



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**

**DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

**DESARROLLO DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE TRANSMISORES Y  
RECEPTORES EN COMUNICACIONES ÓPTICAS**

AUTOR:

Gustavo Antonio Vera Villarroel

Titulación mediante examen complejo

previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Edwin Fernando Palacios Meléndez

Guayaquil, Ecuador

2015



**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 el Sr.

**Gustavo Antonio Vera Villarroel** como requerimiento parcial para la  
obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

TUTOR

---

MsC. Edwin F. Palacios Meléndez

DIRECTOR DE CARRERA

---

MsC. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015



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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Gustavo Antonio Vera Villarroel**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación mediante examen complejo previo a la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

EL AUTOR

---

GUSTAVO ANTONIO VERA VILLARROEL



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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Gustavo Antonio Vera Villarroel**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación mediante examen complejo, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

EL AUTOR

---

GUSTAVO ANTONIO VERA VILLARROEL

## DEDICATORIA

Primero que todo le agradezco al Todopoderoso el jamás me ha fallado y está presente todos los aspectos de mi vida, me dirige por la senda del bien y por esto no pierdo mi fe, gracias Dios mío.

Mis padres Gustavo Antonio Vera Rodríguez y Rosita Julia Villarroel del Pezo, que con su ejemplo y esfuerzos me han criado y educado, les agradezco sus consejos, las reprimendas, las oraciones, el gran apoyo que me dieron en este paso tan importante, por todo esto les debo a mis padres la persona que soy, mi vida no será suficiente para darles las gracias todo lo que han hecho por mí y hermanos.

Mis queridos hermanos: Toribio Leopoldo Vera Villarroel, Jaime Arnaldo Vera Villarroel, Jonathan Mauricio Vera Villarroel y a mi nana Josefa Amelia Domínguez Orrala que siempre cuidó con mucho amor como si fuera nuestra segunda mamá. Aquellos que me han sabido aconsejarme sabiamente y llenarse de mucha paciencia conmigo por mi carácter, les agradezco a todos los quiero mucho, a mi tía Gineco-Obstetra. Gladys Anita Villarroel del Pezo quien me abrió las puertas de su hogar por mucho tiempo ella siempre me dio la mano mientras estuve en su casa, mis hermanos mi pequeña sobrinita que llegó a nuestra familia como una bendición a llenarnos de felicidad y amor Isabella Franchesca Vera Gonzabay a mi padres que son el pilar principal lo serán siempre en todos los aspectos de mi vida, gracias Dios mío por darme tan bella familia.

A mis abuelitas a Dora Esther Rodríguez Villao que ya no está presente físicamente y que siempre quiso verme terminar mi carrera pero yo sé que siempre ha velado por mi desde el cielo y Agripina Reyna del Pezo Roca a mis tíos, tías, primos y toda mi familia quienes siempre me motivaron a no dejar mi sueños y proyectos y así se sentirse orgullosos gracias los llevo en mi corazón.

EL AUTOR

GUSTAVO ANTONIO VERA VILLARROEL

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por colmarme bendiciones salud y fe, durante este proyecto que tenía pendiente, a mis queridos padres que gracias a su apoyo moral y económico me han permitido finalizar, y se sienten orgullosos ya que su esfuerzo está dando frutos y verán terminar uno de mis objetivos. Un agradecimiento especial al MSc. Edwin Fernando Palacios Meléndez, Tutor del Examen Complexivo, siempre estuvo dispuesto a ayudarme en la finalización de este proyecto final.

Muchas Gracias.

EL AUTOR

GUSTAVO ANTONIO VERA VILLARROEL

**ÍNDICE GENERAL**

CAPÍTULO 1: Fundamentos Teóricos de Sistemas de Comunicaciones Ópticas.....	IX
1.1. Introducción a los sistemas de Comunicaciones ópticas.....	11
1.2. Comunicaciones Ópticas.....	12
1.2.1. Fibra Óptica.....	12
1.2.2. Tipos de Fibra Óptica.....	14
1.2.3. Fibra Monomodo.....	14
1.2.4. Tipos Fibra Monomodo.....	14
1.2.5. Tipos Fibra Multimodo.....	15
1.3. Software Para Simular Redes Ópticas “OPTIWAVE OPTISYSTEM”.....	17
1.4. Introducción de Redes Ópticas.....	19
CAPÍTULO 2: Simulación y Evaluación de Transmisores y Receptores Ópticos.....	23
2.1. Transmisores Ópticos.....	23
2.2. Receptores Ópticos.....	32
Referencias Bibliográficas.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1:

Figura 1. 1: Partes con que se forma el cable de fibra óptica. ....	13
Figura 1. 2: Resumen los distintos tipos de fibra óptica .....	14
Figura 1. 3: Fibra Monomodo.....	14
Figura 1. 4: Fibra Óptica Multimodo de Índice Escalonado.....	16
Figura 1. 5: Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual.....	17
Figura 1. 6: Visualización de la plataforma OPTISYSTEM. ....	19
Figura 1. 7: Evolución de las redes ópticas. ....	21

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Simulación de la distribución espectral del LED. ....	23
Figura 2. 2: Espectro de salida del LED.....	24
Figura 2. 3: Espectro de salida de 1 nm de resolución de LED (marcadores se utilizaron para medir la anchura espectral). ....	24
Figura 2. 4: Simulación de la respuesta de modulación del LED.....	25
Figura 2. 5: Diagrama de ojo para modulación del LED a 100 Mbps.....	26
Figura 2. 6: Diagrama de ojo para modulación del LED a 200 Mbps.....	26
Figura 2. 7: Diagrama de ojo para modulación del LED a 300 Mbps.....	27
Figura 2. 8: Diagrama de ojo para modulación del LED a 400 Mbps.....	27
Figura 2. 9: Señal eléctrica de la modulación del LED a 400 Mbps. ....	28
Figura 2. 10: Simulación para obtener la curva L-I del láser semiconductor.28	
Figura 2. 11: Curva L-I del láser semiconductor. ....	29
Figura 2. 12: Simulación del láser semiconductor de gran señal de modulación.....	30
Figura 2. 13: La amplitud y la señal de chirp para el láser semiconductor modulado directamente. ....	30
Figura 2. 14: La amplitud y la señal de chirp para el láser semiconductor modulado directamente. ....	31
Figura 2. 15: Señal de ruido de la intensidad del láser. ....	31
Figura 2. 16: Diseño del receptor óptico. ....	32
Figura 2. 17: Diagrama de ojo ideal del receptor óptico.....	33

Figura 2. 18: Diagrama de ojo degradado del receptor óptico. ....	33
Figura 2. 19: Diagrama de ojo de umbral del receptor óptico. ....	34

## **CAPÍTULO 1: Fundamentos Teóricos de Sistemas de Comunicaciones Ópticos.**

### **1.1. Introducción a los sistemas de Comunicaciones ópticas.**

Hoy en día los sistemas de comunicaciones ópticas se convirtieron en los medio de transmisión de información universal, superando a las redes electrónicas y son conocidas como redes de alto rendimiento. La comunicación de estos sistemas consiste en el envío de información por fibra óptica. La fibra óptica tiene muchas ventajas ya que tiene una gran capacidad de transmisión, compatibilidad métodos nuevos de envío de información y no tiene interferencias electromagnéticas.

En los últimos años las comunicaciones ópticas han cambiado constantemente. La banda ancha potencial que nos ofrece la fibra óptica ha hecho explotar las grandes posibilidades que esta ofrece, así no se disponga de los componentes ópticos para aprovechar esta capacidad, lo que se aprende durante este estudio es la combinación por un lado la velocidad por medio de la modulación TDM o cuanta es la información enviada por medio de la modulación WDM. En la actualidad la velocidad de alta capacidad es de 10Gbits/s, y llegando hasta sistemas de 40Gbits/s; en la fibra óptica se modula utilizando de 64 y 128 longitudes de onda. En dos fibras ópticas si combinamos estas modulaciones podemos tener una velocidad de 5.120 Gbps.

Hay tres problemas que se asocian comúnmente a la fibra óptica y son, la débil señal en la fibra. Lo produce la distancia y las pérdidas en los empalmes; las dispersiones que se producen por la pérdida de la señal; la señal óptica débil que llega al detector de ruido del sistema.

En la investigación, para este proyecto, me tocó utilizar un software de diseño que al principio no conocía, e investigando, he logrado conocerlo y utilizarlo. Para terminar, analizaremos los resultados que se van dando durante simulación, y la corrección hecha al sistema, lo que nos dará un conocimiento más extenso en la materia. Estas son las razones que me hicieron interesar en este proyecto, y lograrlo a manera personal, llegando al punto de seguir investigando sobre este tema así haya terminado el proyecto y de ser posible, profundizar en sus posibles aplicaciones.

## **1.2. Comunicaciones Ópticas.**

Comunicaciones ópticas se denomina a todo sistema por el cual la información viaja en forma de luz, es decir, el medio de transmisión puede ser cualquiera que sea apto para llevar la luz, como por ejemplo el vidrio o el plástico. Se detallarán los elementos que son usados para las comunicaciones ópticas para que tengan un óptimo funcionamiento.

### **1.2.1. Fibra Óptica.**

Es un medio por el cual se transmite información en forma de luz y es de un material muy fino y transparente, compuesto principalmente de vidrio o

plástico. La transmisión con destellos de luz a través de la fibra, la eficiencia es optimizada en la transmisión de los datos y así no tener los problemas que comúnmente se tenía al transmitir por cobre, y eran modificados por la distorsión, atenuación, crosstalk, etc.

La figura 2.3 se observa el cable de fibra óptica del cual detallan las sus partes:

- Núcleo (Core)
- Revestimiento
- Forro

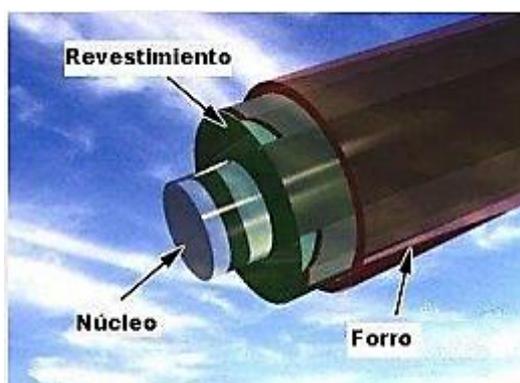


Figura 1. 1: Partes con que se forma el cable de fibra óptica.  
Fuente: (Macho, 2013)

El cable de cobre a diferencia la fibra óptica resalta por gran capacidad de transmisión y funciona a muy altas velocidades, medidos en Gbps, ancho de banda, es mucho mejor y se transmite a grandes distancias sin necesidad de antenas repetidoras, los problemas de diafonía o dispersión están solucionados pero el costo de la fibra óptica es mayor si se lo compara con el cable de cobre.

## 1.2.2. Tipos de Fibra Óptica.

La fibra se divide de acuerdo al modo de propagación.



Figura 1. 2: Resumen los distintos tipos de fibra óptica  
Fuente: (Macho, 2013)

## 1.2.3. Fibra Monomodo

La figura 1.3 muestra este tipo de fibra delgada en su núcleo, cuyo diámetro es menor a  $9\ \mu\text{m}$ , gracias a esto evitamos la dispersión modal viajando solo el rayo luz central. Es por esto que nos permite llegar a mayores distancias y mejores tasas de transmisión.

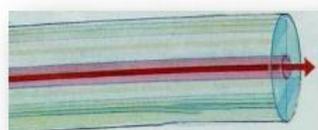


Figura 1. 3: Fibra Monomodo  
Fuente: (Macho, 2013)

## 1.2.4. Tipos Fibra Monomodo

### SMF (Standar Single-Mode Fiber)

Este tipo de fibra tiene como características una dispersión cromática de  $16\ \text{ps/km-nm}$  en la ventana de  $1550\ \text{nm}$  una atenuación de  $0,2\ \text{dB/Km}$ , en la segunda ventana la dispersión cromática es nula pero la atenuación es mayor, casi el doble que en la tercera ventana.

**DSF (Dispersion-Shifted Fiber).**

Este tipo de fibra logra tener una dispersión cromática nula en cambio su atenuación aumenta ligeramente en la ventana de 1550 nm, siendo aproximadamente 0,25 dB/Km, pero su mayor problema se debe a que están presentes los efectos no lineales que en ella ocurran, como el fenómeno "mezcla de cuarta onda" (FWM), el cual deja a un lado a la fibra DSF cuando se utiliza en sistemas WDM.

**NZDSF (Non Zero Dispersión Shifted Fiber)**

Este tipo de fibra surgió para solucionar los inconvenientes de la fibra DSF, la fibra NZDSF su valor de dispersión casi llega a cero, pero este no llega a ser nulo, esto es lo mejor para evitar los efectos de los fenómenos no lineales usando la dispersión cromática. Esto es lo más conveniente para sistemas WDM.

**1.2.5. Tipos Fibra Multimodo**

Este tipo de fibra puede transmitir varios rayos luz por el núcleo al mismo tiempo, ya que el diámetro es mayor que en la fibra monomodo. El mayor diámetro en el núcleo nos da la facilidad de acoplar la fibra, pero su mayor problema es su bajo ancho de banda por la dispersión modal. Los diámetros del núcleo y revestimiento comunes son 50/125  $\mu\text{m}$  y 62,5/125  $\mu\text{m}$ .

### **Fibra Óptica Multimodo de Índice Escalonado**

En la figura 1.4 podemos observar que este tipo de fibra óptica viajan varios rayos ópticos simultáneamente. Éstos se reflejan con distintos ángulos sobre las paredes del núcleo y recorren diferentes distancias, y se desfasan dentro de la fibra, por esto el alcance de transmisión es corto. Hay un límite del ángulo de incidencia o ángulo crítico, del rayo de luz dentro de la fibra, si este entra por un ángulo menor al crítico no se reflejará, sino que se refractará y no seguirá el camino.

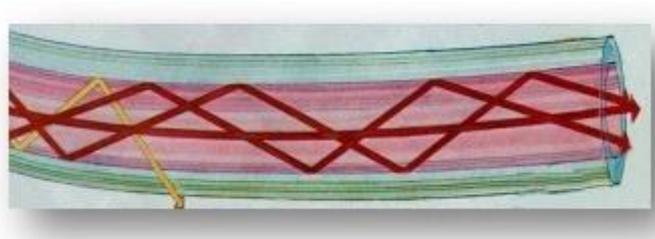


Figura 1. 4: Fibra Óptica Multimodo de Índice Escalonado  
Fuente: (Macho, 2013)

### **Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual**

En la figura 1.5 se puede observar que en este tipo de fibra, el núcleo posee varias capas concéntricas de material óptico con distintos índices de refracción, esto hace que la luz se refracte mientras viaja por el núcleo poco a poco, da la impresión que el rayo de luz va en curva. En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menos que en la fibra multimodo de índice escalonado por esto distancia de propagación y ancho de banda es mayor.

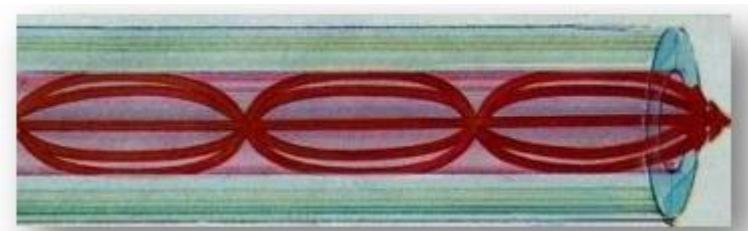


Figura 1. 5: Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual  
Fuente: (Macho, 2013)

### 1.3. Software Para Simular Redes Ópticas “OPTIWAVE OPTISYSTEM”

En la figura 1.6 se muestra la plataforma de simulación de comunicaciones ópticas denominado OptiSystem, siendo un innovador simulador de sistemas de comunicaciones ópticos. Esta plataforma es muy utilizada en el diseño redes ópticas, así como realizar test de optimización para diferentes enlaces ópticos entre las redes de acceso hasta redes troncales internacionales.

(Macho, 2013) sostiene que OptiSystem es beneficioso y muy ventajoso el empleo de la plataforma de simulación mediante ordenador, logrando así un aporte significativo para estudiar y analizar redes comunicaciones ópticas. Estas ventajas indicadas por (Macho, 2013) son: (a) visión general del comportamiento del sistema, (b) disminución en la inversión, (c) plataforma rápida y barata, (d) rendimiento de dispositivos ópticos que forman parte de la red óptica, (e) mejor tolerancia en el diseño, etc.

Según (Agrawal, 2010) OptiSystem permite modelar diferentes aplicaciones en los enlaces de fibra óptica en su capa física, por ejemplo las redes: HFC (TV Cable y Claro TV), WDM/OTDM, SONET/SDH (CNT EP). Esta plataforma también permite modelar ya sean transmisores, amplificadores, receptores, mapas de dispersión, estimación del BER y penalizaciones del sistema, etc.

La plataforma OptiSystem es un software del tipo CAD (Diseño asistido por computadora), muy sencillo de utilizar gracias a su flexibilidad en el modelamiento de redes de comunicaciones ópticas. También permite cambiar determinadas características de los dispositivos ópticos y electrónicos, así permitiendo diferentes grados de complejidad.

De acuerdo a los investigadores (Yang & Hechao , 2010) esta plataforma es conveniente por la disponibilidad actual de dispositivos informáticos de altas prestaciones, cuyo interés es la simulación de redes ópticas. Esto ha provocado el acelerado crecimiento de otras plataformas desarrollados en centros de investigación en los últimos años.

Según (Macho, 2013) la herramienta de diseño computacional elegida para realizar las simulaciones del examen Complexivo componente práctico fue OptiSystem, que ya se explicó anteriormente la plataforma ha sido diseñada para el modelamiento de redes y dispositivos ópticos.

Según (Senior, 2009) OptiSystem es una plataforma de simulación robusta que se basa en modelar virtualmente enlaces de comunicaciones por fibra óptica como si fuese de manera real. Es decir, que esta plataforma dispone de librerías de componentes ópticos necesarios a la hora de modelar una red óptica.

Consecuentemente, estas tareas sólo pueden realizarse de forma eficiente mediante herramientas de software avanzado. Normalmente incluyen dispositivos no lineales y fuentes de ruido no gaussianas, ambas altamente complejas de analizar.

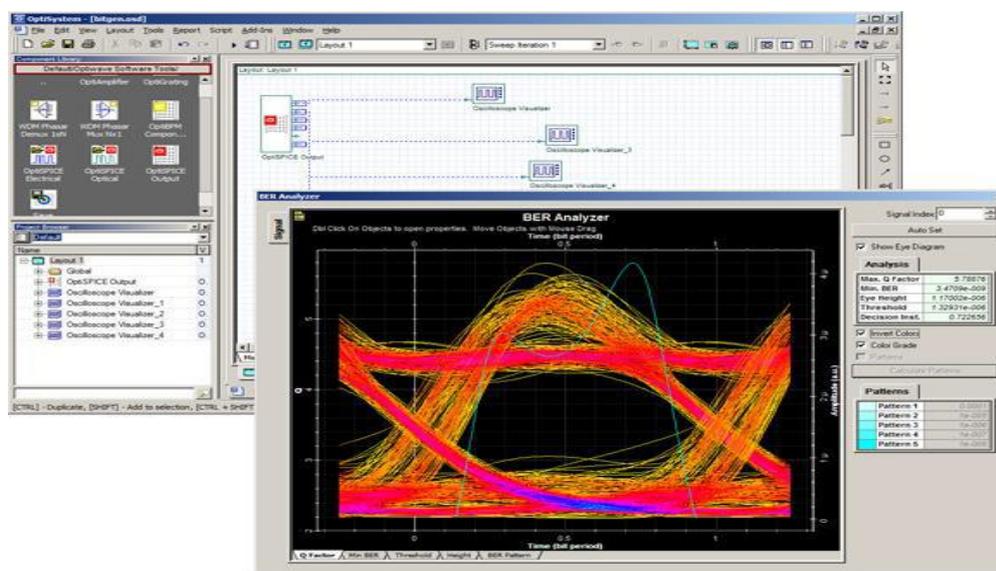


Figura 1. 6: Visualización de la plataforma OPTISYSTEM.

Fuente: (Macho, 2013)

#### 1.4. Introducción de Redes Ópticas.

Para (Senior, 2009) una red de fibra óptica es conocida comúnmente como una red óptica, aunque también denominada como una red de telecomunicaciones con fibra óptica como medio de transmisión primaria,

que está diseñado de tal manera que hace un uso completo de los atributos únicos de fibras ópticas.

Para (Chomycz, 2009) durante las últimas tres décadas, la fibra óptica se ha convertido en el medio preferido para el suministro de las grandes infraestructuras de voz, video y transmisión de datos, ya que ofrece mucho mayor ancho de banda y es menos voluminoso que los cables de cobre. En la última parte de este período, la industria de las telecomunicaciones ha experimentado un cambio tecnológico sin precedentes debido al rápido crecimiento de la Internet y la World Wide Web.

Con la aplicación en curso de más aplicaciones de comunicación de ancho de banda, la exigencia es cada vez mayor debido a la capacidad de la red que debe tener buen ritmo en las comunicaciones. Por lo tanto, la tecnología de redes ópticas y técnicas han evolucionado con el fin de satisfacer estas demandas crecientes de: alto nivel, servicio eficiente y rentable fiable. La evolución de una red óptica se muestra en la figura 1.7.

Cabe señalar que la jerarquía digital síncrona (SDH) o una red óptica síncrona (SONET) son basados en enfoques de punto a punto de la década de 1990 que han sido actualizados con las tecnologías de redes enrutadas longitud de onda. Para (Senior, 2009) los principales factores que contribuyen y dan lugar a esta evolución han sido la estructura de la red o la

configuración, la velocidad de conmutación y el dispositivo óptico que permite mejorar la tecnología.

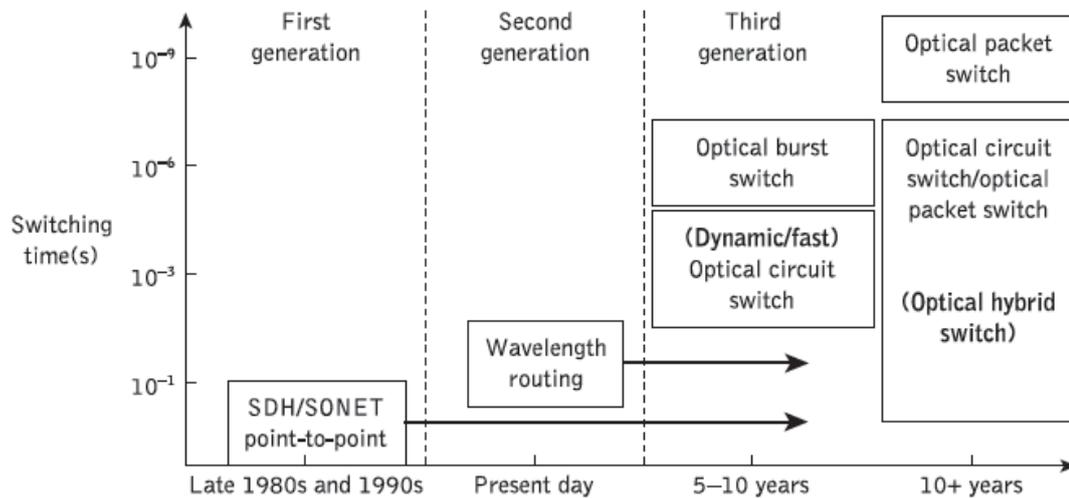


Figura 1. 7: Evolución de las redes ópticas.

Fuente: (Senior, 2009)

Sobre la base de las mejoras en estos aspectos, las redes de fibra óptica se pueden dividir actualmente en las tres etapas de implementación o generaciones que se identifican en la figura 1.7.

Las redes de fibra óptica actuales que se han desarrollado a partir de la infraestructura de fibra óptica en gran medida de punto a punto desplegado en las últimas dos décadas se pueden ver como la segunda generación que emplea mayor longitud de onda mediante técnicas de encaminamiento.

Estas redes ópticas, sin embargo, son actualmente estáticas en el sentido de que los recursos asignados que llevan el tráfico no pueden ser

reassignados automáticamente una vez que la transmisión ha fallado para llegar a un destino. Por lo tanto las estructuras de red existentes en gran medida no son reconfigurable. Sin embargo, las infraestructuras de red con enlaces de longitud de onda individuales operan a velocidades de transmisión de hasta 40 Gbps están siendo desplegados utilizando la tecnología DWDM.

## CAPÍTULO 2: Simulación y Evaluación de Transmisores y Receptores Ópticos.

### 2.1. Transmisores Ópticos.

#### Simulación 1: Distribución espectral

La distribución espectral de las fuentes de luz afecta al rendimiento de los sistemas de comunicación óptica a través de dispersión de la fibra. La distribución espectral se rige por el espectro de emisión espontánea y típicamente sigue una forma gaussiana. La figura 1.1 muestra la disposición de la distribución espectral LED.

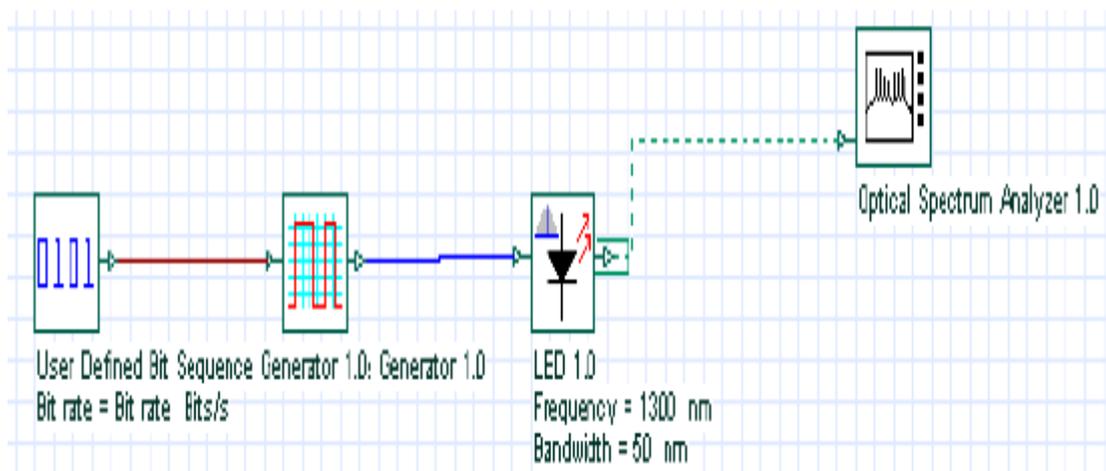


Figura 2. 1: Simulación de la distribución espectral del LED.  
Elaborado por: Autor

Al terminar con el diseño de la distribución espectral del LED, se generará el espectro de salida de 1300 nm de un típico LED con ancho espectral de 50 nm, tal como se muestran en las figuras 1.2 y 1.3.

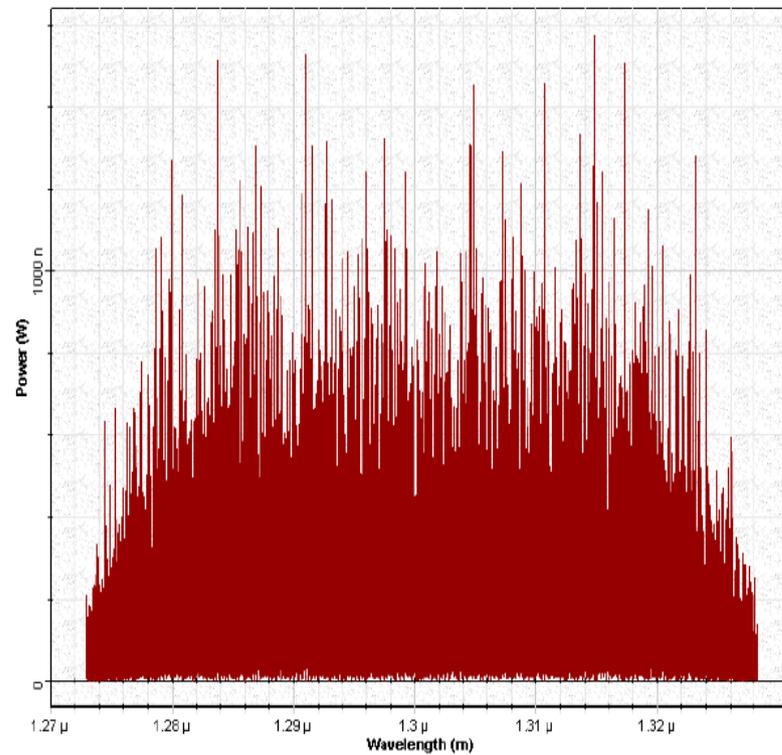


Figura 2. 2: Espectro de salida del LED.  
Elaborado por: Autor

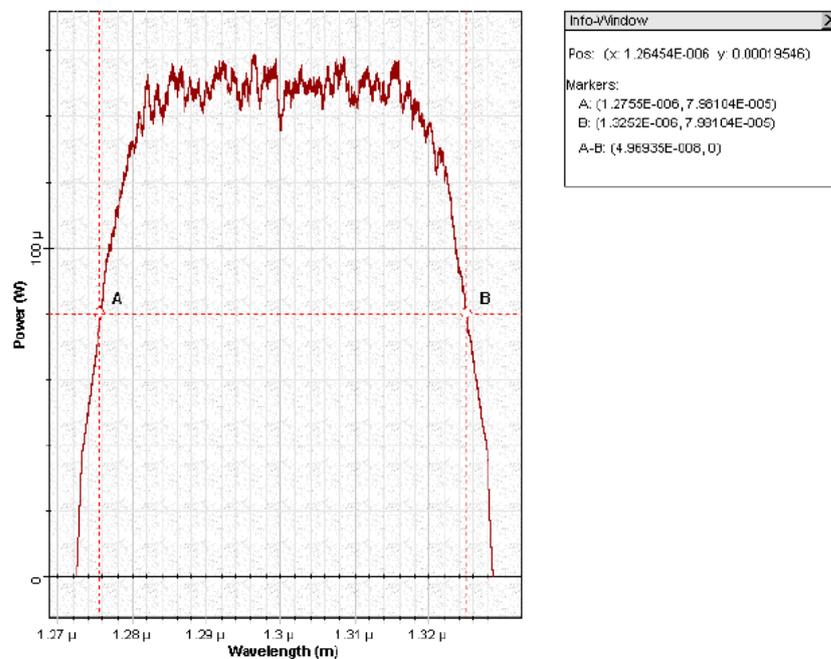


Figura 2. 3: Espectro de salida de 1 nm de resolución de LED (marcadores se utilizaron para medir la anchura espectral).  
Elaborado por: Autor

### **Simulación 2: Respuesta de Modulación del LED**

La respuesta de modulación de los LEDs depende de la dinámica de las portadoras y está limitada por la vida de las portadoras. El ancho de banda de modulación de 3 dB del LED se define como la frecuencia de modulación en el que la función de transferencia del LED se reduce en 3 dB o por un factor de 2. La figura 1.4 muestra el acondicionamiento para la respuesta de modulación del LED.

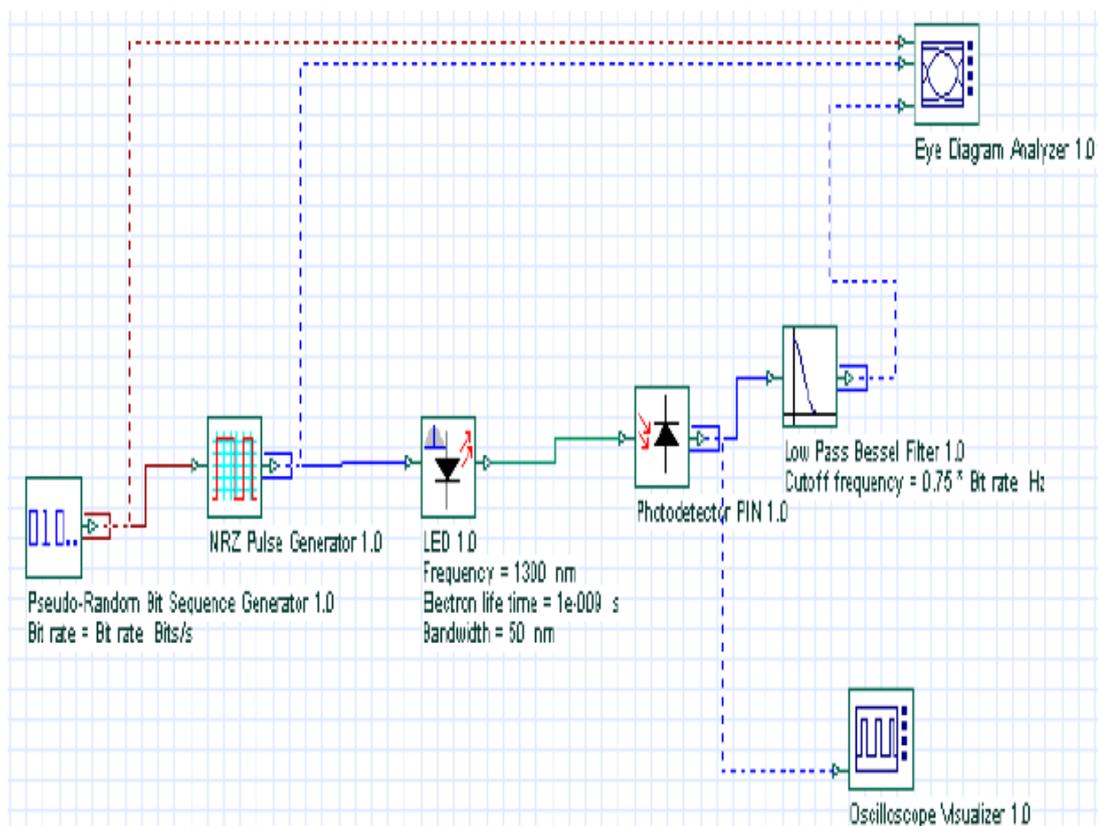


Figura 2. 4: Simulación de la respuesta de modulación del LED.

Elaborado por: Autor

El diseño realizado para la respuesta de modulación del LED, muestra el cierre del diagrama en ojo cuando la tasa de bits de modulación aumenta de 100 Mbps hasta 400 Mbps (véase las figuras 1.5, 1.6, 1.7 y 1.8). Este efecto se produce debido a la modulación de la respuesta del LED. La

reducción del valor de la vida de la portadora aumentará la respuesta de modulación del LED.

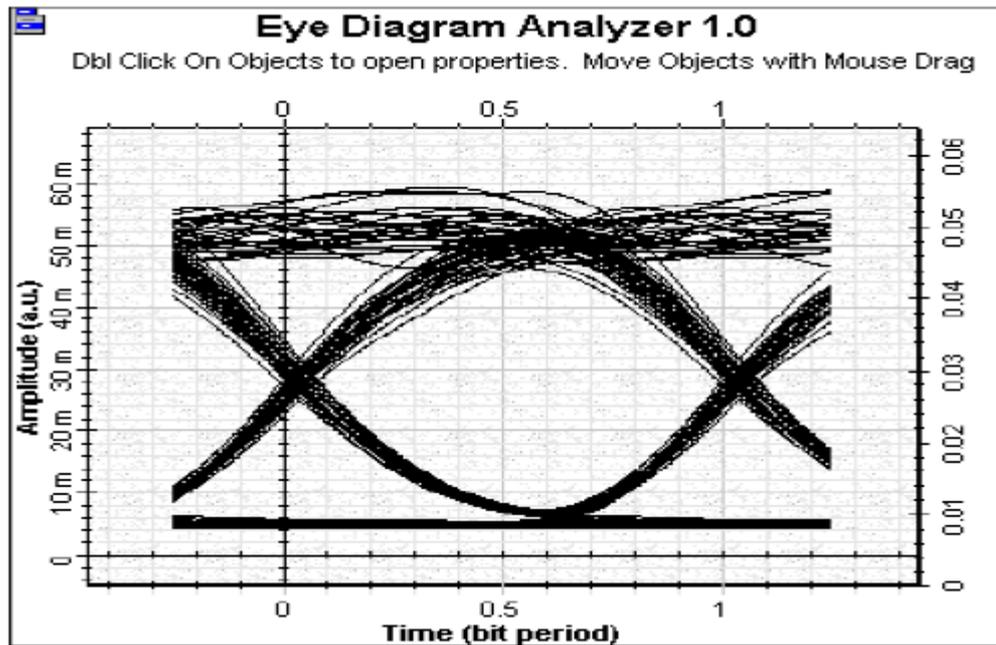


Figura 2. 5: Diagrama de ojo para modulación del LED a 100 Mbps.  
Elaborado por: Autor

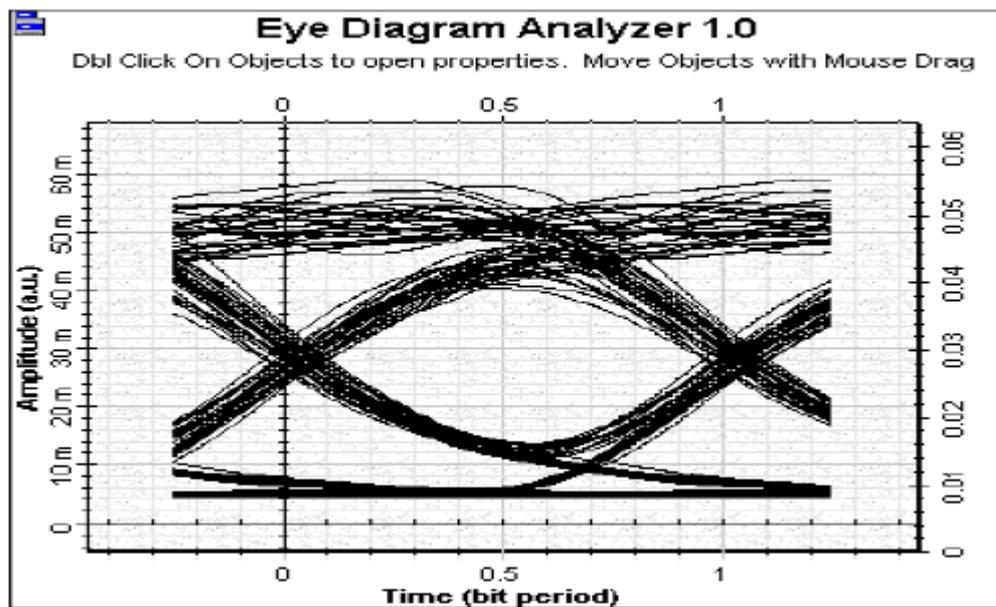


Figura 2. 6: Diagrama de ojo para modulación del LED a 200 Mbps.  
Elaborado por: Autor

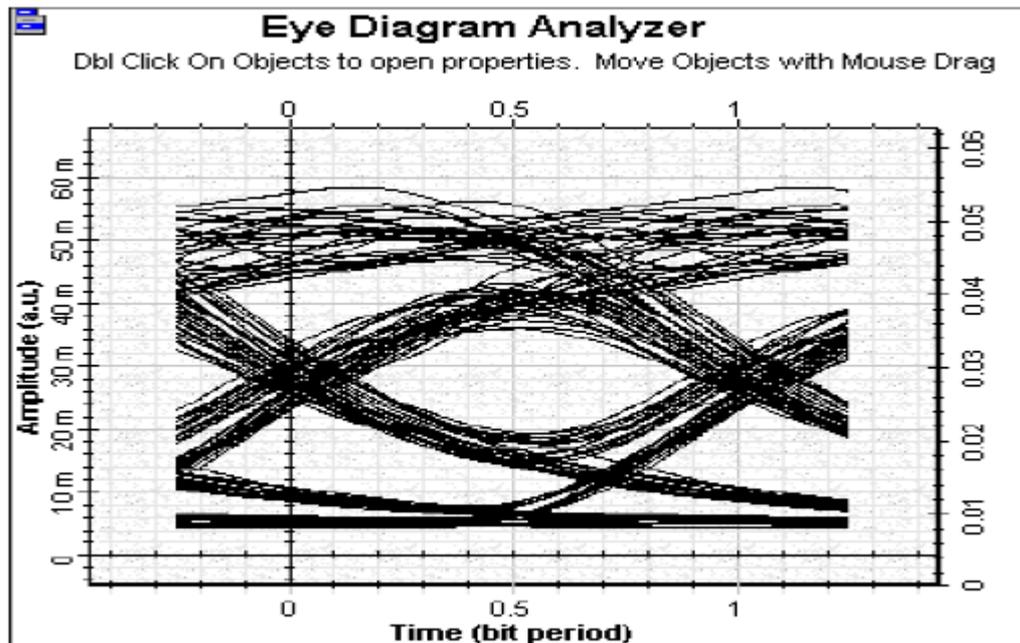


Figura 2. 7: Diagrama de ojo para modulación del LED a 300 Mbps.  
Elaborado por: Autor

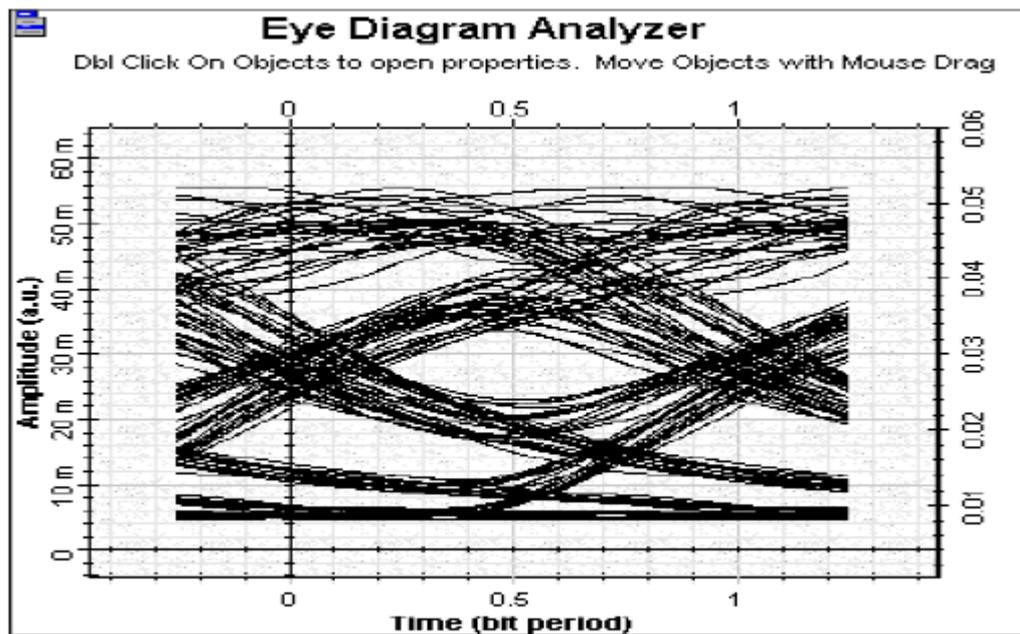


Figura 2. 8: Diagrama de ojo para modulación del LED a 400 Mbps.  
Elaborado por: Autor

La figura 1. 9 muestra la señal eléctrica en el fotodetector antes del filtro eléctrico.

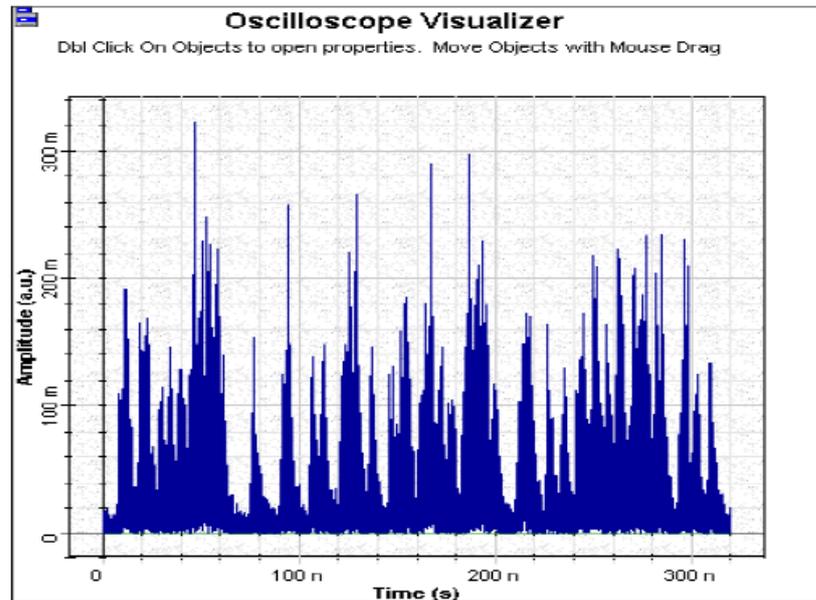


Figura 2. 9: Señal eléctrica de la modulación del LED a 400 Mbps.  
Elaborado por: Autor

### **Simulación 3: Características de la curva L-I**

La curva L-I (luz vs corriente) caracteriza las propiedades de emisión de un láser semiconductor, ya que indica no sólo el nivel de umbral, sino también la corriente que necesita ser aplicada para obtener una cierta cantidad de energía. La figura 1.10 muestra cómo se genera la curva de L-I de un láser semiconductor.

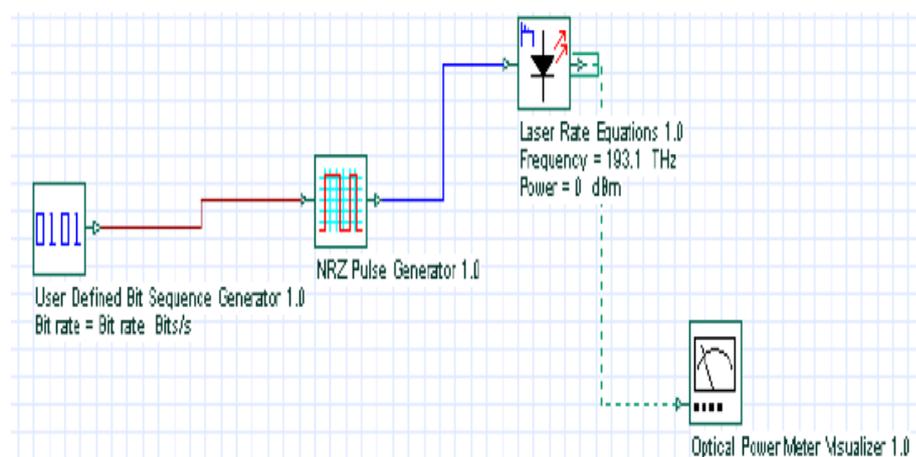


Figura 2. 10: Simulación para obtener la curva L-I del láser semiconductor.  
Elaborado por: Autor

La curva de L-I se genera después de barrer la corriente de pico del parámetro de modulación de 1 a 100 mA. La corriente de polarización es de 25 mA. Después de ejecutar la simulación se obtiene la curva que se muestra en la figura 1.11.

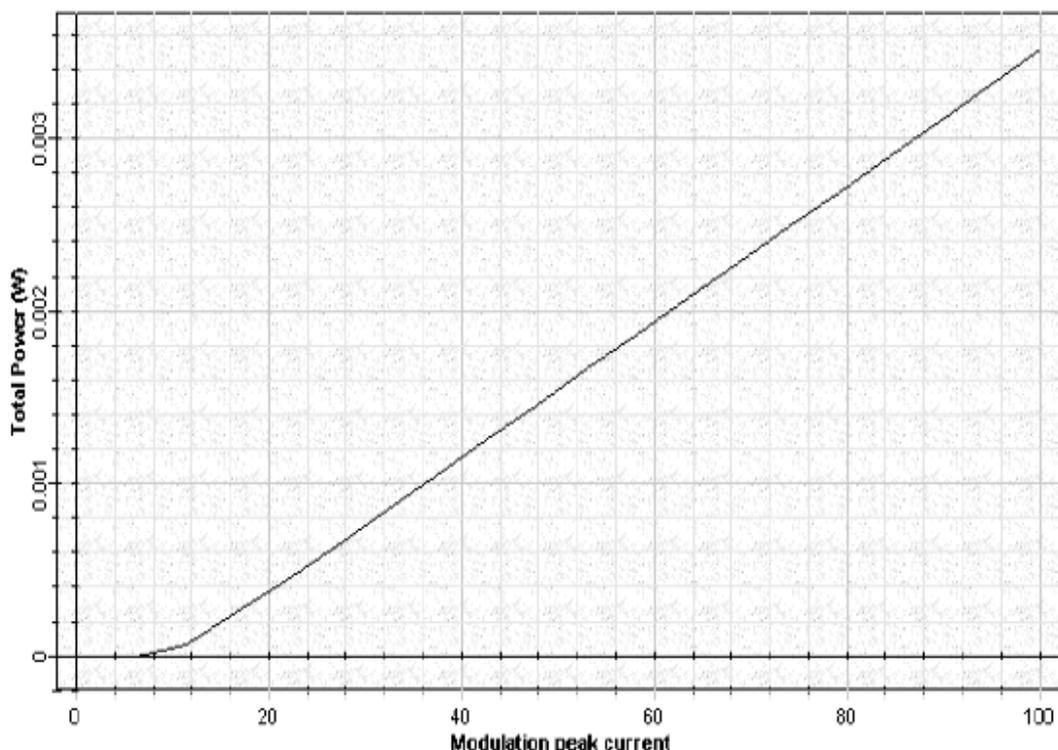


Figura 2. 11: Curva L-I del láser semiconductor.  
Elaborado por: Autor

#### **Simulación 4: Modulación de respuesta del láser semiconductor.**

La modulación de amplitud en los láseres semiconductores se acompaña de modulación de fase. Una fase variable en el tiempo es equivalente a los cambios transitorios en el modo de frecuencia respecto a su valor de estado estacionario. Tal pulso se llama "chirped". La figura 1.12 muestra el diseño para la simulación de un generador de amplitud y la señal chirp de un láser semiconductor directamente modulada. La figura 1.13

muestra la amplitud y la señal de chirp para el láser semiconductor modulado directamente.

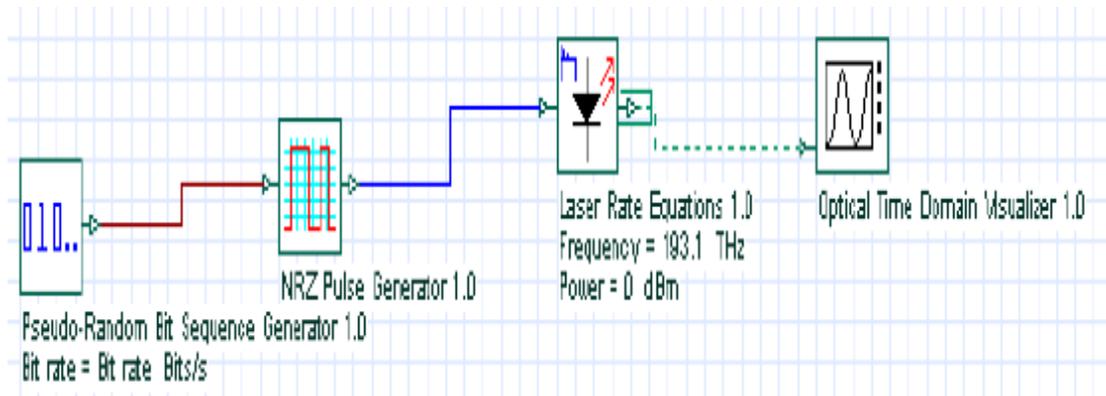


Figura 2. 12: Simulación del láser semiconductor de gran señal de modulación.  
Elaborado por: Autor

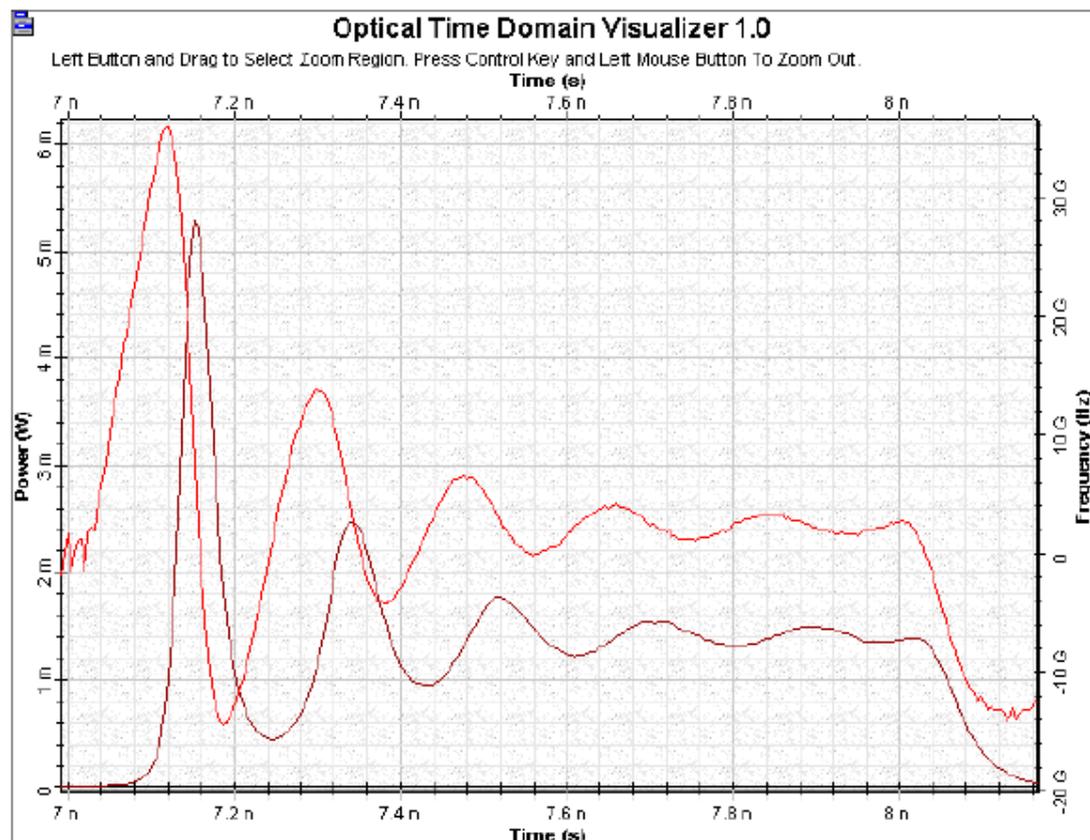


Figura 2. 13: La amplitud y la señal de chirp para el láser semiconductor modulado directamente.

Elaborado por: Autor

### Simulación 5: Laser ruido

La presente simulación (véase la figura 1.14) muestra el espectro del láser en la operación de CW en varios niveles de potencia.

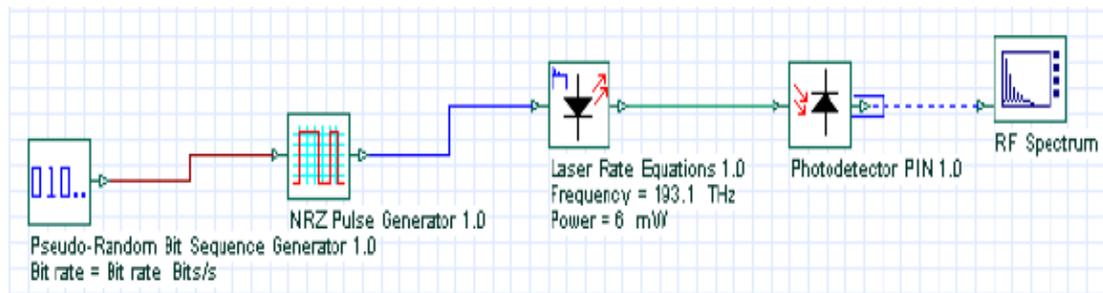


Figura 2. 14: La amplitud y la señal de chirp para el láser semiconductor modulado directamente.

Elaborado por: Autor

Las fluctuaciones por exposiciones de láser en su intensidad, fase y frecuencia, incluso cuando el láser está sesgado a una corriente constante con fluctuaciones de corriente despreciable se muestran en la figura 1.15).

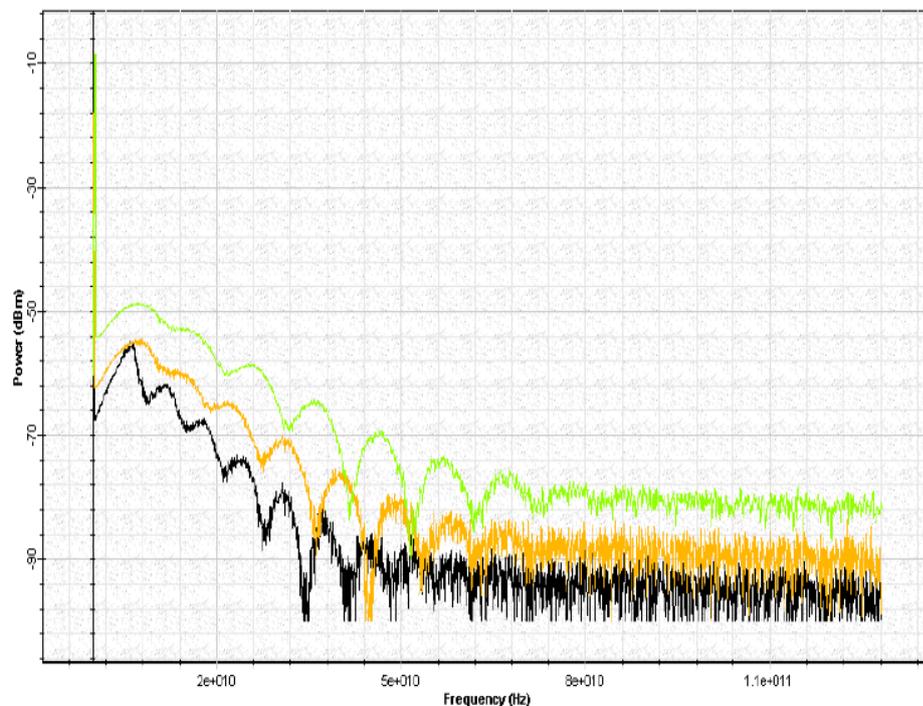


Figura 2. 15: Señal de ruido de la intensidad del láser.

Elaborado por: Autor

## 2.2. Receptores Ópticos.

### Simulación 6: Receptor

El diseño de un receptor óptico depende en gran medida del formato de modulación utilizado por el transmisor. La presente simulación (véase la figura 1.16) muestra el diseño de un receptor digital. Sus componentes se pueden organizar en tres grupos, la parte delantera, el canal lineal y la sección de recuperación de datos.

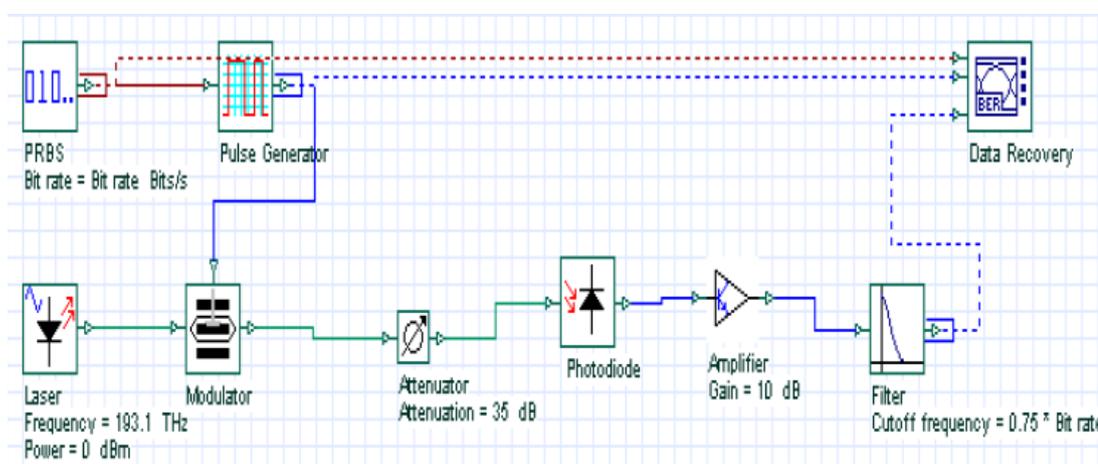


Figura 2. 16: Diseño del receptor óptico.

Elaborado por: Autor

El extremo delantero de un receptor consiste en un fotodiodo con un sistema incorporado en el preamplificador, el canal lineal consiste en un amplificador de alta ganancia y un filtro de paso bajo y la recuperación de los datos se realiza por el analizador de BER construido en la recuperación del reloj y la decisión circuito.

El canal lineal tiene un filtro de paso bajo que forma el pulso. El ruido del receptor es proporcional al ancho de banda del receptor y se puede reducir mediante el uso de un filtro pasa bajo cuyo ancho de banda es menor

que la tasa de bits. El pulso se propaga más allá de la franja horaria. Dicha difusión puede interferir con la detección de bits de vecinos, el fenómeno que se refiere a la interferencia como entre símbolos (ISI). Al ajustar el atenuador a 0 dB, se puede observar el diagrama de ojo ideal en la figura 1.17.

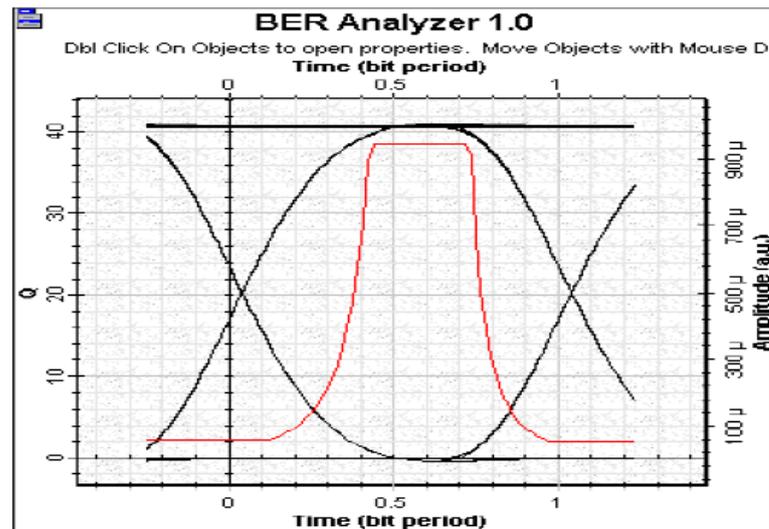


Figura 2. 17: Diagrama de ojo ideal del receptor óptico.  
Elaborado por: Autor

Al ajustar la atenuación en 35 dB, se puede observar el diagrama de ojo degradado, tal como se muestra en la figura 1.18.

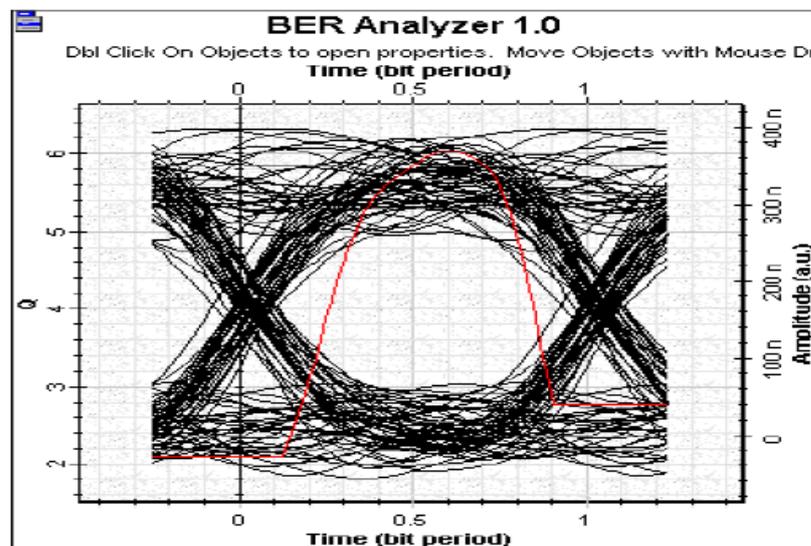


Figura 2. 18: Diagrama de ojo degradado del receptor óptico.  
Elaborado por: Autor

El circuito de decisión compara la salida desde el canal lineal a un umbral, en un instante de decisión determinada por el circuito de recuperación de reloj, y decide si la señal corresponde al bit 1 o al bit 0. El nivel umbral óptimo se calcula para cada instante de la decisión con el fin de minimizar el BER (véase la figura 1.19).

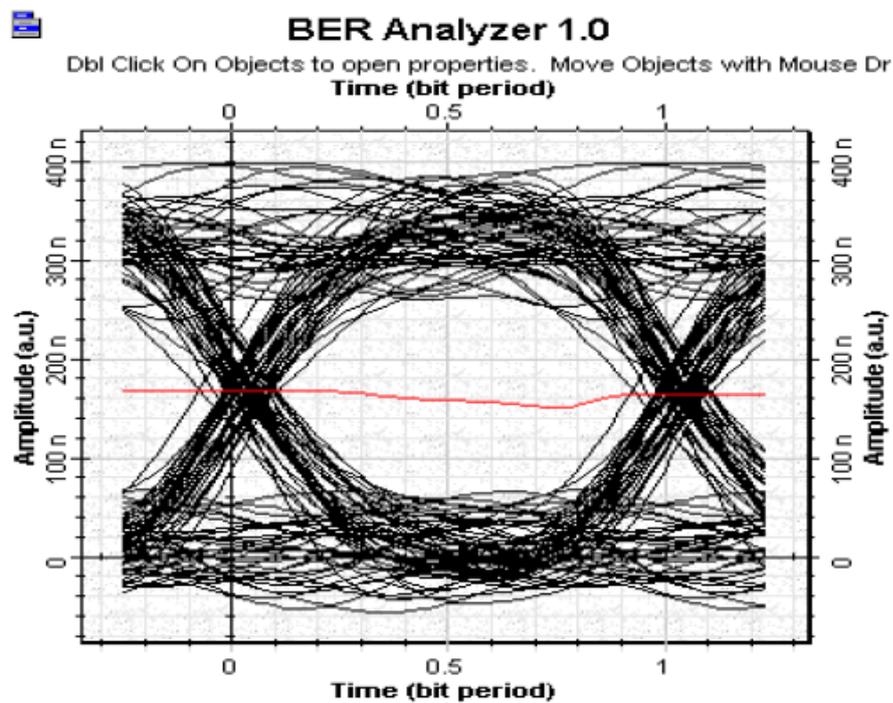


Figura 2. 19: Diagrama de ojo de umbral del receptor óptico.  
Elaborado por: Autor

## Referencias Bibliográficas.

- Agrawal, P. (2010). *Fiber-Optic Communicatios Systems*. Wiley Interscience.
- Arellano, R., & Brescia, A. (2013). Desarrollo de un sistema prototipo OPTO-ELECTRICO para un enlace de redes Ethernet.
- Chomycz, B. (2009). *Planning Fiber Optic Networks*. Madrid: McGraw-Hill.
- Lemus Bernal, C. A., Estupiñan Cuesta, E. P., Pinto, G., & Paul, E. (2013). Performance evaluation of optical networks for telemedicine applications in simulated enviroments. *Tecnura*, 17(36), 21-40.
- Macho, A. (2013). *Comunicaciones Ópticas de Banda Ancha con fase modulada: Estudio de la degradación de la señal óptica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Playán, A. (2012). Redes ópticas con plano de control GMPLS. *Bit*, (189), 19.
- Puerto Leguizamón, G., Ortega, B., Capmany, J., Cardona Urrego, K., & Suárez Fajardo, C. (2014). Evolución de las redes de datos: Hacia una plataforma de comunicaciones completamente óptica. *Revista Facultad de Ingeniería*, (45), 148-156.
- Senior, J. (2009). *Optical Fiber Communications Principles and Practice*. Pearson - Prentice Hall.
- Yang, X., & Hechao , Y. (2010). *The Application of OptiSystem in Optical Fiber Communication Experiments*. . In *Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCST'10)* (pp. 376-378).