



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

TEMA:

**Diagnóstico y análisis de simulación de técnicas de  
transmisión de datos en sistemas de comunicaciones  
ópticas usando OptiSystem**

AUTOR:

Zambrano Cornejo, Oscar Andrés

Componente práctico del examen complejo 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 **Zambrano Cornejo, Oscar Andrés** 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, **Zambrano Cornejo, Oscar Andrés**

#### **DECLARÓ QUE:**

**El componente práctico del examen complejo, Diagnóstico y análisis de simulación de técnicas de transmisión de datos en sistemas de comunicaciones ópticas usando 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

---

ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS



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

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Zambrano Cornejo, Oscar Andrés**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Diagnóstico y análisis de simulación de técnicas de transmisión de datos en sistemas de comunicaciones ópticas usando OptiSystem** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 22 de marzo del 2019

EL AUTOR

---

ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS

# REPORTE DE URKUND

URKUND ★ I WANT TO TRY

Fernando Palacios Meléndez (edwin\_palacios)

<b>Documento</b>	<a href="#">Zambrano_Oscar_EC_FINAL_2018B.docx</a> (D49617355)
<b>Presentado</b>	2019-03-24 14:45 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Revisión Final EC Oscar Zambrano <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Lista de fuentes	Categoría	Enlace/nombre de archivo
		<a href="#">ALBAN_Titulacion.docx</a>
		<a href="#">ALBAN_Titulacion.docx</a>
		<a href="#">SUAREZ_GINO_FINAL-FINAL.docx</a>
		<a href="#">Tesis Rafael Tomatal.docx</a>
		<a href="#">SUAREZ_GINO_FINAL-FINAL.docx</a>

Fuentes alternativas

SUAREZ\_GINO\_FINAL-FINAL.docx

Reiniciar | Exportar | Compartir

1 Advertencias

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TEMA:

Diagnóstico y análisis de simulación de técnicas de transmisión de datos en sistemas de comunicaciones ópticas usando OptiSystem

AUTOR: Zambrano Cornejo, Oscar Andrés

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios ya que el me dio fuerzas cada día para seguir adelante, a mis padres y hermana quienes fueron un gran apoyo emocional a lo largo de mi carrera; ya que sin ellos no estaría donde estoy ahora, a mis amigos y demás familiares que con sus consejos supieron guiarme en el camino.

**EL AUTOR**

**ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme estar con vida y salud para ejercer mis estudios, gracias a mis padres que supieron inculcarme el valor del esfuerzo y perseverancia, a mi hermana y mi sobrino que son pilares fundamentales en mi trayectoria, gracias a los profesores que más que profesores son amigos y con sus enseñanzas me permitieron llegar a mi meta. Gracias a mis amigos y familia en general que de alguna u otra forma confiaron en mí. Gracias a todos y cada uno de ellos que fueron parte de este proceso.

EL AUTOR

ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
Resumen .....	XIV
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO .....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Objetivo General. ....	3
1.3. Objetivos Específicos. ....	4
CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. Módulo de transmisión. ....	5
2.2.1. Fuentes ópticas .....	6
2.2.2. Diferentes tipos de láser. ....	6
2.2.3. Las características de los diferentes tipos de láser. ....	7
2.3. Módulo de transmisión. ....	7
2.3.1. Fibra óptica. ....	7
2.3.2. La composición de un cable de fibra óptica.....	8
2.3.3. Tipos de fibras ópticas.....	8
2.3.3.1. Fibra monomodo.....	8
2.3.3.2. Fibra multimodo .....	9
2.4. Efectos lineales en las fibras ópticas.....	10
2.4.1. Atenuación.....	10
2.4.2. Principios de la atenuación.....	12
2.4.3. La dispersión .....	12
2.5. Módulo de recepción. ....	14
2.5.1. Comparación entre los dos tipos de fotodiodos. ....	14
Capítulo 3: Desarrollo de escenarios de simulación del componente práctico.....	15
3.1. Breve descripción general de comunicaciones por fibra óptica.....	15
3.2. Descripción del software OptiSystem.....	17
3.3. Consideraciones del diseño para el escenario 1.....	18
3.4. Resultados y discusiones del escenario 1.....	18

3.5.	Consideraciones del diseño para el escenario 2. ....	24
3.6.	Resultados experimentales .....	27
3.6.1.	Evaluación del desempeño del escenario 2. ....	28
3.6.2.	Características de la señal modulada en el escenario 2.....	30
3.6.3.	Efectos de la fibra óptica multimodo en el escenario 2.....	31
3.6.4.	Efectos de los fotodetectores en el escenario 2. ....	32
	Conclusiones .....	34
	Recomendaciones. ....	35
	Bibliografía.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Un diagrama que muestra la composición del enlace de fibra óptica. ....	5
Figura 2. 2: Diagrama del transmisor óptico con (a) modulación directa y (b) modulación externa.....	5
Figura 2. 3: Cable de fibra óptica.....	8
Figura 2. 4: Propagación de la señal en una fibra monomodo: a) Sección de perfil de índice de una fibra monomodo; b) trayectoria óptica tomada por los rayos de luz.....	9
Figura 2. 5: Propagación de la señal en una fibra óptica multimodo de índice escalonado: (a) sección de perfil de índice de una fibra multimodo de índice escalonado; b) trayectoria óptica que toman los rayos de luz. ....	10
Figura 2. 6: Propagación de la señal en una fibra multimodo de índice gradual: (a) sección de perfil de índice de una fibra multimodo de índice gradual; b) trayectoria óptica que toman los rayos de luz.....	10
Figura 2. 7: Pérdidas ópticas en una fibra estándar.....	11
Figura 2. 8: Causas de la atenuación. ....	12
Figura 2. 9: Diferentes representaciones de dispersiones en la fibra. ....	13
Figura 2. 10: Dispersión cromática en una fibra óptica. ....	13
Figura 2. 11: Dispersión de la señal en la salida de la fibra óptica. ....	14

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: El sistema básico de comunicación por fibra. ....	16
Figura 3. 2: Disposición del diseño de comunicación óptica para el escenario 1.....	18
Figura 3. 3: La comparación entre señales digitales y analógicas. ....	19
Figura 3. 4: La comparación entre las señales digitales y analógicas en ( $P_{cw} = 15 \text{ dBm}$ ) y el ruido resultante de ellas utiliza una pequeña potencia de láser CW igual a ( $8 \text{ dBm} = 6.31 \text{ mW}$ ) para lograr una comunicación entre dos puntos sin usar ningún amplificador y transmita señales digitales (véase la figura 3.5a), luego la señal digital después de los rangos de enlace (LR) entre (1-5) km. ....	20

Figura 3. 5: La señal transmitida y las señales después de los rangos de enlace entre 1 y 5 km.....	21
Figura 3. 6: Pérdidas entre las dos longitudes de onda. ....	21
Figura 3. 7: La comparación entre NRZ y RZ. ....	22
Figura 3. 8: Las pérdidas para NRZ y RZ. ....	22
Figura 3. 9: La pérdida y transmitancia en fibras monomodo y multimodo. .	23
Figura 3. 10: Señales espectrales en fibras monomodo y multimodo después del enlace. ....	23
Figura 3. 11: Muestra las señales y pérdidas después de PIN y APD. ....	24
Figura 3. 12: Pasos del procesamiento de transmisión de datos para el escenario 2. ....	25
Figura 3. 13: Diseño básico de sistemas de comunicación. ....	26
Figura 3. 14: Configuración de simulación de sistema óptico de un canal...	27
Figura 3. 15: Configuración de simulación de sistema óptico de dos canales. ....	27
Figura 3. 16: Señales de dominio de tiempo en el lado del transmisor: (a) señal de entrada de onda sinusoidal continua (b) señal modulada después del modulador. ....	28
Figura 3. 17: Señales en el dominio del tiempo en el lado del receptor: (a) señal después del detector de PIN (b) señal final recibida. ....	29
Figura 3. 18: Señales espectrales de la información modulada en el lado del transmisor utilizando: (a) Datos digitales (b) Señal analógica. ....	30
Figura 3. 19: Señales espectrales correspondientes en el lado del receptor para los casos: (a) Datos digitales (b) Señal analógica. ....	30
Figura 3. 20: Medición de la pérdida de señal mediante el uso de moduladores RZ y NRZ. ....	31
Figura 3. 21: Medición de pérdida de señal para fibras monomodo y multimodo. ....	32
Figura 3. 22: Espectros de potencia de la señal detectada después de: (a) fotodetector PIN y (b) fotodetector APD. ....	32
Figura 3. 23: Ruido asociado con la señal recibida en el caso de: (a) fotodetector PIN y (b) fotodetector APD. ....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Especificación de un diodo láser semiconductor de tipo DFB.....	6
Tabla 2. 2: Comparación de las características de los diferentes tipos de láser. .....	7
Tabla 2. 3: Las diferentes causas de la atenuación.....	12
Tabla 2. 4: Comparativa de las características de fotodiodos PIN y APD....	14

## Resumen

Los sistemas de comunicación digitales de fibra óptica recientes abordan las técnicas de modulación y detección para una alta eficiencia espectral y robustez contra las degradaciones de transmisión. El objetivo propuesto de este proyecto es diseñar estudios y analizar el modelo de simulación de un sistema de comunicación de fibra digital utilizando OptiSystem., así como los componentes y las unidades utilizadas para implementarlos. Utilizando los ajustes más adecuados del sistema, que incluyen el transmisor láser con longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm como potencia de entrada (dBm), fibra óptica con ambos tipos de cable (SM y MM) como longitud de canal (km). Se analizaron los esquemas de modulación y demodulación (RZ y NRZ) para maximizar la eficiencia espectral y la eficiencia de potencia mediante la codificación de la información para evaluar su penalización sobre la calidad de la señal en el receptor. Se investigaron tres parámetros diferentes que son la potencia de salida (dBm), la cifra de ruido (dB), y transmitancia para los dos tipos de fibras.

**Palabras claves: SISTEMAS, COMUNICACIONES, MODULACIÓN, ESQUEMAS, POTENCIA, TRANSMISOR, RECEPTOR**

## CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

### 1.1. Introducción.

El mercado de fibra óptica actualmente está creciendo rápidamente y su uso resulta ser cada vez más popular en el rango de transmisión local y de largo cableado. Esto se debe a sus numerosas ventajas, que incluyen: bajo costo, alto ancho de banda de transmisión y cero interferencias electromagnéticas. Desde el desarrollo del láser en la década de 1960, se presentó el primer sistema de comunicación óptica que se basaba en una fuente óptica de láser adecuada. (Tómala Acosta, 2014)

Inicialmente se realizaron investigaciones que abordaban la posibilidad de comunicación de señales a través de un canal óptico. La comunicación óptica parecía ser difícil de superar debido a la atenuación de 1000 dB/km (Jiménez Peñaloza, 2005). Sin embargo, la atenuación se debía a las impurezas de la fibra. Investigaciones adicionales en la década de 1970 mostraban que, a través del uso de silicio puro, las pérdidas podrían reducirse a 20 dB/km. Por ejemplo, Corning incorporó vidrio de sílice dopado con titanio para la transmisión de señales con una atenuación de 17 dB/Km y posteriormente la atenuación fue disminuyendo a 4 dB/Km. Los sistemas ópticos actuales tienen tanto la fuente óptica apropiada como los medios de transmisión.

La primera generación del sistema de comunicación óptica funciona con una longitud de onda de 0,8  $\mu\text{m}$  y 45 Mbps con una separación de repetición de 10 km. El principal inconveniente de esta generación fue la dispersión cromática que causaba un aumento significativo del pulso y producía interferencia entre símbolos (ISI). (Pintor Goyeneche, 2017)

Con el fin de reducir el efecto de dispersión de la fibra, se presentó la fibra monomodo (*Single Mode Fiber, SMF*). Fue diseñada para soportar el modo de propagación de la luz para obtener una menor dispersión en comparación con la fibra multimodo. Permite una mayor tasa de símbolos del sistema y una distancia de repetición más larga. En el año 1981, se desarrolló

un sistema de fibra óptica monomodo con 2 Gbps a una longitud de onda de 1.3  $\mu\text{m}$  y una separación de repetición de 44 km.

En el mismo período, se desarrollaron varios sistemas de control de polarización, durante 1979-1985. Los esfuerzos de los investigadores se pagaron primero al análisis del sistema teórico y luego se trasladaron a la mejora de los sistemas. Más tarde, en 1990, junto con el desarrollo de fibras de sílice de baja pérdida y fibra desplazada por dispersión (DSF), surgió el sistema de comunicación de fibra óptica de tercera generación. El sistema óptico en esta generación se caracterizó por una región de longitud de onda de 1.5  $\mu\text{m}$  con una pérdida de 0.2 dB/Km y 10 Gbps con un límite de separación de repetidor de 100 Km. (Criollo Caizaguano, 2015)

La evolución del sistema de comunicación óptica de cuarta generación comenzó desde 1992 hasta 2001, a través de la invención del práctico amplificador óptico, el amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA), para reemplazar los repetidores y el método de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para aumentar la capacidad de datos. Desde 1992, se desarrollaron varios sistemas de comunicación de fibra óptica con una velocidad de bits que comenzó a duplicarse cada seis meses hasta que se logró una velocidad de bits de 10 Tbps en el 2001.

El aumento significativo en la velocidad de transmisión de las redes ópticas demostraba que el impacto de la dispersión de orden superior debería aclararse para una dispersión de orden superior par e impar en una fibra monomodo. Los límites de transmisión se obtienen analíticamente para cada orden enésimo mayor que induce interferencia entre símbolos. Las longitudes de transmisión están limitadas por el factor de  $1/B_0n$ , donde  $B_0$  es la velocidad de bits y  $n$  es el orden de dispersión.

## **1.2. Objetivo General.**

Realizar el diagnóstico y análisis de simulación de técnicas de transmisión de datos en sistemas de comunicaciones ópticas utilizando la plataforma de modelado OptiSystem.

### **1.3. Objetivos Específicos.**

- a. Describir los fundamentos teóricos de un sistema de comunicación óptica y sus componentes.
- b. Diseñar los diferentes escenarios de simulación empleando diferentes técnicas de transmisión sobre la plataforma OptiSystem.
- c. Evaluar los resultados obtenidos de los escenarios de simulación de un sistema de comunicación con diferentes técnicas de transmisión mediante OptiSystem.

## CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.

### 2.1. Introducción.

Generalmente, un enlace óptico consiste en un transmisor y un receptor conectados por una fibra óptica. La información que debe transmitirse de forma remota se convierte en una señal eléctrica modulada de manera analógica o digital por un transmisor (láser o diodo emisor de luz) que se convierte en una señal óptica. (Panchi Herrera, 2016)

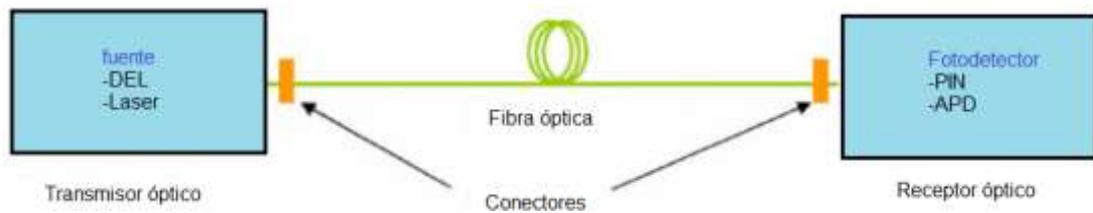


Figura 2. 1: Un diagrama que muestra la composición del enlace de fibra óptica.  
Fuente: (Bravo Ronquillo, 2018)

En este capítulo, se describen los tipos y características de los componentes que forman los elementos de un enlace óptico.

### 2.2. Módulo de transmisión.

La función de un transmisor óptico es convertir una señal eléctrica en una señal óptica. Existen dos métodos distintos para modular las ondas ópticas: la modulación directa de un láser y la modulación externa. La figura 2.2 muestra el diagrama de bloques de dos tipos de transmisores ópticos. En el resto de esta sección, se revisa los diferentes tipos de transmisores y sus características principales desde el punto de vista de sistemas de transmisión.

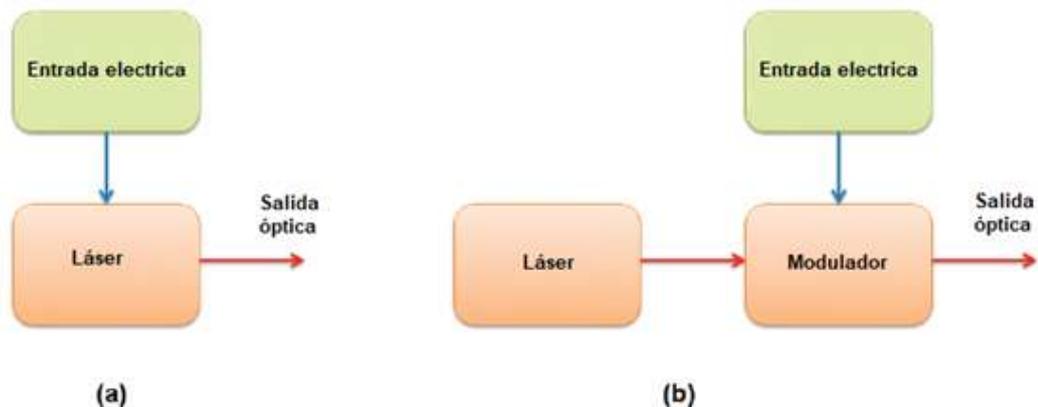


Figura 2. 2: Diagrama del transmisor óptico con (a) modulación directa y (b) modulación externa.

Fuente: (Izaguirre Jardines, 2016)

### 2.2.1. Fuentes ópticas

Las fuentes ópticas que se pueden utilizar en el campo de las comunicaciones ópticas se pueden clasificar en dos categorías: **(a)** Diodos emisores de luz (LEDs), y **(b)** fuentes coherentes (diodos láser). Estos dos tipos de fuentes se hacen desde la unión PN polarizada en vivo. El principio de emisión se debe a la recombinación de pares (electrón - hueco). El LED es una fuente incoherente, que tiene un espectro de emisión bastante amplio, así como un patrón de radiación menos directivo. El LED se utiliza principalmente en sistemas de transmisión que no requieren anchos de banda muy grandes. Mientras que, el diodo láser (DL) es una fuente coherente que se utiliza principalmente en sistemas de transmisión a distancias muy grandes (ancho espectral bajo  $\Rightarrow$  ancho de banda alto).

### 2.2.2. Diferentes tipos de láser.

En los sistemas de transmisión de fibra óptica, los láseres más utilizados son los láseres FP (Fabry-Perot), DFB (realimentación distribuida) y VCSEL (láser de emisión de superficie con cavidad vertical). Los láseres FP, DFB y VCSEL son diodos láser (LD) semiconductores. Generalmente tienen un tamaño pequeño, buena calidad espectral, bajo consumo de energía y una longitud de onda ajustable compatible con ventanas de transmisión de fibra óptica, alrededor de 850 nm, 1310 nm y 1550 nm. Los láseres DFB son fuentes confiables y monocromáticas que se utilizan actualmente en los sistemas WDM para controlar con precisión la longitud de onda de las señales ópticas. Algunas características de un láser DFB disponible comercialmente se dan en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1: Especificación de un diodo láser semiconductor de tipo DFB.

	Configuraciones	unidad	valor
	Potencia óptica máxima	mW	<30
	Flujo máximo	Gbps	>10
	Longitud de onda	Nm	1550
	Ancho de línea mínimo	MHz	<2
	Ruido de intensidad relativa (RIN)	dB/Hz	<-140

Elaborado por: Autor

### 2.2.3. Las características de los diferentes tipos de láser.

A continuación, en la tabla 2.2 se muestra una comparativa de las características principales de los tres tipos de láseres (VCSEL, FP, y DFB).

Tabla 2. 2: Comparación de las características de los diferentes tipos de láser.

Componente	VCSEL	Fabry-Perot	DFB
Potencia óptica (mW)	baja	baja	baja
Acoplamiento en una fibra óptica	> 50% (fibra multimodo)	> 50% (fibra multimodo)	> 50% (fibra multimodo)
Diagrama de emisiones	Por la superficie, poco divergente.	Por el corte, bastante divergente.	Por el corte, bastante divergente.
espectral (nm)	<0.1	10	<0.1
Ancho espectral del umbral de corriente	5 a 10	10 a 30	10 a 30
Frecuencia de modulación máxima (GHz)	10	Varios	Varios
Ruido	Muy débil	bajo	bajo
Longitudes de onda principales (µm)	0.78 a 0.9	1.3	1.3 y 1.5 a 1.6
costo	Bajo	Bajo medio	Alto
Aplicaciones	Transmisión de banda ancha de corta distancia (fibras multimodo y monomodo)	Transmisión de banda ancha de medio alcance (fibras monomodo)	Transmisión de banda ancha de muy alta velocidad y multiplexación WDM (fibras monomodo)

Elaborado por: Autor

## 2.3. Módulo de transmisión.

### 2.3.1. Fibra óptica.

La fibra óptica es el medio de propagación de la luz (canal de comunicación) en los sistemas ópticos. Es una guía de onda dieléctrica con una geometría cilíndrica que consiste en el centro de un núcleo que consiste esencialmente en silicio puro altamente refinada y más o menos dopada con un índice de refracción ligeramente más alto (una diferencia de unos pocos% es suficiente) a la de la carcasa con un diámetro exterior que oscila entre 50 µm y 125 µm.

### 2.3.2. La composición de un cable de fibra óptica.

La fibra óptica es de forma cilíndrica, consta de dos dieléctricos, diferentes índices, uno que forma la funda (índice  $n_2$ ) y el otro el núcleo (índice  $n_1$ ) rodeado por una funda protectora.

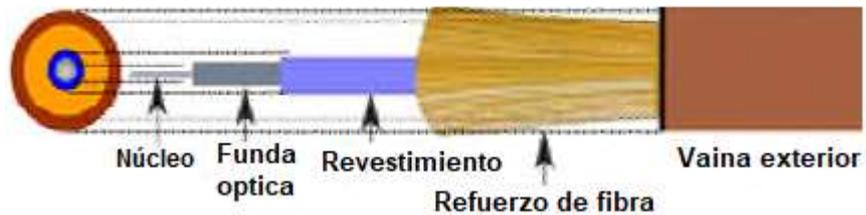


Figura 2. 3: Cable de fibra óptica.  
Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

- Núcleo: es la región de la fibra en la que se propaga la luz. En este medio, el índice de refracción  $n_1$  es el más alto.
- Revestimiento óptico: es un medio de índice  $n_2$  ligeramente más débil, que se comporta como un "espejo reflectante" para la luz en la interfaz de la vaina del núcleo.
- Recubrimiento: es una capa de plástico que envuelve la fibra óptica para fortalecerla. Ayuda a absorber los golpes y proporciona protección adicional contra curvaturas excesivas.
- Refuerzo de fibra: protege el núcleo contra las fuerzas de aplastamiento y la tensión mecánica excesiva durante la instalación.
- Vaina exterior: completa la protección mecánica del núcleo.

### 2.3.3. Tipos de fibras ópticas.

Desde el punto de vista de la propagación, hay dos tipos de fibra óptica: fibra óptica monomodo y fibra óptica multimodo, que se pueden clasificar según el índice de refracción: fibra monomodo de índice escalonado, fibra multimodo de índice escalonado y fibra multimodo de índice gradual.

#### 2.3.3.1. Fibra monomodo

La fibra monomodo tiene un núcleo muy estrecho (diámetro  $<10 \mu\text{m}$ ), solo el modo fundamental y se le permite propagarse a lo largo de la fibra, tiene un ancho de banda muy alto (del orden de THz/Km), es utilizado

principalmente por operadores de telecomunicaciones. Actualmente son posibles enlaces de 100 a 300 km sin repetidores.

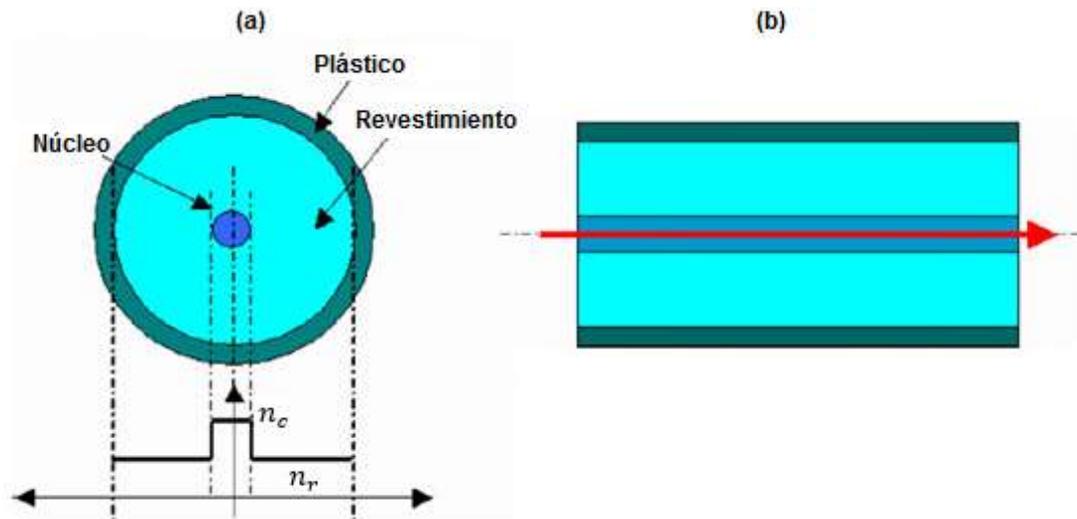


Figura 2. 4: Propagación de la señal en una fibra monomodo: a) Sección de perfil de índice de una fibra monomodo; b) trayectoria óptica tomada por los rayos de luz.  
Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

### 2.3.3.2. Fibra multimodo

La fibra multimodo fue la primera fibra que se utilizó en sistemas ópticos, tiene un diámetro de núcleo entre  $50\mu\text{m}$  o  $62.5\mu\text{m}$  y está limitado en ancho de banda. Existe en dos formas:

#### a) Índice escalonado:

El núcleo y el revestimiento tienen índices de refracción diferentes y constantes, tal como se muestra en la figura 2.5. La transición de un entorno a otro se caracteriza por un salto de índice. El haz de luz inyectado en la entrada de la fibra alcanzará la salida al tomar prestados diferentes caminos ópticos, lo que resulta en diferentes tiempos de propagación y, por lo tanto, una propagación de la señal transmitida, este fenómeno se denomina dispersión modal.

#### b) Fibra de gradiente de índice:

El núcleo se caracteriza por un índice variable que aumenta progresivamente desde la interfaz del revestimiento al núcleo hasta el centro de la fibra, los rayos de luz llegarán al mismo tiempo a la salida de la fibra (véase la figura 2.6), en el cual se elimina el fenómeno de dispersión modal.

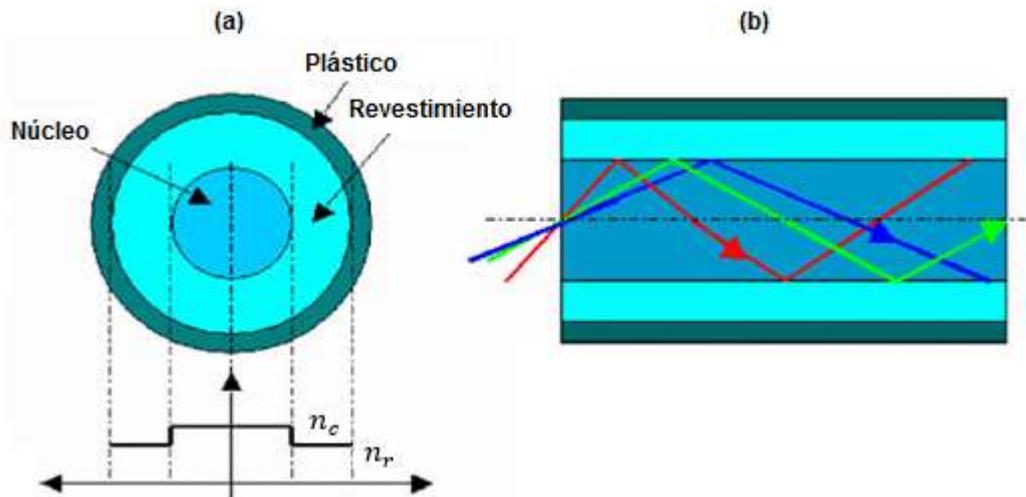


Figura 2. 5: Propagación de la señal en una fibra óptica multimodo de índice escalonado: (a) sección de perfil de índice de una fibra multimodo de índice escalonado; b) trayectoria óptica que toman los rayos de luz.

Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

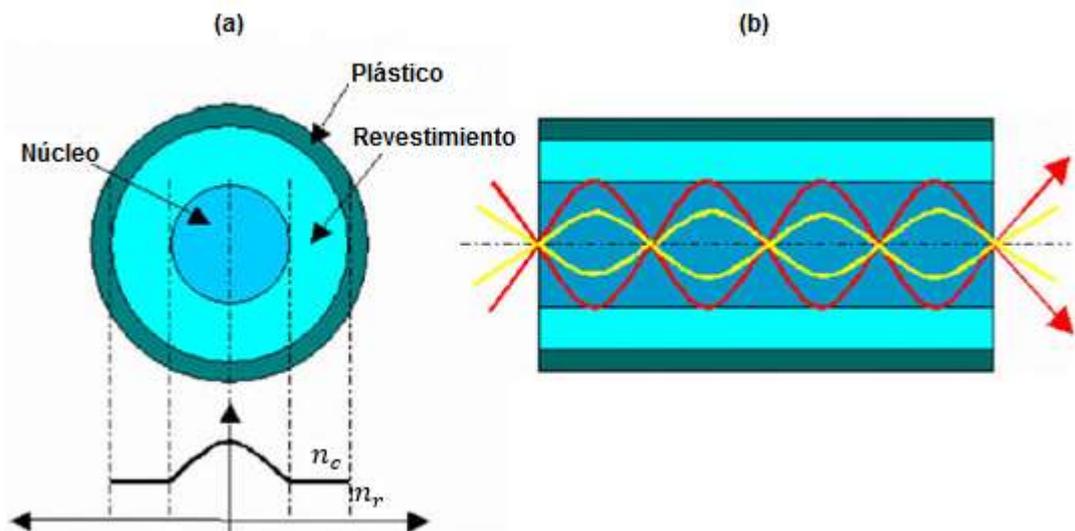


Figura 2. 6: Propagación de la señal en una fibra multimodo de índice gradual: (a) sección de perfil de índice de una fibra multimodo de índice gradual; b) trayectoria óptica que toman los rayos de luz.

Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

## 2.4. Efectos lineales en las fibras ópticas.

### 2.4.1. Atenuación.

La atenuación corresponde a una disminución en la potencia de la señal transmitida. Muy a menudo se expresa en decibelios (dB). Se define un coeficiente de atenuación  $\alpha$  para una línea de transmisión de longitud L que se expresa en dB/Km de manera que:

$$\alpha(\lambda) \frac{db}{km} = -\frac{10}{L} \log \left[ \frac{P_S}{P_E} \right]$$

Al comparar con otros medios de transmisión como el cobre, la atenuación de la fibra óptica es baja, depende en particular de la longitud de onda de los pulsos de luz.

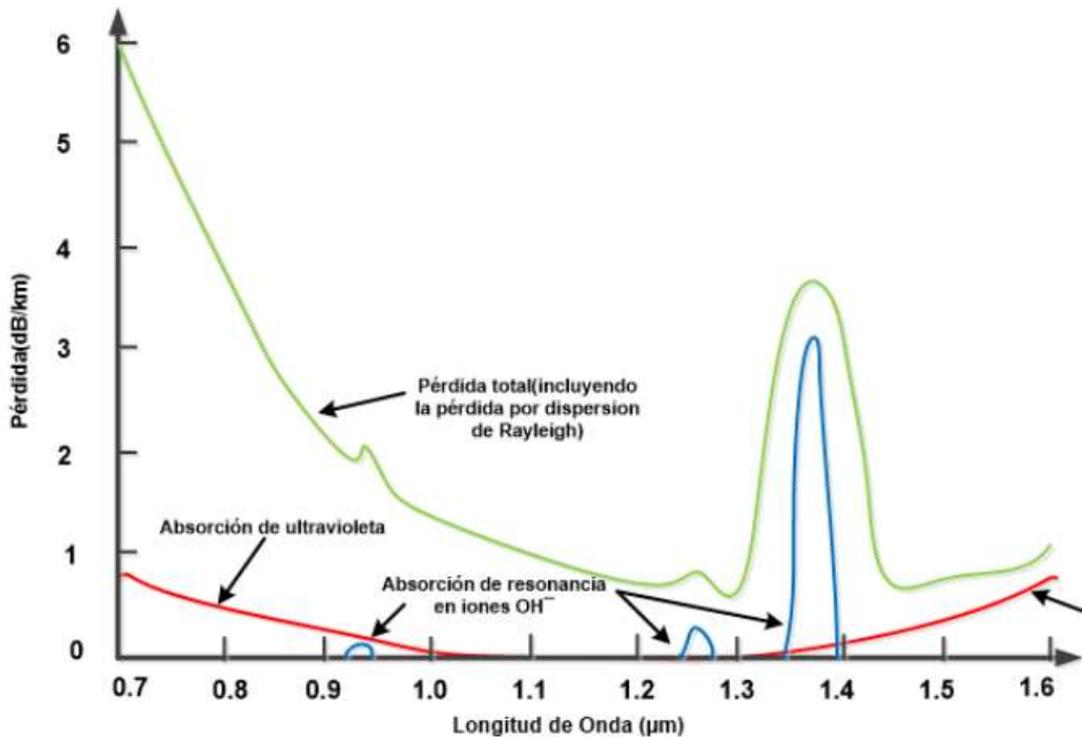


Figura 2. 7: Pérdidas ópticas en una fibra estándar.  
Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

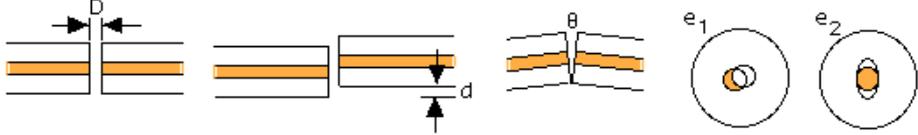
Según la atenuación, las fibras pueden usarse para la transmisión esencialmente en dos "ventanas de longitud de onda": las ventanas de 1300 nm y 1500 nm. La ventana de 800 nm está casi completamente abandonada. La ventana de 1300 nm tiene un ancho de banda de 50 nm y una atenuación promedio significativa de aproximadamente 0.4 dB/km, pero los componentes optoelectrónicos en estas longitudes de onda (láseres y receptores) no son caros. Se utiliza para sistemas de telecomunicaciones de corta distancia (decenas de kilómetros) o de baja capacidad: redes urbanas.

La ventana de 1550 nm tiene un ancho de banda de 100 nm y una atenuación promedio de aproximadamente 0.2 dB/km. Generalmente se usa para telecomunicaciones de larga distancia y alta velocidad porque la baja atenuación en esta ventana permite espaciar por mucho más tiempo los costosos regeneradores y/o amplificadores necesarios para compensar la atenuación en la fibra óptica.

### 2.4.2. Principios de la atenuación.

La atenuación en una fibra óptica tiene orígenes intrínsecos (absorción de material y dispersión de Rayleigh) y externos (pérdida de curvatura y empalme). La atenuación proviene principalmente de los fenómenos que se resumen en la tabla 2.3 y figura 2.8.

Tabla 2. 3: Las diferentes causas de la atenuación.

Tipo de pérdidas	Explicaciones
<b>Absorción</b>	Perturbación del fotón de la luz por un electrón de un átomo de impureza.
<b>Difusión</b>	Variación local del índice de refracción del núcleo de la fibra. Cambios en la densidad o composición en la materia.
<b>Curvaturas</b>	Torcedura en la fibra. Incumplimiento del principio de reflexión interna total.
<b>Conexiones</b>	Separación longitudinal Desalineación radial / angular La excentricidad / elipticidad de los corazones. 

Elaborado por: Autor

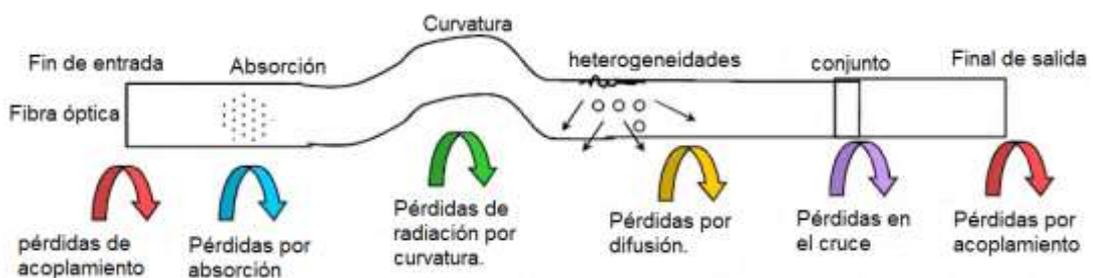


Figura 2. 8: Causas de la atenuación.

Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

### 2.4.3. La dispersión

Es un fenómeno que causa la deformación de la señal durante su propagación en la fibra, se traduce por la ampliación de los pulsos y se divide en dos tipos: **(a)** dispersión cromática, y **(b)** dispersión modal. La figura 2.9 muestra las representaciones de llegada causadas por la dispersión.

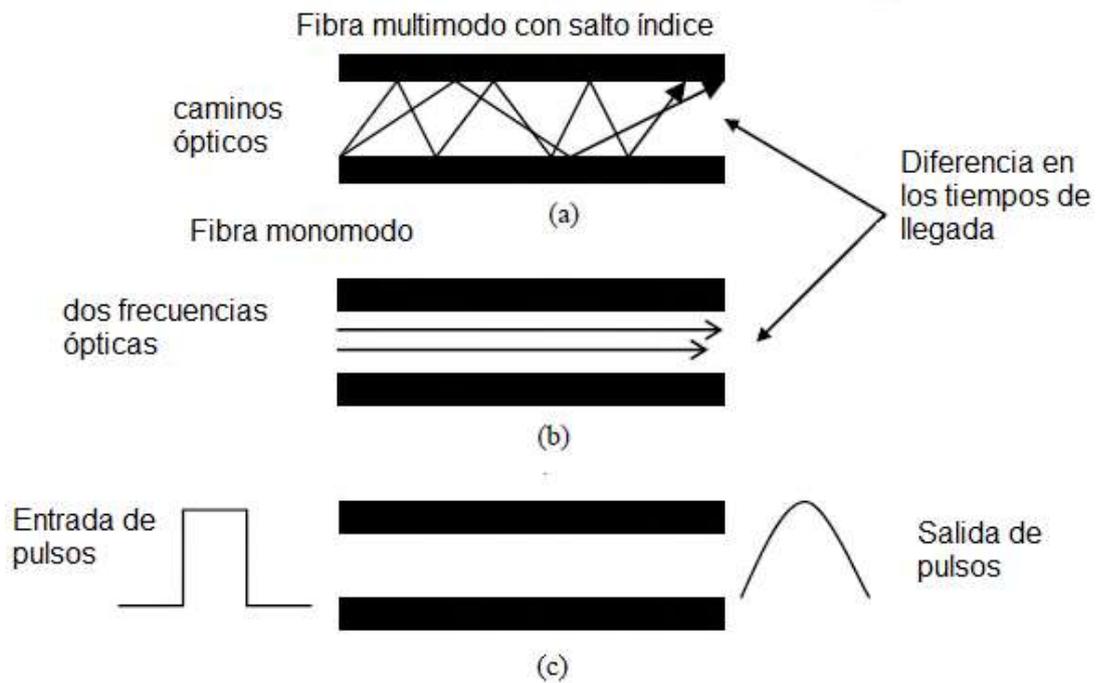


Figura 2. 9: Diferentes representaciones de dispersiones en la fibra.  
Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

**a) Dispersión cromática:**

La dispersión cromática expresada en  $\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ , caracteriza la propagación de la señal relacionada con su ancho espectral del transmisor (dos longitudes de onda diferentes no se propagan exactamente a la misma velocidad) esta dispersión depende de la longitud de onda considerada.



Figura 2. 10: Dispersión cromática en una fibra óptica.  
Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

**b) Dispersión modal**

Existe dispersión modal en fibras multimodo de índice escalonado. De hecho, en una fibra multimodo, varios caminos son posibles para la luz, estos caminos tienen diferentes longitudes, por lo que los tiempos de viaje también son diferentes. La dispersión modal proviene de la diferencia en el tiempo de viaje de la luz en la fibra en función de las trayectorias recorridas.

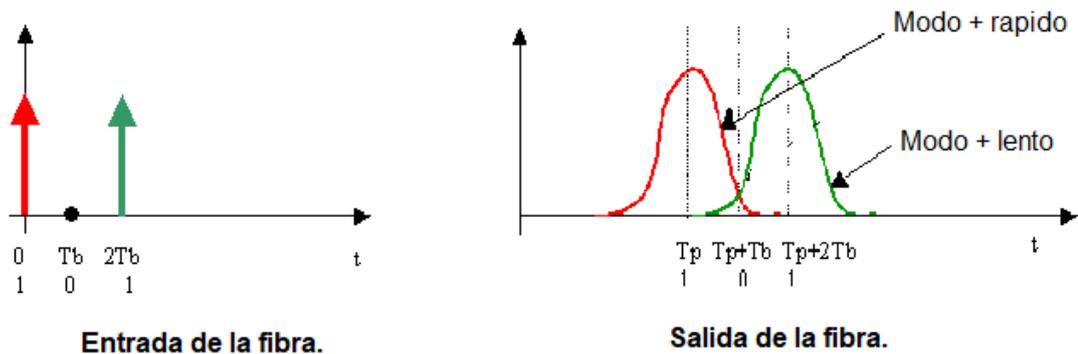


Figura 2. 11: Dispersión de la señal en la salida de la fibra óptica.  
Fuente: (Palacios Meléndez, 2017)

## 2.5. Módulo de recepción.

El papel del receptor es recuperar la secuencia binaria en forma eléctrica. El receptor está equipado en particular con un detector que consta de uno o más fotodiodos. Los fotodiodos pueden estar precedidos por un demodulador para recuperar información de la fase de la señal óptica. Los dos tipos de fotodiodos utilizables: el fotodiodo PIN y el fotodiodo de avalancha (APD). En los enlaces de telecomunicaciones de fibra óptica, el receptor es un componente tan vital como el transmisor.

### 2.5.1. Comparación entre los dos tipos de fotodiodos.

La tabla 2.4 muestra la comparativa de las características más relevantes de los fotodiodos PIN y ADP.

Tabla 2. 4: Comparativa de las características de fotodiodos PIN y APD.

Tipos de fotodiodo especificaciones	Fotodiodos	
	PIN	APD
Voltaje de control (V)	bajo	alto
Frecuencia de corte (GHz)	> 60	algunos
Rendimiento cuántico (%)	bajo	alto
Ancho de banda (GHz)	ancho	bajo
Longitud de onda (nm)	1300 y 1550	1300 y 1550

Elaborado por: Autor

## **Capítulo 3: Desarrollo de escenarios de simulación del componente práctico.**

### **3.1. Breve descripción general de comunicaciones por fibra óptica.**

La tecnología de comunicación por fibra óptica se destacó de la comunicación óptica y se ha convertido en uno de los pilares principales de las comunicaciones modernas. Los sistemas de comunicación óptica utilizan altas frecuencias de portadoras (~100 THz) en la región visible o infrarroja cercana del espectro electromagnético. A veces se les llama sistemas de ondas luminosas (Lightwave) para distinguirlos de los sistemas de microondas, cuya frecuencia de portadora es típicamente más pequeña en cinco órdenes de magnitud (~1 GHz). Los sistemas de comunicación por fibra óptica son sistemas de onda de luz que emplean fibras ópticas para la transmisión de información.

De hecho, se cree que la tecnología Lightwave, junto con la microelectrónica, es un factor importante en el advenimiento de la "era de la información". Los sistemas de fibra óptica tienen muchas ventajas sobre los sistemas de comunicación de base metálica. Estas ventajas incluyen: transmisión de señales a larga distancia, gran ancho de banda, peso ligero y diámetro pequeño, no conductividad, y seguridad.

En general, un sistema básico de fibra óptica consta de tres elementos, como se muestra en la figura 3.1, un dispositivo de transmisión que convierte una señal eléctrica en una señal luminosa. La mayoría de las fuentes de luz utilizadas en fibra óptica emiten luz en una de tres longitudes de onda diferentes: 850 nm, 1300 nm y 1550 nm, estas longitudes de onda se desean porque exhiben la menor cantidad de atenuación en la fibra de vidrio.

De las fuentes de luz, actualmente se utilizan principalmente dos tipos: el diodo emisor de luz (LED) y el diodo láser (LD). La elección real de una fuente sobre otra depende del tipo de aplicación, costo, rendimiento deseado, así como consideraciones de temperatura, Los LD tienen una salida no lineal, generalmente medida en milivatios (mW), y la salida de un LD es muy

estrecha, con una dispersión espectral del orden de 1 a 10 nm, en comparación con un LED que puede tener una dispersión alta como de 100 nm. Debido a que los LD tienen un potencial de salida y una eficiencia de acoplamiento más altos, por lo tanto, son adecuados para transmisiones de larga distancia.

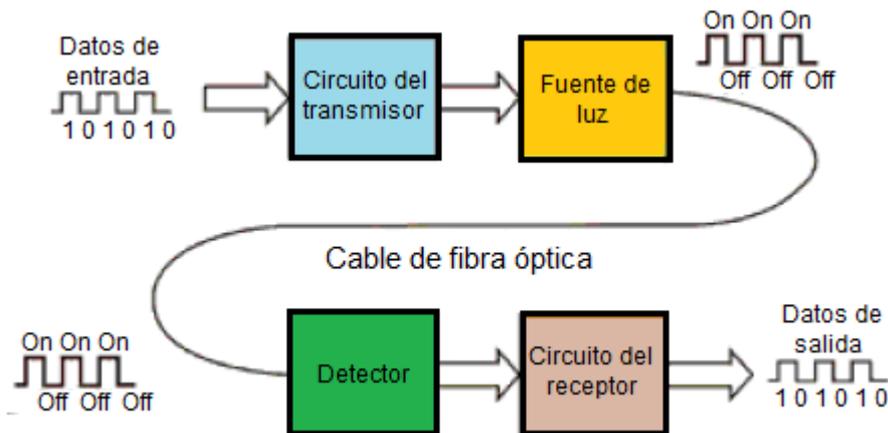


Figura 3. 1: El sistema básico de comunicación por fibra.  
Elaborado por: Autor.

Normalmente, la salida de una fuente óptica, tal como un láser semiconductor, se modula aplicando la señal eléctrica directamente a la fuente óptica o a un modulador externo. Hay dos opciones para el formato de modulación del flujo de bits óptico resultante, estos son conocidos como formatos de retorno a cero (RZ) y de no retorno a cero (NRZ).

La segunda parte del sistema de fibra óptica es el canal de transmisión como la fibra óptica, que son los medios reales que guían la luz, ya que pueden ser de vidrio o plástico. Una fibra típica se compone de un núcleo, un revestimiento y una cubierta, básicamente hay dos tipos de fibras de índice escalonado e índice gradual. Las fibras del índice escalonado se pueden dividir en dos tipos de fibra, monomodo y multimodo.

La fibra multimodo (MMF) de índice escalonado tiene múltiples caminos para que la luz se desplace, mientras que la fibra monomodo (SMF) solo permite que un solo rayo de luz se propague y debido a que el diámetro del núcleo es muy pequeño, los LD se utilizan generalmente para acoplar la luz a la fibra.

La tercera parte son los detectores ópticos, que al igual que las fuentes ópticas, los detectores ópticos utilizados en fibra óptica son casi exclusivamente dispositivos semiconductores en forma de diodos PIN y detectores de fotodiodos de avalancha (APD).

### **3.2. Descripción del software OptiSystem.**

Ahora, los sistemas de comunicación óptica son cada vez más complejos, estos sistemas a menudo incluyen múltiples canales de señal, diferentes estructuras de topología, dispositivos no lineales y fuentes de ruido no gaussianas, lo que hace que su diseño y análisis sean bastante complejos y requieran trabajo de alta intensidad.

OptiSystem permitirá que el diseño y análisis de estos sistemas se convierta de manera rápida y eficiente. OptiSystem es un innovador paquete de simulación de sistemas de comunicación óptica que fue explorado por la compañía Optiwave para cumplir con los requisitos académicos de los diseñadores de sistemas ópticos, ingenieros de comunicaciones ópticas e investigadores del área óptica.

OptiSystem integra el diseño, prueba y optimiza todos los tipos de funciones de la capa física de la red óptica de banda ancha, como la conexión óptica virtual. Tiene una enorme base de datos de componentes activos y pasivos, que incluyen potencia, longitud de onda, pérdida (atenuación) y otros parámetros relacionados. Los parámetros permiten al usuario escanear y optimizar los parámetros técnicos específicos del dispositivo en el rendimiento del sistema.

OptiSystem tiene un potente entorno de simulación a nivel de componentes y sistemas reales de definiciones de clasificación. Un modelo de sistema de comunicación de fibra óptica se basa en el simulador real del nivel del sistema. Su rendimiento se puede adjuntar a la biblioteca de interfaz de usuario del dispositivo y se puede expandir completamente para convertirse en una herramienta ampliamente utilizada.

### 3.3. Consideraciones del diseño para el escenario 1.

El sistema transmite información mediante la onda de portadora óptica del transmisor al receptor a través del canal de fibra óptica. La señal de entrada contiene datos eléctricos que están representados por 0 y 1 ha sido generado por un generador de secuencia de bits pseudoaleatorios sin retorno a cero (NRZ) y otra con retorno a cero (RZ). Luego, la señal de entrada se modula con un láser semiconductor representado por un láser de onda continua (CW) a través del modulador Mach-Zehnder.

El láser CW suministra la señal de entrada con longitudes de onda de 1550 nm y 1310 nm y potencia de entrada que se modula externamente en  $(2.5 \times 10^9)$  Bits/s con una secuencia binaria pseudoaleatoria sin retorno a cero (NRZ) y de retorno de cero (RZ) en una modulador Mach-Zehnder con 10 dB de índice de extinción. La fibra óptica utilizada es la fibra monomodo, porque puede producir una mayor velocidad de datos, menor dispersión y también puede operar en una distancia de largo alcance, por lo que es adecuada para ser utilizada como enlace de transmisión, finalmente, la señal recibida por el fotodetector PIN. El diseño de la red propuesta se muestra en la figura 3.2.

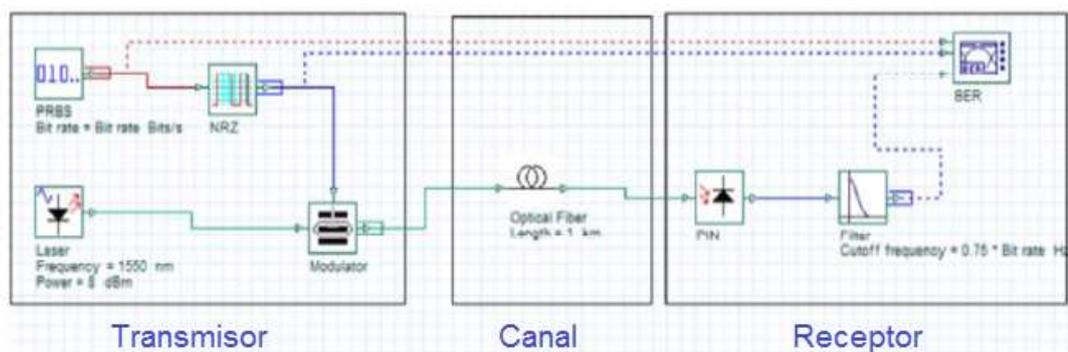


Figura 3. 2: Disposición del diseño de comunicación óptica para el escenario 1.  
Elaborado por: Autor.

### 3.4. Resultados y discusiones del escenario 1.

El diseño básico del sistema de comunicación de fibra óptica digital se modeló y simuló para la caracterización del rendimiento utilizando OptiSystem 7.0, que ya se indicó que es una potente herramienta de diseño de software que permite planificar, probar y simular casi todos los tipos de enlaces ópticos. La señal de entrada contiene datos digitales en lugar de analógicos.

Debido a que necesita una potencia muy pequeña para transmitir el formato, se consideró negligente en relación con los datos analógicos, como se muestra en la figura 3.3, en señal digital, a una potencia del láser CW igual a  $-10\text{dBm}$ , y el rango de enlace fue  $1\text{ km}$ , la señal después del filtro se muestra en la figura 3.3a, pero cuando transmite una señal analógica a esta potencia no se obtienen los datos enviados, tal como se muestra en la figura 3.3b. Se ha obtenido una bonificación de la señal digital transmitida a  $-10\text{dBm}$ , en una señal analógica de transmisión con potencia de láser CW igual a  $30\text{ dBm}$ , tal como se observa en la figura 3.3c.

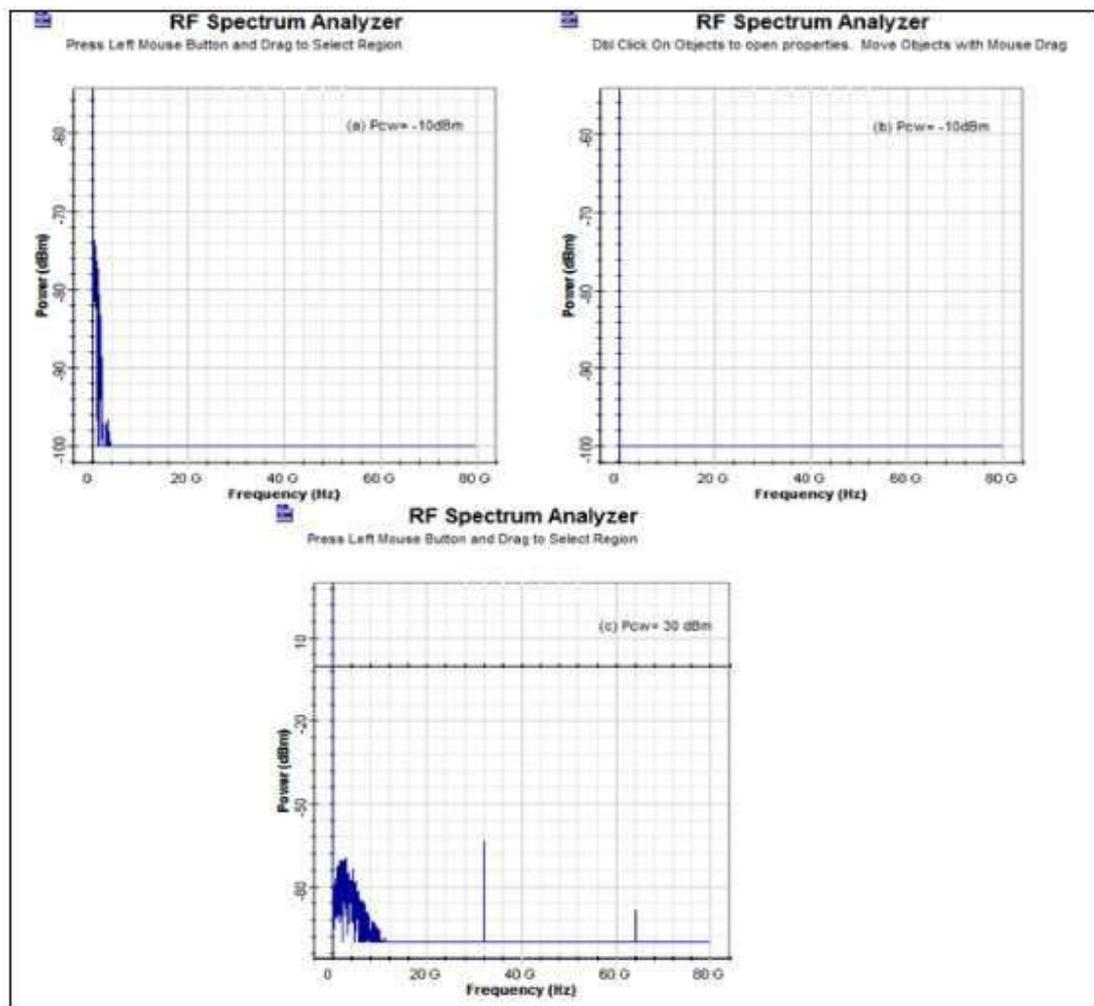


Figura 3. 3: La comparación entre señales digitales y analógicas.  
 Elaborado por: Autor.

Pero con una potencia del láser CW igual a  $15\text{ dBm}$ , se obtuvo una señal mostrada en la figura 3.4a como la señal digital y 3.4b como señal analógica, así como el ruido en la señal digital fue ligeramente más bajo que la señal

analógica, pero para la transmisión de datos analógicos requiere de una potencia mucho más grande.

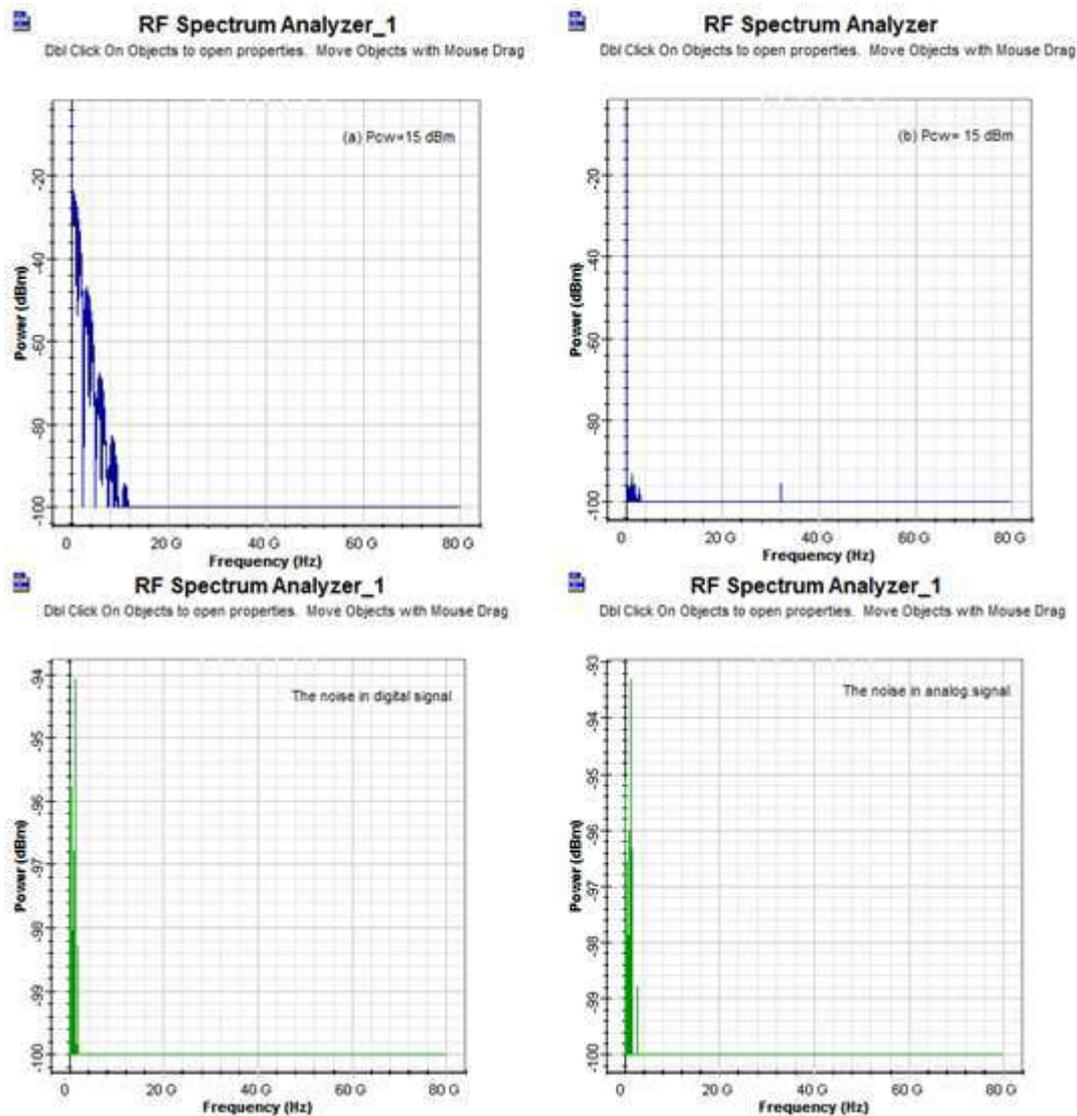


Figura 3. 4: La comparación entre las señales digitales y analógicas en ( $P_{cw} = 15$  dBm) y el ruido resultante de ellas utiliza una pequeña potencia de láser CW igual a ( $8$  dBm =  $6.31$  mW) para lograr una comunicación entre dos puntos sin usar ningún amplificador y transmita señales digitales (véase la figura 3.5a), luego la señal digital después de los rangos de enlace (LR) entre (1-5) km.

Elaborado por: Autor.

Luego se utiliza las longitudes de onda ( $1550$  nm) y ( $1310$  nm) para transferir la señal, las pérdidas en las dos longitudes de onda fueron muy convergentes, por lo tanto, se eligió la longitud de onda ( $1550$  nm), tal como se muestra en la figura 3.4.

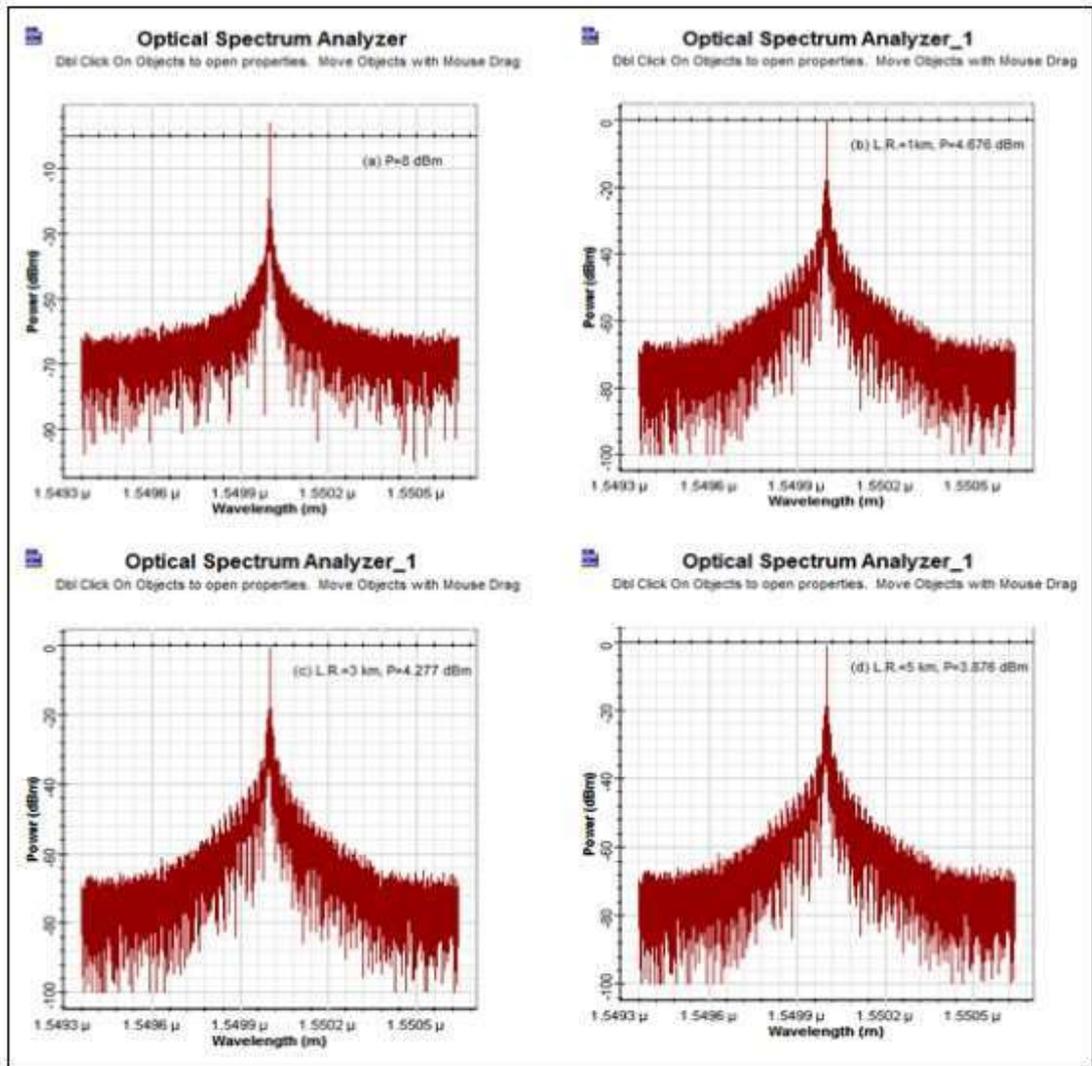


Figura 3. 5: La señal transmitida y las señales después de los rangos de enlace entre 1 y 5 km.

Elaborado por: Autor.

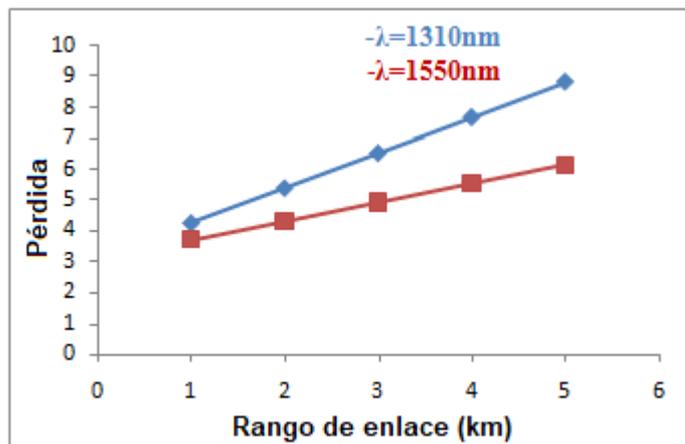


Figura 3. 6: Pérdidas entre las dos longitudes de onda.

Elaborado por: Autor.

La señal de entrada se modula con un láser CW que es a través del modulador Mach-Zehnder, con NRZ y RZ. La tabla 3.1 muestra el cuadro comparativo entre NRZ y RZ.

Tabla 3. 1: Comparativa entre NRZ y RZ utilizando  $u = 8 \text{ dBm}$ ,  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ )

El tipo de modulación.	Potencia después de MZ (dBm)	Pérdida
NRZ	4.876	3.12325
RZ	2.61	5.39

Elaborado por: Autor.

Para mostrar la diferencia entre NRZ y RZ, se toman las señales después del rango de enlace de 5 km, tal como se muestra en la figura 3.7.

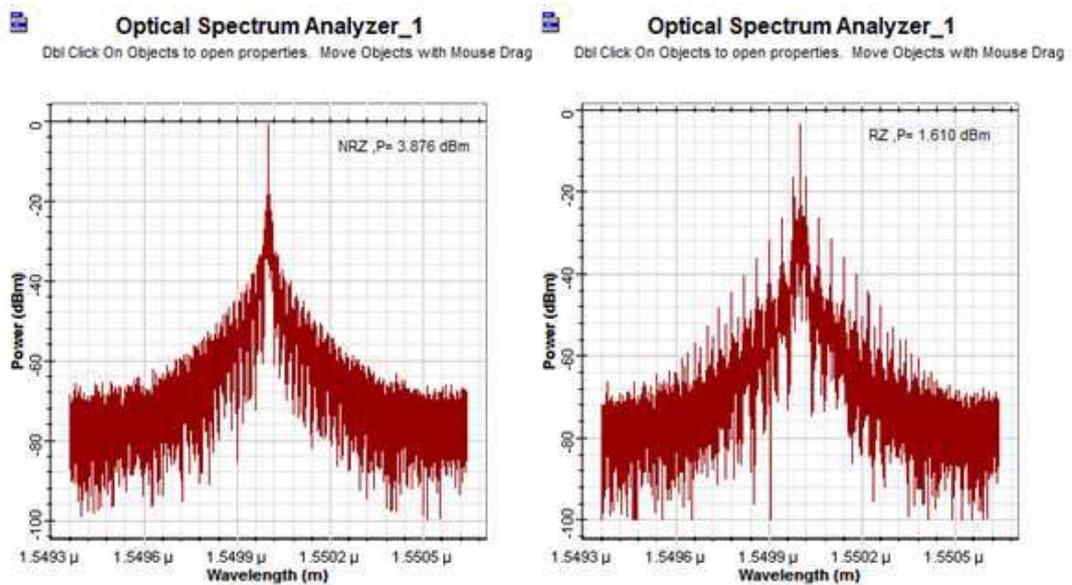


Figura 3. 7: La comparación entre NRZ y RZ.

Elaborado por: Autor.

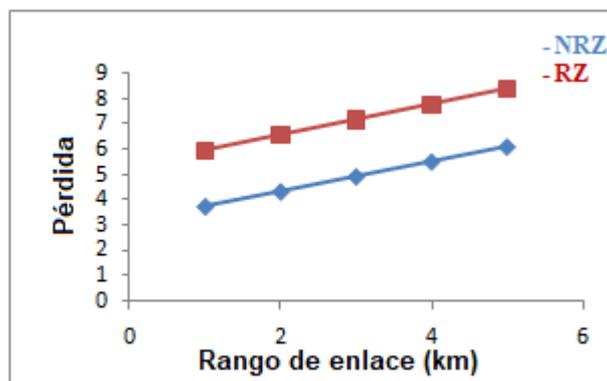


Figura 3. 8: Las pérdidas para NRZ y RZ.

Elaborado por: Autor.

Las pérdidas en NRZ y RZ para rangos de enlace entre 1 y 5 km, demostraron que la modulación NRZ es mejor que la modulación RZ, tal como se muestra en la figura 3.8. Se emplearon dos tipos de fibras la monomodo y multimodo para transmitir las señales, las pérdidas en la fibra de monomodo fueron muy inferiores a la fibra multimodo y la transmitancia mayor en monomodo que la fibra multimodo para enlaces de transmisores entre 1 y 5 km, tal como se muestra en figura 3.9.

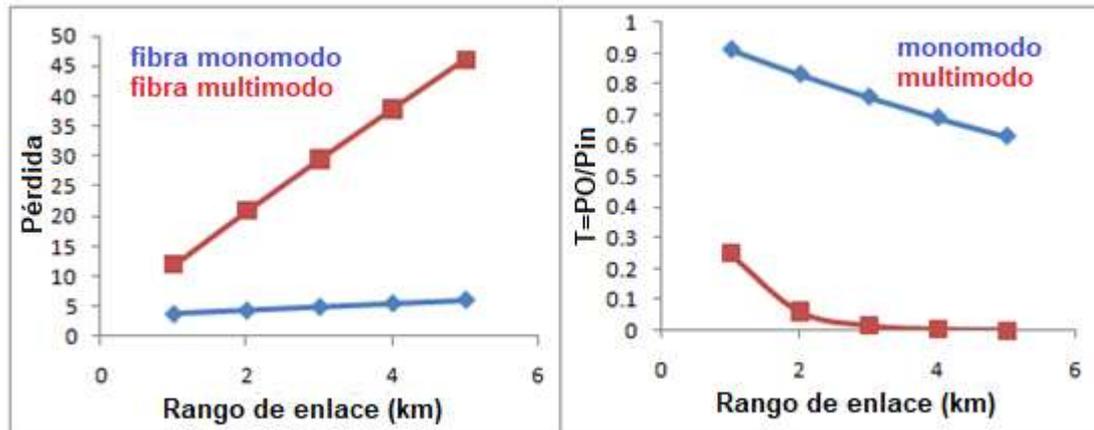


Figura 3. 9: La pérdida y transmitancia en fibras monomodo y multimodo.  
Elaborado por: Autor.

Pero después de alcanzar un rango igual a 5 km, las señales en fibras monomodo y fibras multimodo se explican en la siguiente figura 3.10.

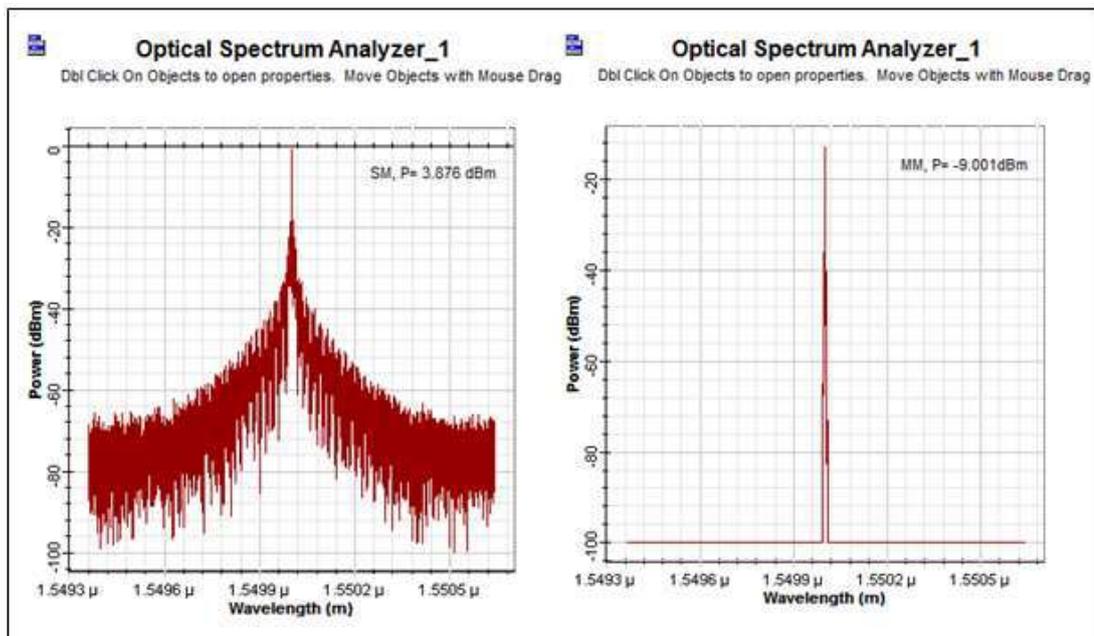


Figura 3. 10: Señales espectrales en fibras monomodo y multimodo después del enlace.

Elaborado por: Autor.

En la disposición del diseño de la comunicación de fibra óptica, la señal fue recibida por el detector PIN, porque el ruido en el PIN es menor que el ruido resultante utilizando el detector APD, aunque la potencia de salida para el detector APD es mayor que la potencia de salida para el detector PIN después del rango de enlace igual a 5 km, tal como se muestra en la figura 3.11.

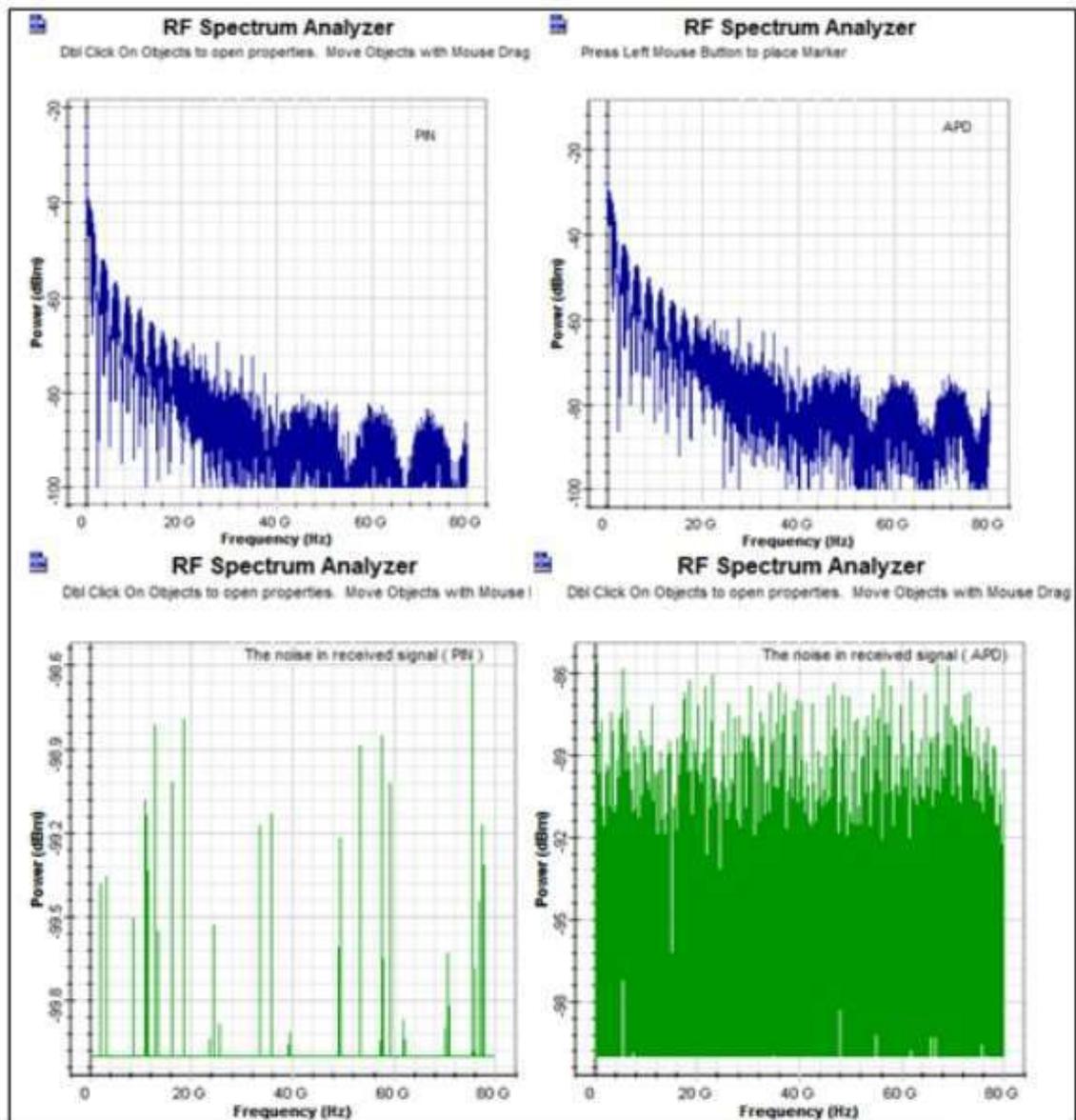


Figura 3. 11: Muestra las señales y pérdidas después de PIN y APD.  
 Elaborado por: Autor.

### 3.5. Consideraciones del diseño para el escenario 2.

Como ya se ha mencionado un sistema de comunicación óptica utiliza ondas de luz como portadora para transmitir una señal. El sistema tiene tres partes principales, que incluyen el transmisor, el receptor y el canal. En el caso

de la comunicación óptica, los transmisores tienen fuentes de luz y los receptores tienen detectores de luz que están conectados a los canales a través de fibras ópticas. El transmisor tiene fuente óptica y modulador, que convierte la señal eléctrica en luz. El receptor tiene un amplificador, detector y filtro, que convierte la luz transmitida de nuevo a la señal de voz o música a la salida. La figura 3.12 ilustra los pasos de procesamiento realizados por el sistema de comunicación óptica diseñado.

En este segundo escenario, los datos sin procesar se modulan y transmiten utilizando diferentes técnicas de transmisión óptica. A continuación, después de recibir la señal, los datos se amplifican, detectan y filtran utilizando diferentes tipos de receptores. Se ha realizado una simulación del sistema óptico utilizando el software de simulación OptiSystem. El rendimiento del sistema de ondas de luz diseñado y modelado y sus datos recibidos se mide, evalúa y analiza.

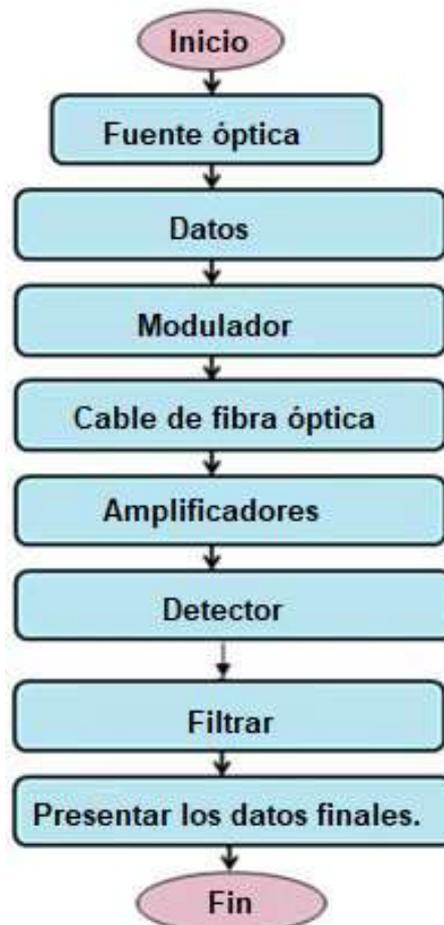


Figura 3. 12: Pasos del procesamiento de transmisión de datos para el escenario 2.  
Elaborado por: Autor.

Nuevamente el programa OptiSystem se utiliza en el diseño, modelado y evaluación de rendimiento de diferentes sistemas de comunicación óptica propuesto en el escenario 2. Se considera como un potente paquete de simulación de sistema de comunicación óptica que permite diseñar y analizar diferentes marcos de comunicación óptica de manera rápida y eficaz.

Además, el simulador tiene un entorno de simulación efectivo y simula varios componentes reales de los sistemas de comunicación óptica. La figura 3.13 muestra el diseño del escenario 2 en el que se llevará a cabo el modelado, evaluación y análisis de datos obtenidos. Se utiliza un láser CW como generador de impulsos para simular el transmisor. Se selecciona un archivador dispersivo no lineal como el canal de comunicación. En el receptor se utilizan un detector PIN y un amplificador EDFA. Se despliega un analizador de espectro óptico para visualizar y medir los espectros de señal.

El escenario 2 consiste en el modelado y simulación de dos transmisores. El primero es un transmisor de un canal (véase la figura 3.14). El segundo es un transmisor de dos canales (véase la figura 3.15). La configuración de la simulación, tal como se muestra en la figura 3.15, presenta la compensación del FWM. Ambos transmisores fueron diseñados mediante la utilización de varios componentes proporcionados por la biblioteca de Optiwave.

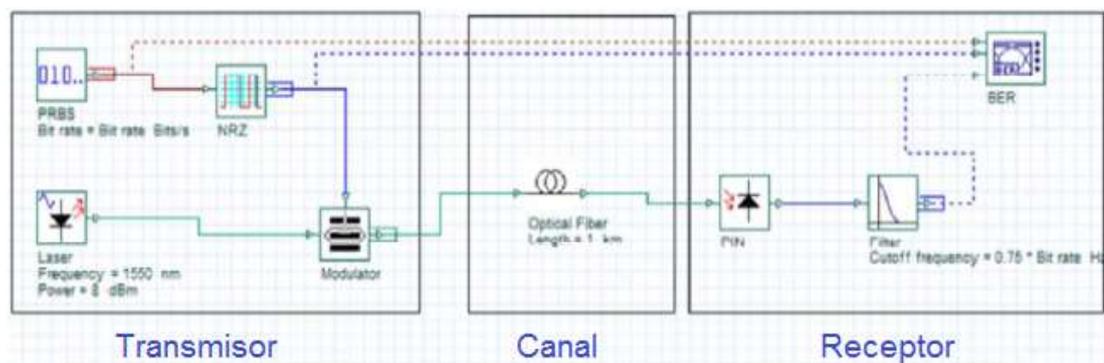


Figura 3. 13: Diseño básico de sistemas de comunicación.

Elaborado por: Autor.

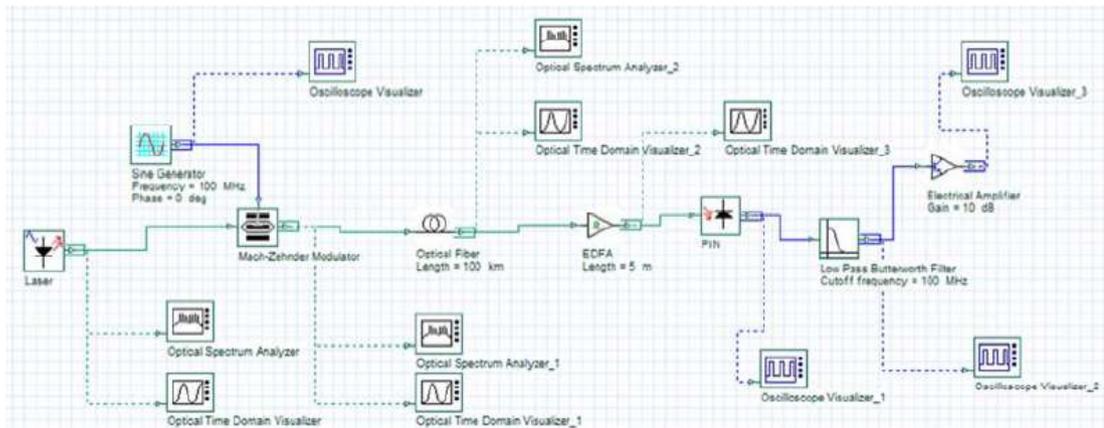


Figura 3. 14: Configuración de simulación de sistema óptico de un canal.  
Elaborado por: Autor.

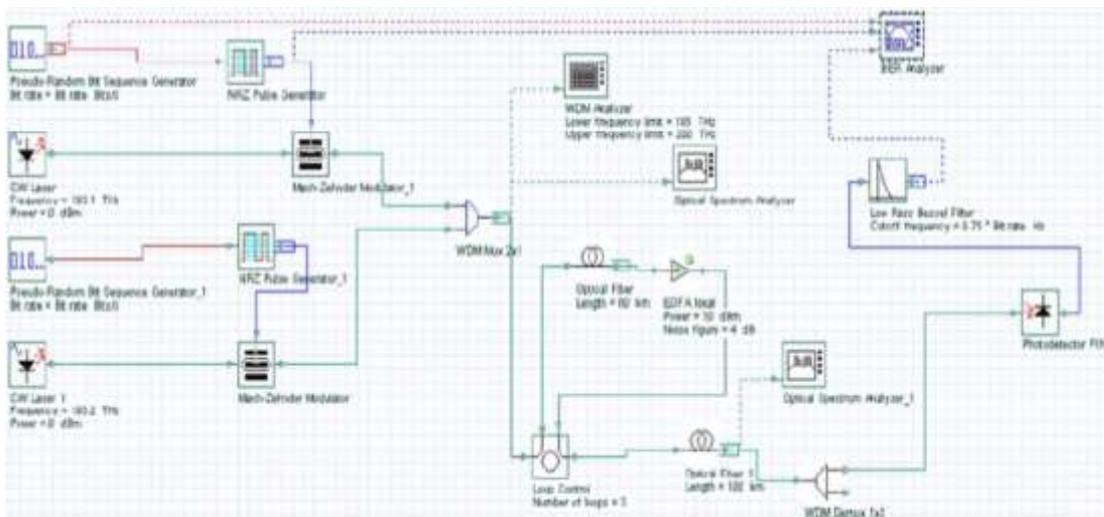


Figura 3. 15: Configuración de simulación de sistema óptico de dos canales.  
Elaborado por: Autor.

### 3.6. Resultados experimentales

Para este segundo escenario el simulador OptiSystem modela y simula dos técnicas diferentes de transmisión de datos (véanse las figuras 3.14 y 3.15). Se realizaron veinte experimentos para cuantificar la transmisión y recepción de datos con las dos técnicas de transmisión de datos. Se seleccionó una fuente óptica de láser de longitudes de onda  $\lambda = 1550, 1330, 850, 650$  y  $590$  para transmitir información. La información, en el lado del transmisor, se modula con la fuente de láser utilizando el modulador Mach-Zehnder.

La señal modulada se transmite luego a través de una fibra óptica monomodo al receptor. La señal transmitida a lo largo de la distancia del canal

dará resultados diferentes a los del lado del transmisor que se monitorea con los visualizadores apropiados de señales de tiempo-frecuencia.

En el lado del receptor, se utilizan detectores de fotodiodo PIN y fotodiodo de avalancha (APD) en la extracción de la información original transmitida. Los analizadores de espectro de RF y los visualizadores de dominio de tiempo se utilizan en el monitoreo, evaluación y análisis de las características de frecuencia de tiempo de la información transmitida y recibida.

### 3.6.1. Evaluación del desempeño del escenario 2.

Los experimentos se iniciaron aplicando una forma de onda sinusoidal sinusoidal como una señal analógica de entrada al sistema de comunicación óptica que se muestra en la figura 3.14. La señal es monitoreada por un visualizador de osciloscopio y la señal de dominio de tiempo se muestra en la figura 3.16a. La señal de entrada es luego modulada por el modulador Mach-Zehnder y la señal modulada es monitoreada por un visualizador óptico de dominio de tiempo, tal como se muestra en la Figura 3.16b. La señal resultante representa la señal original continua de interés después de ser transportada por la señal láser. Esta señal se transmite al canal óptico.

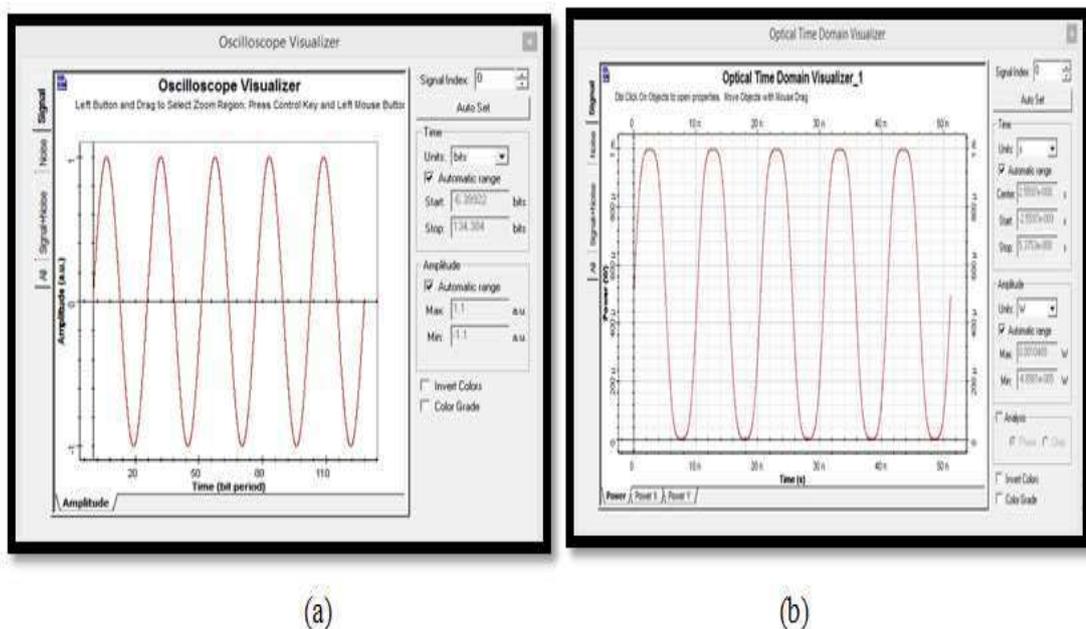


Figura 3. 16: Señales de dominio de tiempo en el lado del transmisor: (a) señal de entrada de onda sinusoidal continua (b) señal modulada después del modulador.

Elaborado por: Autor.

En el subsistema receptor de la figura 3.14, la señal es detectada por el fotodiodo PIN. Otro visualizador de osciloscopio se utiliza para monitorear la señal recibida detectada. A continuación, se utiliza un filtro pasa bajo para filtrar el ruido y los espectros de alta frecuencia.

Finalmente, la señal resultante es amplificada y monitoreada por un visualizador del tercer osciloscopio. La figura 3.17 muestra las señales detectadas resultantes en el lado del receptor. Los resultados muestran el exitoso diseño y modelado del sistema de comunicación óptica de un canal para detectar y recuperar la señal transmitida original.

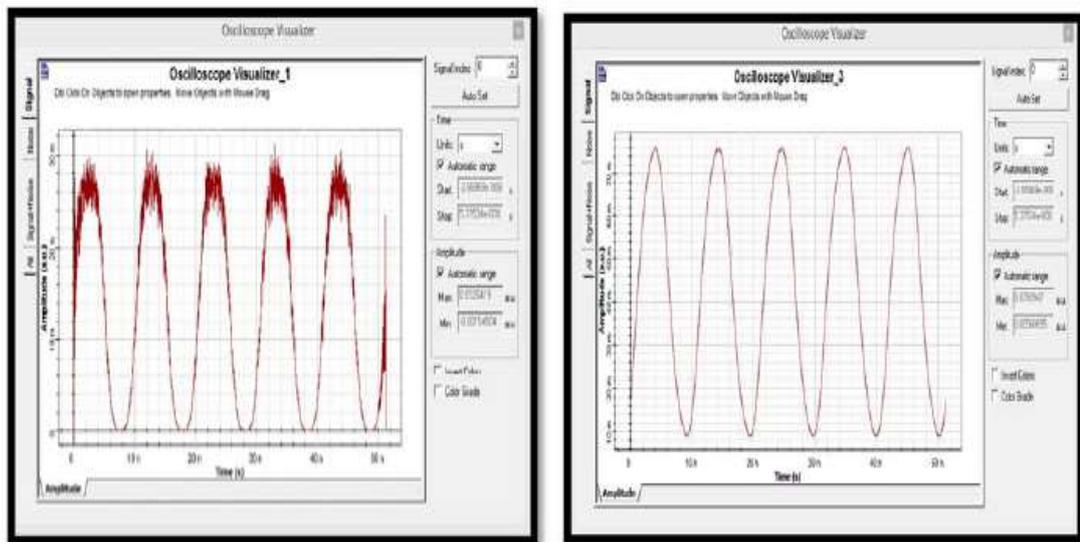


Figura 3. 17: Señales en el dominio del tiempo en el lado del receptor: (a) señal después del detector de PIN (b) señal final recibida.

Elaborado por: Autor.

Se realizó otro experimento para el segundo escenario para demostrar y estudiar espectros de señales de transmisión y recepción de datos analógicos y digitales. La Figura 3.18 muestra el análisis de dominio de frecuencia de las señales de tiempo continuo y discreto en tiempo, que se midieron utilizando un analizador de espectro. Otro analizador de espectro se utiliza para medir los espectros de señales recibidas para ambos casos, por ejemplo.

La información analógica y digital transmitida (véase la figura 3.19), el resultado muestra que ambas señales, analógicas y digitales, tienen un espectro de potencia de -10 y 15 dBm, respectivamente, en los lados del

transmisor y del receptor. El resultado valida el diseño del sistema de comunicación óptica para recuperar la información original transmitida.

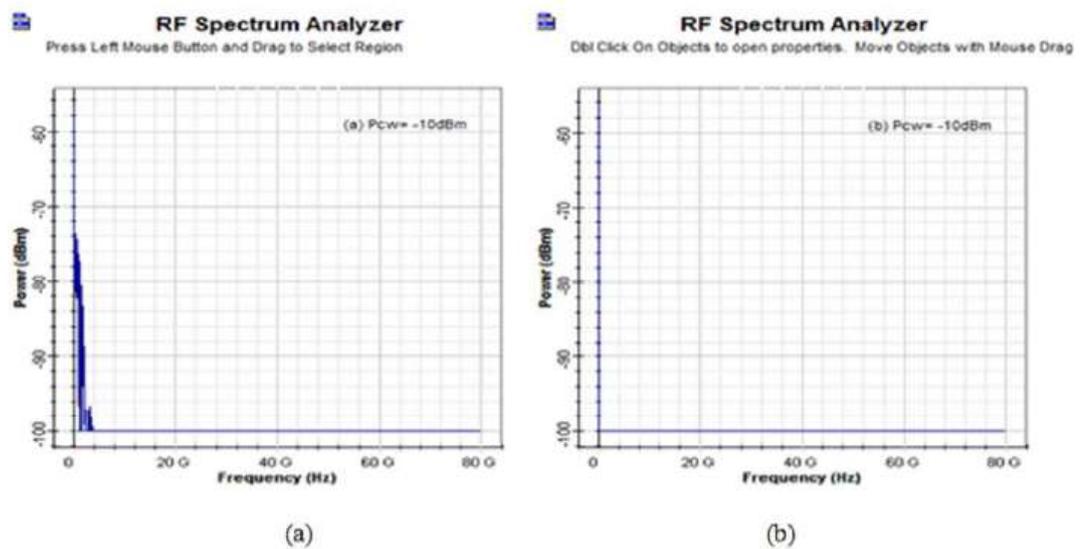


Figura 3. 18: Señales espectrales de la información modulada en el lado del transmisor utilizando: (a) Datos digitales (b) Señal analógica.  
Elaborado por: Autor.

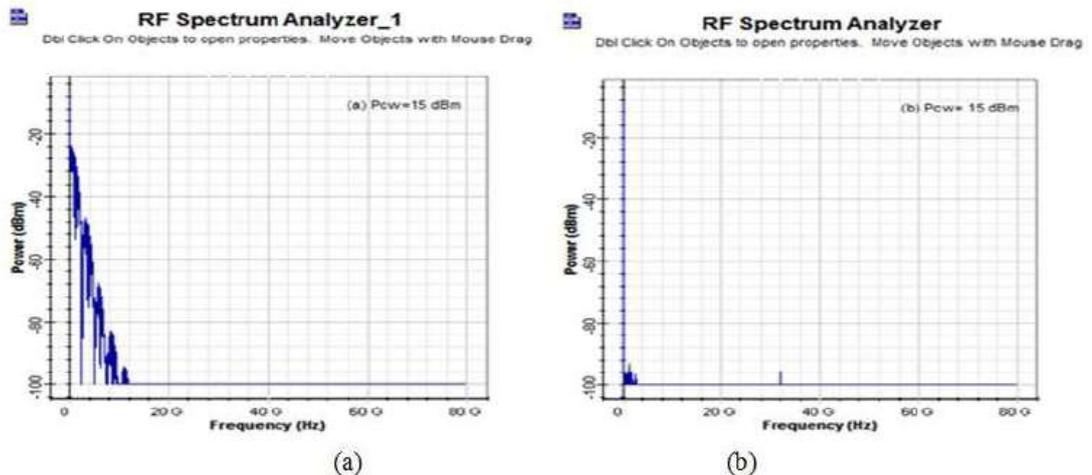


Figura 3. 19: Señales espectrales correspondientes en el lado del receptor para los casos: (a) Datos digitales (b) Señal analógica.  
Elaborado por: Autor.

### 3.6.2. Características de la señal modulada en el escenario 2.

En el tercer experimento, la señal de entrada continua en el tiempo o discreta en el tiempo, en el subsistema del transmisor, se moduló utilizando la fuente óptica de láser CW con longitud de onda  $\lambda = 1550$  nm. El modulador Mach-Zehnder utilizó dos formatos de modulación, sin retorno a cero (NRZ) y retorno a cero (RZ), para estudiar las características de la señal modulada. La

figura 3.20 presenta los resultados de simulación de la pérdida de señal medida en función de los rangos de enlace variable.

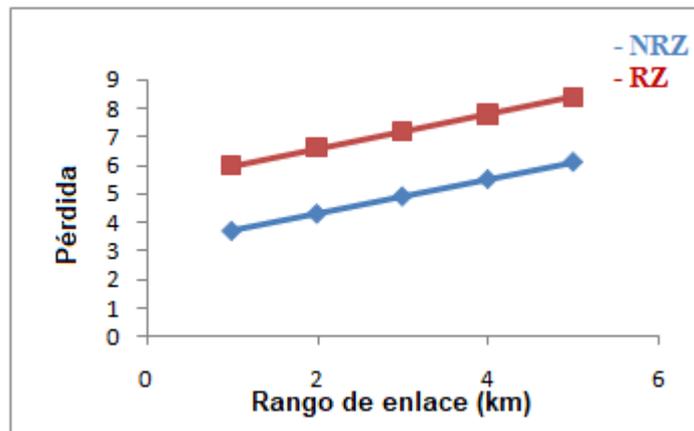


Figura 3. 20: Medición de la pérdida de señal mediante el uso de moduladores RZ y NRZ.

Elaborado por: Autor.

El resultado muestra que RZ tiene una mayor pérdida de señal en comparación con NRZ. Por lo tanto, el resultado indica que la modulación NRZ proporciona una mejor recaptura de la señal con una pérdida menor que RZ. Esto se debe a la menor utilización del ancho de banda por un factor de dos cuando se usa el modulador NRZ en comparación con RZ. La razón detrás de esto es que la transición ON-OFF en la modulación RZ ocurre más frecuentemente que en la modulación NRZ.

### 3.6.3. Efectos de la fibra óptica multimodo en el escenario 2.

El cuarto experimento se realizó para medir y analizar el efecto de las fibras ópticas monomodo y multimodo. La señal recibida se midió en diferentes longitudes de fibra óptica monomodo y multimodo. El resultado se muestra en la figura 3.21, el mismo indica que la fibra óptica monomodo funciona mejor que la fibra óptica multimodo en términos de pérdida de señal, especialmente a largas distancias. Esto se debe al pequeño diámetro de la fibra óptica monomodo que proporciona siempre una menor pérdida.

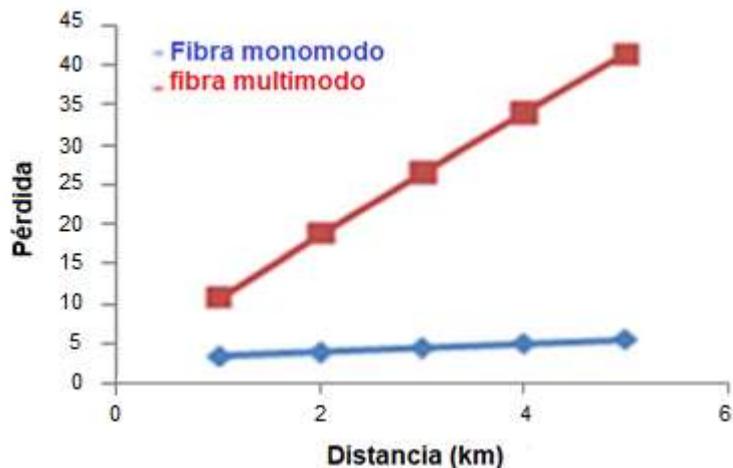


Figura 3. 21: Medición de pérdida de señal para fibras monomodo y multimodo.  
Elaborado por: Autor.

### 3.6.4. Efectos de los fotodetectores en el escenario 2.

El último experimento se realizó en el lado del receptor para medir y analizar los efectos del uso de dos fotodetectores diferentes, PIN y APD. Usando el espectro de radiofrecuencia (RF) después del detector, se extrajeron y midieron los resultados de la simulación de los dos fotodetectores, tal como se muestran en las figuras 3.22 y 3.23.

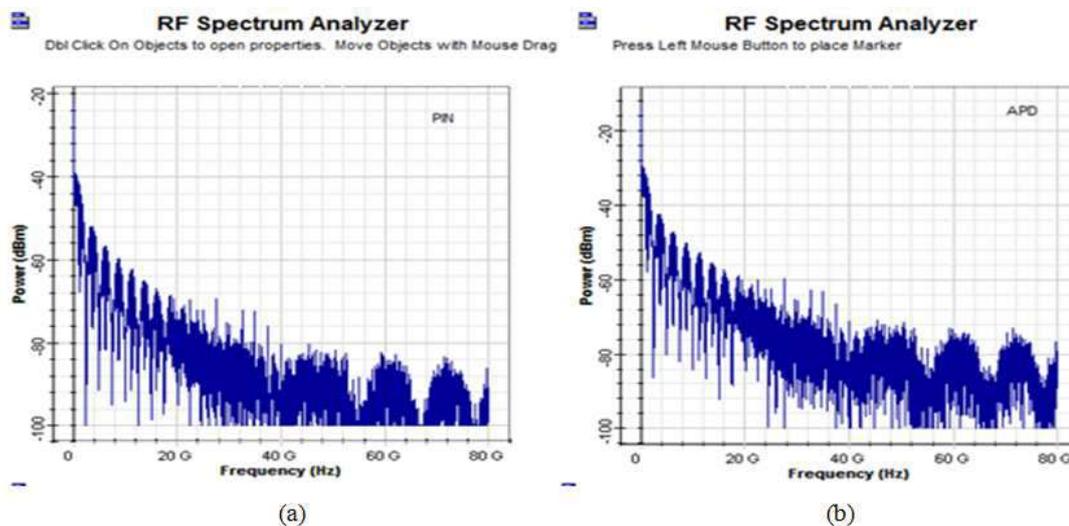


Figura 3. 22: Espectros de potencia de la señal detectada después de: (a) fotodetector PIN y (b) fotodetector APD.  
Elaborado por: Autor.

Las señales resultantes indican que el fotodetector PIN funciona mejor que su contraparte el fotodetector APD en términos de menor potencia de ruido acompañada de la señal recibida después de la detección. Esto se debe

a que el fotodetector PIN requiere menor potencia de operación y tiene una relación señal/ruido (S/N) mucho menor en comparación con la naturaleza aleatoria del fotodetector APD.

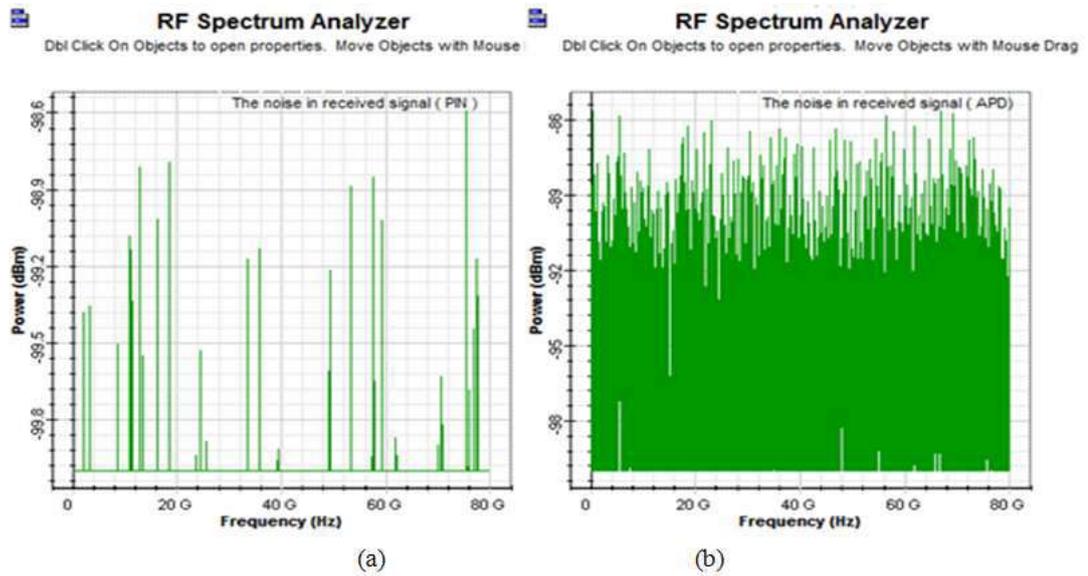


Figura 3. 23: Ruido asociado con la señal recibida en el caso de: (a) fotodetector PIN y (b) fotodetector APD.  
Elaborado por: Autor.

## **Conclusiones**

El uso de la fuente de láser en los sistemas de comunicación de onda de luz tiene un mejor rendimiento que los LED en términos de mayor potencia de salida y menor divergencia de luz. Tiene salidas de luz más ajustadas y se puede acoplar fácilmente a las fibras monomodo. Por lo tanto, se considera idealista para enlaces de comunicación de alta velocidad y largas distancias.

Por esta razón, la fuente de láser se implementa en este documento. El modulador NRZ se desempeña mejor que RZ en términos de menor sensibilidad al ruido en fase láser. Además, requiere menos transmisión de señal y ancho de banda de recepción por un factor de dos en comparación con la contraparte RZ. Finalmente, los resultados muestran la superioridad del fotodetector PIN en términos de su efectividad de uso y los requisitos mínimos de detección de potencia de señal que el fotodetector APD.

## **Recomendaciones.**

La plataforma de simulación OptiSystem es una herramienta amigable y robusta que permite modelar sistemas de comunicaciones ópticas reales, y a partir de esto, se recomienda:

1. Incentivar el uso de herramientas tecnológicas de modelado y simulación de sistemas de comunicaciones para asignaturas de la carrera y que tenga como propósito la estimulación de estudiantes en el desarrollo de nuevos trabajos de investigación.
2. Modificar el sistema propuesto que incluya el análisis de métricas, pero usando la comunicación de radio sobre fibra (Radio over Fiber, RoF).
3. Modificar el sistema propuesto que incluya la comparativa de rendimiento usando la comunicación FSO (Espacio libre óptico) versus RoF.

## **Bibliografía.**

- Bravo Ronquillo, N. A. (2018). Diseño de un enlace óptico entre la provincia de Santa Elena y las Islas Galápagos para proveer servicio de internet con tecnología GEAPON. (Trabajo de Titulación de Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil). Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10219>
- Criollo Caizaguano, L. S. (2015). Diseño de una red convergente de fibra óptica para interconectar los Campus de la Universidad de la Américas (Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/8078>
- Izaguirre Jardines, K. (2016). Estudio y simulación de transmisores ópticos mediante ejercicios demostrativos (Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones). Recuperado de <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/6641>
- Jiménez Peñaloza, J. L. (2005). Caracterización del modulador electro-óptico APEtm microwave analog intensity con aplicación de transmisión de video compuesto (Tesis de Maestría, Universidad de las Américas Puebla). Recuperado de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meie/jimenez\\_p\\_jl/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/jimenez_p_jl/)
- Palacios Meléndez, E. F. (2017). Apuntes de Comunicaciones Ópticas: La fibra óptica. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Panchi Herrera, M. F. (2016). Diseño de una red GPON para la empresa Cine Cable TV (Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/13176>
- Pintor Goyeneche, D. F. (2017). Diseño y simulación de un sistema de transmisión de fibra óptica en banda base y con múltiples

subportadoras de RF (Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7981/1/PintorGoyenecheDiegoFelipe2017.pdf>

Tómala Acosta, R. D. (2014). Aplicaciones prácticas en el OTDR Emulador para sistemas de comunicaciones ópticas (Tesis de Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil). Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1672/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-25.pdf>



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, **ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS** con C.C: # 131234715-4 autor del Trabajo componente práctico de examen complejo: **Diagnóstico y análisis de simulación de técnicas de transmisión de datos en sistemas de comunicaciones ópticas usando 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: ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS

C.C: 131234715-4

## **REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

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

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE SIMULACIÓN DE TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICAS USANDO OPTISYSTEM.		
<b>AUTOR(ES)</b>	ZAMBRANO CORNEJO, OSCAR ANDRÉS		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
<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>	37
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Fundamentos de comunicación, comunicaciones inalámbricas		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Sistemas, Comunicaciones, Modulación, Esquemas, Potencia, Transmisor, Receptor		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>Los sistemas de comunicación digitales de fibra óptica recientes abordan las técnicas de modulación y detección para una alta eficiencia espectral y robustez contra las degradaciones de transmisión. El objetivo propuesto de este proyecto es diseñar estudios y analizar el modelo de simulación de un sistema de comunicación de fibra digital utilizando OptiSystem., así como los componentes y las unidades utilizadas para implementarlos. Utilizando los ajustes más adecuados del sistema, que incluyen el transmisor láser con longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm como potencia de entrada (dBm), fibra óptica con ambos tipos de cable (SM y MM) como longitud de canal (km). Se analizaron los esquemas de modulación y demodulación (RZ y NRZ) para maximizar la eficiencia espectral y la eficiencia de potencia mediante la codificación de la información para evaluar su penalización sobre la calidad de la señal en el receptor. Se investigaron tres parámetros diferentes que son la potencia de salida (dBm), la cifra de ruido (dB), y transmitancia para los dos tipos de fibras.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-85671994	E-mail: <a href="mailto:oscar-10-andres@hotmail.com">oscar-10-andres@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO 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>			