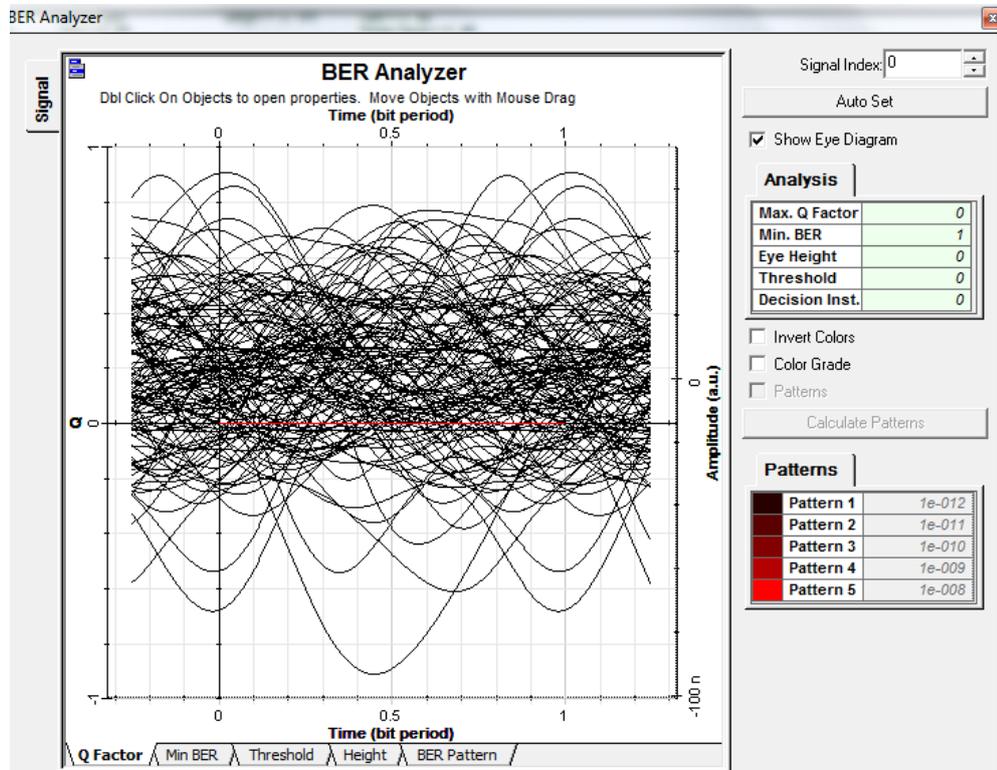


Figura 3. 21: Factor Q de compensación de la dispersión posterior para el 1er canal a 9000 km.
Elaborado por: Autor

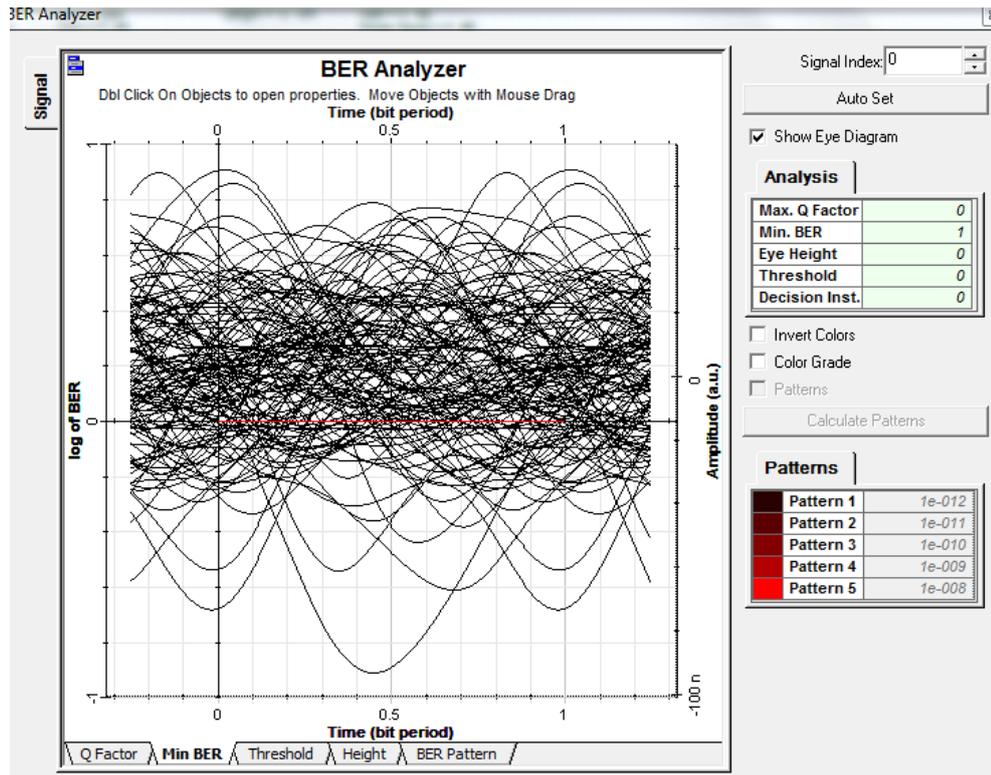


Figura 3. 22: BER de compensación de dispersión posterior para el 1er canal a 9000 km.
Elaborado por: Autor.

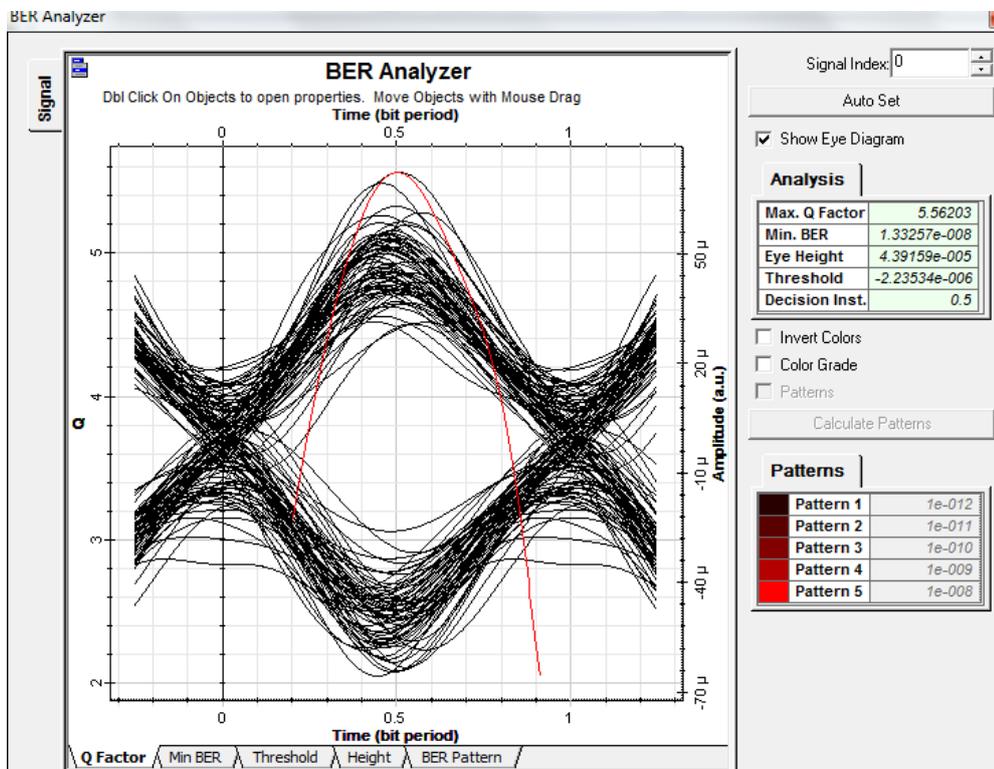


Figura 3. 23: Factor Q de compensación de la dispersión previa para el 1er canal a 9000 km.
Elaborado por: Autor

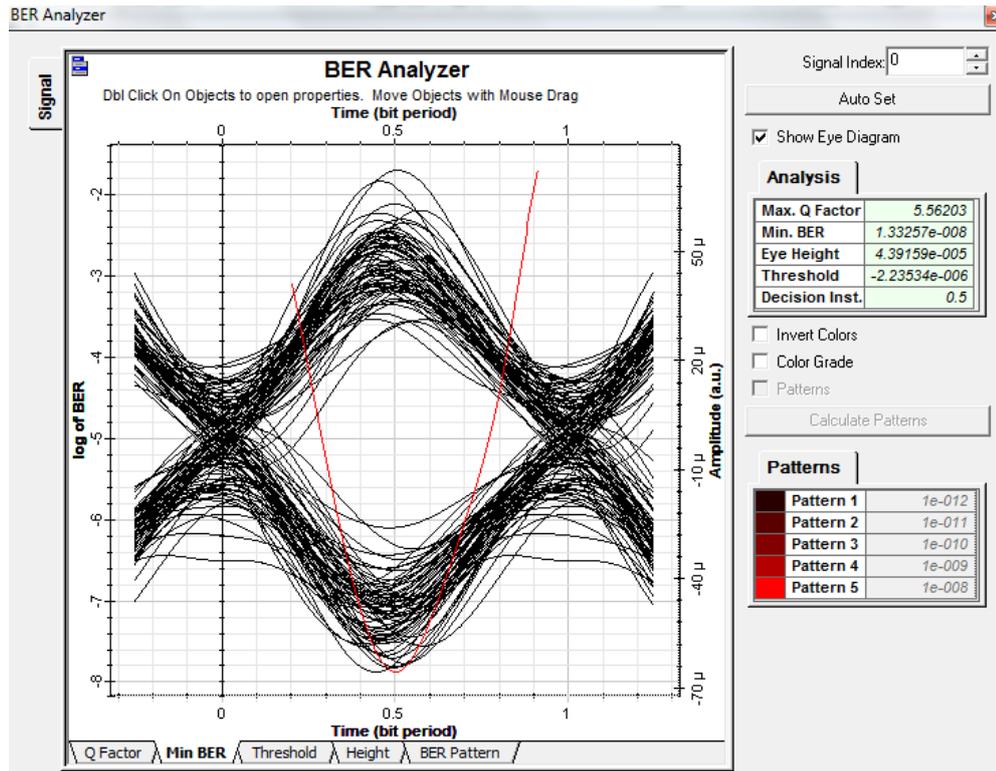


Figura 3. 24: BER de compensación de dispersión previa para el 1er canal a 9000 km.

Elaborado por: Autor.

Analizamos y comparamos el sistema DWDM DPSK (modulación por desplazamiento de fase diferencial) utilizando diferentes esquemas de compensación de dispersión a 40 GB / s con un espaciado de canal estrecho de 25 GHz utilizando 8 canales. Y encontramos que el esquema de compensación de dispersión simétrica resulta ser el mejor entre las tres técnicas con la mayor distancia. Por eso preferimos las técnicas de compensación simétrica entre las otras dos. Como las cifras muestran claramente que, a una distancia más alta de 9000 km, los resultados de la publicación son muy débiles y, para pre, analizamos y encontramos que muestra el mejor resultado hasta una distancia de 8500 después de que no se exceptúa la BER. Así que ahora la Tabla 3 nos indicará cómo viene la variación en términos de BER y factor Q a varias distancias para técnicas de compensación de dispersión pre, post y simétrica para el canal 1. La tabla indica la variación en términos de BER y factor de calidad para varias distancias a 200 KM, 500 KM, 1000 KM, 5000 KM, 8500 KM, 9000 KM. El

análisis de estas técnicas para la variación de la BER y del factor de calidad se muestra en el gráfico y la tabla.

Tabla 3. 3: Análisis del valor del factor de calidad (Q) y tasa de error de bits (BER) para diferentes distancias.

	Esquemas de compensación de dispersión	Métrica	DISTANCIA					
			200 km	500 km	1000 km	5000 km	8500 km	9000 km
DPSK DWDM	Previa	Q	32.9237	24.9143	20.4499	8.68434	5.87292	5.56203
		BER	5.013e-238	2.602e-137	3.008e-093	1.875e-018	2.141e-009	1.333e-08
	Posterior	Q	7.4091	0	0	0	0	0
		BER	6.315e-014	1	1	1	1	1
	Simétrico	Q	24.2978	23.8872	17.8445	9.03349	6.73204	5.81083
		BER	9.861e-13	12.047e-126	1.550e -071	8.291e-20	8.239e-012	3.107e-09

Elaborado por: Autor.

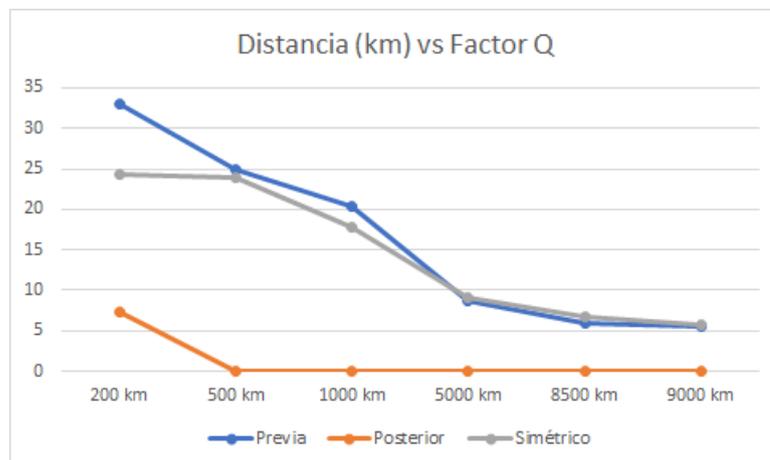


Figura 3. 25: Representación gráfica comparativa de la distancia y factor Q para los esquemas de compensación de dispersión previa, posterior y simétrica del sistema DPSK – DWMD.

Elaborado por: Autor.

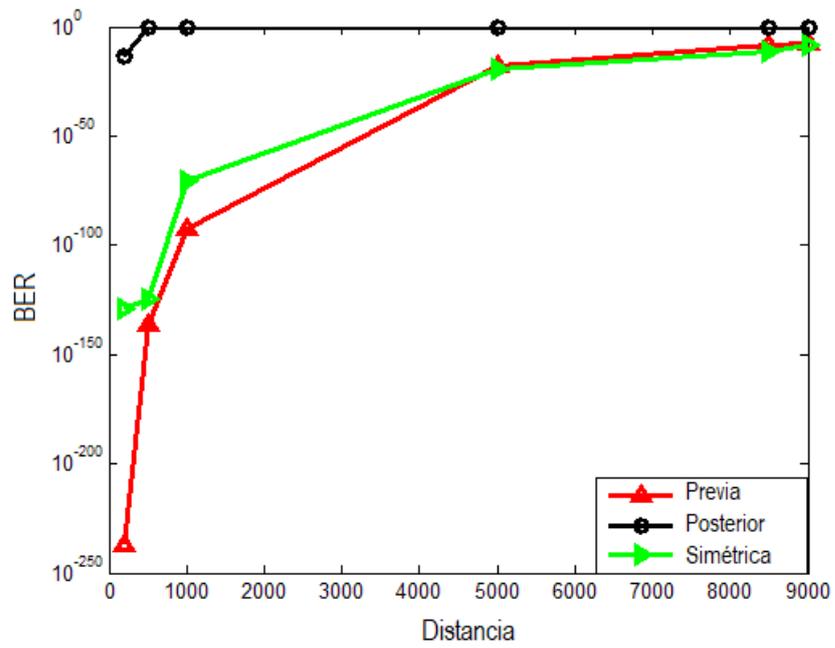


Figura 3. 26: Representación gráfica comparativa de la distancia y la BER para los esquemas de compensación de dispersión previa, posterior y simétrica del sistema DPSK – DWMD.

Elaborado por: Autor.

Conclusiones.

- Este informe de tesis ofrece un trasfondo de los fundamentos de la teoría de la fibra óptica. Luego, en él, he discutido la teoría básica del sistema de comunicación de fibra óptica, cuál es el problema que surge en la fibra óptica monomodo de largo alcance que son efectos de dispersión y no lineales y analizar el efecto del esquema de compensación de dispersión pre, post simétrico por utilizando formatos de modulación DPSK (modulación por desplazamiento de fase diferencial) con sistema DWDM. Aquí se ha utilizado el espaciado de canal estrecho con un espaciado de 25 GHz a los 8 canales mediante el uso de la técnica de entrelazado de polarización a 40 GP/s.
- En el siguiente paso, investigué el sistema DPSK DWDM en configuración pre, post y simétrica para averiguar qué formato es el mejor en términos de valor Q y BER. Y encontramos que el formato de modulación DPSK con compensación DCF simétrica muestra el mejor rendimiento con una distancia de 9000 km, mientras que la pre-compensación conduce a una distancia de 8500 km y los esquemas de compensación posterior a la más baja hasta 200 km.
- Entonces, al simular estos modelos en el software OptiSystem, se encuentra que el mejor formato de transmisión para fibra óptica monomodo de larga distancia que se puede utilizar para larga distancia. El software OptiSystem es fácil de utilizar y más rápido que otros, lo que ayuda a probar y simular el diseño del transmisor, canal, amplificador y receptor y la estimación de BER.

Recomendaciones.

- Implementar modelos matemáticos que optimicen el rendimiento de sistemas de WDM mediante el programa Python.
- Realizar un análisis comparativo de rendimiento de modulación QPSK y QAM en sistemas de WDM usando el entorno OptiSystem.

Bibliografía

- Circuit Globe. (2019). *Difference Between FDM and TDM*. Circuit Globe. <https://circuitglobe.com/difference-between-fdm-and-tdm.html>
- Coimbra Gutiérrez, E. (2020). *Redes y Sistemas de Telecomunicaciones: Transmisión por Fibra Óptica* [Sitio Web dedicado a las Telecomunicaciones]. Coimbra Web. <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>
- De la Cruz R., L. A. (2017). Amplificadores ópticos (SOA, EDFAs y Raman). *Ingeniería Electrónica*. <https://ingenieriaelectronica.org/amplificadores-opticos-soa-edfas-y-raman/>
- Furdek, M., Skorin-Kapov, N., Bosiljevac, M., & Šipuš, Z. (2010). Analysis of crosstalk in optical couplers and associated vulnerabilities. *The 33rd International Convention MIPRO*, 461–466.
- Granada-Torres, J. J., Cárdenas-Soto, A. M., & Guerrero-González, N. (2015). Redes ópticas elásticas: Un nuevo paradigma en las futuras redes de telecomunicaciones. *Respuestas*, 20(2), 6. <https://doi.org/10.22463/0122820X.350>
- ICC. (2018). *Singlemode Fiber and Multimode Fiber Optic Cable Differences*. ICC. <https://icc.com/white-papers/singlemode-vs-multimode-fiber-optic-cable/>
- Kumar, K. V., Kumar, P. V., Rashed, A. N. Z., Mohamed, A. E. A., Tabbour, M. S., & El-Assar, M. (2019). DWDM Channel Spacing Effects on the Signal Quality for DWDM/CWDM FTTx Network. *Journal of Optical Communications*, 0(0). <https://doi.org/10.1515/joc-2019-0012>
- Pandit, A. (2019, septiembre 9). *How Optical Fiber Communication works and why it is used in High Speed Communication*. Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/article/how-optical-fiber-communication-works-and-why-it-is-used-in-high-speed-communication>

- Quinchagual R., A. E., & Rodríguez F., N. H. (2013). *Diseño de una red FTTH con tecnología G-PON para un sector de Paillaco* [Tesis]. Universidad Austral de Chile.
- Ramaswami, R., Sivarajan, K. N., & Sasaki, G. H. (2010). WDM Network Elements. En *Optical Networks* (pp. 433–468). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374092-2.50015-1>
- Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2009). *Optical fiber communications: Principles and practice* (3rd ed). Financial Times/Prentice Hall.
- Sharma, D., & Sachdeva, A. (2016). Wavelength Division Multiplexing. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering*, 5(5), 1516–1522.
- Sugumaran, S., Sharma, L., & Choudhary, S. (2019). Optimized FWM Parameters for FTTH Using DWDM Network. *2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, 317–322. <https://doi.org/10.1109/ICCIKE47802.2019.9004281>
- Tomkos, I., Mukherjee, B., Korotky, S. K., Tucker, R. S., & Lunardi, L. (2012). The Evolution of Optical Networking [Scanning the Issue]. *Proceedings of the IEEE*, 100(5), 1017–1022. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2187363>
- Uthayasuriyan, K., & Rani, K. S. S. (2015). Design of point to point metro DWDM network and its performance evaluation. *2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*, 0713–0717. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2015.7322583>
- Ye, Y., Jiang, X., Pan, G., & Jiang, W. (2018). *Submarine optical cable engineering*. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1703315>

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico		
AUTOR(ES)	Molina Rivera, Andrea Gabriela		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	51
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Transmisión, Comunicaciones Ópticas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Comunicaciones, Multiplexación, Transmisión, Modulación, Desplazamiento, Diferencial		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>En la mayoría de los sistemas de comunicación de fibra óptica, ya sea PON, BPON, GPON o XGPON, cada canal de transmisión de datos requiere una fuente de luz (por ejemplo, láser) como portadora, lo que puede encarecer estos sistemas de transmisión. Por ejemplo, para proporcionar la operación de un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) de 4 canales, se necesitan cuatro láseres separados en longitudes de onda de operación específicas. El presente documento muestra el desarrollo del trabajo de titulación y que trata de la evaluación de esquemas de modulación digital en un sistema de multiplexación por división de longitud de onda densa para redes de acceso óptico. El sistema propuesto es diseñado y simulado en la plataforma OptiSystem, este software fue escogido para la implementación del sistema ya que es el más apropiado y dispone de una librería completa para el modelamiento de redes de acceso óptico.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-93574643	E-mail: andreita_mr16@hotmail.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):			