



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

TEMA:

**Análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en  
aplicaciones de redes de acceso utilizando OptiSystem**

AUTOR:

Rodríguez Bazurto, Luis Adrián

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

REVISOR:

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador  
22 de marzo del 2019



**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 **Rodríguez Bazarro, Luis Adrián** 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, 22 de marzo del 2019



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

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Rodríguez Bazurto, Luis Adrián**

#### **DECLARÓ QUE:**

El **componente práctico del examen Complexivo: Análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando 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, 22 de marzo del 2019

EL AUTOR

---

RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN



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

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Rodríguez Bazurto, Luis Adrián**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen** **Complexivo: Análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando OptiSystem** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 22 de marzo del 2019

EL AUTOR

---

RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

Lista de fuentes Bloques

**Documento** Rodriguez Luis EC Final.docx (D49617669) THE META Categoria Fernando Palacios Enlace/nombre de archivo palacios)

**Presentado** 2019-03-24 14:50 (-05:00)

**Presentado por** fernandopm23@hotmail.com

**Recibido** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

**Mensaje** Revisión Final EC Luis Rodriguez [Mostrar el mensaje completo](#)

0% de estas 14 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

**Fuentes alternativas**

- ALBAN Titulacion.docx
- Jorge Ortega TT 2018.docx
- Jorge Díaz TT 2018.docx
- Giler Titulacion 2019.docx
- TESIS.docx

Exportar Compartir

1 Advertencias Reiniciar

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TEMA:

Análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando OptiSystem

AUTOR: Rodriguez Bazurto, Luis Adrián

Componente práctico del examen complejo

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres que con su apoyo emocional supieron inculcarme el valor del esfuerzo y estudio, aconsejándome y ayudándome día tras día para la culminación de mis estudios. A mis amigos y familiares que fueron pilares muy importantes en mi formación estudiantil. A mis profesores que sin sus enseñanzas a lo largo de la carrera no habría podido elaborar este proyecto

EL AUTOR

RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme estar con salud y fuerza en el transcurso de mi vida y no hacerme desmayar frente a los obstáculos. Agradezco a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños y metas, gracias a ellos por cada día confiar en mí y en mis expectativas. Agradezco a mis profesores que supieron guiarme en mi formación académica, llenándome de conocimientos valiosos para mi carrera y para la vida profesional.

Siembra buenos actos, y seguramente el tiempo te permitirá gozar de una fascinante cosecha.

EL AUTOR

RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN



**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. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
OPONENTE



## ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | X   |
| Resumen .....   | XII |
| 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. Introducción de comunicaciones ópticas. ....                     | 4   |
| 2.2. Tipos de filtros ópticos.....                                    | 4   |
| 2.3. Breve descripción de moduladores ópticos.....                    | 5   |
| 2.4. Modulación directa. ....   | 6   |
| 2.5. Modulación externa. ....   | 6   |
| 2.5.1. Modulador acústico-óptico.....                                 | 7   |
| 2.5.2. Modulador de electro-absorción. ....                           | 9   |
| 2.5.3. Modulador electro-óptico. ....                                 | 11  |
| Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico. ....                  | 14  |
| 3.1. Introducción del primer escenario de simulación.....             | 14  |
| 3.2. Escenario 1: simulación del sistema de comunicación óptica. .... | 14  |
| 3.3. Análisis de filtros ópticos para el escenario 1.....             | 17  |
| 3.4. Discusión de resultados del escenario 1. ....                    | 24  |
| 3.5. Introducción del segundo escenario de simulación. ....           | 25  |
| 3.6. Análisis de moduladores ópticos para el escenario 2.....         | 27  |
| 3.7. Discusión de resultados del escenario 2. ....                    | 32  |
| Conclusiones .....  | 34  |
| Recomendaciones. ....   | 35  |
| Bibliografía.....   | 36  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

|  |    |
|--|----|
| Figura 2. 1: Diagrama de bloques de la técnica de modulación directa.....                  | 6  |
| Figura 2. 2: Diagrama de bloques de la técnica de modulación externa.....                  | 7  |
| Figura 2. 3: Representación interna de un modulador acústico-óptico. ....                  | 7  |
| Figura 2. 4: Arquitectura de un modulador de electro-absorción (sección transversal). .... | 9  |
| Figura 2. 5: Variación de la SER (dB) en función del voltaje de polarización (V). ....     | 10 |
| Figura 2. 6: Interferómetro de MZM. ....   | 12 |

### Capítulo 3:

|  |    |
|--|----|
| Figura 3. 1: Sistema de comunicación óptica.....   | 15 |
| Figura 3. 2: Sistema de comunicación óptica de referencia.....                                   | 16 |
| Figura 3. 3: Análisis del espectro óptico de la señal de entrada al sistema de referencia. ....  | 16 |
| Figura 3. 4: Análisis BER del sistema de referencia. ....  | 17 |
| Figura 3. 5: Características del filtro óptico gaussiano.....                                    | 18 |
| Figura 3. 6: Características del filtro óptico Butterworth.....                                  | 19 |
| Figura 3. 7: Característica del filtro óptico Bessel. ....                                       | 20 |
| Figura 3. 8: Comparaciones de potencia antes y después de divisor de potencia. ....              | 20 |
| Figura 3. 9: Análisis BER del filtro óptico gaussiano (BW=10 GHz). ....                          | 21 |
| Figura 3. 10: Análisis BER del filtro óptico Butterworth (BW=10 GHz). ....                       | 22 |
| Figura 3. 11: Análisis BER del filtro óptico Bessel (BW=10 GHz). ....                            | 22 |
| Figura 3. 12: Análisis BER del filtro óptico gaussiano (BW=100 GHz). ....                        | 23 |
| Figura 3. 13: Análisis BER del filtro óptico Butterworth (BW=100 GHz). ....                      | 23 |
| Figura 3. 14: Análisis BER del filtro óptico Bessel (BW=100 GHz). ....                           | 24 |
| Figura 3. 15: Sistema de comunicación óptica de referencia.....                                  | 26 |
| Figura 3. 16: Análisis del espectro óptico de la señal de entrada al sistema de referencia. .... | 26 |
| Figura 3. 17: Análisis BER del sistema de referencia. ....                                       | 27 |
| Figura 3. 18: Bloque transmisor generado por la modulación directa. ....                         | 28 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3. 19: Análisis de la señal óptica del sistema de modulación directa.           | 28 |
| Figura 3. 20: Análisis BER del sistema de modulación directa. ....                     | 29 |
| Figura 3. 21: El bloque transmisor creado con EML. ....                                | 30 |
| Figura 3. 22: Análisis de espectro óptico de la señal de entrada del sistema.<br>..... | 31 |
| Figura 3. 23: Análisis BER del sistema EML.....  | 31 |
| Figura 3. 24: Análisis BER del sistema usando el transmisor óptico. ....               | 32 |

## Resumen

El presente trabajo complejo del componente práctico consistió en el análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando OptiSystem 7.0. En este estudio, en el primer escenario se examinaron los moduladores ópticos que se utilizan en los sistemas de comunicación óptica y su rendimiento. El análisis se realizó en el software de simulación OptiSystem. En el análisis, un sistema de comunicación óptica fue modelado a una frecuencia de 193.1 THz. Se investigaron los efectos de los moduladores ópticos en el sistema de comunicación óptica y se compararon los rendimientos de los moduladores. En el segundo escenario se examinaron los filtros ópticos que se utilizan en los sistemas de comunicación óptica y se realizó su análisis de rendimiento. Se modeló un sistema de comunicación óptica a una frecuencia de 193.1 THz en el software de simulación OptiSystem. Se estudiaron las características de los filtros ópticos que se utilizan en los sistemas ópticos para mejorar la calidad de la transmisión de datos.

**Palabras claves: RENDIMIENTO, FILTROS, MODULADORES, REDES, FRECUENCIA, BER.**

## **CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO**

### **1.1. Introducción.**

La interconexión en redes ya sea como una red de datos convencional, o como enlaces de datos intrachip o de intercambio, continúa escalando en complejidad y ancho de banda. Las limitaciones del cobre como medio de interconexión en términos de pérdida, dispersión, interferencia y velocidad fundamental son cada vez más obvias a medida que aumenta la densidad de interconexión. Esto ha anunciado el surgimiento de la interconexión óptica, especialmente la fotónica de silicio, que se ha convertido en el principal candidato debido a la combinación única de potencial de bajo costo, y de mejorar el rendimiento debido a la perspectiva de la integración tanto fotónica como electrónica/fotónica, así como la compatibilidad con la tecnología de producción electrónica más exitosa del mundo, CMOS.

La penetración de los enlaces ópticos en distancias muy cortas se producirá con el tiempo, a medida que la tecnología se vuelva más rentable y con mayores requisitos de ancho de banda. Las interconexiones de destino se encuentran en áreas de aplicación como la interconexión de escritorio, la interconexión de móvil a servidor y el centro de datos para computación de alto rendimiento.

Si bien la aplicación de interconexión es dominante, ya que los cables ópticos activos ya están llegando al mercado y la interconexión intrachip compleja es un tema de investigación avanzada para computación de alto rendimiento, también hay una gran cantidad de otras áreas de aplicación que se beneficiarán del éxito de la fotónica de silicio. Estos incluyen fibra al hogar (FTTH) o fibra al local (FTTP), monitoreo ambiental, detección biológica y química, aplicaciones médicas y militares, astronomía, etc. Sin embargo, la interconexión óptica es el tema más candente en el momento debido a una necesidad urgente de aplicación. Las mejoras recientes en el ancho de banda en las interconexiones electrónicas solo se han logrado a expensas de una mayor latencia y consumo de energía.

## **1.2. Objetivo General.**

Analizar el rendimiento del filtrado y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando el software OptiSystem.

## **1.3. Objetivos Específicos.**

- a. Describir los fundamentos teóricos de filtros ópticos y moduladores utilizados en sistemas de comunicaciones por fibra óptica.
- b. Diseñar los escenarios de simulación para un sistema de comunicación óptica empleando diferentes tipos de filtros y moduladores ópticos usando el software OptiSystem.
- c. Evaluar el rendimiento del sistema de comunicación óptico propuesto en los escenarios de simulación empleando filtros y moduladores ópticos sobre el software OptiSystem.

## **CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.**

### **2.1. Introducción de comunicaciones ópticas.**

La comunicación óptica es una comunicación que se transfiere. Una información que utiliza la luz del transmisor al receptor. En general, el sistema de comunicación óptica utiliza un transmisor y un receptor, y el canal de transmisión (Santos Aguilar, Arvizu Mondragón, & López Leyva, 2016). El transmisor codifica la información en una señal óptica, un canal está transmitiendo una señal y el receptor está recibiendo la señal. En los transmisores generalmente se utilizan diodos emisores de luz (LED's) o diodos láser. (Alcócer García, 2000)

En la comunicación óptica, se utilizan diferentes tipos de filtros ópticos para transmitir o bloquear selectivamente ciertas longitudes de onda dentro de los sistemas ópticos (Gallardo Morales & Medina Ceron, 2017). Las dos categorías principales de los filtros ópticos son los filtros de absorción y los filtros dicróicos. En un filtro de absorción, la luz se bloquea según las propiedades de absorción del sustrato de vidrio utilizado. Es ideal en algunas aplicaciones donde el ruido en un sistema de luz no deseada es un problema.

En los filtros de absorción, la luz puede incidir en el filtro desde una amplia gama de ángulos y el filtro mantendrá sus propiedades de transmisión y absorción. Considerando que, un filtro dicróico es bloquear una luz no deseada y transmitir espectro deseado. Es decir, que utiliza el principio de interferencia. Se utilizan canales separados en el filtro dicróico en redes de telecomunicaciones que emplean WDM para fibra óptica.

### **2.2. Tipos de filtros ópticos.**

Los filtros ópticos transmiten luz a diferentes longitudes de onda y eliminan la luz no deseada. Los filtros ópticos se utilizan comúnmente en fotografía, instrumentos ópticos, iluminación de escenarios de color y aplicaciones de fluorescencia como la microscopía de fluorescencia y la espectroscopia de fluorescencia.

Se utilizan muchos tipos de filtros ópticos: filtro de vidrio absorbente, filtro de color, filtro lyot, filtro sintonizable, filtro de paso de banda, filtro Notch, filtro Edge, filtro Fabry-Perot, filtro de rejilla de fibra Bragg. (Castiblanco Pardo & Valencia Montaña, 2016)

### **2.3. Breve descripción de moduladores ópticos.**

La modulación óptica, que transpone los datos eléctricos en un portador óptico, es una función esencial en el sistema de transmisión de fibra óptica. La modulación óptica se puede hacer usando dos técnicas ópticas que son la modulación directa y la externa. La técnica de modulación directa consiste en modular directamente la corriente de inyección de un láser. (Peñafiel Pinos, 2017)

La modulación externa requiere una fuente de láser de onda continua (*Continuous Wave, CW*) y un modulador externo. La ventaja de utilizar un modulador externo es aumentar el alcance máximo, ya que se evita el efecto de chirrido láser (Aguilera Arreaga, 2018). El modulador externo puede ser un modulador acústico-óptico (*Acoustic-Optic Modulator, AOM*), un modulador de electro-absorción (*Electro-Absorption Modulator, EAM*) y un modulador electro-óptico (*Electro-Optic Modulator, EOM*) o un modulador de fase/cuadratura (*Inphase/Quadrature Modulator, IQM*). La modulación digital en el sistema de transmisión óptica de alta velocidad de bits se basa en el modulador externo. Hay varios formatos de modulación que utilizan la amplitud, la fase y la frecuencia de la señal óptica para transmitir información. (Liu et al., 2014)

El resto del capítulo está organizado de la siguiente manera: las secciones 2.4 y 2.5, se presenta dos tipos de transmisores ópticos; modulación directa y modulación externa. En las secciones 2.5.1 y 2.5.2, se estudia los efectos acústico-ópticos y de electro-absorción, los parámetros característicos y las aplicaciones de los moduladores acústico-ópticos y de electroabsorción. En la sección 2.5.3, se detallan el efecto electro-óptico, el principio de operación, el modelado matemático y las configuraciones del modulador Mach-Zehnder (*Mach-Zehnder Modulator, MZM*).



## 2.4. Modulación directa.

La técnica de modulación directa consiste en modular directamente la corriente de inyección de una modulación láser directa (*Direct Laser Modulation, DML*) con láser de diodo de modo único, tal como se muestra en la figura 2.1 (Acosta Ortiz, 2018). Esta técnica presenta un método simple y efectivo para transmitir datos en el dominio óptico. Esta técnica es la más utilizada para producir la modulación de amplitud.

La modulación de amplitud obtenida al modular la corriente inyectada en el láser produce una modulación de frecuencia debido al efecto chirrido (Chirp). El chirrido es una modulación de fase residual, junto con la modulación de intensidad deseada que reduce la relación de extinción. El chirrido amplía el espectro de la señal óptica, aumentando el efecto de dispersión cromática en la fibra óptica. Por lo tanto, la tasa de bits máxima para una tasa de errores de bits (BER) dada se reduce debido al efecto chirp.

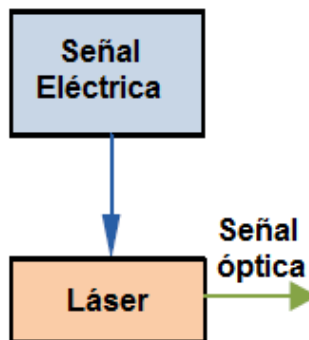


Figura 2. 1: Diagrama de bloques de la técnica de modulación directa.  
Fuente: (Acosta Ortiz, 2018)

## 2.5. Modulación externa.

Para sistemas de comunicación de alta velocidad de bits, se recomienda utilizar una modulación externa. La modulación externa requiere una fuente de láser de onda continua y un modulador externo, tal como se ilustra en la figura 2.2 (Macho Ortiz, 2012). Para reducir el "efecto chirrido", los transmisores ópticos se dividieron en dos funciones: la primera para generar una portadora óptica usando un diodo láser, la segunda para transponer la señal eléctrica en una portadora óptica usando un modulador externo. Existen varios tipos de moduladores externos, ya mencionados como: AOM, EAM, MZM o IQM, que se detallarán en las siguientes secciones. La ventaja de

utilizar esta técnica es aumentar el alcance máximo, ya que se elimina el efecto del chirrido del láser.

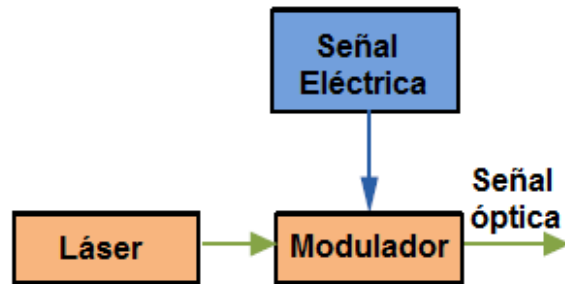


Figura 2. 2: Diagrama de bloques de la técnica de modulación externa.

Fuente: (Acosta Ortiz, 2018)

### 2.5.1. Modulador acústico-óptico.

Un modulador acústico-óptico se llama también "célula Bragg", utiliza el efecto acústico-óptico para difractar y cambiar la frecuencia de la luz utilizando ondas de sonido. Estas ondas acústicas se obtienen aplicando una tensión a un material piezoeléctrico, por ejemplo, el cuarzo en contacto con el cristal. Estas ondas de sonido se pueden representar como esquemas de expansión y compresión con movimientos periódicos, lo que permite el cambio del índice de refracción del cristal. La figura 2.3 muestra como la luz entrante se dispersa debido a la interferencia con la onda de sonido como en el caso de una rejilla de difracción. La interacción es similar a la mezcla de cuatro ondas entre fotones y fonones. Las propiedades de la luz saliente en la salida del AOM se pueden controlar mediante cinco propiedades, tales como:

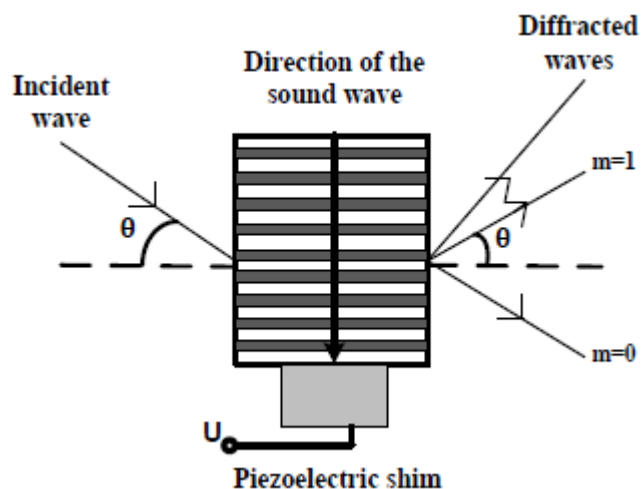


Figura 2. 3: Representación interna de un modulador acústico-óptico.

Fuente: (Bello-Jiménez, Cuadrado-Laborde, Díez, Cruz, & Andrés, 2014)

- a. **Desviación:** un rayo difractado aparece con un ángulo  $\theta$  que depende de la relación de la longitud de onda de la luz  $\lambda$  a la longitud de onda de sonido  $\Lambda$  de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\sin \theta = \left( \frac{m\lambda}{2\Lambda} \right)$$

donde,  $m = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots$  es el orden de difracción. Cabe señalar que la difracción en un cristal pequeño causa los órdenes de difracción  $m = -1, 0, 1$  y que la difracción en cascada a través del cristal con un grosor medio se crea una difracción de órdenes más alta.

- b. **Intensidad:** la cantidad de luz difractada por la onda acústica depende de la intensidad del sonido. Por lo tanto, la intensidad del sonido se puede utilizar para modular la intensidad de la luz en el rayo difractado. Típicamente, la intensidad se difracta para un orden  $m=0$  que varía entre el 15% y el 99% de la intensidad de luz de entrada. Del mismo modo, la intensidad para un pedido  $m=1$  puede variar entre 0% y 80%.
- c. **Frecuencia:** la diferencia con la difracción de Bragg es que la luz se difunde desde los planes móviles. Esto implica que la frecuencia de un rayo difractado  $f$  para un orden  $m$  se debe corregir en una cantidad proporcional para la frecuencia  $F$  de la onda de sonido de acuerdo con el efecto Doppler  $f \rightarrow f + mF$ . Este cambio de frecuencia es necesario, tal como lo exige la ley de conservación de la energía y el impulso durante el proceso de fotones y fonones. Los valores típicos de este cambio en la frecuencia pueden variar entre aproximadamente 10 MHz y 1.5 GHz. En cierto AOM, dos ondas acústicas viajan en direcciones opuestas dentro del material, formando una onda estacionaria. La difracción de la onda de transición no cambia la frecuencia de la luz difractada.
- d. **Fase:** la fase del rayo difractado se cambia por la fase de la onda de sonido. Puede ser cambiado por un valor arbitrario.
- e. **Polarización:** la onda acústica transversal colineal o las ondas longitudinales perpendiculares pueden cambiar la polarización. Las ondas acústicas inducen un cambio de fase birrefringente, como es

el caso de la célula de Pockels. Los filtros acústico-ópticos sintonizables, en particular el "dazzler" que puede generar formas de pulsos variables.

Los moduladores acústico-ópticos están encontrando muchas aplicaciones. Se utilizan para la conmutación en láseres pulsados de estado sólido. AOM se llama Q-switching, que se utiliza para bloquear el resonador láser antes de que se genere el pulso. AOM también se puede utilizar en la cavidad de los láseres de estado sólido, generando pulsos ultra cortos. Además, se puede usar un AOM como selector de pulso para reducir la frecuencia de repetición de un pulso en un tren de pulsos.

### 2.5.2. Modulador de electro-absorción.

El modo de operación de los moduladores de electro-absorción se basa en el efecto de electro-absorción. Este efecto se obtiene cuando el espectro de absorción de un semiconductor sufre cambios debido a la aplicación de un campo eléctrico. Es conocido como el efecto Franz-Keldysh en un material masivo y el efecto Stark confinado en un material cuántico. Cerca del borde de absorción, donde la derivada de la absorción con respecto a la longitud de onda es mayor, el efecto de electro-absorción es más efectivo y puede ser ampliamente explotado.

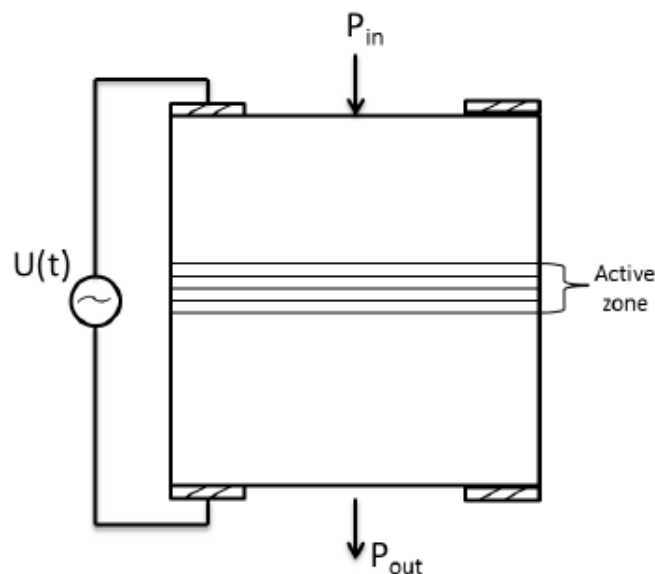


Figura 2. 4: Arquitectura de un modulador de electro-absorción (sección transversal).

Fuente: (Macho Ortiz, 2012)

El aumento del campo eléctrico provoca una traslación del borde de absorción a las altas longitudes de onda, lo que aumenta la absorción de luz que pasa a través del semiconductor. La figura 2.4 presenta la arquitectura de un modulador de electro-absorción. El modulador de electro-absorción tiene varios parámetros característicos tales como la relación de extinción estática, el factor de confinamiento, la pérdida interna y la potencia de saturación.

- a. **Relación de extinción estática:** es la relación de la intensidad de la luz en la salida del EAM cuando el componente está sujeto a un campo eléctrico (estado ON) con respecto a la intensidad cuando el componente no está sujeto a un campo eléctrico (estado OFF). La relación de extinción caracteriza el aspecto estático de la absorción de luz del modulador. Se define mediante la siguiente ecuación y se expresa en dB:

$$SER = 10 \log \left[ \frac{P_{out}(U)}{P_{out}(U = 0)} \right]$$

La figura 2.5 muestra la variación de la relación de extinción estática (SER) (dB) en función de la tensión de polarización (U).

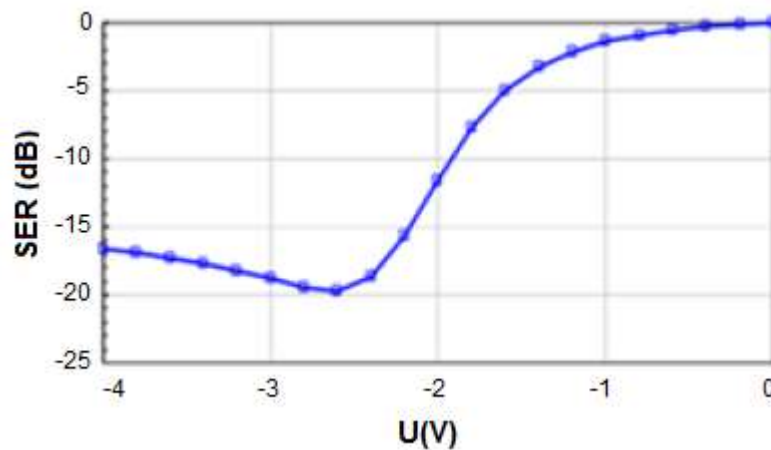


Figura 2. 5: Variación de la SER (dB) en función del voltaje de polarización (V).  
Fuente: (Macho Ortiz, 2012)

- b. **Factor de confinamiento:** se define como la relación de la fracción de la señal que se guía, con la fracción de la señal que está fuera de la guía. El número y el tamaño de las barreras y los pozos son los más importantes porque fijan el tamaño de la estructura de guía del modulador.

- c. **Pérdida interna:** incluye varios tipos de pérdidas, como las pérdidas por absorción entre bandas, las pérdidas por propagación y las pérdidas por acoplamiento. Las pérdidas de absorción entre bandas dependen de la posición de la longitud de onda operativa con respecto a la línea del pico de excitón. La mayor contribución a la pérdida del modulador se debe a la pérdida dentro de la banda porque los moduladores operan cerca del borde de la banda de absorción. Las pérdidas de propagación se deben a la dispersión de la luz en las interfaces. Mientras que las pérdidas de acoplamiento resultan de la diferencia del tamaño de modo entre la fibra monomodo (*Single Mode Fiber, SMF*) y la guía de onda, este problema se reduce con el uso de un derivador.
- d. **La potencia de saturación:** es la potencia óptica en la entrada del modulador cuando la absorción del modulador es igual a 3 dB. En este estado de saturación de absorción, el modulador se encuentra en el régimen no lineal.

El EAM se puede integrar con un diodo láser para crear fuentes ópticas compactas con un ancho de banda de alta modulación. Está fabricado con los mismos materiales utilizados para el láser. Sin embargo, la estructura integrada debe estar aislada eléctricamente del dispositivo láser para evitar los parásitos.

### **2.5.3. Modulador electro-óptico.**

La aplicación de un campo eléctrico en ciertos materiales modifica el índice de refracción de este material. El Modulador Mach-Zehnder (MZM) utiliza este principio físico. Cuando la variación del índice de refracción es proporcional al campo aplicado, este fenómeno se denomina efecto electroóptico o efecto Pockels. Cuando la variación del índice de refracción es proporcional al cuadrado del campo aplicado, este fenómeno se llama efecto Kerr.

El efecto Pockels se utiliza para aplicaciones en telecomunicaciones. Este efecto electro-óptico depende de las orientaciones del campo eléctrico y

de la polarización de la luz con respecto a los ejes cristalinos del material. Además, se caracteriza por un tensor electro-óptico ( $r_{ij}$ ). El índice total se define por la siguiente ecuación:

$$n(E) = n \left( 1 + \frac{\chi_{NL}}{2n^2} \right) = n + \frac{d}{n} E + 2 \frac{\chi^3}{n} E^2 + \dots$$

donde  $n$  es el índice lineal,  $\chi_{NL}$  es la susceptibilidad dieléctrica no lineal,  $\chi^3$  es el coeficiente no lineal de tercer orden. La impermeabilidad eléctrica se expresa mediante:

$$\eta = \frac{\epsilon_0}{\epsilon} = \frac{1}{n^2}$$

donde  $\epsilon_0$  es la permitividad del vacío y  $\epsilon$  es la constante dieléctrica del ambiente.

El MZM es el modulador más utilizado para la modulación óptica externa. Fue propuesto por Ernst Mach y Ludwig Zehnder en 1891. El MZM está compuesto por dos acopladores de 3 dB y dos guías de onda de interconexión con onda de igual longitud para crear un Interferómetro de retardo Mach-Zehnder (*Mach Zehnder Delay-Interferometer, MZDI*), tal como se muestra en la figura 2.6.

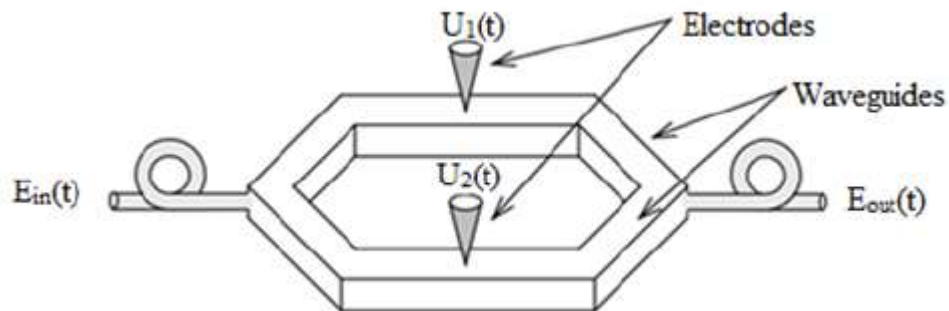


Figura 2. 6: Interferómetro de MZM.  
Fuente: (Macho Ortiz, 2012)

Las dos guías de onda de la MZM se fabrican normalmente a partir de un material electroóptico como el niobato de litio ( $\text{LiNbO}_3$ ). Además, el arseniuro de galio ( $\text{GaAs}$ ) y el fosfuro de indio ( $\text{InP}$ ) se utilizan en la fabricación del MZM. En un material electro-óptico, el índice de refracción depende del

campo eléctrico aplicado. Por lo tanto, una señal eléctrica puede cambiar el índice de refracción del cristal que modifica la velocidad de la luz que se propaga en la guía de onda.

Al elegir el nivel apropiado de voltaje eléctrico, la combinación de las señales de las dos guías de onda a través del segundo acoplador de 3 dB puede ser constructiva o destructiva. La diferencia de voltaje, que permite pasar de un mínimo (interferencia destructiva) a un máximo (interferencia constructiva), es conocida por el voltaje del modulador ( $V_{\pi}$ ).



## **Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico.**

### **3.1. Introducción del primer escenario de simulación.**

En las redes de comunicación, junto con la comunicación de datos, la necesidad de un gran ancho de banda en la red troncal de Internet con la transferencia de tráfico de audio y video y la introducción de nuevas aplicaciones en nuestras vidas. Este requisito de alta capacidad se cumple con la tecnología de fibra óptica en constante desarrollo.

Los sistemas de comunicación ópticos, que se utilizan en la transmisión de guías de ondas ópticas y se usan ampliamente en la comunicación de datos, sistemas de televisión por cable, redes telefónicas, aplicaciones médicas y transporte, son los sistemas de comunicación más preferidos.

Para mejorar los sistemas de comunicación óptica y garantizar una transmisión más rápida, se implementan aplicaciones para mejorar el rendimiento. Los estudios sobre este tema se centran en el análisis del sistema y los elementos del circuito óptico utilizados en los sistemas de comunicación óptica.

En este componente práctico, se analizaron los filtros ópticos utilizados en los sistemas de comunicación óptica. En el Capítulo 2 del estudio, se explicó el mecanismo operativo de los sistemas de comunicación óptica y se diseñó un sistema de comunicación óptica de referencia con una frecuencia de trabajo de 193.1 THz y se examinan tanto el espectro de la señal de entrada y la eficiencia del sistema.

### **3.2. Escenario 1: simulación del sistema de comunicación óptica.**

Los sistemas de comunicación de fibra óptica, que proporcionan comunicaciones de alta ganancia y bajo ruido en largas distancias, se han vuelto cada vez más importantes y la red de comunicación óptica se está expandiendo rápidamente en todo el mundo. Los cables de fibra óptica, que son un medio de transmisión de fibra de vidrio o plástico a través de los cuales se puede guiar la luz, son fundamentales para las tecnologías de

comunicación porque permiten una transmisión más rápida de datos en largas distancias según sus alternativas.

Los sistemas de comunicación óptica se utilizan para transmitir señales eléctricas con fibra óptica. La figura 3.1 muestra el sistema de comunicación óptica en el que incluye un bloque transmisor, un bloque receptor y una fibra óptica como medio de comunicación.

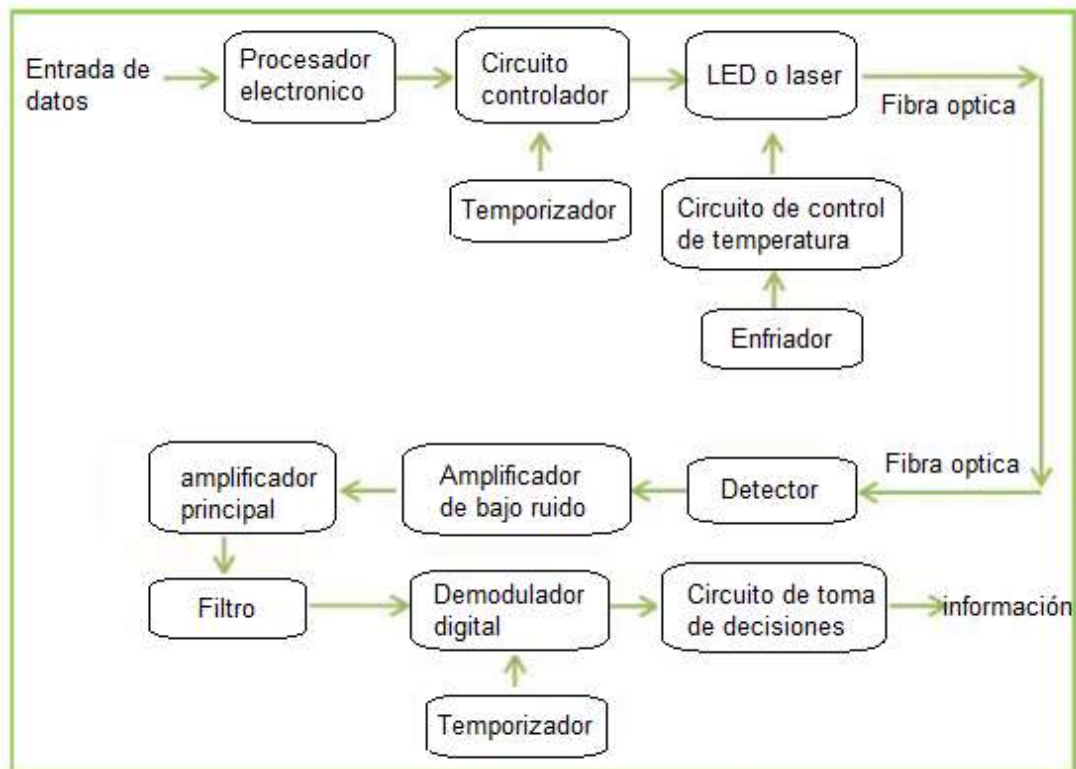


Figura 3. 1: Sistema de comunicación óptica.  
Elaborado por: Autor.

La unidad transmisora consta de un LED o láser, que es compatible con un preprocesador electrónico, un circuito de control por temporizador, circuitos de control de refrigerante y temperatura. La unidad receptora incluye un fotodetector, un amplificador de bajo ruido, un amplificador principal, un filtro, un demodulador digital controlado por un temporizador y un circuito de toma de decisiones.

En este estudio, se instaló el programa de simulación OptiSystem 7.0 y el sistema de comunicación óptica de referencia se muestra en la figura 3.2 y se va a examinar los efectos de los filtros ópticos en el sistema propuesto. Los

resultados del análisis del sistema de comunicación óptica de referencia que utiliza el programa de simulación OptiSystem 7.0 se muestran en las figuras 3.3 y 3.4.

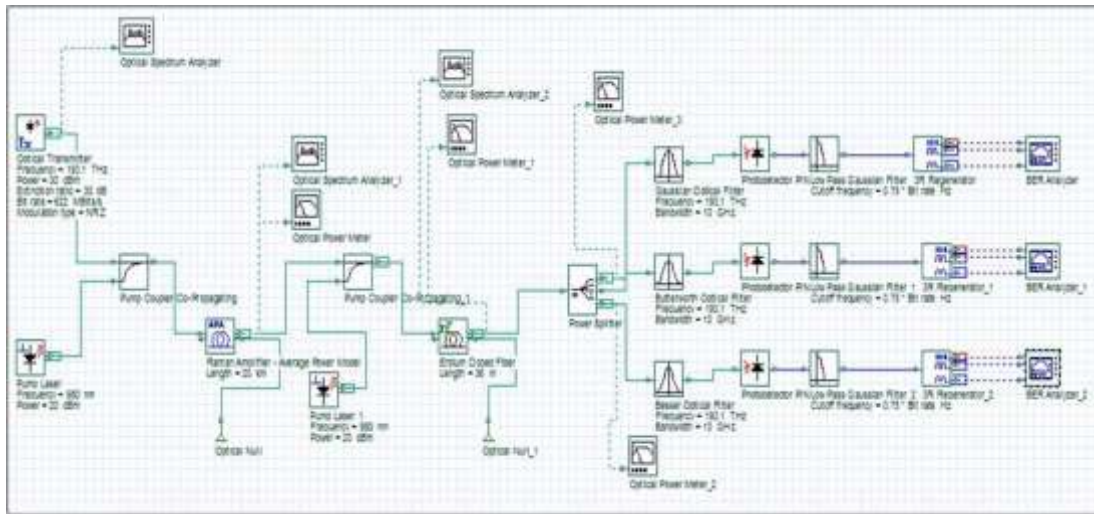


Figura 3. 2: Sistema de comunicación óptica de referencia.  
Elaborado por: Autor.

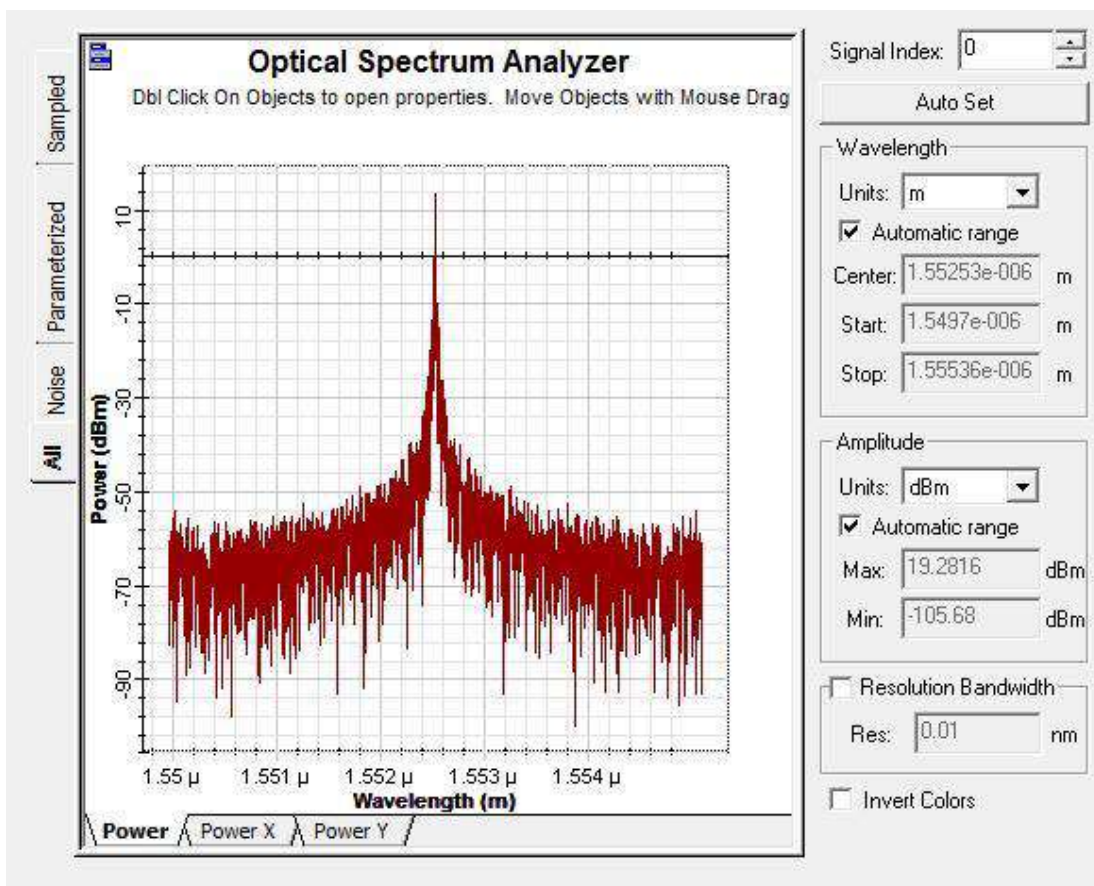


Figura 3. 3: Análisis del espectro óptico de la señal de entrada al sistema de referencia.  
Elaborado por: Autor.

La figura 3.3 muestra el análisis del espectro óptico de la fuente de señal continua a una frecuencia de 193.1 THz y 30 dBm en el bloque transmisor del sistema de referencia. A través del analizador de la tasa de error de bits (*Bits Error Rate, BER*) en la salida del sistema de referencia, del diagrama de ojo del sistema, de la tasa de errores de bits y del factor de calidad se examina el sistema óptico propuesto.

La figura 3.4 muestra que el diagrama BER del sistema es simétrico. En este estudio, la ganancia y la eficiencia del sistema (factor de calidad) se analizaron realizando mediciones en el sistema de referencia, los estudios se realizaron para hacer del diagrama del ojo más simétrico y se examinaron los efectos de los filtros ópticos en el sistema de comunicación óptica.

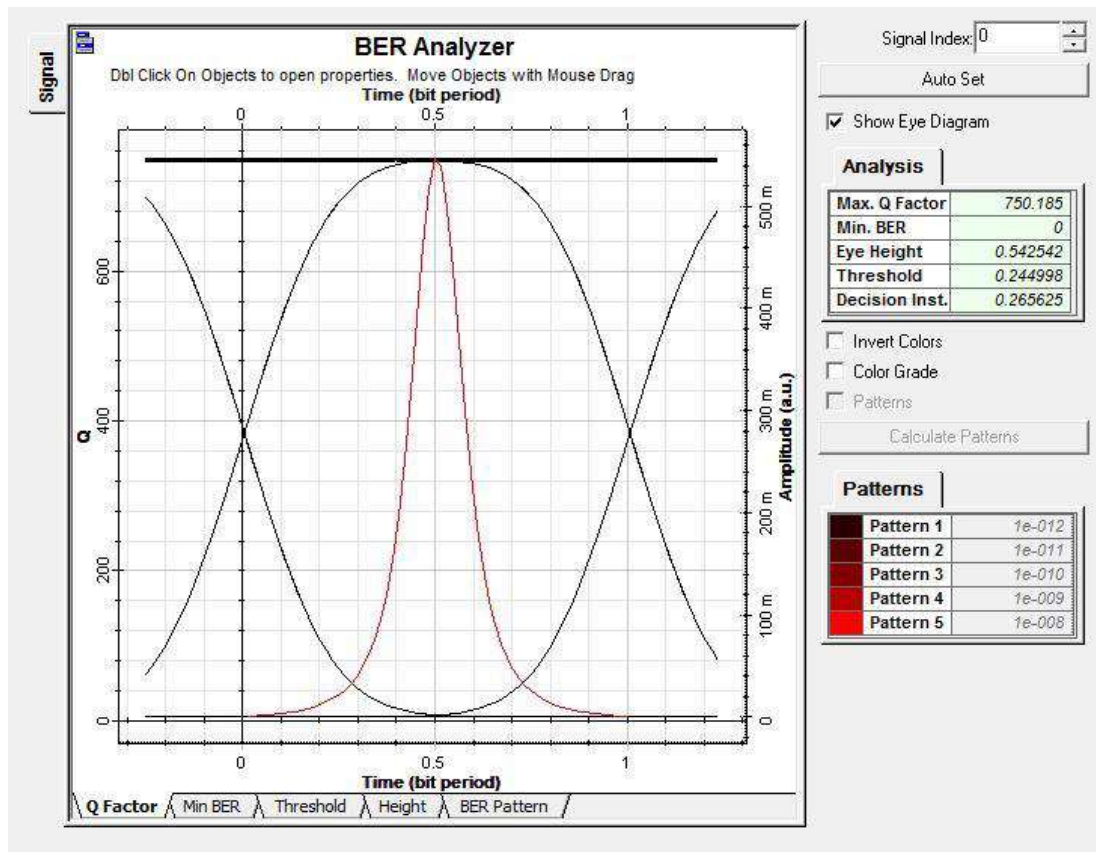


Figura 3. 4: Análisis BER del sistema de referencia.

Elaborado por: Autor.

### 3.3. Análisis de filtros ópticos para el escenario 1.

Los filtros ópticos absorben ciertas frecuencias de los filtros eléctricos o absorben o reflejan haces de luz de longitud de onda específicos. Por ejemplo, los rayos que se debilitan por la distancia se depositan en el detector con una

lente. Las lentes también acumulan luces no deseadas del entorno mientras recogen las luces en el detector. Los rayos no deseados interfieren con la señal óptica entrante. Esta condición no deseada se puede prevenir con un filtro ubicado entre la lente y el detector.

En esta sección, se evaluaron los efectos del filtro óptico gaussiano, el filtro óptico Butterworth y el filtro óptico Bessel en el sistema con divisor de potencia 1x3 en el sistema de referencia. Las características de los filtros ópticos se muestran en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7, respectivamente, para respuestas de amplitud y pasó a paso. Los tres filtros ópticos utilizados operan con una banda de 10 GHz en el sistema creado con divisor de potencia 1x3 y diferentes tipos de filtros ópticos utilizados en cada caso.

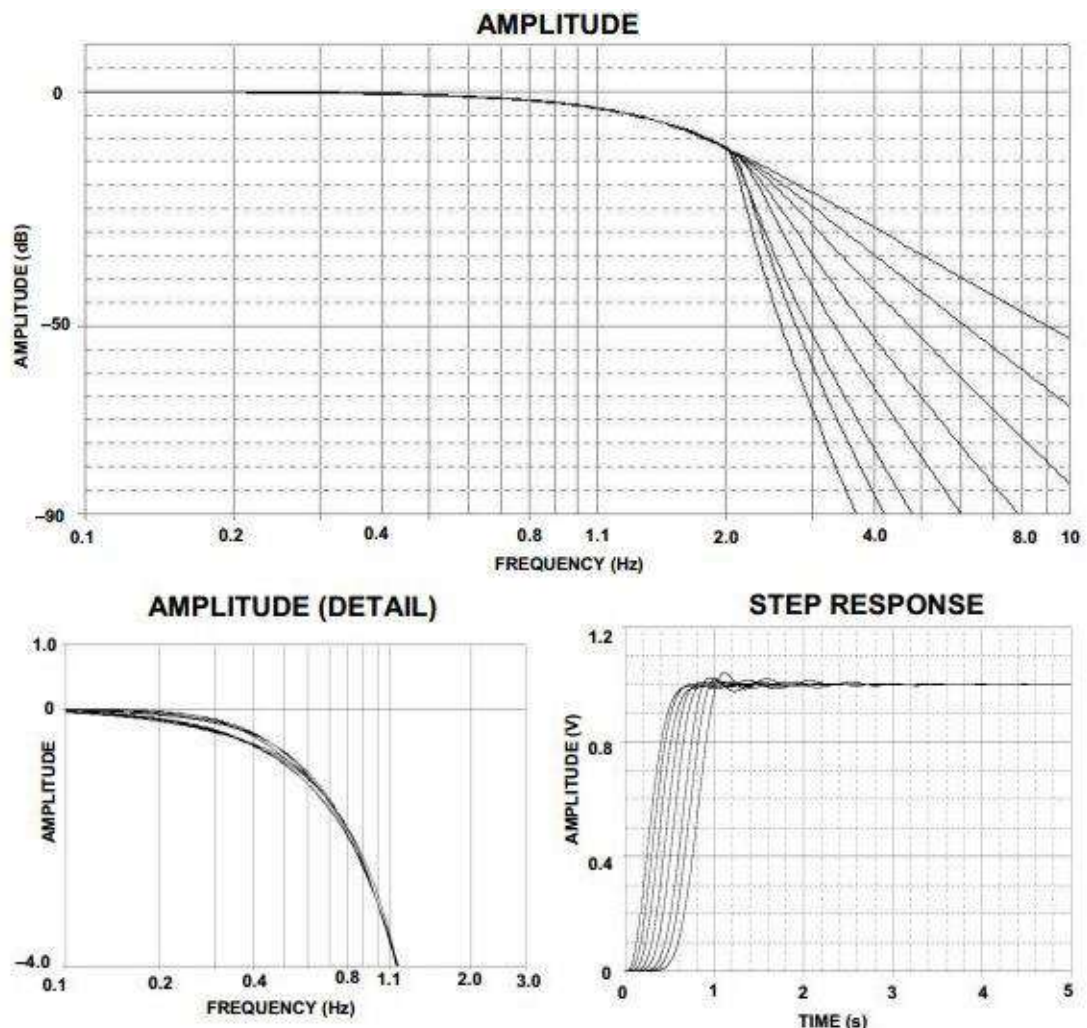


Figura 3. 5: Características del filtro óptico gaussiano.  
Elaborado por: Autor.



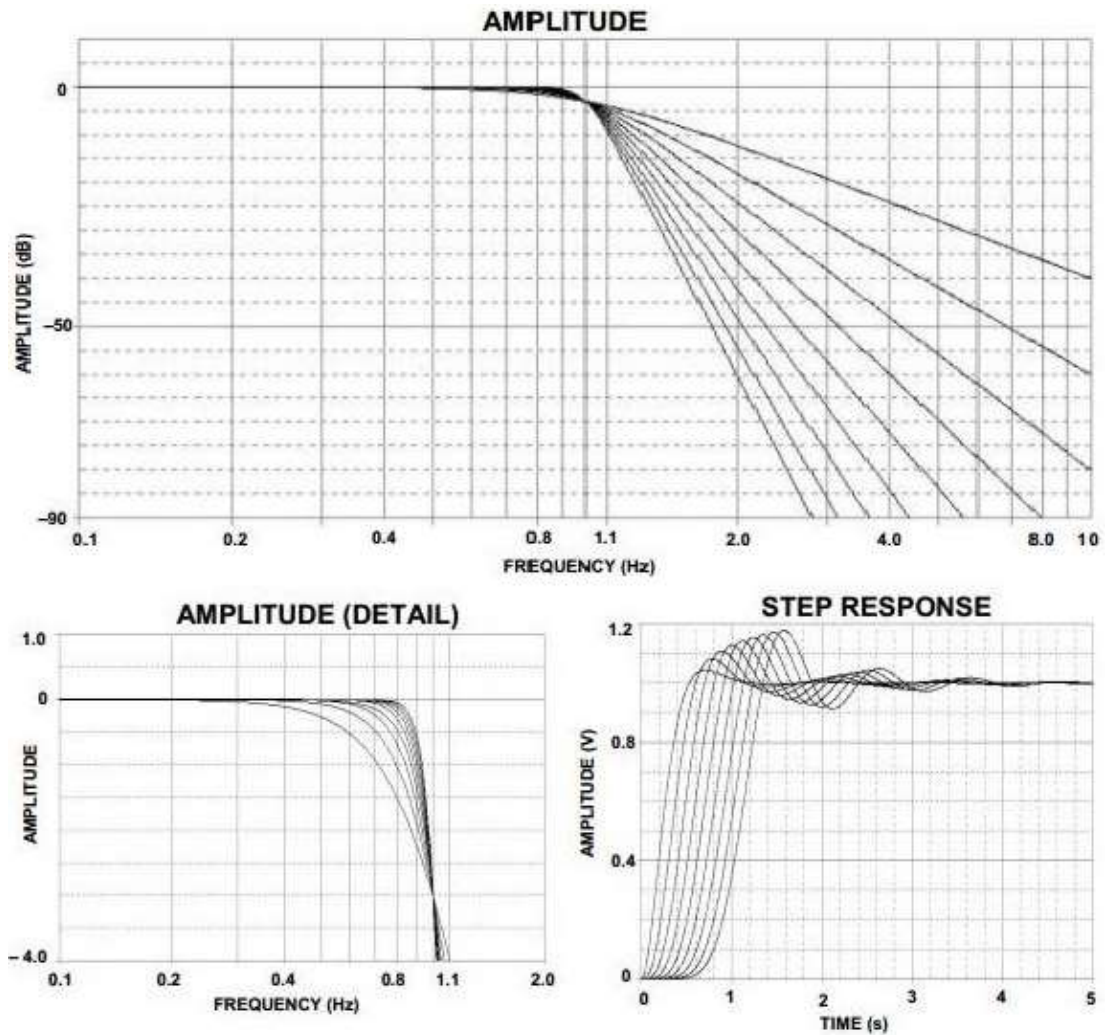


Figura 3. 6: Características del filtro óptico Butterworth.  
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.8, comparando la potencia en la salida del amplificador de fibra dopada con erbio (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA) con cada filtro óptico, la potencia disponible en el sistema antes de que el separador de potencia se divida en tres partes iguales después del separador de potencia y cada caso (referente a los tres filtros) tiene una cantidad igual de potencia.

Los análisis de BER obtenidos en las salidas de los filtros ópticos de potencia de 18.414 dBm se muestran en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11, respectivamente. Los factores de calidad para el filtro óptico gaussiano, el filtro óptico Butterworth y el filtro óptico Bessel con un ancho de banda de 10 GHz son 34.10, 28.65 y 28.72 respectivamente. Evidentemente la estructura más

simétrica del diagrama de ojo en los analizadores BER pertenecía al filtro óptico gaussiano.

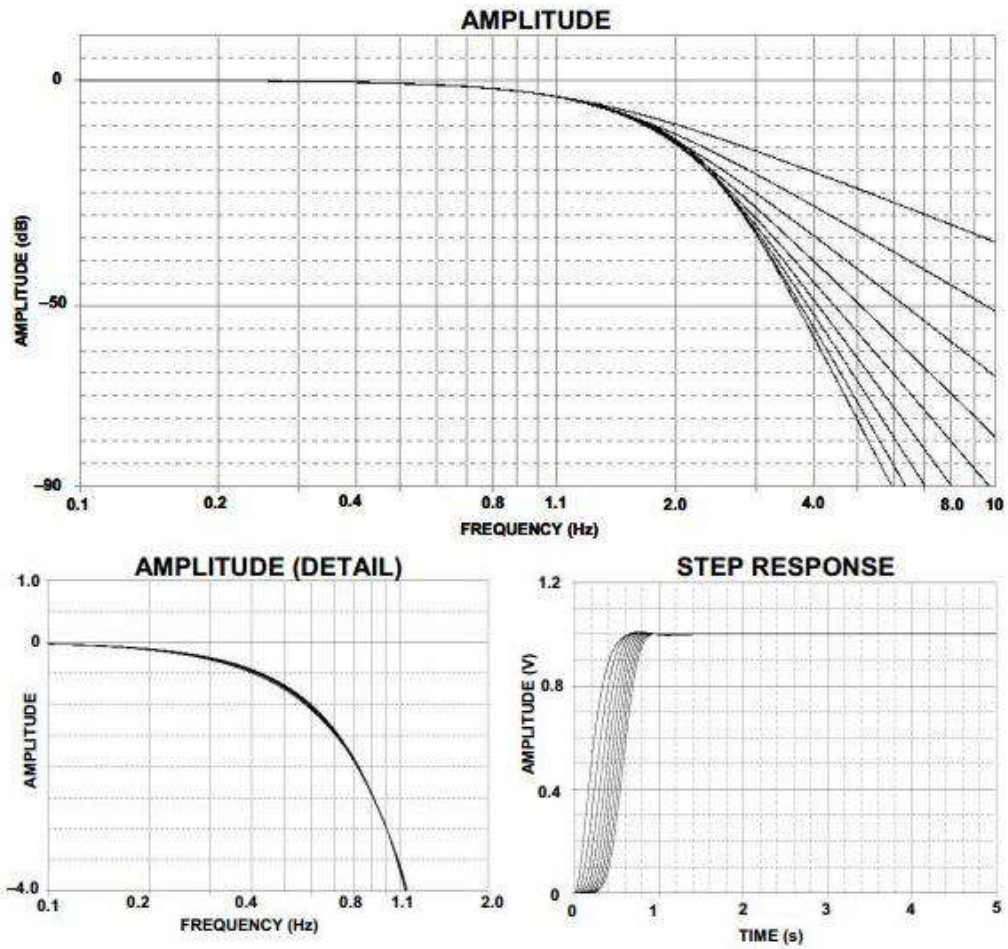


Figura 3. 7: Característica del filtro óptico Bessel.  
Elaborado por: Autor.



Figura 3. 8: Comparaciones de potencia antes y después de divisor de potencia.  
Elaborado por: Autor.

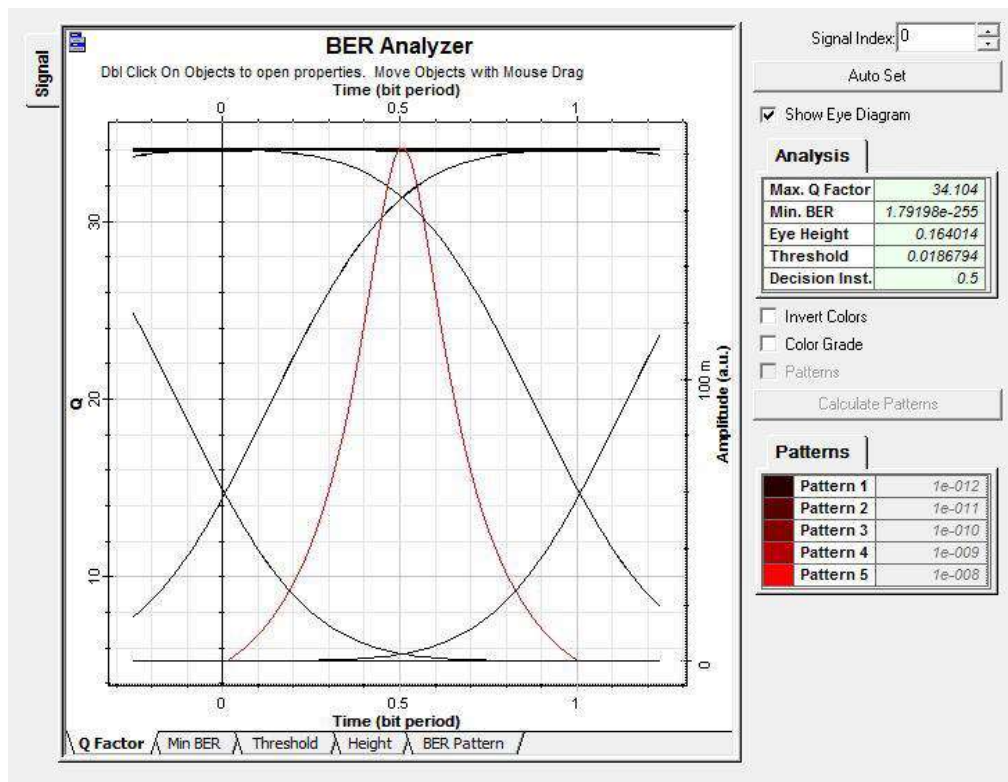


Figura 3. 9: Análisis BER del filtro óptico gaussiano (BW=10 GHz).  
Elaborado por: Autor.

En el siguiente paso, los anchos de banda de los filtros aumentaron de 10 GHz a 100 GHz, y los factores de calidad para los tres filtros ópticos en cuestión se obtuvieron como 873.48, 816.32 y 807.27, respectivamente. Para las figuras 3.9 a 3.14 en comparación con el filtro óptico gaussiano, el filtro óptico de Bessel y el filtro óptico de Butterworth para aumentar 10 veces el ancho de banda, se ha demostrado que el factor de calidad para todas las salidas de cada filtro óptico aumenta y también se incrementan las ganancias del sistema. Se ha encontrado que el resultado más eficiente entre los tres filtros ópticos se obtiene de la salida del filtro óptico gaussiano, similar a los resultados del análisis realizado antes de que aumentara el ancho de banda.

En el análisis, se observó que la razón principal por la que el filtro óptico gaussiano proporciona resultados más eficientes en comparación con otros filtros ópticos es que la característica del filtro óptico gaussiano es más similar al ideal que otros filtros y no existen fluctuaciones, como en la característica del filtro óptico Butterworth.



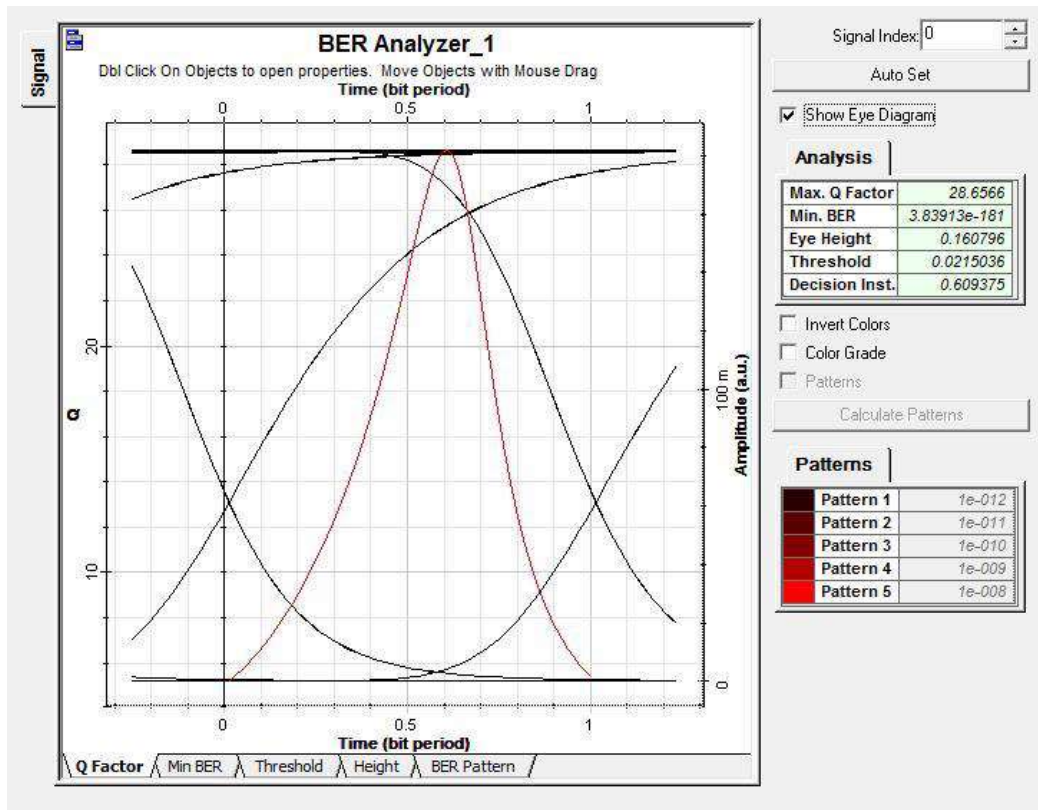


Figura 3. 10: Análisis BER del filtro óptico Butterworth (BW=10 GHz).  
 Elaborado por: Autor.

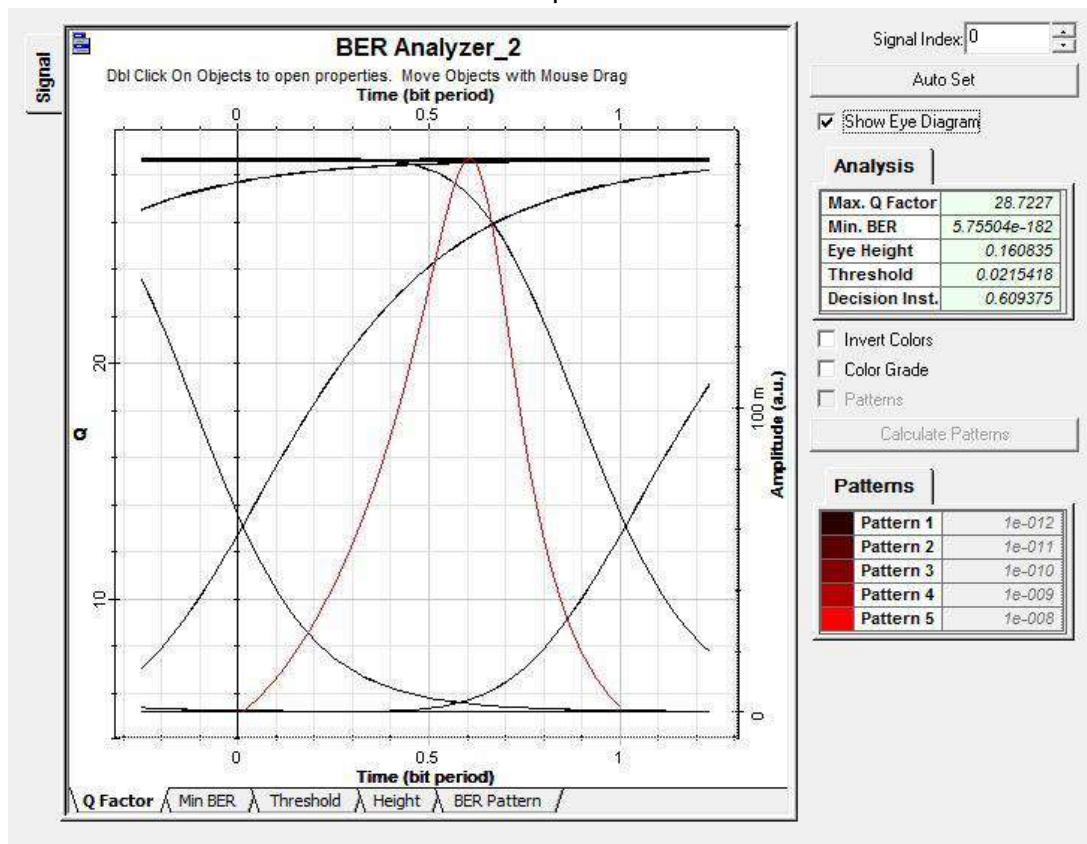


Figura 3. 11: Análisis BER del filtro óptico Bessel (BW=10 GHz).  
 Elaborado por: Autor.

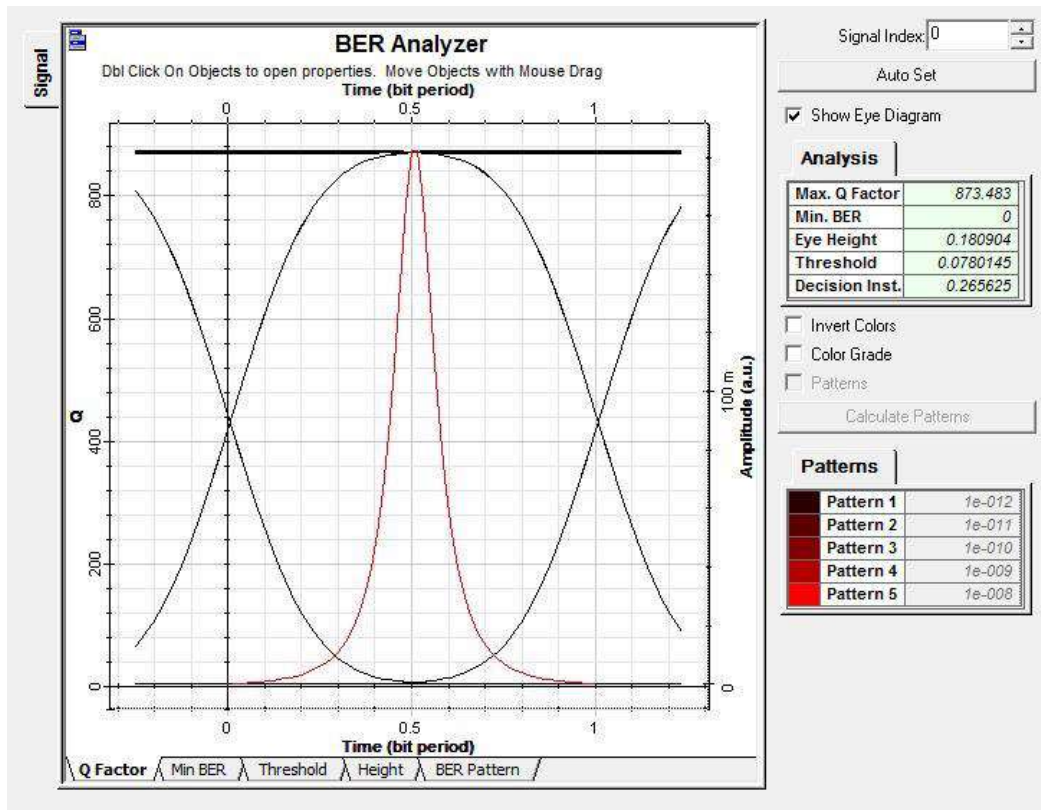


Figura 3. 12: Análisis BER del filtro óptico gaussiano (BW=100 GHz).  
Elaborado por: Autor.

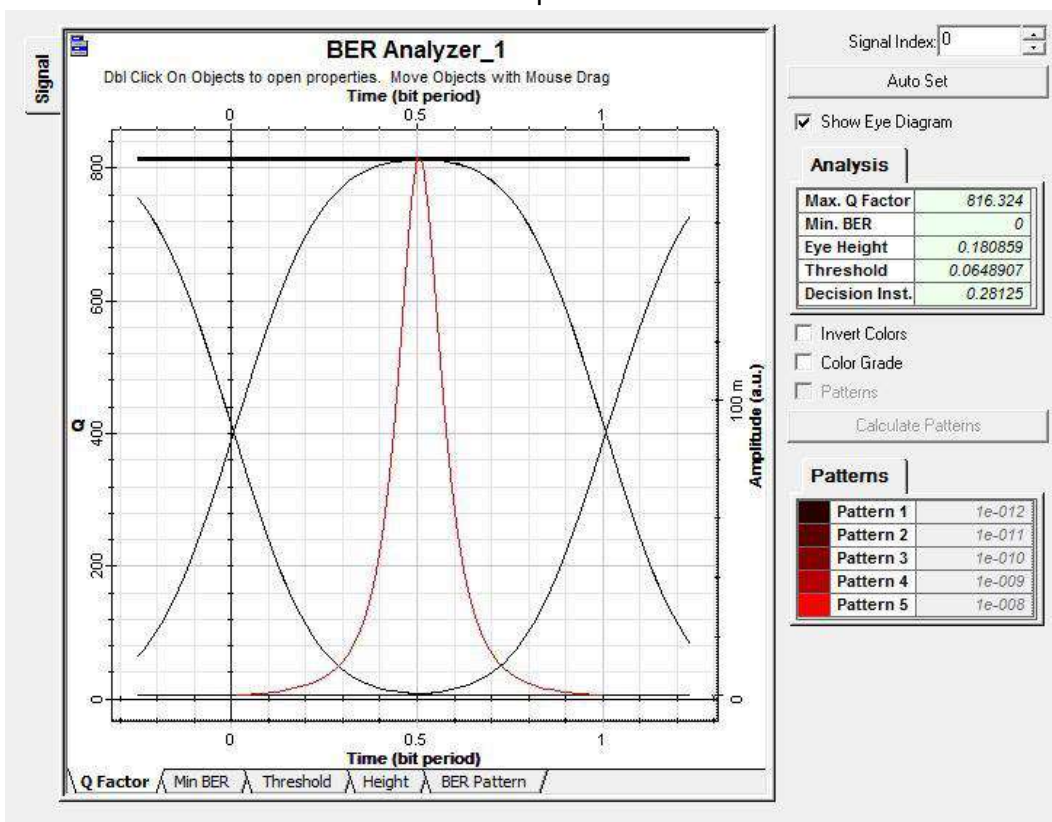


Figura 3. 13: Análisis BER del filtro óptico Butterworth (BW=100 GHz).  
Elaborado por: Autor

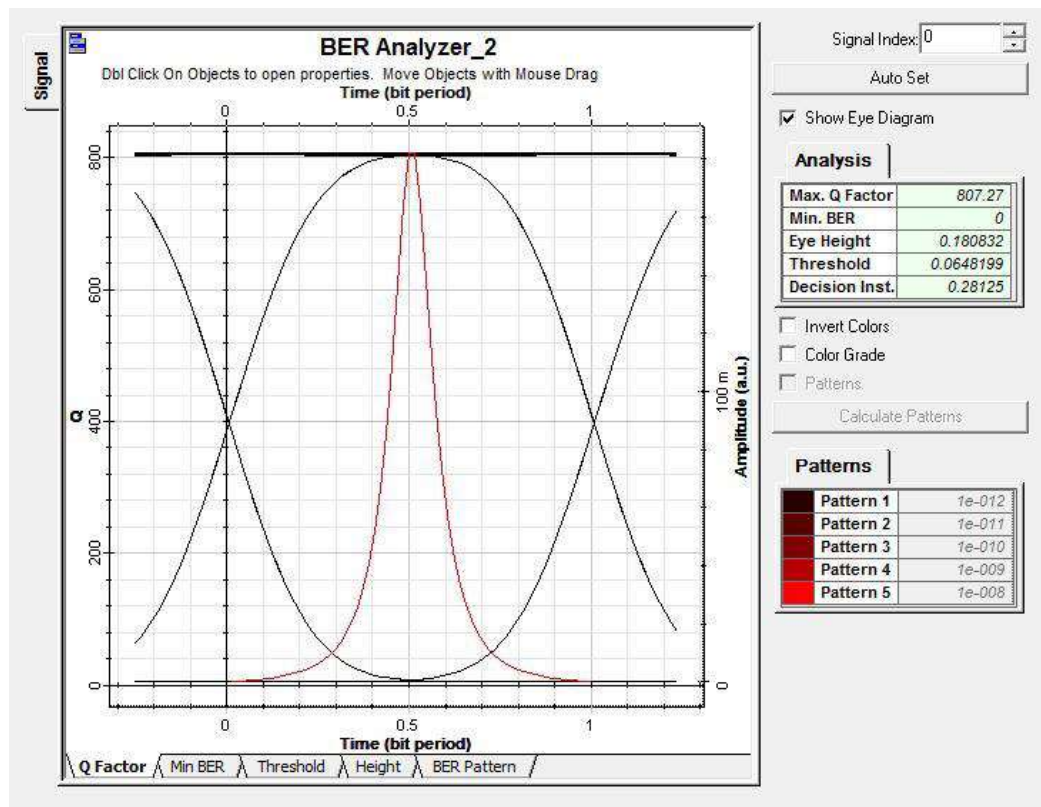


Figura 3. 14: Análisis BER del filtro óptico Bessel (BW=100 GHz).  
Elaborado por: Autor.

### 3.4. Discusión de resultados del escenario 1.

En este estudio, se analizan los filtros ópticos que son elementos del circuito óptico utilizados en los sistemas de comunicación óptica. Los efectos de los filtros ópticos en el sistema se han investigado en el programa de simulación OptiSystem 7.0. Se ha encontrado que el filtro óptico gaussiano, tiene el efecto más positivo en la eficiencia y la rentabilidad. Mientras que las características del filtro óptico de Bessel y Butterworth con anchos de banda estrecho y ancho, se entiende que el filtro gaussiano tiene un carácter más cercano al ideal que los otros dos filtros.

En el análisis, se observa que los elementos del circuito óptico que se utilizaron en los sistemas de comunicación óptica son importantes para la alta calidad de la transmisión de datos. Por esta razón, se concluye que los elementos del circuito óptico deben seleccionarse de acuerdo con el propósito en el diseño y proyección de los sistemas de comunicación óptica.

### **3.5. Introducción del segundo escenario de simulación.**

Junto con la tecnología en desarrollo, la necesidad de velocidad de comunicación que aumenta día a día. En la actualidad, la fibra óptica, es el sistema de comunicación más rápido y eficiente, que funciona según el principio de transmisión de luz a través de una cuerda de vidrio altamente sensible. La razón más importante para elegir los cables fabricados de esta manera es que no se ven afectados por los lugares de áreas densas, condiciones ambientales pesadas, húmedas y pegajosas y parásitos del campo eléctrico siempre proporcionan una conexión equilibrada.

Los cables de fibra óptica conducen la transmisión a la velocidad de la luz, en otras palabras, a una velocidad de 300.000 km/s o  $3 \times 10^8$  m/s; por lo tanto, las fibras ópticas están diseñadas para la transferencia de datos en largas distancias. Los sistemas de comunicación óptica se desarrollan para el desarrollo de sistemas de fibra óptica y nuevos sistemas que pueden satisfacer las necesidades actuales.

En este segundo escenario, se diseñó un sistema de comunicación óptica de referencia con una frecuencia operativa de 193.1 THz para analizar las tecnologías de fibra óptica en desarrollo. Los análisis de rendimiento de los moduladores ópticos utilizados en el sistema se realizaron a través de este sistema de comunicación óptica y se examinaron los cambios en la eficiencia y se obtuvieron resultados relacionados.

La señal de entrada del sistema de referencia que se muestra en la figura 3.15 fue observada por el analizador de espectro óptico y la señal de salida fue analizada con el analizador BER en base al diagrama del ojo, la tasa de error de bits y el factor de calidad del sistema.



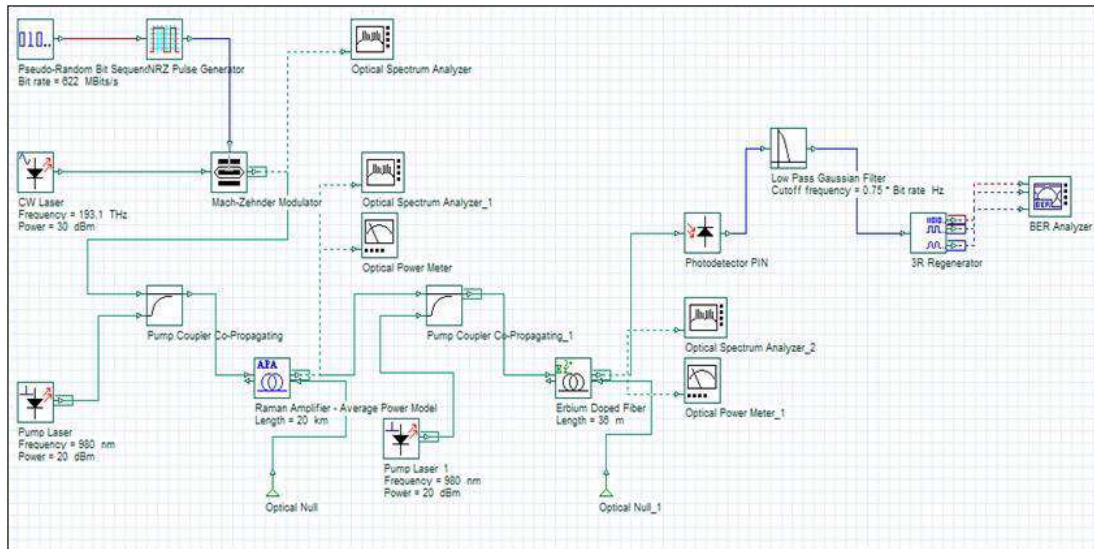


Figura 3. 15: Sistema de comunicación óptica de referencia.  
Elaborado por: Autor.

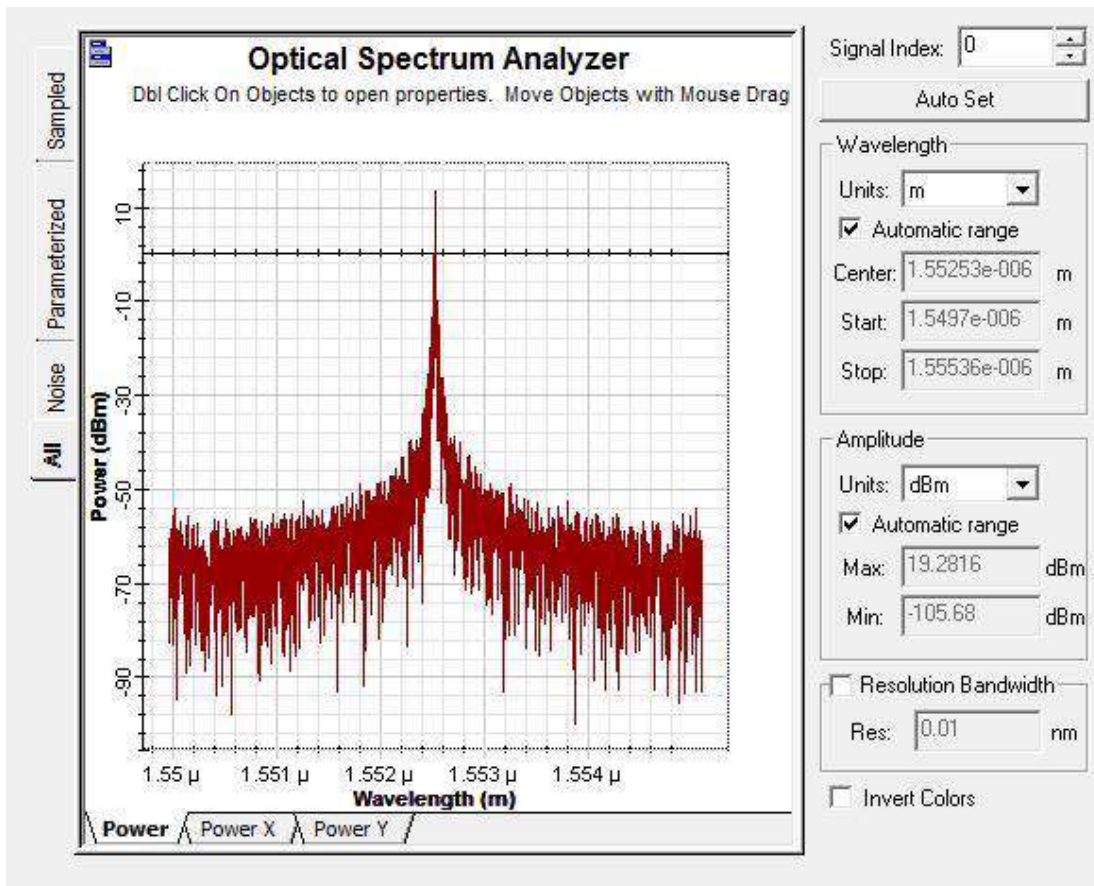


Figura 3. 16: Análisis del espectro óptico de la señal de entrada al sistema de referencia.

Elaborado por: Autor.

Los resultados del análisis realizado en el simulador OptiSystem se muestran en las figuras 3.16 y 3.17. Aunque el diagrama BER del sistema que

se muestra en la figura 3.17 se considera simétrico, aunque para este segundo escenario, se realizaron cambios en el modulador del sistema de referencia y se tuvo en cuenta el factor de calidad y se investigó los efectos de los moduladores ópticos en el sistema de comunicación óptica propuesto.

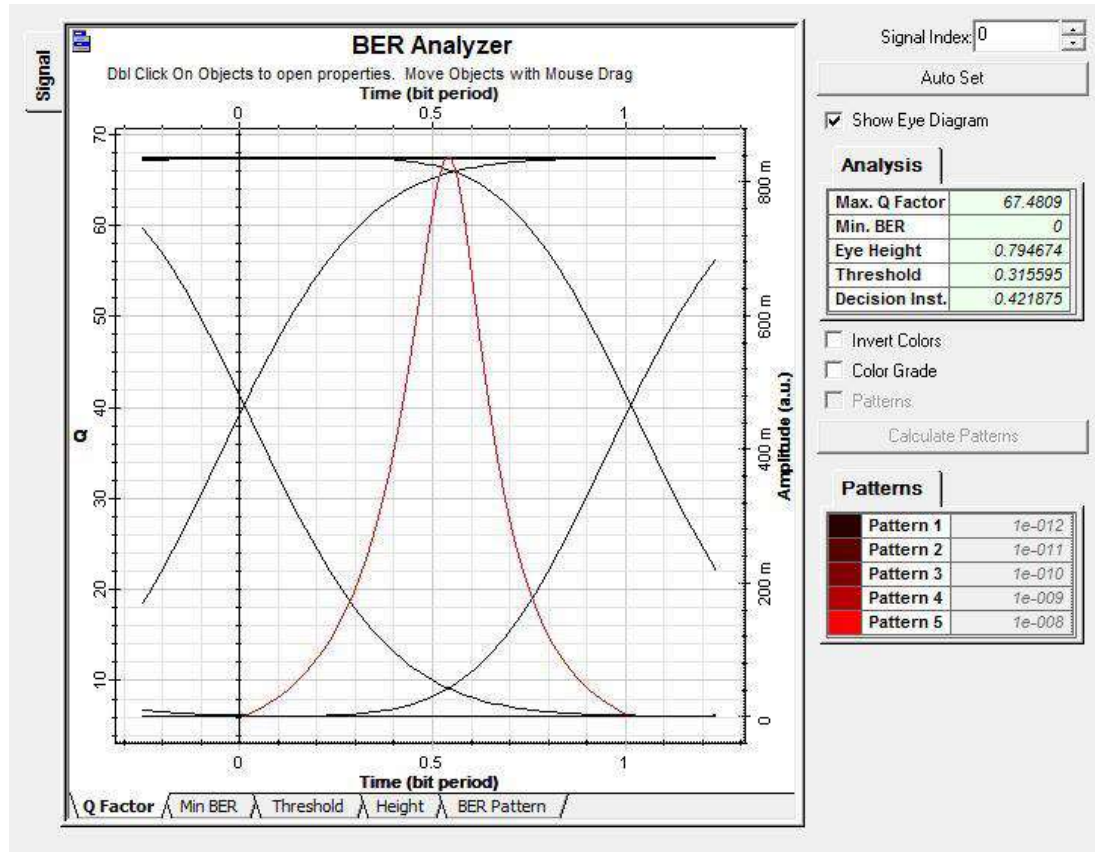


Figura 3. 17: Análisis BER del sistema de referencia.

Elaborado por: Autor.

### 3.6. Análisis de moduladores ópticos para el escenario 2.

Los moduladores ópticos utilizados en el sistema de comunicación óptica en la señal de entrada eléctrica en el bloque de transmisión fueron la modulación de fase, amplitud y frecuencia. Las señales se modulan mediante modalidades alternativas, que incluyen modulación directa y modulación externa o modulación analógica y modulación digital según el tipo de fuente utilizado para el escenario 2.

En esta sección, se comparan el modulador externo Mach-Zehnder utilizado en el sistema de referencia mediante un modulador de acción directa. La figura 3.18 muestra el cambio de modulador realizado en el sistema de

referencia. Es decir, que el modulador Mach-Zehnder en el sistema de referencia se eliminó y se reemplazó con un elemento de modulación directa.

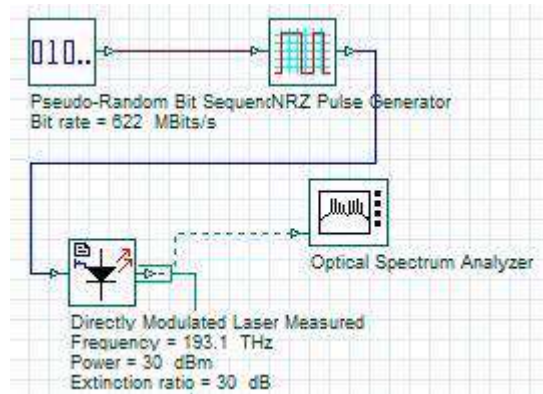


Figura 3. 18: Bloque transmisor generado por la modulación directa.  
Elaborado por: Autor.

La figura 3.19 y la figura 3.20 muestran los resultados del análisis BER con el espectro óptico de señal de entrada obtenido por el elemento de modulación directa con la misma potencia y factor ER (relación de extinción) en el sistema de referencia que el modulador Mach-Zehnder.

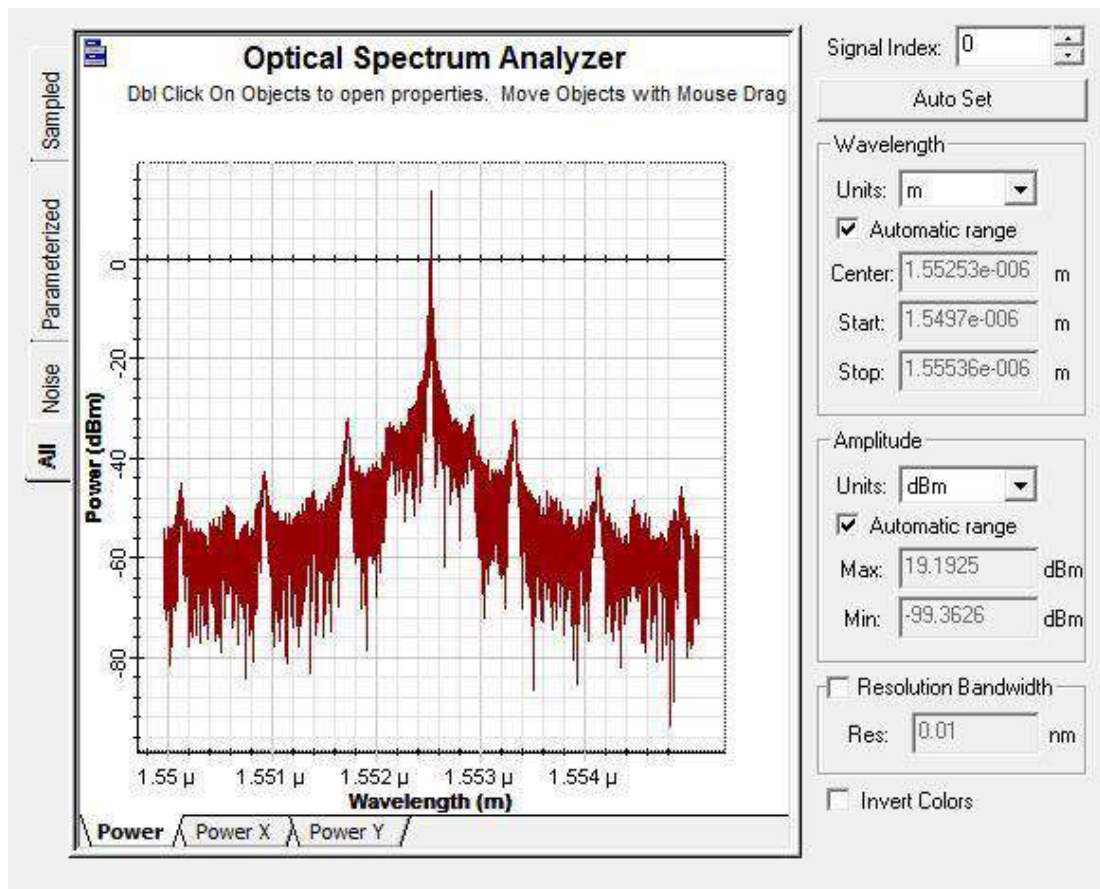


Figura 3. 19: Análisis de la señal óptica del sistema de modulación directa.  
Elaborado por: Autor.



La figura 3.19 muestra que el análisis del espectro óptico de la señal de entrada tiene una estructura más variable después del cambio del modulador en el sistema de referencia. En el análisis de espectro óptico, aunque se obtienen resultados similares a los resultados del sistema de referencia en general, los efectos de la modulación directa en el circuito se reflejan en el diagrama BER. Como resultado del análisis, el factor de calidad obtenido en la salida del sistema de referencia fue 67.4809 y el valor de 40.23.

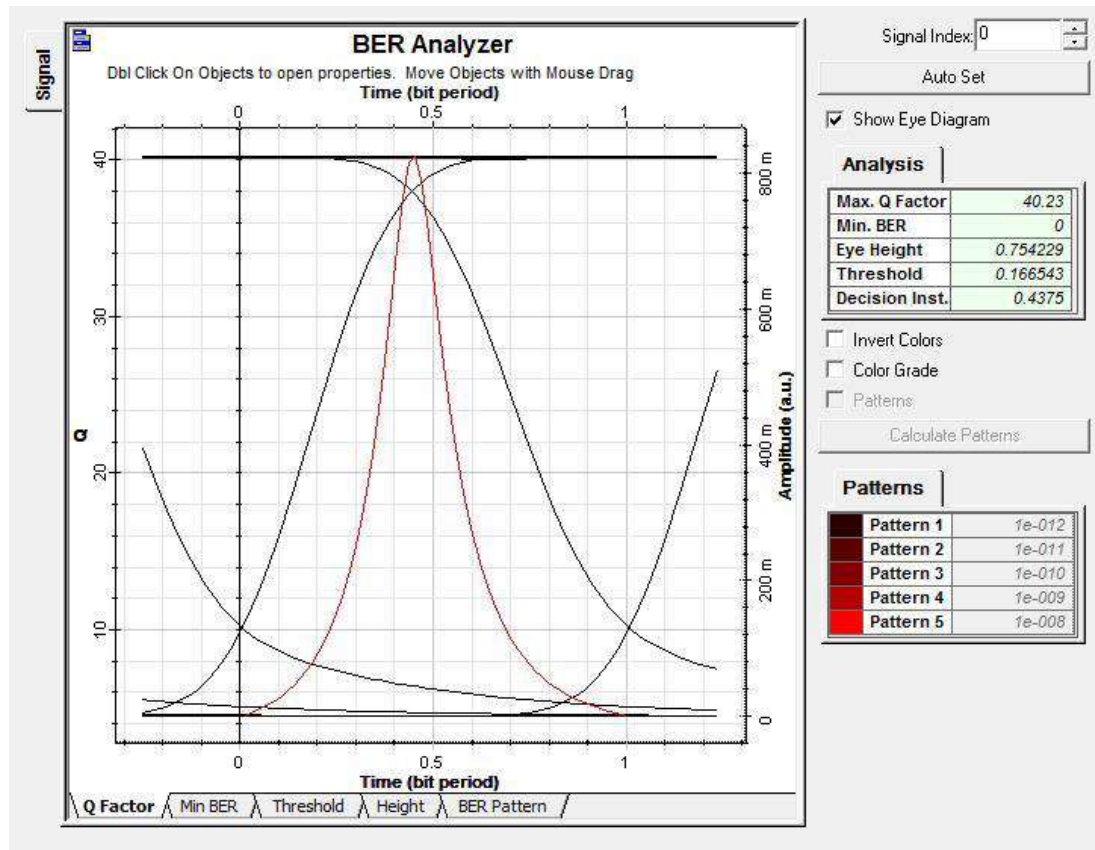


Figura 3. 20: Análisis BER del sistema de modulación directa.  
Elaborado por: Autor.

Además, en la simetría del diagrama del ojo en la figura 3.20, se observó distorsión cuando se comparó con la simetría del diagrama del ojo en el sistema de referencia. Esto muestra que un elemento de modulación directa utilizado en lugar del modulador Mach-Zehnder, un modulador externo del sistema, reduce la eficiencia del circuito. Otro modulador que funciona con un sistema de modulación externo como la modulación Mach-Zehnder, son los EML (moduladores de electro absorción), que consiste en una unión p-n y una región semiconductor activa entre las uniones. El voltaje aplicado al modulador está entre 1.5 V y 4 V para el estado de encendido y apagado. El



factor ER varía dinámicamente de 11 dB a 13 dB debido a la modulación del índice de refracción, y por lo tanto el chirp (chirrido), no solo a la característica de absorbanza del sitio activo en el modulador. El chirrido formado es mucho menor que el chirrido de los láseres de modulación directa.

En la figura 3.21, se forma un nuevo bloque transmisor al reemplazar el modulador Mach-Zehnder en el sistema de referencia con un EML. La figura 3.22 y la figura 3.23 muestran los resultados del análisis BER con el espectro óptico de la señal de entrada obtenida con EML que tiene la misma potencia y factor ER en el sistema de referencia que el modulador Mach-Zehnder.

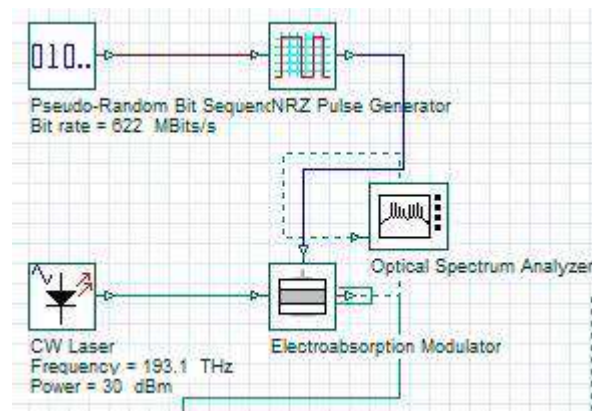


Figura 3. 21: El bloque transmisor creado con EML.  
Elaborado por: Autor.

Como resultado de los análisis BER en las figuras 3.20 y 3.23, los factores de calidad obtenidos fueron 40.23 y 29.60, respectivamente, es decir, el factor de calidad de 68.48 obtenido en el sistema de referencia disminuyó en ambos casos. Además, como se ve en los gráficos del análisis de BER, los diagramas de ojo también pierden la estructura simétrica y, especialmente, el sistema de modulación directa que se utiliza en esta diferencia se observó claramente.

Esto significa que cualquier modulador externo u otro elemento de modulación directa usado fuera del modulador Mach-Zehnder del sistema reducen la eficiencia del circuito. Por lo tanto, en los sistemas de comunicación óptica, el tipo de modulador más comúnmente usado con la señal de entrada es el modulador Mach-Zehnder.

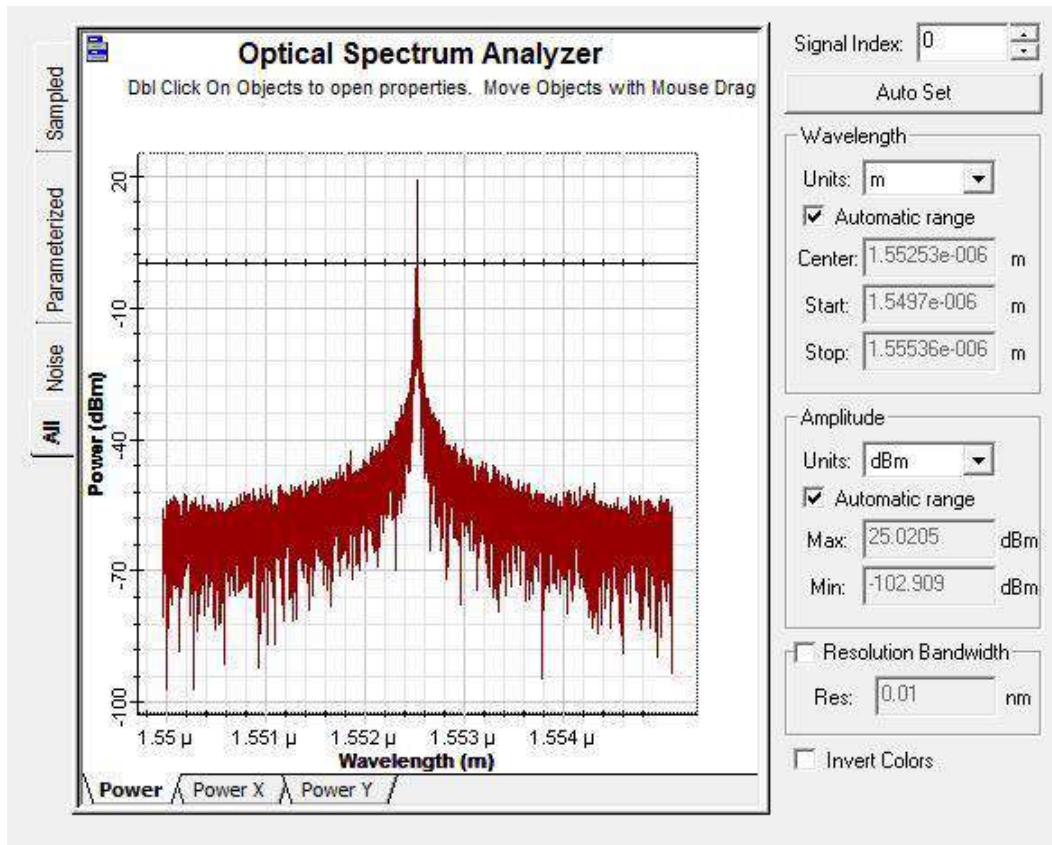


Figura 3. 22: Análisis de espectro óptico de la señal de entrada del sistema.  
Elaborado por: Autor.

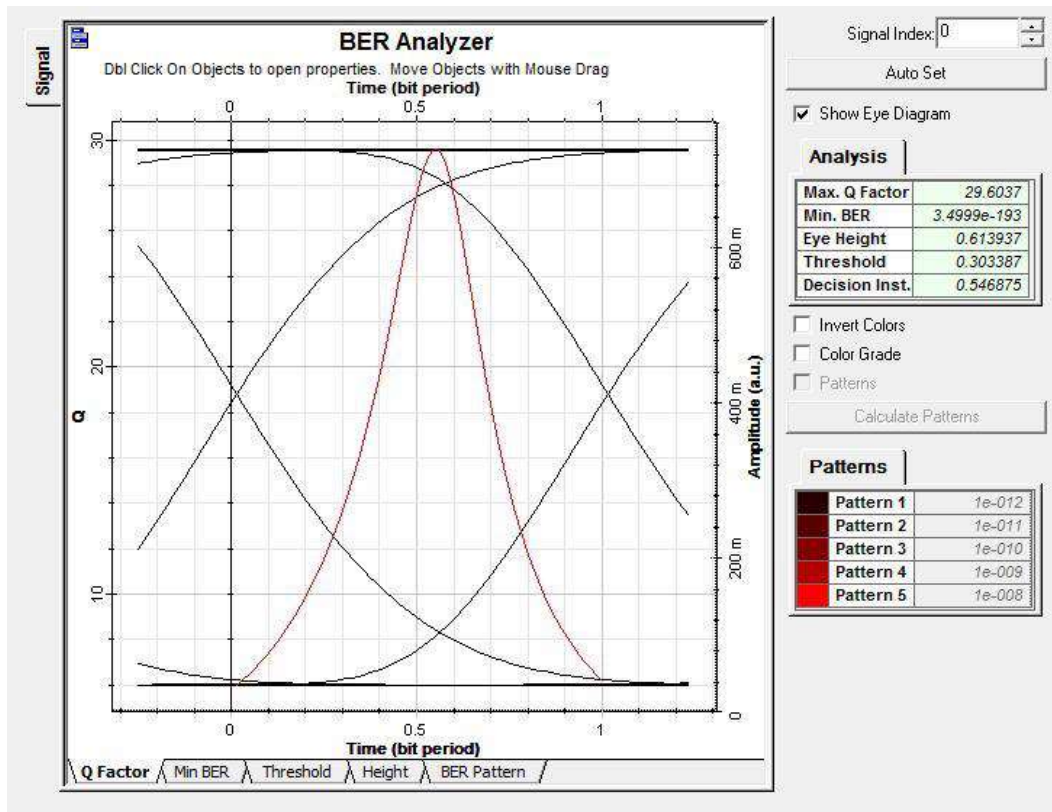


Figura 3. 23: Análisis BER del sistema EML.  
Elaborado por: Autor.

Al diseñar un sistema de comunicación óptica, se puede utilizar el transmisor óptico que es un bloque del programa de simulación OptiSystem 7.0, en lugar del bloque transmisor creado manualmente. Es posible utilizar este elemento como una señal de entrada modulada. Como se muestra en la figura 3.24, donde los efectos del transmisor óptico sobre la eficiencia del sistema de referencia, el factor de calidad obtenido en el sistema de referencia aumenta de 68.48 a 750.185 debido a la disminución de las pérdidas por elemento con el elemento transmisor óptico utilizado como un bloque. Esto ha llevado al uso de elementos transmisores ópticos en las simulaciones de los sistemas de comunicación óptica.

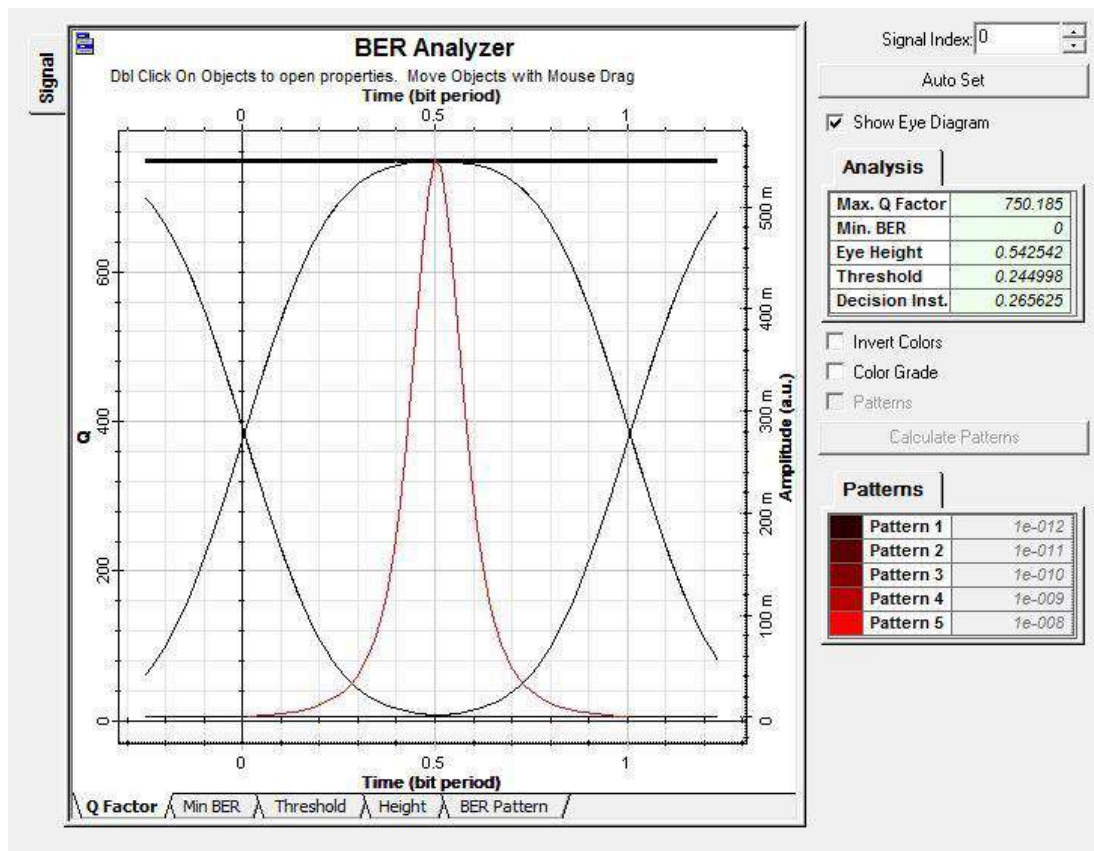


Figura 3. 24: Análisis BER del sistema usando el transmisor óptico.  
Elaborado por: Autor.

### 3.7. Discusión de resultados del escenario 2.

En este escenario 2, se analizan los moduladores ópticos, que son uno de los elementos del circuito óptico utilizado comúnmente en sistemas de comunicación óptica. Se analizó los efectos de los tipos de moduladores ópticos en el sistema propuesto en el programa de simulación OptiSystem 7.0.

Se determina que la técnica de modulación utilizada debe ser preferida como modulación externa, y el modulador Mach-Zehnder entre los moduladores que hacen que la modulación externa sea el modulador que tenga la mayor contribución a la eficiencia y ganancia del sistema. En el análisis, se observa que los elementos de conmutación óptica utilizados en sistemas de comunicación óptica han demostrado ser importantes para una alta calidad de la transmisión de datos.

## **Conclusiones**

Se estudiaron los fundamentos teóricos de comunicaciones ópticas en especial las características de los filtros y moduladores ópticos lo que permitió comprender que estos mejoran la calidad de la transmisión de datos tanto para enlaces de corta y larga distancia.

En el primer escenario, el diseño propuesto del sistema de comunicación óptica a través de filtrado óptico nos permitió examinar el rendimiento de los tres filtros implementados en OptiSystem; en consecuencia, el filtro óptico Gaussiano fue el que mostro mejor resultados que los otros dos filtros.

En el segundo escenario, se examinaron los moduladores ópticos que se utilizan en los sistemas de comunicación óptica y su rendimiento. En el análisis, el sistema de comunicación óptica fue modelado a una frecuencia de 193.1 THz. Los elementos del circuito óptico deben seleccionarse de acuerdo con el propósito en el diseño y proyección de los sistemas de comunicación óptica.

## **Recomendaciones.**

El presente estudio realizado en el componente práctico del examen complejo puede desplegar otros tipos de investigación utilizando herramientas de simulación, para lo cual se recomiendan los siguientes trabajos que se pueden desarrollar:

1. Análisis comparativo de filtros y moduladores Mach-Zehnder utilizando MatLab/Simulink.
2. Análisis comparativo de moduladores ópticos EAM y Mach-Zehnder utilizando MatLab/Simulink.

## **Bibliografía.**

Acosta Ortiz, M. E. (2018). Evaluación experimental de técnicas de modulación Directa y externa utilizando los equipos del Laboratorio de comunicaciones ópticas del DETRI” (Trabajo de Titulación de Grado, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19954>

Aguilera Arreaga, J. L. (2018). Análisis comparativo del rendimiento de los moduladores Mach-Zehnder y electroabsorción para comunicaciones ópticas. (Trabajo de Titulación de Maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil). Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/11146>

Alcócer García, A. C. (2000). Redes de computadoras. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index//handle/123456789/28691>

Bello-Jiménez, M., Cuadrado-Laborde, C., Díez, A., Cruz, J. L., & Andrés, M. V. (2014). Modulador acusto-óptico en amplitud de fibra óptica basado en ondas acústicas de flexión. *Revista mexicana de física*, 60(4), 269–275.

Castiblanco Pardo, O. J., & Valencia Montaña, J. C. (2016). Estudio Comparativo de Esquemas de Filtrado Óptico para Redes de Acceso Convergentes (Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3381>

Gallardo Morales, S., & Medina Ceron, A. A. (2017). Propuesta de un prototipo de sistema de comunicación en el espacio abierto en base de tecnología láser con  $L=1550\text{nm}$  (Tesis de Grado, Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/21946>

- Liu, Z., Kakande, J., Kelly, B., O'Carroll, J., Phelan, R., Richardson, D. J., & Slavík, R. (2014). Modulator-free quadrature amplitude modulation signal synthesis. *Nature Communications*, 5, 5911. <https://doi.org/10.1038/ncomms6911>
- Macho Ortiz, A. (2012). Estudio y Caracterización de un Modulador Electroóptico Mach-Zehnder [Info:eu-repo/semantics/other]. Recuperado el 26 de marzo de 2019, de <http://oa.upm.es/32771/>
- Peñafiel Pinos, P. (2017). Simulación de la transmisión de información a través fibra óptica con modulación 16-QAM a una distancia de 10km y tasa de transmisión de 20Gbps (Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14056>
- Santos Aguilar, J., Arvizu Mondragón, A., & López Leyva, J. A. (2016). Implementación de antenas ópticas para enlaces de comunicación cuántica empleando estados coherentes débiles en el espacio libre. *Acta universitaria*, 26(3), 33–49. <https://doi.org/10.15174/au.2016.883>





Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN** con C.C: # 120610116-2 autor del Trabajo componente práctico de examen Complexivo: **ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE FILTROS Y MODULADORES ÓPTICOS EN APLICACIONES DE REDES DE ACCESO UTILIZANDO 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, 22 de marzo del 2019

f. \_\_\_\_\_

Nombre: RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN

C.C: 120610116-2



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

|  |  |  |    |
|--|--|--|----|
| <b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>   | ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE FILTROS Y MODULADORES ÓPTICOS EN APLICACIONES DE REDES DE ACCESO UTILIZANDO OPTISYSTEM.   |  |    |
| <b>AUTOR(ES)</b>   | RODRÍGUEZ BAZURTO, LUIS ADRIÁN   |  |    |
| <b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>   | M. Sc. PACHECO BOHÓRQUEZ, HÉCTOR IGNACIO   |  |    |
| <b>INSTITUCIÓN:</b>  | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil  |  |    |
| <b>FACULTAD:</b>   | Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo   |  |    |
| <b>CARRERA:</b>  | Ingeniería en Telecomunicaciones   |  |    |
| <b>TÍTULO OBTENIDO:</b>  | Ingeniero en Telecomunicaciones  |  |    |
| <b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>   | 22 de marzo del 2019   | <b>No. DE PÁGINAS:</b>   | 39 |
| <b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>  | Fundamentos de comunicación, comunicaciones inalámbricas   |  |    |
| <b>PALABRAS CLAVES/<br/>KEYWORDS:</b>  | Rendimiento, Filtros, Moduladores, Redes, Frecuencia, BER  |  |    |
| <b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>   | <p>El presente trabajo complejo del componente práctico consistió en el análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando OptiSystem 7.0. En este estudio, en el primer escenario se examinaron los moduladores ópticos que se utilizan en los sistemas de comunicación óptica y su rendimiento. El análisis se realizó en el software de simulación OptiSystem. En el análisis, un sistema de comunicación óptica fue modelado a una frecuencia de 193.1 THz. Se investigaron los efectos de los moduladores ópticos en el sistema de comunicación óptica y se compararon los rendimientos de los moduladores. En el segundo escenario se examinaron los filtros ópticos que se utilizan en los sistemas de comunicación óptica y se realizó su análisis de rendimiento. Se modeló un sistema de comunicación óptica a una frecuencia de 193.1 THz en el software de simulación OptiSystem. Se estudiaron las características de los filtros ópticos que se utilizan en los sistemas ópticos para mejorar la calidad de la transmisión de datos.</p> |  |    |
| <b>ADJUNTO PDF:</b>  | <input checked="" type="checkbox"/> SI   | <input type="checkbox"/> NO  |    |
| <b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>  | <b>Teléfono:</b> +593-9-89997294   | <b>E-mail:</b><br><a href="mailto:luisrodriguez100@outlook.com">luisrodriguez100@outlook.com</a> |    |
| <b>CONTACTO CON LA<br/>INSTITUCIÓN:<br/>COORDINADOR DEL PROCESO<br/>DE UTE</b> | <b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando  |  |    |
|  | <b>Teléfono:</b> +593-9-67608298   |  |    |
|  | <b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>  |  |    |
| <b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>  |  |  |    |
| <b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>                                      |  |  |    |
| <b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>   |  |  |    |
| <b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>  |  |  |    |