



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de
radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem**

AUTOR:

Albán López, Edison Vicente

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

TUTOR:

M. Sc. Romero Rosero, Carlos Bolívar

Guayaquil, Ecuador

2019



**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. Albán López, Edison Vicente** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Romero Rosero, Carlos Bolívar

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 11 días del mes de Marzo del año 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Albán López, Edison Vicente

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 11 días del mes de Marzo del año 2019

EL AUTOR

ALBÁN LÓPEZ, EDISON VICENTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, Albán López, Edison Vicente

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de Marzo del año 2019

EL AUTOR

ALBÁN LÓPEZ, EDISON VICENTE

REPORTE DE URKUND

Informe del trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con 2% de coincidencias perteneciente al estudiante, **ALBÁN LÓPEZ EDISON VICENTE.**

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, document details are shown: 'Documento: ALBÁN Titulacion.docx (04/1556325)', 'Presentado: 2019-02-04 00:42 (-05:00)', 'Presentado por: eel17@hotmail.es', 'Recibido: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Revisión Tesis. Mostrar el mensaje completo. 2% de estas 29 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.' The right panel, titled 'Lista de fuentes', lists the following sources:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	SUABEZ_GVID_FINAL_FINAL.docx
	SIMULACION DE UN SISTEMA DNDM EN UNA RED ÓPTICA A TRAVÉS DEL SOFTWARE OPTISYSTEM.docx
	http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ny58F0c30FCJ:www.dlrei.us.edu/bajar.php%253
	https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11395/Com%20publicash%20v%2014-03-28%20PDF
	https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_por_fibra_%26Optica

Below the sources, the main text of the document is visible:

Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (ROF) utilizando OptiSystem.
AUTOR: Albán López, Edison Vicente
Trabajo de Titulación
previo a
la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
TUTOR: M. Sc. Romero Rosero, Carlos Bolívar
Guayaquil, Ecuador
de Marzo del 2019
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES
CERTIFICACIÓN
Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Albán López, Edison Vicente como requerimiento para la obtención del
título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.
TUTOR

Atte.

Ing. Carlos Romero Rosero.
Profesor Titular Principal - Tutor

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud, sabiduría, fortaleza y guía para transitar por el camino del bien y así lograr culminar mi carrera.

A mis padres, Edison Albán y María López, pilar fundamental en mi vida, su apoyo, motivación, inmenso amor y consejos me permiten mejorar día a día y alcanzar mis metas.

A mi hermana y sobrinos, quienes me ofrecieron su ayuda incondicional.

EL AUTOR

ALBÁN LÓPEZ, EDISON VICENTE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen de Guadalupe por siempre cuidarme y mantenerme con salud, brindarme inteligencia y el conocimiento para poder cumplir mis metas estudiantiles.

A mis padres, por siempre estar en las buenas y malas, guiándome por el camino del bien, apoyándome, aconsejándome y brindándome su amor e inmenso cariño.

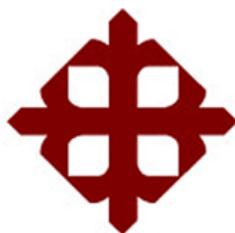
A mi hermana y sobrinos, mi inspiración para nunca rendirme y seguir adelante en todo lo que me planteo.

A mi abuelita María, que siempre me cuida y me ayuda desde el cielo a conseguir mis objetivos de vida.

A mi tutor, el Ing. Carlos Romero Rosero, por ofrecerme su conocimiento, pues de lo contrario no hubiera sido posible la realización exitosa de este trabajo, muchísimas gracias.

EL AUTOR

ALBÁN LÓPEZ, EDISON VICENTE



**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. ZAMORA CEDEÑO, NÉSTOR ARMANDO
COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XIII
Resumen	XIV
Abstract.....	XV
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Definición del Problema	4
1.4. Justificación del Problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	5
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. Historia de los Sistemas de Comunicaciones Ópticas	6
2.2. Comunicaciones Ópticas.....	7
2.3. Transmisores Ópticos	9
2.3.1. Transmisores ópticos de semiconductores - Diodos emisores de luz (LED)	10
2.3.2. Transmisor óptico semiconductor - Diodos laser	13
2.4. Receptores Ópticos.....	14
2.4.1. Fotodiodos PIN	16
2.4.2. Fotodiodos de Avalancha.....	18
2.5. Componentes fundamentales de un sistema de comunicaciones ópticas.....	20

2.5.1.	Medio de transmisión: Fibra óptica.....	21
2.5.2.	Oscilador coherente a frecuencias ópticas: LÁSER.....	22
2.5.3.	Fotodetectores	24
2.6.	Radio sobre fibra (RoF)	27
2.6.1.	Tecnología de RoF	28
2.6.2.	Arquitectura del sistema RoF	29
2.6.3.	Técnicas de Modulación Óptica	31
2.6.4.	Aplicaciones de RoF	32
2.6.5.	Ventajas de Radio sobre fibra	33
CAPÍTULO 3: SIMULACION Y RESULTADOS OBTENIDOS		35
3.1.	OptiSystem 7.0.....	35
3.2.	Parámetros de Métricas	37
3.2.1.	Tasa de error de bit (BER)	37
3.2.2.	Diagrama de ojo	37
3.2.3.	Factor Q	38
3.3.	Descripción del modelo de simulación de un sistema RoF	38
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		49
4.1.	Conclusiones.....	49
4.2.	Recomendaciones.....	49
Bibliografía.....		50
Anexo.....		55

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Sistema propuesto, en 1963, de comunicaciones con láser.	6
Figura 2. 2: Diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones ópticas.8	
Figura 2. 3: Diagrama de bloques general de un enlace de fibra óptica.	10
Figura 2. 4: Distribución de la portadora a través de una unión pn sin una polarización aplicada externamente.....	11
Figura 2. 5: Polarización inversa de una unión pn	12
Figura 2. 6: Polarización hacia adelante de una unión pn	12
Figura 2. 7: Espectro típico de LED de emisión de borde y de superficie. ...	13
Figura 2. 8: Diagrama de bloques de un receptor óptico analógico.	15
Figura 2. 9: Diagrama de bloques de un receptor óptico digital.	15
Figura 2. 10: Estructura de la sección transversal de un diodo P-i-N típico.	17
Figura 2. 11: (a) Fotodiodo de avalancha que muestra una región de alta ganancia. (b) Multiplicación de pares portadores en la región de ganancia de un fotodiodo de avalancha.	19
Figura 2. 12: Estructura de un fotodiodo de avalancha de silicio (APD) con anillo protector.	20
Figura 2. 13: Evolución histórica de la fibra óptica y del láser en la segunda mitad del siglo XX.	24
Figura 2. 14: Funcionamiento del Fotodetector.....	25
Figura 2. 15: Sistema RoF básico.....	28
Figura 2. 16: Arquitectura del Sistema RoF.	29
Figura 2. 17: Función de transición de corriente del láser semiconductor de modulación directa.....	31
Figura 2. 18: Esquema de modulación externa.....	32

Capítulo 3

Figura 3. 1: <i>La interfaz gráfica de trabajo de OptiSystem 7.0</i>	37
Figura 3. 2: <i>Modelo de simulación de un sistema RoF</i>	39

Figura 3. 3: <i>Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.2dB/km, longitud de fibra de 1km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.</i>	41
Figura 3. 4: <i>Factor Q Vs. Longitud F/O de 0.2 dB/km.</i>	42
Figura 3. 5: <i>Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.5 dB/km, longitud de fibra de 1km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e)15db y f)10db.</i>	44
Figura 3. 6: <i>Factor Q Vs. Longitud F/O de 0.5 dB/km.</i>	45
Figura 3. 7: <i>Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.7dB/km, longitud defibra de 1km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.</i>	47
Figura 3. 8: <i>Factor Q Vs. Longitud F/O de 0.7dB/km.</i>	48

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Progreso de las comunicaciones ópticas.....	9
---	---

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Resultados para diferentes parámetros del primer escenario de simulación.....	40
Tabla 3. 2: Resultados para diferentes parámetros del segundo escenario de simulación.....	43
Tabla 3. 3: Resultados para diferentes parámetros del tercer escenario de simulación.....	45

Resumen

El trabajo de titulación propuesto es “Análisis de rendimiento de métricas en el modelado de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem”. Para desarrollarlo, fue indispensable la definición del problema y antecedentes de trabajos vinculados al tema propuesto. Más adelante se planteó el objetivo general y los específicos, aspectos logrados dentro de los capítulos 2 y 3. La fundamentación teórica abarca temas relacionados con RoF como transmisores y receptores ópticos, componentes fundamentales de los sistemas de comunicaciones. Radio sobre fibra es un enlace óptico que permite enviar señales RF moduladas, las mismas son emitidas en enlace ascendente y descendente, dirigidas desde y hacia la estación central, para luego dirigirse a la estación base. La simulación de este sistema se la realizó en base al software OptiSystem 7.0, donde se realizaron diversos cambios en variables como atenuación, longitud de enlace y potencias de fuente transmisora, para posteriormente mostrar la Tasa de Error de Bits (BER), Diagrama de Ojo y Factor Q para así demostrar el éxito o fallo de las diferentes configuraciones.

Palabras claves: RoF, OPTISYSTEMS, FACTOR Q, BER, TRANSMISOR, RECEPTOR, SISTEMA DE COMUNICACIÓN, FIBRA OPTICA.

Abstract

The proposed titling work is "Analysis of the performance of metrics in the modeling of radio on fiber (RoF) using OptiSystem". To develop, it was essential to define the problem and work background related to the proposed topic. Later, the general objective and the specific objectives were defined, aspects achieved within chapters 2 and 3. The theoretical foundation covers issues related to RoF as optical transmitters and receivers, fundamental components of communication systems. Radio over Fiber is an optical link that allows modulated RF signals to be sent, they are emitted in uplink and downlink, directed to and from the central station, and then go to the base station. The simulation of this system was made based on OptiSystem 7.0 software, where various changes were made in variables such as attenuation, link length and power of the transmitter source, to later show the Bit Error Rate (BER), Eye Diagram and Q Factor to demonstrate the success or failure of the different configurations.

Keywords: RoF, OPTISYSTEMS, Q FACTOR, BER, TRANSMITTER, RECEIVER, COMMUNICATION SYSTEM, OPTICAL FIBER.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1. Introducción.

Radio sobre fibra (RoF) es una tecnología moderna en la cual, la luz se modula junto con señales de radiofrecuencia y son transferidos por la fibra óptica para obtener una factible transmisión y acceso inalámbrico. La unión de las redes inalámbricas y las redes cableadas es una solución competente para las demandas de ancho de banda que se encuentran en un rápido crecimiento para los sistemas de comunicaciones. La radio sobre fibra (RoF) es una respuesta fiable para el gran aumento de la demanda de habilidad de transmisión y flexibilidad, también posee una ventaja económica pues tiene un gran ancho de banda y a su vez baja atenuación (Johny & Shashidharan, 2012,p.636).

Radio sobre fibra es un enlace óptico que permite enviar señales de radio frecuencia (RF) moduladas, además las señales son emitidas en enlace ascendente y descendente, dirigidas desde y hacia la estación central, y luego va hasta la estación base. La técnica de radio sobre fibra es considerada como beneficiosa y confiable para el repartimiento de las posteriores redes de acceso inalámbrico con la ayuda de la fibra óptica. El enlace de RoF es empleado en aplicaciones de antenas remotas para el repartimiento de las señales (Johny & Shashidharan, 2012,p.636).

Los requisitos fundamentales que tiene un enlace de Radio sobre fibra son su enlace ascendente y descendente, su elevado rendimiento y los equipos ópticos de longitud moderada. Este sistema ha permitido mejorar en la cobertura celular, tener una menor pérdida por parte de la atenuación, un mayor ancho de banda, una mayor capacidad y lograr ser inmune a las interferencias de radiofrecuencia (RF). La configuración que tiene un enlace RoF es aquella que consta de una unidad de acceso remoto y una estación central acoplada por una fibra monomodo. El tráfico es transportado por portadores ópticos cuya intensidad es modulada por el tráfico de comunicaciones ópticas (Johny & Shashidharan, 2012,p.636).

1.2. Antecedentes.

Los servicios de telecomunicaciones necesitan brindar servicio de conectividad, movilidad e interactividad estable a los consumidores. Según Cisco Systems, en el año 2016 la circulación de datos móviles obtendrá los 10.8 Exabytes por mes, el 0.74 de esos datos móviles serán utilizados en América Latina. Con la finalidad de escuchar la ascendente demanda, es fundamental desplegar técnicas de traslado eficiente que nos ayude a crear conexiones de elevadas velocidades, confiabilidad y movilidad.

El requerimiento de elevadas tasas de transmisión y enorme ancho de banda en las redes inalámbricas y redes fijas ha aumentado considerablemente en estos últimos años y se predice una conducta semejante en los años posteriores. Las redes poseen varias ventajas, por ejemplo tienen una elevada velocidad de datos, bajo consumo y un superior ancho de banda. La técnica que permitirá sostener las altas tasas de datos y el ancho de banda es la utilización de la Red Óptica Pasiva (Almasoudi, Alatawi, & Matin, 2013,p.217).

La transmisión de señales de radio a través de fibra óptica ha sido un tema de investigación durante muchos años. Se han comercializado técnicas de radio sobre fibra para el control remoto de antenas en sistemas inalámbricos celulares. Entre los ejemplos más conocidos se incluyen los Juegos Olímpicos 2000 en Sydney, la estación de Osaka en Japón y el centro comercial Bluewater en el Reino Unido. Actualmente se implementan sistemas que utilizan fibra de modo único; como BriteCell de Andrew, así como fibra multimodo, que están diseñados principalmente para aplicaciones internas, como las disponibles en Zinwave (Mitchell, 2014,p.50).

Los sistemas de radio sobre fibra se los está empleando para optimizar la cobertura celular en los edificios. Se ha mostrado un enfoque beneficioso para comprimir los costos del sistema de radio, ya que simplificaría los lugares de antena remotos y ayuda el canje de los equipos caros de radios localizados en las estaciones centrales (Vandana, Mukesh, & A.k, 2014,p.115).

1.3. Definición del Problema.

En la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones en la búsqueda de información en el repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil hay escasa información relacionada a los sistemas de radio sobre fibra, en vista que esta temática es muy utilizada por investigadores surge la necesidad de implementar el modelado de sistemas RoF que permita el análisis del rendimiento de las métricas (BER) mediante la plataforma OptiSystem.

1.4. Justificación del Problema.

La herramienta de simulación OptiSystem en el desarrollo del presente trabajo de titulación es muy utilizada por profesionales e investigadores cuyos resultados se pueden ver en diferentes revistas científicas, esta es una de las razones que justifica la realización de este trabajo, aparte del sin número de ventajas que presenta el sistema RoF sobre las demás tecnologías tal como la inmunidad a diversas interferencias, gran ancho de banda y bajo consumo de energía.

Los beneficiados de este trabajo de titulación serán los alumnos de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, colaborando pedagógicamente en posteriores trabajos de titulaciones e investigaciones.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Analizar el rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Estudiar los fundamentos teóricos de la métrica en el modelado del sistema de radio sobre fibra.
- Diseñar los escenarios de simulación de los sistemas RoF empleando el software OptiSystem 7.0.

- Evaluar el desempeño de la tasa de bits erróneos (BER) ante varios valores de atenuación y potencia del transmisor.

1.6. Hipótesis.

El diseño de un sistema de Radio sobre Fibra (RoF) empleando el software OptiSystem, aplicación evaluadora de este tipo de sistemas, permite llevar a cabo las métricas del rendimiento del sistema.

1.7. Metodología de Investigación.

El tipo de investigación que se emplea en el presente trabajo de titulación es de tipo descriptivo y exploratorio. Descriptivo, con el objetivo de detallar el comportamiento de sistemas de radio sobre fibra y exploratorio en el sentido de que se trata de indagar información de carácter no familiar para el público en general en el caso de este trabajo de titulación el tema de RoF. El enfoque general de esta investigación es cuantitativo, pues se emplea un instrumento de simulación (OptiSystem 7.0) para lograr data numérica y conseguir las conclusiones en base a las medidas que se establecen en el capítulo 3.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Historia de los Sistemas de Comunicaciones Ópticas.

Los sistemas de comunicaciones ópticas se remontan a la década de 1790, al telégrafo de semáforo óptico desarrollado por el inventor francés Claude Chappe. En 1880, Alexander Graham Bell patentó un sistema de teléfono óptico, al que llamó el fotófono. Sin embargo, su invento anterior, el teléfono, era más práctico y tomó forma tangible. El fotófono siguió siendo un invento experimental y nunca se materializó (Alwayn, 2013,p.45).

En la mitad del siglo 19, el físico suizo Daniel Collodon y el físico francés Jacques Babinet, dieron a conocer que la luz permitía dirigirse a lo largo de los chorros de agua. Sin embargo fue el físico británico, John Tyndall, quien permitió difundir la guía de luz basándose en los chorros de agua, en una exposición desarrollada en 1854 por primera vez (Pinto & Cabezas, 2014,p.16).

En los años 60, las fibras con recubrimiento de vidrio ya fueron creadas, y presentaban una atenuación de alrededor de 1 dB/m, apropiadas para la medicina, pero no se las podía utilizar para las telecomunicaciones. Se desarrolló el láser como se muestra en la Figura 2.1 y Theodore Maiman realizó su primera exposición, halló la manera de conseguir una radiación óptica coherente, obteniendo como su material principal al rubí (Martín, 2012,p36).

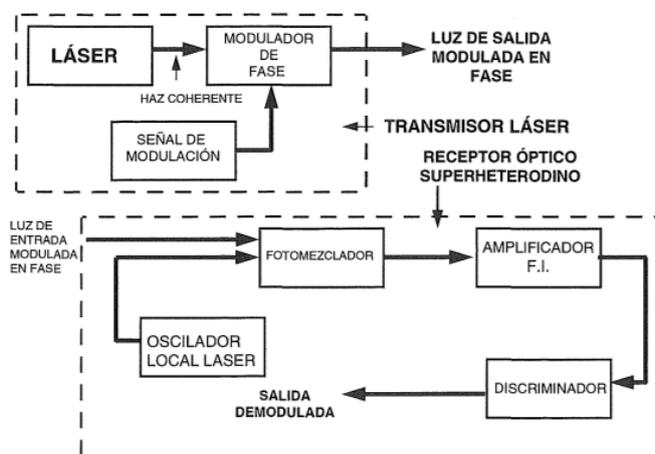


Figura 2. 1: Sistema propuesto, en 1963, de comunicaciones con láser.

Fuente: (Martín, 2012)

Antoni E. Karbowiak y Charles K. Kao, tomaron la decisión de aprender todo sobre las guías de onda ópticas para las comunicaciones. En el año de 1964 Charles Kao averiguó sobre la atenuación que posee la fibra y concluyó que las primeras fibras tenían altas pérdidas debido a las impurezas y no al cuarzo del vidrio, por ende las fibras ópticas podrían disminuir sus pérdidas por encima de los 20 dB/km (Pinto & Cabezas, 2014,p.16).

El gran avance de Corning estaba entre los más brillantes desarrollos que abrieron la puerta a las comunicaciones por fibra óptica. En 1970 el laboratorio Bell y un equipo de un instituto físico de Leningrado, fabricaron los primeros diodos láser de ondas continuas a temperatura ambiente. Las primeras fibras monomodo tenían núcleos de varios micrómetros de diámetro y este hecho preocupaba a los científicos. En 1974 los Laboratorios de Bell consiguieron la fabricación masiva de fibra óptica de alta calidad (Pinto & Cabezas, 2014,p.17).

2.2. Comunicaciones Ópticas.

El sistema de comunicaciones óptica está conformado esencialmente por un transmisor óptico, el canal de transmisión de fibra óptica y el receptor óptico. Si el sistema de comunicación óptica es empleado para informar puntos separados por las enormes distancias, es importante insertar repetidores de señal, dependiendo de las pérdidas que se encuentre en el canal a lo largo del enlace (Keizer, 2014,p.25).

La Figura 2.2 muestra el esquema de bloques de un sistema de comunicaciones óptica. El transmisor óptico contiene la fuente de información digital o analógica, la fuente óptica y el circuito modulador. El canal inserta distorsión y ruido. El repetidor óptico recoge la señal distorsionada y atenuada, para regenerarla a la salida. Además el receptor incorpora los circuitos asociados y el fotodetector para poder recobrar la señal original (decodificadores, filtros, demoduladores, etc.) (Keizer, 2014, p.25).

El principal objetivo que tiene todo sistema de comunicación es poder transmitir la mayor cantidad de información en el mínimo tiempo, lo que

involucra que la indagación en este campo se enfoque más en el sistema de comunicación de altas velocidades (Keizer, 2014, p.25).

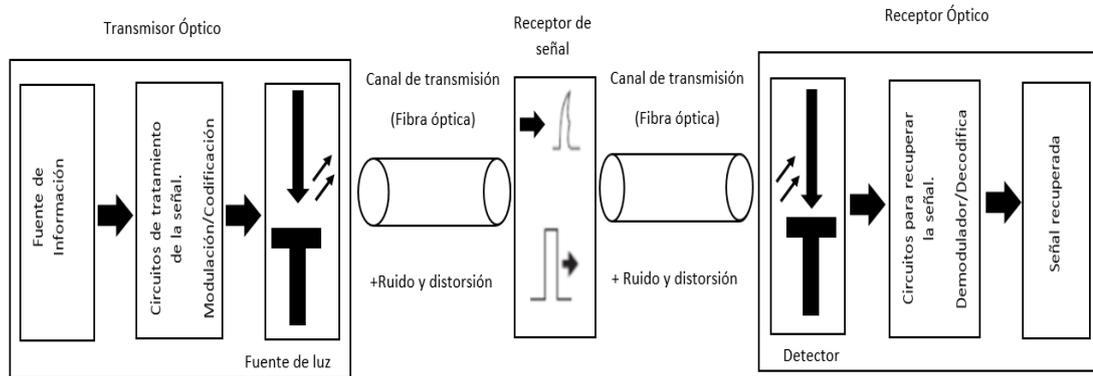


Figura 2. 2: Diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones ópticas.

Fuente: (Keizer, 2014)

Elaborado por: Autor

Las señales de banda base (banda original de frecuencias) que generan las diferentes fuentes de información por lo general no se prestan para la transmisión directa a través de un canal dado. Por esta razón, a menudo se deben modificar considerablemente para facilitar su transmisión. El desarrollo de sistemas de comunicaciones ópticas de alta velocidad puede explicarse por la evolución de cuatro generaciones de tecnología (Keizer, 2014,p.26).

En la década de los 70 empezó a funcionar la primera generación, empleaba fibras ópticas multimodo y operaba con luz en longitudes de onda cerca de los 0.85 μm . Los primeros sistemas ópticos eran utilizados abundantemente debido a su alto potencial de transmisión de información. En el año de 1982 empezó a operar la segunda generación y a utilizar longitudes de onda de 1.3 μm , esto permitió que la distancia de transmisión sea más grande y por ende eliminar muchos repetidores que se encuentran en el trayecto de la señal. Estos sistemas funcionan con fibras ópticas monomodo (Keizer, 2014,p.26).

En el año de 1985 empezó a funcionar la tercera generación, además a utilizar la misma fibra monomodo, solo que a longitudes de onda semejantes a los 1.55 μm y en la fibra de silicio la atenuación era pequeña. Finalmente aparece la cuarta generación que emplea técnicas ópticas coherentes. Todas

estas generaciones de tecnología de óptica integrada son empleadas para perfeccionar su rendimiento, componentes y técnicas de multicanalización (J.-H. Lee, 2000, p.5).

Tabla 2. 1: *Progreso de las comunicaciones ópticas.*

Años	Velocidad de bits	Distancia del repetidor	Tecnologías principales
1980	45Mb/s	10km	$\lambda = 0.8 \mu\text{m}$ Fibra multimodo.
1987	1.7Gb/s	50km	$\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ Fibra monomodo.
1990	2.5Gb/s	60~70km	$\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ Fibra de índice gradual.
1996	5Gb/s	Amplificador óptico Espaciado 33~82km	$\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ Amplificador óptico

Fuente: (J.-H. Lee, 2000)

2.3. Transmisores Ópticos.

La función del transmisor óptico es convertir una señal de entrada eléctrica en la correspondiente señal óptica y luego lanzarla a la fibra óptica que sirve como canal mostrado en la Figura. 2.3. El componente principal de los transmisores ópticos es una fuente óptica. Los sistemas de comunicación de fibra óptica a menudo utilizan fuentes ópticas semiconductoras como Diodos emisores de luz (LED) y láseres semiconductores debido a varias ventajas inherentes ofrecido por ellos. Algunas de estas ventajas son tamaño compacto, alta eficiencia, buena confiabilidad, rango de longitud de onda derecho, área de emisión pequeña y posibilidad de modulación directa a frecuencias relativamente altas (Agrawal, 2014,p.77).

Las fuentes de luz semiconductoras se utilizan comúnmente en la comunicación óptica de vanguardia. El proceso de generación de luz ocurre en ciertos semiconductores, debido a la recombinación de electrones y agujeros en las uniones p – n, dependiendo de la naturaleza del proceso de recombinación, podemos clasificar diferentes fuentes de luz semiconductor

como diodos emisores de luz (LED) en los que domina la recombinación espontánea o láseres semiconductores en los que el estimulado es el mecanismo dominante (Djordjevic, Ryan, & Vasic, 2013,p.68).

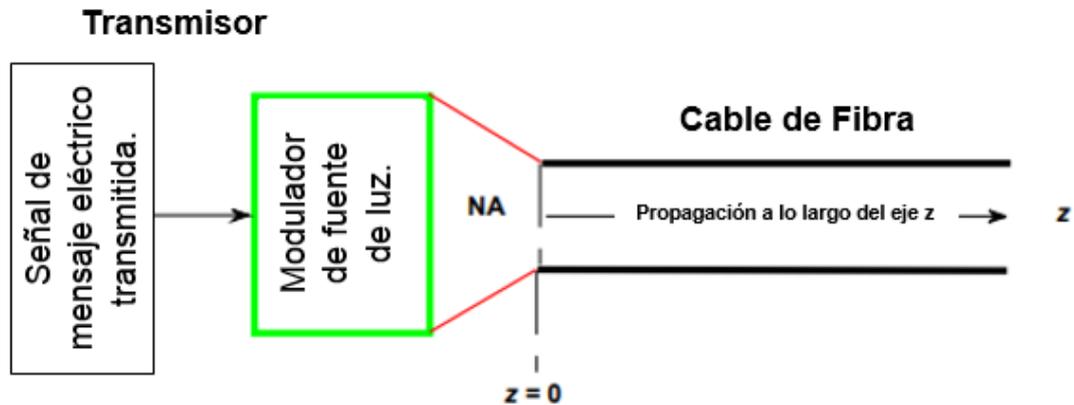


Figura 2. 3: *Diagrama de bloques general de un enlace de fibra óptica.*

Fuente: (Sayfa, 2013)

2.3.1. Transmisores ópticos de semiconductores - Diodos emisores de luz (LED).

En ciertos semiconductores, durante el proceso de recombinación de electrones con agujeros en la unión de semiconductores n-dopados y p-dopados, se libera energía en forma de luz. La excitación se realiza aplicando una tensión externa y la recombinación puede ser espontáneo, o puede ser estimulado como otro fotón. Un LED es un dispositivo semiconductor p-n integrado monolíticamente (un diodo) que emite luz cuando se aplica voltaje a través de sus dos terminales (Bêche, 2013,p.65).

Los LEDs utilizados en las comunicaciones están construidos para permitir que la luz emerja desde el borde del dispositivo. Esto facilita el acoplamiento de la luz LED con una fibra. Dado que los LEDs Transmiten luz dentro de un cono relativamente ancho, su aplicación en transmisión óptica está limitado. (Bêche, 2013,p.65).

Una unión p-n sesgada hacia adelante emite luz a través de la emisión espontánea, un fenómeno referido como electroluminiscencia. En su forma más simple, un LED es una polarización directa p-n, es decir una recombinación radiactiva de pares electrón-agujero en el agotamiento la

región genera luz; parte de ella se escapa del dispositivo y se puede acoplar a una fibra óptica. La luz emitida es incoherente con un ancho espectral relativamente amplio (30–60 nm) y una extensión angular relativamente grande (Agrawal, 2014,p.87).

Antes de aplicar cualquier desviación a una unión pn la concentración de agujeros se encuentra en el lado p, mientras que la de los electrones se encuentra el lado n y en medio hay lo que se llama región de agotamiento que da barrera de aumento de potencial como se muestra en la parte inferior de la Figura. 2.4. La región de agotamiento impide el flujo de Portadores y conducción de p lado a n lado y viceversa (Sayfa, 2013,p.2).

Notamos que hay dos tipos de portadores en semiconductores, mayoritarios y minoritarios. Para un material de tipo n, la mayoría de los portadores son los electrones, los minoritarios son agujeros (ausencia de electrones), en un material tipo p, los agujeros constituyen portadores mayoritarios, mientras que los electrones se convierten en portadores minoritarios. El funcionamiento de los dispositivos semiconductores. Se basa esencialmente en la inyección y extracción de portadores minoritarios (Sayfa, 2013,p.2).

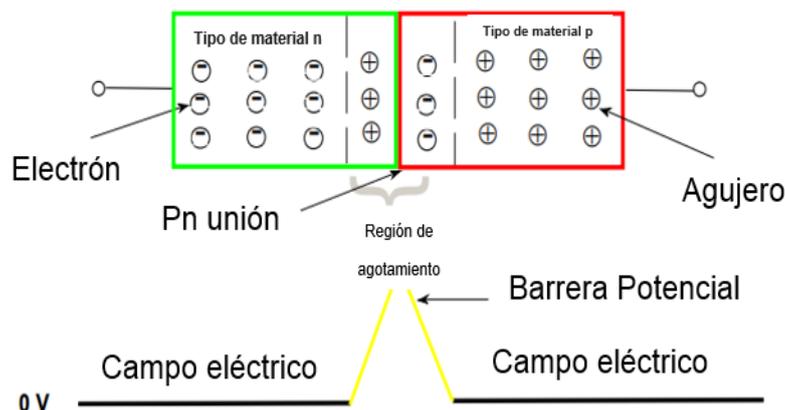


Figura 2. 4: *Distribución de la portadora a través de una unión pn sin una polarización aplicada externamente.*

Fuente: (Sayfa, 2013)

Ahora aplicando una desviación inversa como se muestra en la Figura. 2.5, tendremos una ampliación de la región de agotamiento. Así el flujo de transportistas mayoritarios se evitará más, pero con aumentos en el potencial

inverso y aumento posterior de la temperatura, se creará el exceso de transportistas minoritarios para participar en conducción, y esta es la situación, por ejemplo, en un fotodiodo iluminado (Sayfa, 2013,p.3).

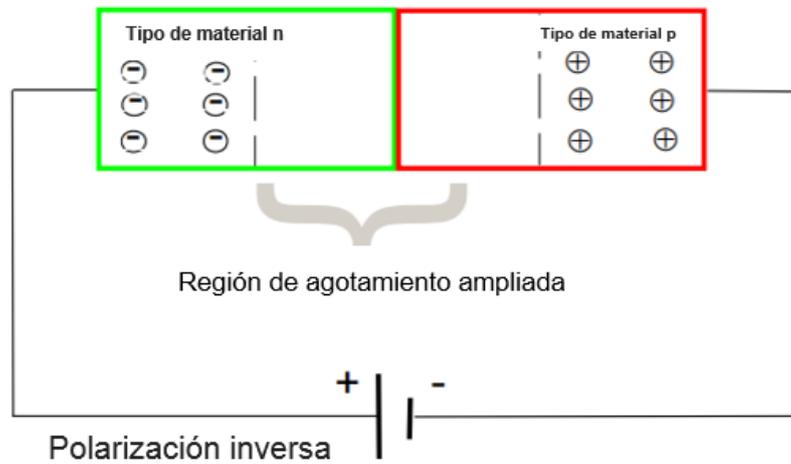


Figura 2. 5: Polarización inversa de una unión pn.
Fuente: (Sayfa, 2013)

Si se aplica una desviación hacia adelante, el ancho de la región de agotamiento se vuelve más estrecho, como se ilustra en la Figura. 2.6. De esta manera, se reduce el nivel de la barrera potencial, la mayoría de los portadores de ambos lados se cruzan hacia el otro lado, aumentando la concentración de portadores minoritarios en el lado opuesto, el exceso de portadores minoritarios comienza a recombinarse con los portadores mayoritarios del lado que tienen cruzado a este proceso de recombinación da lugar a la radiación óptica y constituye la base de la luz. Diodos emisores (Sayfa, 2013,p.3).

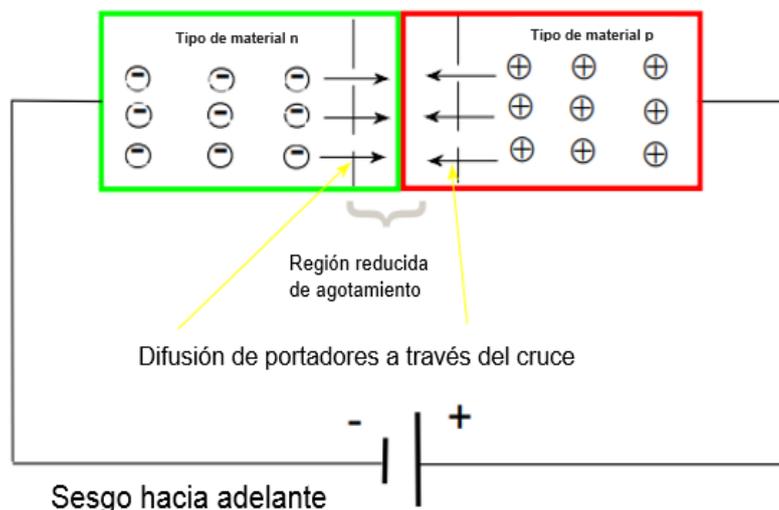


Figura 2. 6: Polarización hacia adelante de una unión pn.
Fuente: (Sayfa, 2013)

Los LED se utilizan como transmisores ópticos, en aplicaciones de baja tasa de bits, ya que tienen una amplia gama espectral, causando una apreciable cantidad de dispersión intramodal. Hay dos tipos de LED, denominados como "LED de emisión de superficie" y "LED de emisión de borde". En la Figura 2.7, los espectros de ambos se exhiben, cuyos picos de emisión se centran alrededor de una longitud de onda operativa de $\lambda_{\mu} = 1.31$ m como se observa, el LED emisor de bordes tiene un espectro más estrecho (Sayfa, 2013,p.4).

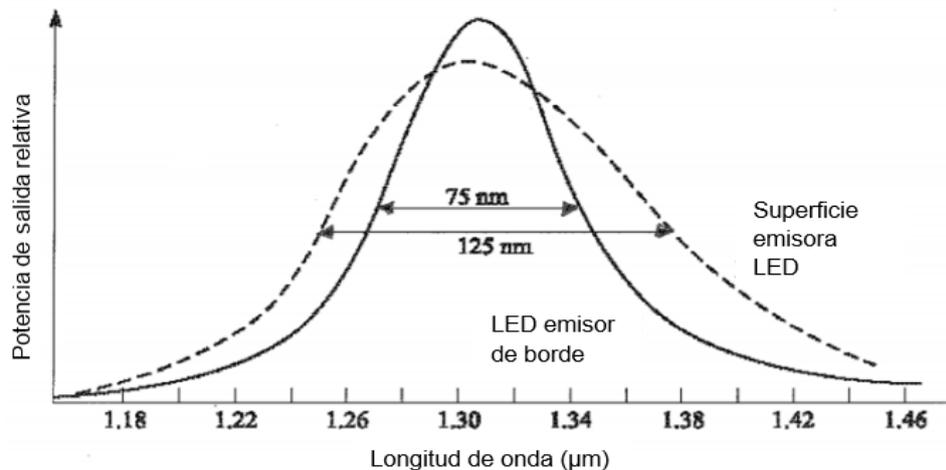


Figura 2. 7: Espectro típico de LED de emisión de borde y de superficie.
Fuente: (Sayfa, 2013)

2.3.2. Transmisor óptico semiconductor - Diodos laser.

Los láseres semiconductores utilizan un semiconductor como medio de ganancia la mayoría de ellos son diodos láser bombeados eléctricamente, donde los pares de orificios de electrones son generados por una corriente eléctrica en una región donde se encuentran los materiales semiconductores dopados. Sin embargo, también hay láseres semiconductores bombeados ópticamente, donde los portadores son generados por la luz de la bomba absorbida (Paschotta, 2015,p.40).

El láser semiconductor, en varias formas, es el más utilizado de todos los láseres, se fabrica en cantidades grandes, y es el de mayor importancia. Gran parte de la comunicación a media y larga distancia del mundo tiene lugar sobre fibras ópticas a lo largo de las cuales se propagan los haces desde los láseres semiconductores. Estos láseres funcionan utilizando los saltos de energía que pueden ocurrir cuando los electrones viajan entre

semiconductores que contienen diferentes tipos y niveles de impurezas controladas (llamadas dopantes) (Gowar, 2014,p.309).

Los dispositivos láser se fabrican en obleas semiconductoras pulidas con técnicas litográficas. Los materiales semiconductores comunes para las regiones activas son GaAs, AlGaAs y GaP. Todos estos son materiales de banda prohibida directa, porque los materiales de banda prohibida indirecta, como el silicio, no exhiben una emisión de luz significativa (Paschotta, 2015,p.41).

Los diodos láser son muy diferentes de los LED básicamente en dos formas. En primer lugar, los láseres son capaces de ofrecer ancho espectral más estrecho, lo que causa menos dispersión intramodal. En segundo lugar, los láseres son conocidos como fuentes coherentes, lo que significa que diferentes porciones de la luz emitida por los láseres actúan en armonía entre sí en el dominio espacial (espacio) y temporal (tiempo) (Sayfa, 2013,p.6).

2.4. Receptores Ópticos.

El papel de un receptor óptico es convertir la señal óptica de nuevo en forma eléctrica y recuperar los datos transmitidos a través del sistema. Su componente principal es un fotodetector que convierte la luz en electricidad a través del efecto fotoeléctrico los requisitos para un fotodetector son similares a los de una fuente óptica. Posee alta sensibilidad, respuesta rápida, bajo nivel de ruido, bajo costo y alta confiabilidad. Su tamaño debe ser compatible con el tamaño del núcleo de la fibra. Estos requisitos se cumplen mejor con fotodetectores hechos de materiales semiconductores (Agrawal, 2014,p.89).

El receptor óptico tiene tres funciones: Conversión de señal óptica a eléctrica, amplificación y estimación del mensaje originalmente transmitido. En estas tres funciones, un receptor óptico parece similar a un receptor de radio; Sin embargo, es bastante diferente en la forma que realiza estas funciones. Típicamente en una radio, el receptor utiliza la detección heterodina la señal de llegada es mezclada con un oscilador local para producir un modulado

portadora de frecuencia intermedia que luego se amplifica y se filtra según sea necesario (Garrett, 2015,p.350).

La detección heterodina es muy sensible y proporciona un excelente rechazo de los adyacentes canales, también permite hacer uso de la fase e información de frecuencia en la portadora modulada. Pero requiere que la señal de llegada sea coherente, que lo local se pueda hacer con un oscilador para rastrear la frecuencia portadora con precisión, y que la señal y el oscilador local sean emparejados en polarización y geometría frontal de fase. Estas condiciones no se cumplen en la comunicación de fibra óptica (Garrett, 2015,p.350).

El receptor óptico es un elemento crítico de un sistema de comunicación óptica ya que a menudo determina el rendimiento general del sistema. La función del receptor óptico es para detectar la potencia óptica entrante y extraer la señal (ya sea analógica o digital) que se está transmitiendo. Debe lograr esta función cumplir con ciertos requisitos del sistema, como los deseados niveles de relación señal / ruido y tasa de error de bits. Diagramas de bloques de receptores ópticos típicos para transmisión analógica y digital. Los sistemas se muestran en las Figuras 2.8 y 2.9.

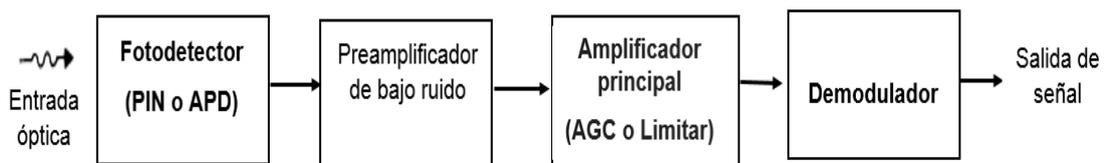


Figura 2. 8: *Diagrama de bloques de un receptor óptico analógico.*

Fuente: (Muoi, 2013)

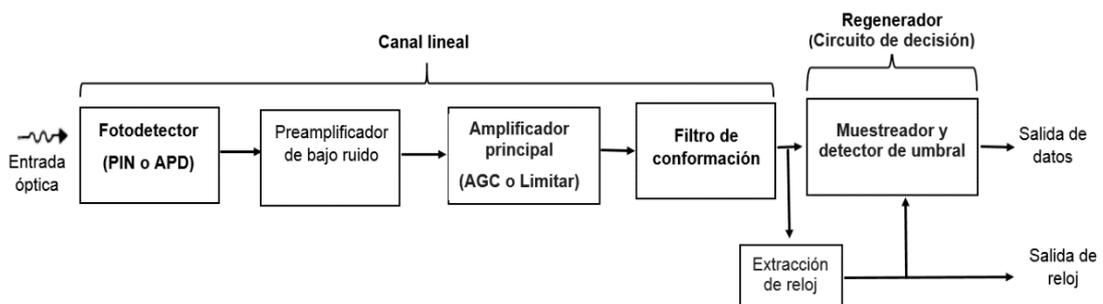


Figura 2. 9: *Diagrama de bloques de un receptor óptico digital.*

Fuente: (Muoi, 2013)

Se puede observar que en ambos casos la potencia óptica incidente es detectada por un fotodetector. La señal detectada es luego amplificada por la cadena del amplificador, que incluye un preamplificador de bajo ruido y un postamplificador (normalmente con control automático de ganancia o acción limitante). Para sistemas analógicos, la señal luego se pasa a través de un demodulador para recuperar la información transmitida (Muoi, 2013,p.505).

Para los sistemas digitales, la señal se pasa a través de un filtro de conformación para minimizar el ruido y la interferencia (el filtro en el caso analógico se incluye en el demodulador). Luego se usa un circuito de extracción de reloj para recuperar el tiempo, por ende los datos transmitidos son así regenerados (Muoi, 2013,p.505).

2.4.1 . Fotodiodos PIN.

Un diodo PIN es un semiconductor que funciona como variable, resistencia en RF y microondas de frecuencias. El valor de resistencia del diodo PIN es determinado solo por la corriente continua polarizada. En aplicaciones de interruptor y atenuador, el diodo PIN debería controlar idealmente el nivel de señal de RF sin tener distorsión que podría cambiar la forma de la señal de RF. Una característica adicional importante del diodo PIN es su capacidad para controlar grandes señales de RF mientras se usa pequeños niveles de excitación (Doherty, 2013,p.1).

Un diodo P-i-N es un dispositivo de dos terminales como se muestra en la Figura. 2.10. Bloquea a una tensión negativa en el terminal del ánodo con respecto al terminal del cátodo, pero conduce corriente cuando se aplica una tensión positiva al ánodo. Consiste en un Capa intrínseca intercalada entre una unión pn. La capa intrínseca tiene una muy baja concentración de (generalmente) tipo n en el orden de 10^{13}cm^{-3} . Las capas externas p y n suelen estar muy dopadas. La capa intrínseca proporciona características únicas de alto voltaje de ruptura en el sesgo reversa y carga de almacenamiento en el sesgo hacia adelante (Ranbir Singh & Baliga, 2012,p.220). En el sesgo inverso, la capa intrínseca dopada está completamente agotada y la tensión de ruptura máxima es alcanzable,

producto del campo eléctrico crítico de silicio y el espesor de la capa intrínseca. En el sesgo hacia adelante, ambos tipos de portadores se inyectan en la capa intrínseca. La conducción actual es a través de la recombinación de portadores en la capa media. En el estado estacionario, las concentraciones de electrones y agujeros son igual en la región media de acuerdo con la condición de neutralidad de carga (Ranbir Singh & Baliga, 2012,p.220).

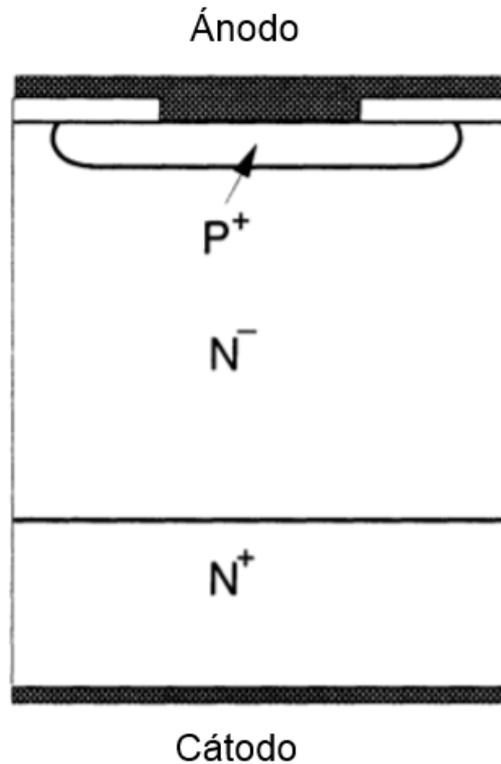


Figura 2. 10: Estructura de la sección transversal de un diodo P-i-N típico.
Fuente: (Ranbir Singh & Baliga, 2012)

2.4.1.1. Ventajas.

- Tecnología y aplicación menos costosa.
- menos material semiconductor.
- Vida útil mayor que los demás detectores.
- Alta velocidad.
- Mayor rango espectral de fotodetección.
- Mejor sensibilidad y eficiencia.
- Conmutador de RF.
- Resistencia variable.
- Es un semiconductor.

2.4.2. Fotodiodos de Avalancha.

Los fotodiodos avalancha (APD) se usan para detectar y amplificar señales ópticas débiles utilizando la ganancia interna proporcionada por el proceso de ionización por impacto. Se han utilizado ampliamente en sistemas de comunicación óptica, especialmente a altas velocidades de bits, ya que el mecanismo de ganancia interno puede mejorar significativamente la señal de un receptor óptico en el que la fuente de ruido dominante es el ruido del amplificador. Debido a su tamaño más pequeño, menores voltajes operativos, bajo costo y robustez, los APD están comenzando a desplazar los dispositivos de amplificación óptica tradicionales como los tubos fotomultiplicadores (PMT) cuando la sensibilidad muy alta hasta los niveles de detección de fotones individuales y la alta eficiencia cuántica (QE) son necesario (David & Tan, 2008,p.998).

También se están desarrollando en matrices de plano focal para una variedad de aplicaciones de imágenes en 2D y 3D en las que las matrices de detectores convencionales no tienen la sensibilidad requerida. El desarrollo de nuevos materiales y estructuras de semiconductores ha abierto la posibilidad de que los APD operen desde longitudes de onda de UV a IR. Los requisitos de materiales para APD de alto rendimiento y el progreso reciente en nuevos materiales y estructuras para APD (David & Tan, 2008,p.998).

Una región de campo eléctrico extremadamente alta (aproximadamente $3 \times 10^5 V cm^{-1}$), como puede verse en Figura 2.11 (a). Por lo tanto, así como la región de agotamiento donde la mayoría de los fotones son absorbidos y los pares de portadores primarios generados, hay una región de campo alto en la que los agujeros y los electrones pueden adquirir energía suficiente para excitar nuevos pares de electrones y agujeros. Este proceso se conoce como ionización de impacto y es el fenómeno que conduce a la avalancha. A menudo requiere altos voltajes de polarización inversa (50 a 400 V) para que los nuevos transportadores creados por ionización de impacto puedan producir portadores adicionales mediante el mismo mecanismo que se muestra en la Figura 2.11 (b) (Senior & Jamro, 2009,p.516).

Se pueden obtener factores de multiplicación de portadores de hasta 104 utilizando materiales libres de defectos para asegurar la uniformidad de la multiplicación de portadores en toda el área fotosensible. Sin embargo, otros factores afectan el logro de alta ganancia dentro del dispositivo. Microplazmas, que son áreas pequeñas con voltajes de ruptura más bajos que el resto de la unión, debe reducirse mediante la selección de materiales sin defectos junto con un dispositivo cuidadoso elaboración y fabricación (Senior & Jamro, 2009,p.516).

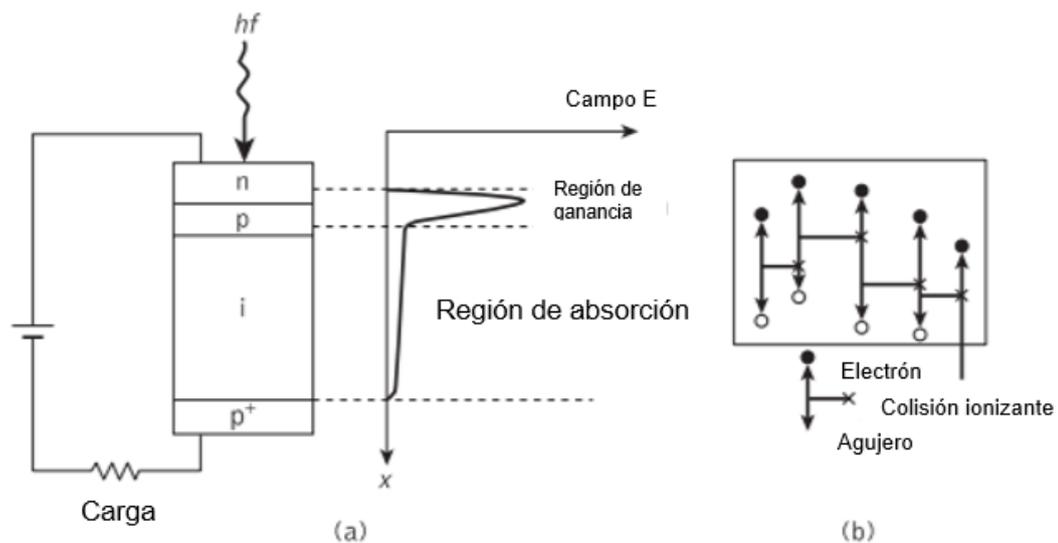


Figura 2. 11: (a) Fotodiodo de avalancha que muestra una región de alta ganancia. (b) Multiplicación de pares portadores en la región de ganancia de un fotodiodo de avalancha.

Fuente: (Senior & Jamro, 2009)

Además, la fuga excesiva en los bordes de la unión puede eliminarse mediante el uso de una estructura de anillo protector como se muestra en la Figura 2.12. En la actualidad, los APD de silicio y germanio están generalmente disponibles. El funcionamiento de estos dispositivos a alta velocidad requiere un agotamiento total en la región de absorción. Cuando los portadores se generan en material sin agotar, se recolectan de forma algo lenta por el proceso de difusión. Esto tiene el efecto de producir una larga "cola de difusión" en un pulso óptico corto. Cuando el APD está completamente agotado al emplear campos eléctricos que superan los $10^4 Vm^{-1}$, todas las portadoras se desvían a velocidades limitadas de saturación (Senior & Jamro, 2009,p.517).

En este caso, el tiempo de respuesta del dispositivo está limitado por tres factores. Estos son: (a) el tiempo de tránsito de los portadores a través de la región de absorción (es decir, el ancho de agotamiento); (b) el tiempo tomado por los transportistas para realizar el proceso de multiplicación de avalanchas; y (c) la constante de tiempo RC incurrida por la capacitancia de unión del diodo y su carga (Senior & Jamro, 2009,p.17).

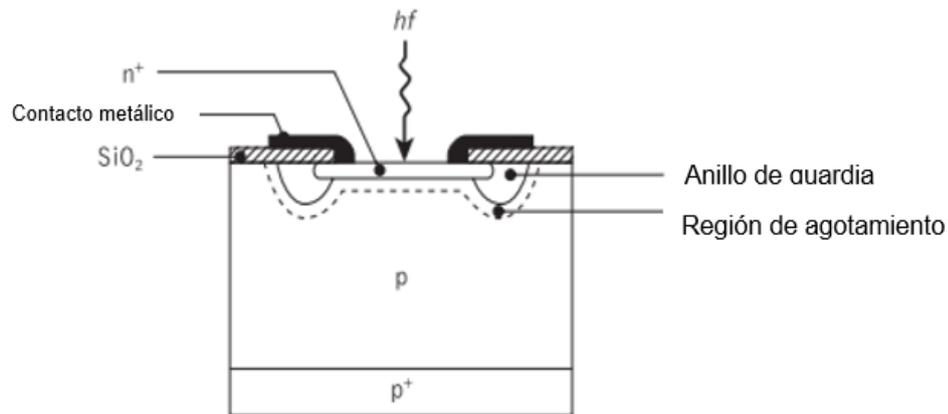


Figura 2. 12: Estructura de un fotodiodo de avalancha de silicio (APD) con anillo protector.

Fuente: (Senior & Jamro, 2009)

A menudo, se obtiene una forma de pulso asimétrico del APD que resulta de un tiempo de aumento relativamente rápido a medida que se recolectan los electrones y un tiempo de caída dictado por el tiempo de tránsito de los orificios que viajan a una velocidad menor. Por lo tanto, aunque el uso de materiales y estructuras adecuados puede dar tiempos de aumento entre 150 y 200 ps, los tiempos de caída de 1 ns o más son bastante comunes y limitan la respuesta general del dispositivo (Senior & Jamro, 2009,p.518).

2.5. Componentes fundamentales de un sistema de comunicaciones ópticas.

El sistema de comunicación óptica es genérico y por eso deberá estar desarrollado por los mismos dispositivos constitutivos. Evadiendo los destinatarios de mensajes y entidades de fuente, además en el sistema de comunicación óptica el transmisor tiene que ser una fuente de luz que se unirá con un oscilador a frecuencias ópticas; el medio por donde se tramite tendrá que ser bien una guía de onda óptica o el aire y el receptor tendrá que ser un detector de luz (Carballar, 2002,p.5).

Los sistemas de comunicaciones ópticas han podido desarrollarse gracias a una sucesión de avances tecnológicos y científicos que ayudaron a la propuesta y posterior fabricación de cada uno de los dispositivos esenciales del sistema. En específico el láser u oscilador óptico coherente y la fibra óptica o medio de transmisión. Seguidamente se repasara estos avances tecnológicos y científicos, realizando un particular hincapié en el desarrollo de la fibra óptica y del láser (Carballar, 2002,p.5).

2.5.1. Medio de transmisión: Fibra óptica.

Los sistemas de comunicaciones ópticas de larga distancia para obtener un progreso era necesario disponer una guía de onda, debido a que el aire forma parte de un medio dispersivo, asimismo posee características de transmisión muy variables con las situaciones atmosféricas (niebla. granizo. lluvia, nieve, etc.) y con el tiempo (noche y día) (Carballar, 2002,p.6).

Se empezó a emplear mazos de fibras ópticas para poder transmitir las imágenes en pocos trayectos. No obstante, para poder conducir la luz a lo largo de distancias kilométricas la guía de onda óptica tiene que cumplir con tres condiciones esenciales:

1. La superficie de la fibra tiene que estar lo más lisa posible y también libre de contaminaciones.
2. La fibra no tiene que absorber ni difractar la luz.
3. El medio que envuelve a la fibra tiene que ser menos denso que el índice de refracción menor para poder efectuar el principio de la reflexión total interna.

Desde un comienzo se sabía de las fibras multimodo y de las fibras monomodo, originalmente las miradas estuvieron en la fibra multimodo debido a las dificultades mecánicas que tenían al momento de trabajar la fibra monomodo. Las dificultades que poseían eran el acoplo de la señal de luz al interior del núcleo de la fibra, empalmado y cortado de la fibra. Después se elaboraría las fibras multimodo de índice gradual que permitieron ayudar en gran parte al problema de la dispersión intermodal (Carballar, 2002,p.6).

Una vez que se solucionaron los problemas del acoplo de la señal de luz a través de lentes esféricas y el mejoramiento de las técnicas de empalme y conexión de la fibra, se empieza a laborar con fibras monomodo de salto de índice para eliminar la gran dificultad de la dispersión intermodal (Carballar, 2002,p.6).

2.5.2. Oscilador coherente a frecuencias ópticas: LÁSER.

Simultáneamente a la elaboración de las fibras ópticas se fabricó las fuentes de luz susceptibles para ser empleadas como transmisores en los sistemas de comunicaciones ópticas, dicho de otra manera, osciladores coherentes en el lugar del espectro de las frecuencias ópticas (Carballar, 2002,p.7).

El láser es un oscilador óptico, comprende un amplificador óptico resonante cuya salida se retroalimenta en su entrada con la fase correspondiente. En ausencia de tal entrada, no hay salida, por lo que la señal de retroalimentación también es cero. Sin embargo, esta es una situación inestable. La presencia en la entrada de incluso una pequeña cantidad de ruido (que contiene componentes de frecuencia que se encuentran dentro del ancho de banda del amplificador) es inevitable y puede iniciar el proceso de oscilación (Saleh & Teich, 2014,p.875).

La entrada se amplifica y la salida se realimenta a la entrada, donde experimenta una mayor amplificación. El proceso continúa indefinidamente hasta que se produce una gran salida. La saturación de la ganancia del amplificador limita el crecimiento adicional de la señal, y el sistema alcanza un estado estable en el que se crea una señal de salida a la frecuencia del amplificador resonante (Saleh & Teich, 2014,p.875).

El Láser es una amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. Describe cualquier dispositivo que crea y amplifica un haz de luz estrecho y enfocado cuyos fotones son coherentes. En un láser, los átomos o las moléculas del medio láser, ya sea un cristal como el rubí o el granate, o un gas o líquido, se "bombean", de modo que más de ellos se encuentran en

niveles de energía más altos que en el estado fundamental (Chodos, 2013,p.8).

Este proceso se denomina "emisión estimulada". Albert Einstein abordó por primera vez la posibilidad de la emisión estimulada en un documento de 1917, habiendo centrado su atención el año anterior de la relatividad general a la interacción de la materia y la radiación, y cómo los dos podían alcanzar el equilibrio térmico. Einstein ideó una teoría estadística fundamental mejorada del calor, que abarca la cantidad de energía (Chodos, 2013,p.9).

Primero, Einstein propuso que un átomo excitado en aislamiento puede volver a un estado de menor energía emitiendo fotones, un proceso que denominó emisión espontánea. La emisión espontánea establece la escala para todas las interacciones radiactivas, como la absorción y la emisión estimulada. Los átomos solo absorberán fotones de la longitud de onda correcta: el fotón desaparece y el átomo pasa a un estado de mayor energía, preparando el escenario para la emisión espontánea. En segundo lugar, su teoría predijo que a medida que la luz pasa a través de una sustancia, podría estimular la emisión de más luz (Chodos, 2013,p.9).

Einstein postuló que los fotones prefieren viajar juntos en el mismo estado. Si uno tiene una gran colección de átomos que contienen un gran exceso de energía, estarán listos para emitir un fotón al azar. Sin embargo, si un fotón perdido de la longitud de onda correcta pasa (o, en el caso de un láser, se dispara a un átomo que ya está en un estado excitado), su presencia estimulará a los átomos a liberar sus fotones antes de tiempo, y esos fotones viajan en la misma dirección con la misma frecuencia y fase que el fotón perdido original. Se produce un efecto de cascada: a medida que la multitud de fotones idénticos se mueve a través del resto de los átomos, cada vez se emitirán más fotones de sus partículas para unirse a ellos (Chodos, 2013,p.9). Maimann en el año de 1960 consiguió el primer laser en funcionamiento utilizando el rubí como su material más importante como se observa en la Figura 2.13. Luego en el año de 1961, los laboratorios Bell colocan en marcha el láser de He-Ne y en el año 1962 surge los primeros láseres de semiconductor. Posteriormente

en el año 1970, se logra desarrollar el primer láser de heteroestructura marchando en continua a temperatura ambiente (Carballar, 2002,p.8).

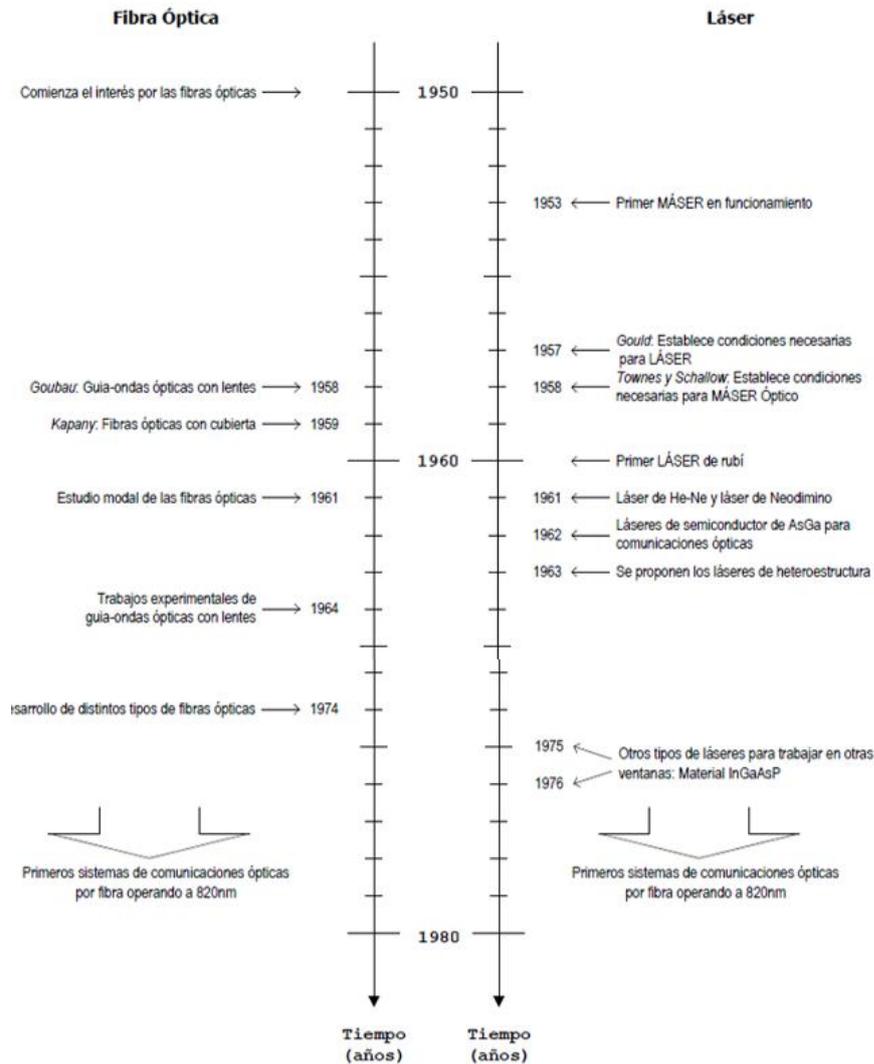


Figura 2. 13: Evolución histórica de la fibra óptica y del láser en la segunda mitad del siglo XX.

Fuente: (Carballar, 2002)

2.5.3. Fotodetectores.

Un detector óptico es un dispositivo que convierte señales de luz en señales eléctricas, que luego pueden ser amplificadas y procesadas. El fotodetector es un elemento tan esencial de cualquier sistema de fibra óptica como la fibra óptica o la fuente de luz. Los fotodetectores pueden dictar el rendimiento de un enlace de comunicación de fibra óptica (Rodríguez, 2012,p.25). La siguiente Figura 2.14 muestra cómo funciona un fotodetector. El detector tiene una polarización inversa eléctrica. (Por el contrario, los LED y los láseres están polarizados hacia delante para emitir luz).

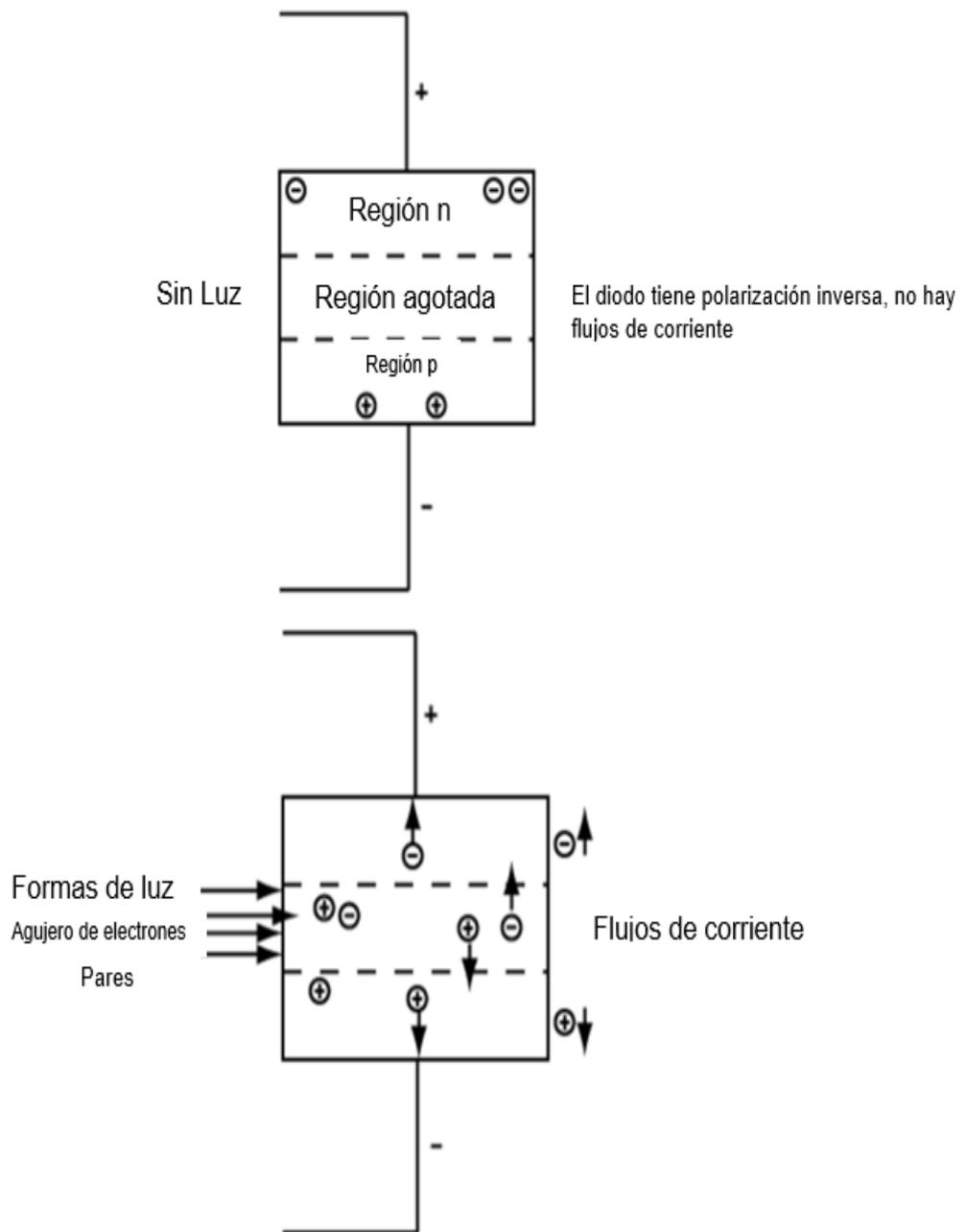


Figura 2. 14: *Funcionamiento del Fotodetector.*

Fuente: (Rodríguez, 2012)

En la primera ilustración, cuando no hay luz, la polarización inversa extrae electrones y agujeros que transportan la corriente fuera de la región de la unión pn, creando una región agotada, que impide que la corriente pase a través del diodo (Rodríguez, 2012,p.25).

En la segunda ilustración, cuando hay luces en el detector, los fotones con la energía adecuada (longitud de onda) pueden crear pares de agujeros de electrones en esta región elevando un electrón desde la banda de valencia

a la banda de conducción, dejando un agujero atrás. La tensión de polarización hace que estos portadores de corriente se desvíen rápidamente de la región de la unión, por lo que la corriente fluye de forma proporcional a la luz que llega al detector. Las longitudes de onda a las que el detector responde a la luz dependen de la composición del material del detector (Rodríguez, 2012,p.26).

La función principal del fotodetector es convertir la señal de potencia óptica transmitida desde la fibra óptica en una señal de corriente, que transporta la información de la fuente. Parámetros básicos del detector fotoeléctrico que incluyen las siguientes 6 características principales:

- ✓ **Fotocorriente:** Cuando cambia la potencia óptica incidente del fotodetector, la fotocorriente también cambia linealmente, convirtiendo así la señal óptica en una señal eléctrica.
- ✓ **Eficacia cuántica:** Es la eficiencia de conversión fotoeléctrica, representa el grado en que el número total de fotones recibidos por el fotodetector se puede convertir en el número total de electrones de la corriente fotogenerada.
- ✓ **Sensibilidad de conversión fotoeléctrica:** Está representada por r , que refleja la cantidad de potencia de la luz que se convierte en corriente generada por foto.
- ✓ **Longitud de onda de corte:** Solo cuando la energía del fotón incidente es mayor que el intervalo de banda del material del dispositivo de detección, se pueden generar portadores fotogenerados, formando una fotocorriente. Por lo tanto, para cualquier dispositivo de detección fotoeléctrica hecho de cualquier material, hay una frecuencia mínima o longitud de onda máxima que se puede detectar, es decir, la longitud de onda de corte superior.
- ✓ **Corriente oscura:** Representa la corriente inversa que se produce en ausencia de luz. Afecta la relación señal / ruido del receptor y es un parámetro de calidad importante.
- ✓ **Tiempo de respuesta:** Indica la capacidad del fotodetector para responder a la señal óptica (F. Lee, 2017,p.62).

2.6. Radio sobre fibra (RoF).

La tecnología de radio sobre fibra (RoF) implica el uso de enlaces de fibra óptica para distribuir señales de radiofrecuencia (RF) desde una ubicación central a las unidades de antena remotas. Los sistemas RoF con altas tasas de datos se utilizan para las comunicaciones inalámbricas de banda ancha, ya que pueden utilizar la baja pérdida y el ancho de banda ultra amplio que proporciona la fibra óptica. La principal ventaja de RoF es la baja atenuación, el gran ancho de banda, la inmunidad a la interferencia de radiofrecuencia, el menor consumo de energía, operación de múltiples operadores y servicios múltiples, asignación dinámica de recursos, etc.

Por lo tanto, se compara más preferiblemente con el procesamiento de señales de RF. La explosión en la demanda de ancho de banda de la red se debe en gran parte al crecimiento en el tráfico, como el video a pedido, los usos de Internet, la voz sobre IP, el video y la voz al vapor (Srivastava, Jaiswal, & Kumar, 2014,p.37).

Radio sobre fibra es básicamente un enlace óptico analógico que transmite señales de RF moduladas. Transmite el enlace descendente y el enlace ascendente de la señal de RF, hacia y desde la estación central (CS) y la estación base (BS). Los principales requisitos de una arquitectura de enlace RoF son la operación dúplex (enlace descendente-enlace ascendente), longitud razonable y componentes ópticos de alto rendimiento. En la Figura 2.15 se describe un sistema RoF básico. En la transmisión de enlace descendente, las señales de RF modulan el diodo láser directamente y dan como resultado señales ópticas moduladas en intensidad en la estación central (CS). Después de eso, se transmiten a través de una fibra óptica a la estación base (BS) (Srivastava et al., 2014,p.37).

En la estación base, las señales se desmodulan directamente empleando un fotodiodo para recuperar las señales de Radio Frecuencia. Además, son amplificadas y radiados por una antena. Basada en la perspectiva de la modulación y la detección, la tecnología RoF se conoce como modulación de intensidad y detección directa (IMDD). El proceso

opuesto se lleva a cabo en la transmisión de enlace ascendente, es decir, en la BS, las señales de Radio Frecuencia de la antena modulan directamente el diodo láser y luego las señales ópticas resultantes se transmiten a través de una fibra óptica a la CS. En la estación central, las señales ópticas moduladas en intensidad se desmodulan directamente empleando un PD para recuperar las señales de Radio Frecuencia, después de eso, las señales son amplificadas y procesadas (Srivastava et al., 2014,p.38).

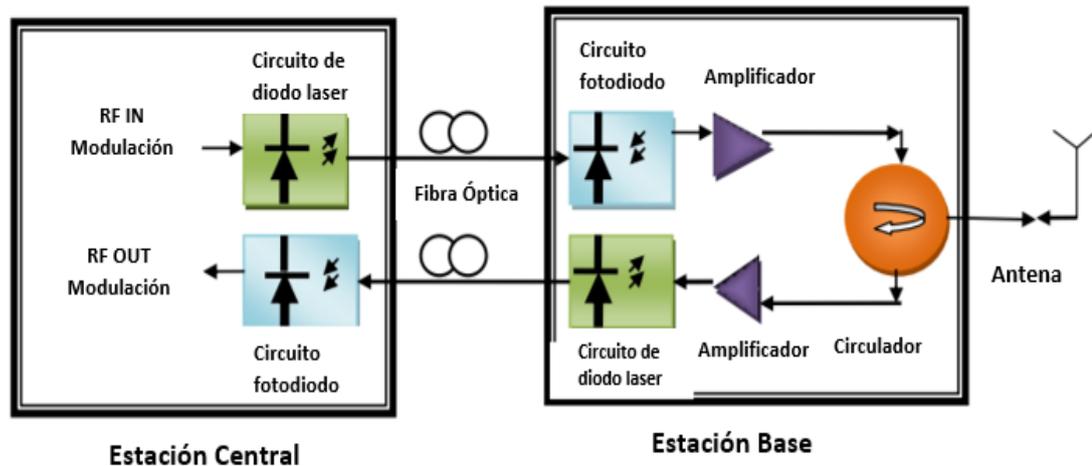


Figura 2. 15: Sistema RoF básico.
Fuente: (Srivastava et al., 2014)

2.6.1. Tecnología de RoF.

2.6.1.1. RoF análogo.

En esta tecnología RoF, la señal analógica transmitida a través de fibra óptica puede ser una señal de radiofrecuencia (RF), una señal de frecuencia intermedia (IF) o una señal de banda base (BB). En el transmisor óptico, la señal RF / IF / BB se modula en la portadora óptica mediante el uso de modulación directa o externa del láser. (S Oliveira, S Santos, Almeida, Costa, & Moritsuka, 2014, p.1).

La distribución de la señal a través de RoF tiene la ventaja de la estación base simplificada (BS), es susceptible a la dispersión cromática y otras degradaciones de los sistemas de comunicación analógicos. En estos sistemas las portadoras de radiofrecuencia se transportan como subportadoras de canal óptico sobre un enlace en conexiones punto a punto (S Oliveira, S Santos, Almeida, Costa, & Moritsuka, 2014,p.1).

2.6.1.2. RoF digitalizado.

El RoF digitalizado aparece como una alternativa a la próxima generación de sistemas RoF. La digitalización de una señal de RF consiste en la producción de una señal digital muestreada en forma de serie que se puede modular en una portadora óptica. La modulación de la señal digital en una portadora óptica minimiza los efectos no lineales originados por la función de conversión óptica a eléctrica presentada en el RoF analógico. (S Oliveira et al., 2014, p.2).

Para no utilizar muestras considerablemente altas en los componentes de ADC / DAC, como la técnica de muestreo de paso de banda, generalmente se aplican a la señal de RF. Todas las funciones y protocolos aún pueden centralizarse en la oficina central y la señal digital puede recuperarse mediante detección directa en las unidades de antenas remotas (RAUs) (S Oliveira et al., 2014,p.2).

2.6.2. Arquitectura del sistema RoF

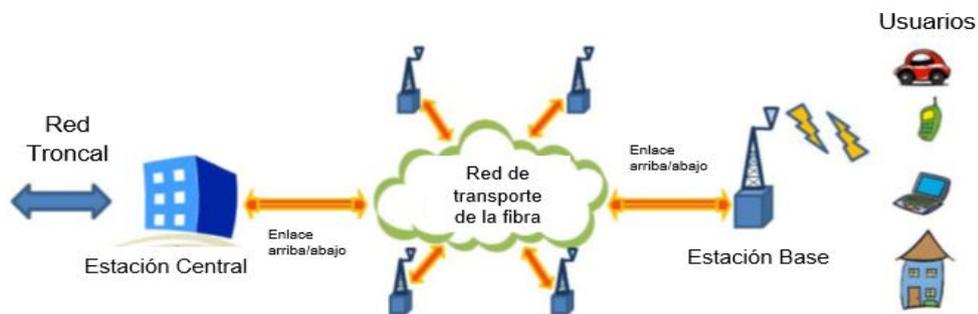


Figura 2. 16: Arquitectura del Sistema RoF.
Fuente: (Aragon-Zavala, Castanon, & Beas, 2011)

El concepto de un sistema RoF se compone de muchos elementos, como se muestra en la Figura 2.16. Existe una estación central (CS) que contiene todos los recursos de datos, transmisores, receptores, interconexión con la red telefónica pública conmutada (PSTN), Internet y capacidad de conmutación de la red. La CS utiliza la red de fibra óptica de transporte para comunicarse con las estaciones bases (BS). Las funciones tales como el enrutamiento / procesamiento de la señal, el traspaso y la asignación de

frecuencia se realizan en la CS, en lugar de en la BS (Aragon-Zavala et al., 2011,p115).

Además, una configuración centralizada de este tipo permite que el equipo se ubique en un entorno más seguro y reconoce que el costo de componentes se comparta entre varias BS. Las mayores pérdidas de propagación de RF en las bandas de onda reducen el tamaño de celda cubierto por una sola BS y permiten un mayor factor de reutilización de frecuencia para mejorar la eficiencia de utilización del espectro. Sin los mecanismos adecuados de seguridad y confiabilidad, las redes se limitarán a entornos limitados y controlados, sin cumplir con gran parte de la promesa que tienen (Aragon-Zavala et al., 2011,p.116).

Las topologías de red de fibra pueden utilizarse para servicios RoF, así como para fibra para el hogar y fibra para los servicios de construcción. Debido al extenso ancho de banda de la fibra, pueden coexistir los servicios inalámbricos y por cable en una sola red de acceso de fibra. Sin embargo, esto requerirá una planificación de la red para distribuir el ancho de banda para ambos servicios de acuerdo con los requisitos de tráfico y demanda (Aragon-Zavala et al., 2011,p.116).

En la arquitectura de Radio sobre fibra, se impone una señal de RF de transmisión de datos con una frecuencia alta (superior a 10 GHz) en una señal de onda de luz antes de la transmisión a través del enlace óptico. Por lo tanto, las señales inalámbricas se distribuyen ópticamente a las estaciones base directamente a altas frecuencias y se convierten del dominio óptico al eléctrico en las estaciones base antes de ser amplificadas e irradiadas por una antena. Como resultado, no se requiere una conversión de frecuencia descendente en las diferentes estaciones base, lo que resulta en una implementación simple y bastante rentable que se habilita en las estaciones base. Los sistemas de RoF transmiten señales de radio a través de la fibra óptica directamente hasta la estación Base, cuando existen varias BS, un dispositivo pasivo, conocido como divisor (splitter). (Reddy & Jolly, 2016,p.36).

2.6.3. Técnicas de Modulación Óptica.

Hay dos enfoques diferentes para la modulación óptica en el enlace de fibra óptica, la modulación directa y la modulación externa. Cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas (Minshid, Kadhim, Rasool, & Lateef, 2017,p.703).

2.6.3.1. RoF-link con modulación directa.

El método más sencillo para la modulación es modular directamente la fuente del láser. Debido a los requisitos de ancho de banda y eficiencia, solo los láseres semiconductores son de interés práctico para la modulación directa. Una característica única de los láseres semiconductores es que el láser semiconductor se puede modular directamente mediante la modulación de la corriente de excitación. Como se muestra en la Figura 2.17 para un láser semiconductor, la potencia de salida de la intensidad de la luz aumenta linealmente con la corriente de inyección por encima del umbral. Para la corriente de inyección:

$$I = I_0 + i(t) \quad , P_o = P_o + P(t)(1)$$

Dónde: (I_0, P_o) es el punto de polarización para la modulación directa del láser semiconductor. El esquema se puede configurar como se muestra en la Figura 2.17.

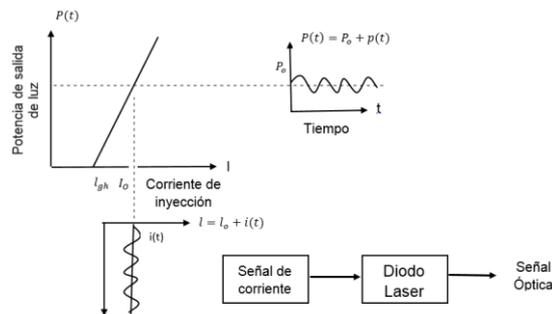


Figura 2. 17: Función de transición de corriente del láser semiconductor.

Fuente: (Minshid et al., 2017)

2.6.3.2. RoF-link con modulación externa.

A diferencia de la modulación directa, la modulación externa tiene un rendimiento más alto para las comunicaciones de fibra óptica de ancho de banda amplio, al usar un modulador externo de alta linealidad para modular la señal. Sin embargo, las desventajas potenciales es agregar complejidad del sistema y alto costo. La figura 2.18 muestra un transmisor de alta velocidad

en el que el láser se desvía a una corriente constante para generar una salida, y se coloca un modulador óptico externo al lado del láser; La luz de salida pasa a través del material del modulador externo cuyas propiedades ópticas se pueden modificar mediante un campo eléctrico externo aplicado (Minshid et al., 2017,p.704).

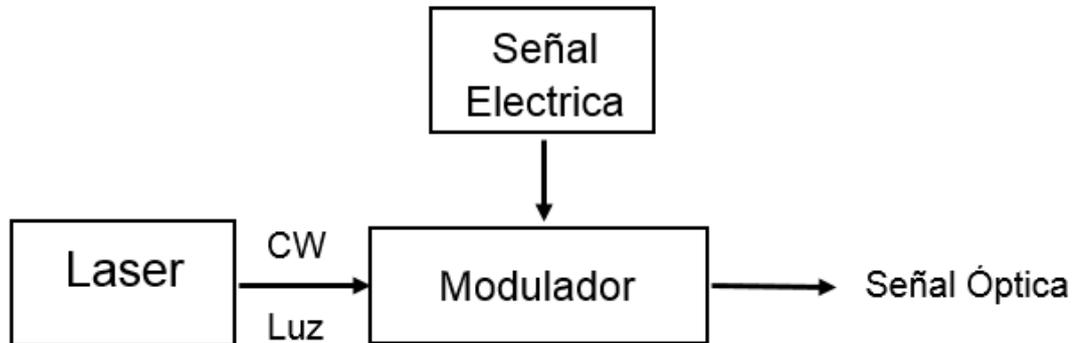


Figura 2. 18: Esquema de modulación externa.

Fuente: (Minshid et al., 2017)

Elaborado por: Autor.

2.6.4. Aplicaciones de RoF.

- **Red celular:** La tecnología podría ser una mejor opción para usar en celulares, sistema para el método de optimización celular, ya que simplemente se utiliza en la banda de onda milimétrica y, además, se reducirá el precio total del sistema. El tráfico móvil se transmite entre la estación base y la estación central a través de Sistema de RoF.
- **LANs inalámbricas:** Como dispositivos portátiles y las computadoras se han vuelto cada vez más poderosas, RoF puede ser utilizado para distribuir señales de LAN inalámbrica que operan de 2.4 GHz a 5 GHz.
- **Comunicación y control del vehículo:** RoF se puede utilizar para el sistema de transporte inteligente y el sistema de comunicación de carretera a vehículo. Para lograr la cobertura requerida de la red de carreteras, se requieren numerosas estaciones base. Estos pueden ser simples y de bajo costo al alimentarlos a través de los sistemas RoF, lo que hace que el sistema completo sea rentable y manejable.
- **Sistemas OFDM-RoF:** El sistema OFDM a través de RoF es para aumentar la técnica de modulación y supera varias limitaciones de la transmisión inalámbrica, como la atenuación de la potencia eléctrica, la dispersión cromática y la modulación de fase a través del enlace óptico.

La combinación de sistema tiene muchas ventajas para el futuro sistema de transmisión de datos de alta velocidad.

- **Aplicación militar:** Por razones de seguridad, las señales de microondas o RF de banda ancha recibida por el radar se transmiten a través de la fibra óptica en el modo de comunicación RoF al extremo remoto. Esto causará menos víctimas en caso de ataques de radar.
- **Detección de alta velocidad:** La comunicación RoF se puede usar para la transferencia rápida de señales de monitoreo de video en los trenes de alta velocidad, ya que la transmisión de banda ancha se puede satisfacer y también se producirá menos contaminación electromagnética.
- **Transmisión de fibra milimétrica:** La onda milimétrica a 60 GHz y superior genera una atenuación rápida y menos interferencias electromagnéticas, por lo que es muy adecuada para la cobertura en interiores. Junto con la comunicación RoF, los problemas de interferencia electromagnética y contaminación electromagnética se abordarán de una mejor manera.
- **Comunicación satelital:** Una de las aplicaciones involucra la transmisión remota de antenas a ubicaciones adecuadas en estaciones terrenas de satélite. En este caso, se utilizan pequeños enlaces de fibra óptica de menos de 1 km y que funcionan en frecuencias entre 1 GHz y 15 GHz. Al hacerlo, los equipos de alta frecuencia pueden ser centralizados. La segunda aplicación involucra la comunicación remota de las estaciones terrenas mismas. Con el uso de la tecnología de radio sobre fibra, las antenas pueden colocarse a muchos kilómetros de distancia con el fin de mejorar la visibilidad del satélite o reducir la interferencia de otros sistemas terrestres (Kaur et al., 2015,p.29).

2.6.5. Ventajas de Radio sobre fibra.

- **Gran ancho de banda:** La fibra óptica tiene un ancho de banda ilimitado. El aumento de la información que se transmite a través de la fibra óptica se garantiza debido a la portadora de alta frecuencia. La mayoría de los sistemas ópticos que se ejecutan a una velocidad de bits

de 10 Gbps. Hay un gran espacio para mejorar el ancho de banda del sistema.

- **Pérdida de baja atenuación:** En el sistema RoF, la fibra óptica se usa entre la estación central y la estación base, lo que tiene varias ventajas sobre el espacio libre y los medios de transmisión de cable de cobre. Las fibras ópticas disponibles en el mercado tienen una atenuación muy baja, por lo que pueden usarse para servir al propósito de reducir las pérdidas entre el BS y el CS que se encuentran muy separadas.
- **Fácil instalación y mantenimiento:** En los sistemas RoF, las unidades de antena remotas se simplifican. En estos casos, un detector de fotos, un amplificador de Radio Frecuencia y una antena forman la unidad de antena remota (RAU). El equipo de modulación y conmutación se mantiene en la cabecera y es compartido por varias RAU. Este sistema lleva a unidades RAU más pequeñas y livianas, lo que reduce efectivamente los costos de instalación y mantenimiento del sistema.
- **Inmunidad a la interferencia de RF:** La protección a la interferencia electromagnética es una propiedad muy importante de las comunicaciones de fibra óptica. Proporciona seguridad y privacidad para la transmisión de microondas. Esto se debe a que las señales se transmiten en forma de luz a través de la fibra. Dado que la señal de RF se transmite a través de la fibra óptica, no hay ninguna posibilidad de interferencia electromagnética. La calidad y la integridad de la información se conservan en la comunicación óptica.
- **Bajo consumo de energía:** Los equipos complejos se mantienen en la estación central (CS) para reducir el consumo de energía. Para este propósito, las estaciones bases (BS) que no están activas en cierto momento pueden cambiarse al modo pasivo. Puede ser una posibilidad de efectos no lineales, así como la dispersión en fibra óptica. Podemos minimizar estos tipos de desafíos presentes en el sistema RoF desarrollando algunas técnicas de modulación como una solución propuesta. También se investiga sobre los diferentes tipos de técnicas de modulación que son capaces de minimizar el efecto no lineal y la dispersión (Rajbir Singh, Ahlawat, & Sharma, 2017,p.56).

CAPÍTULO 3: SIMULACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS.

El actual capítulo está fundamentado en la obtención de los objetivos específicos expuestos en el capítulo 1. En el capítulo 2 se desarrolló el aprendizaje de los fundamentos teóricos y las características primordiales de la comunicación óptica, es por esta causa que la simulación de sistemas de radio sobre fibra (RoF) es de inmenso interés. En esta sección se desarrollará la simulación mencionada anteriormente y el análisis de los resultados con la utilización del software OptiSystem versión 7.0.

3.1. OptiSystem 7.0.

OptiSystem es un software integral que permite a los usuarios planificar, probar y simular enlaces ópticos en la capa de transmisión de las redes ópticas modernas. Es un simulador de nivel de sistema basado en el modelado realista de sistemas de comunicación de fibra óptica. Una interfaz gráfica de usuario (GUI) completa, controla el diseño de los componentes ópticos y la lista de redes, los modelos de componentes y los gráficos de presentación.(Ismail, 2014)

OptiSystem permite la automatización del diseño de prácticamente cualquier tipo de enlace óptico en la capa física, y el análisis de un amplio espectro de redes ópticas, desde redes de larga distancia, redes de área metropolitana (MAN) y redes de área local (LAN). OptiSystem incluye una amplia biblioteca de archivos de muestra de diseño óptico (.osd) que se pueden usar como plantillas para proyectos de diseño óptico o con fines de aprendizaje y demostración. Las capacidades de OptiSystem se pueden ampliar con la adición de componentes del usuario y pueden interactuar sin problemas con una amplia gama de herramientas.(Ismail, 2014)

El software OptiSystem fue desarrollado para equipar al mundo académico con un producto avanzado de enseñanza e investigación con el fin de minimizar la hora de preparación, promoviendo un proceso de aprendizaje eficiente al proporcionar muestras para simular durante la hora de clase y ayudar a los investigadores a comprender los antecedentes de la óptica.

Además, hay numerosos informes en papel sobre los nuevos logros y estudios que utilizan esta herramienta de simulación potente y fácil de usar. (Fairuz, Md Zaini, & Nor Iza binti, 2013)

OptiSystem permite la automatización del diseño de prácticamente cualquier tipo de enlace óptico en la capa física y el análisis de un amplio espectro de redes ópticas, desde sistemas de larga distancia hasta MAN y LAN. Este software ofrece líneas de transmisión óptica en sistemas de comunicación, diseñados y planificados de componentes a nivel de sistema, y presenta visualmente análisis y escenarios.

OptiSystem 7.0 ofrece a sus usuarios varios beneficios y ventajas expuestas a continuación:

- ✓ Rápido, prototipos de bajo costo.
- ✓ Acceso directo a conjuntos extensos de datos de caracterización del sistema.
- ✓ Visión Global del rendimiento del sistema.
- ✓ Escaneo automático de parámetros y optimización.
- ✓ Representación visual de opciones de diseño y escenarios para mostrar a usuarios potenciales.
- ✓ Dramática reducción del riesgo de inversión y tiempo de comercialización.
- ✓ Evaluación de las sensibilidades de parámetros que sirven a las especificaciones de tolerancia de diseño.
- ✓ Diseños de red WDM/TDM o CATV.
- ✓ Diseño en anillo SONET/SDH.
- ✓ Diseño de transmisor, canal, amplificador y receptor.
- ✓ Mapa de diseño de dispersión.
- ✓ Estimación de BER y sistemas de sanciones con receptores de diferentes modelos.
- ✓ Sistema amplificado de BER.
- ✓ Ofrece acceso directo a amplias series de datos de caracterización de sistema.
- ✓ Proporciona barrido automático de parámetros y de optimización.

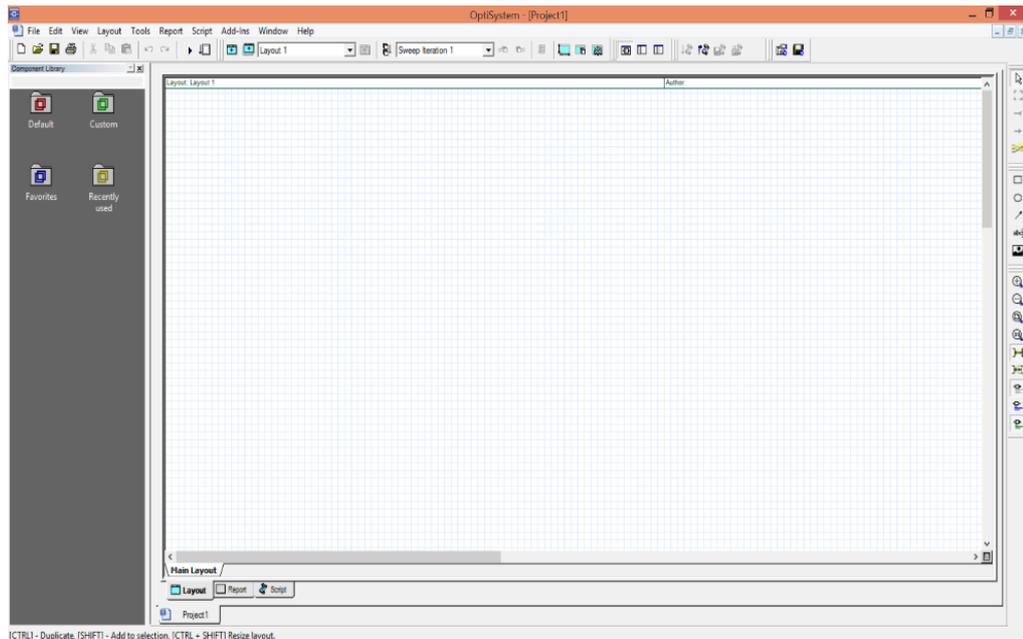


Figura 3. 1: *La interfaz gráfica de trabajo de OptiSystem 7.0.*
Elaborado por: *Autor.*

3.2. Parámetros de Métricas.

3.2.1. Tasa de error de bit (BER).

En la transmisión digital, el número de errores de bit es el número de bits recibidos de un flujo de datos en una comunicación que se han alterado debido al ruido, el bit de distorsión de interferencia o los errores de sincronización. La tasa de errores de bits (BER) es el número de errores de bits dividido por el número total de bits transferidos durante un intervalo de tiempo estudiado.

$$BER = \frac{\text{Numero de errores de bit}}{\text{Numero total de bits transferidos}}$$

3.2.2. Diagrama de ojo.

El bloque del analizador de diagramas de ojo del software OptiSystem muestra múltiples trazas de una señal modulada para producir un diagrama de ojo. En telecomunicaciones, un patrón de ojo, también conocido como diagrama de ojo, es una pantalla de osciloscopio en la que una señal de datos digitales de un receptor se muestrea repetitivamente y se aplica a la entrada vertical, mientras que la velocidad de datos se utiliza para activar el barrido horizontal. Se llama así porque, para varios tipos de codificación, el patrón parece una serie de ojos entre un par de rieles.

Un patrón de ojo abierto corresponde a una distorsión de señal mínima. La distorsión de la forma de onda de la señal debido a la interferencia entre símbolos (ISI) y el ruido aparece como un cierre del diagrama del ojo.

3.2.3. Factor Q.

El Factor Q, es conocido como el factor de selectividad o el factor de calidad, es una medida que sirve para cuantificar la relación entre la energía reactiva almacenada y la energía disipada en el tiempo que transcurre un ciclo completo de la señal. El elevado Factor Q muestra la tasa baja de pérdida de energía en correlación a la energía que se acumula por el resonador. Es una cuantificación significativa para los filtros, osciladores y por otros circuitos sintonizados.

3.3. Descripción del modelo de simulación de un sistema RoF.

En los sistemas de transmisión óptica actuales, el tráfico de comunicaciones es transportado por portadores ópticos cuya intensidad está modulada por el tráfico de comunicaciones que es el portador óptico que está modulado en amplitud (AM). En general, el tráfico de comunicaciones utilizado para modular la portadora óptica tendrá un formato de No Retorno a Cero (NRZ), aunque a veces puede tener un formato de Retorno a Cero (RZ). Hay dos tecnologías para la modulación, es decir, moduladores directos y externos. En formato directo o sin modulación externa, la señal de RF varía directamente con el sesgo de un diodo láser semiconductor y los moduladores externos se integran con los interferómetros Mach-Zehnder o el modulador de electro absorción.

La modulación de intensidad (IM) se prefiere principalmente debido a la simplicidad del receptor / detector óptico correspondiente que se basa en un fotodetector, por ejemplo, un fotodiodo, que funciona como un simple detector de umbral de amplitud. Para aplicaciones particulares, en general para los próximos sistemas de comunicación óptica de 40 Gbps, se ha propuesto utilizar otros formatos de modulación que tienen mayor inmunidad contra los efectos de propagación no lineal y también para una mayor dispersión en modo de polarización (PMD) y dispersión cromática (CD) tolerancia.

Estas características pueden abrir el camino a un nuevo diseño de sistemas de transmisión óptica, por ejemplo, con mayores potencias de transmisión y secciones más largas sin repetidores. La Figura 3.2 muestra el modelo de simulación de un sistema RoF diseñado con OptiSystem. Consta de 2 señales de radio frecuencia, cada una de 10GHz y 15GHz de frecuencia, se combinan en potencia y luego se modulan con señales ópticas del láser CW en el modulador LiNb Mach Zehnder.

La señal modulada se transmite luego a través de la fibra óptica convencional con una longitud de onda de referencia de 1550 nm (nanómetro) y una longitud de fibra que será variada a continuación en la simulación. Después de la transmisión a través de la fibra óptica, las señales se filtran utilizando un filtro de Bessel y se demodulan en el demodulador de AM.

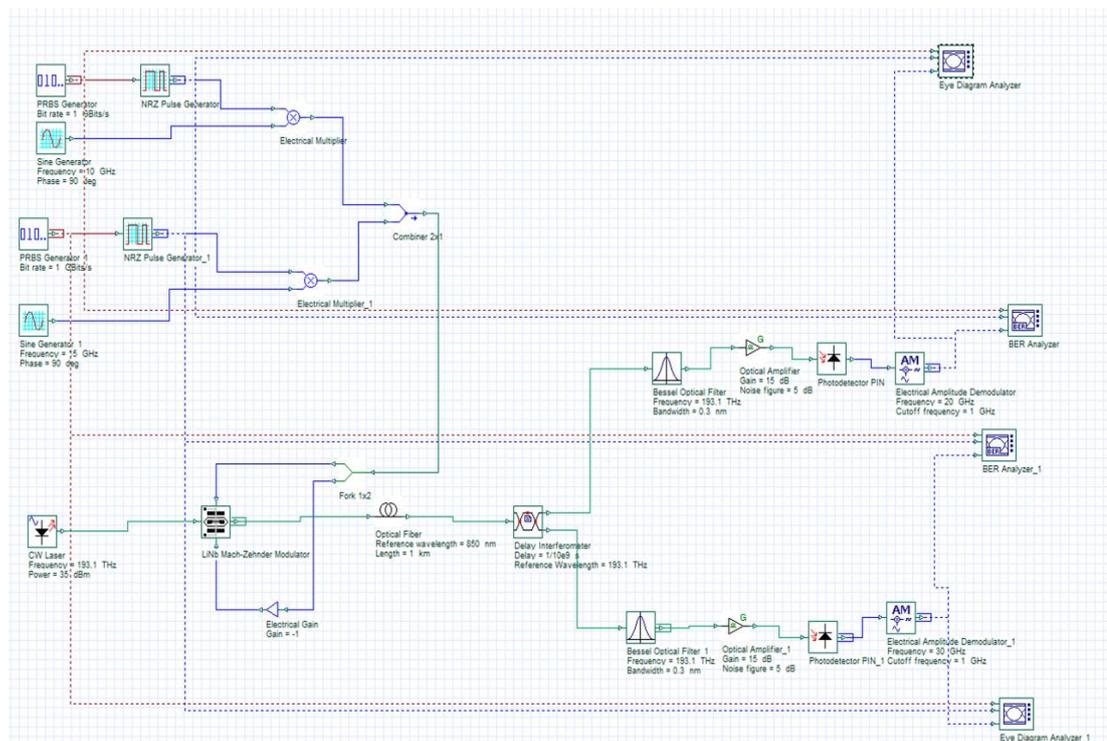


Figura 3. 2: Modelo de simulación de un sistema RoF.
Elaborado por: Autor.

Del lado del transmisor en la simulación se disponen de diferentes elementos, tales como, (1) generador de secuencia de bits pseudoaleatorio, generador de pulsos de no retorno a cero, un generador de señales senoidales, un multiplicador eléctrico, un combinador 2x1, un láser de onda continua, ganancia eléctrica y un modulador Mach-Zehnder de niobato de litio

que se conecta a la fibra óptica con diversos valores de atenuación entre 0.2 dB/Km, 0.5 dB/Km y 0.7 dB/Km.

En el lado del receptor cuenta con un interferómetro de retardo con una longitud de onda de referencia de 193.1 THz, un filtro óptico de Bessel, un amplificador óptico, un fotodetector PIN y un demulador de amplitud eléctrica. La simulación se ejecuta para diferentes potencias de fuente y longitudes de fibra óptica. La longitud de la fibra varía entre 1, 5, 15, 20 y 30 Km. La potencia de la fuente oscila entre valores de 10, 15, 20, 25, 30 y 35 dBm.

Los resultados obtenidos en la tabla 3.1 son para un sistema configurado con una atenuación de 0.2dB/Km, se observa que al colocar un valor de potencia 35 dBm, dentro de los valores de factor Q tiene un valor máximo de 65,3265 a 1Km y un mínimo de 12,9077 a 30Km. Se denota que con los diferentes valores de potencia de salida el factor Q decrece entre los kilometrajes 1 y 30. También se muestra que a una distancia de fibra de 30 Km a 10 dBm de potencia de la fuente, el enlace es inconsistente.

Tabla 3. 1: *Resultados para diferentes parámetros del primer escenario de simulación.*

Potencia	1km		5km		15km		20km		30km	
	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER
10	53,1835	0	16,1618	2,40079E-139	2,05952	2,59165E-59	1,77199	1,62309E-43	0	1
15	55,0095	0	21,8290	3,57264E-134	5,80657	1,67807E-55	5,69010	3,48881E-40	5,35290	2,86462E-40
20	56,1530	0	23,4982	6,84533E-129	10,5333	2,24118E-46	9,70479	4,06970E-36	8,90660	4,48494E-38
25	57,6189	0	24,1784	1,33457E-122	14,1929	1,18738E-26	11,6311	1,21877E-22	10,2953	3,96304E-35
30	60,2061	0	24,6056	3,74782E-106	15,6010	1,15771E-18	13,2059	8,25999E-16	12,0907	1,48327E-21
35	65,3265	0	25,0852	2,60521E-59	16,2079	1,87852E-02	13,5217	1,05384E-02	12,9077	5,35158E-14

Elaborado por: *Autor*

Para los casos anteriores de enlace con atenuación de 0,2 dB/Km se observa que el valor del BER promedio es 0,034310. Además, se aprecia que, al momento de incrementar el valor de la potencia de la fuente de transmisión, el valor del BER mejora. En el diagrama de ojo se denotó que a mayor distancia de enlace el mismo comienza a ser inconsistente. Se aprecia que un enlace a una potencia de fuente del transmisor de 10dbm a una distancia de propagación de 30Km no será exitosa pues, la distancia es muy amplia y la potencia es muy baja para establecer la transferencia de dato correctamente.

También se expone que el factor Q y la potencia mantienen una relación directamente proporcional, como se observa en la potencia de fuente de 35dbm que para todas las distancias posee el mejor valor de factor de calidad. Se aprecia que con la potencia de 15 dBm a una distancia de longitud de 15,20 y 30 Km la diferencia es mínima entre las tres por esta razón se puede cualquiera de ellas sin tener un error o inconsistencia al momento de generar la señal.

Además, con la potencia de 35dbm a las distancias de 15 y 20 Km se provoca un error debido que el min BER no se encuentra en el rango correspondiente para el mayor valor que es de $1e-09$, en ambos casos se encuentran por debajo de eso. A continuación, se muestra la figura exponiendo los diversos diagramas de ojos, BER y factor Q correspondiente a la tabla 3.1.

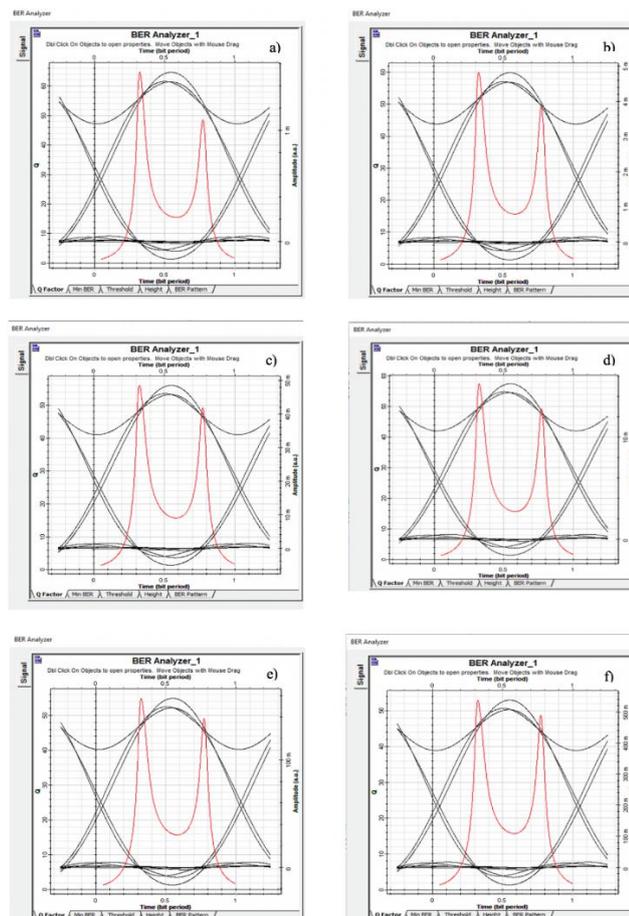


Figura 3. 3: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.2dB/km, longitud de fibra de 1km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

Este esquema se lo ve reflejado en la figura a1 hasta a4 correspondiente a los valores de distancia expresados en la tabla 3.1 en el Anexo. La figura 3.4 muestra una recapitulación del sistema RoF con una atenuación de 0.2dB/km a través de diversas distancias de enlace y potencias de transmisión, se denota que a una distancia de 30km junto con una potencia de 10dBm el factor Q disminuye y genera inconsistencia. Además, se observa que entre las distancias 15 y 30 a una potencia de enlace de 15dbm la diferencia del factor Q es tan solo de 8.5%, con esta semejanza de valores se expone que para alcanzar largas distancias guardando un buen valor de factor Q no es necesario de mayor potencia en el transmisor.

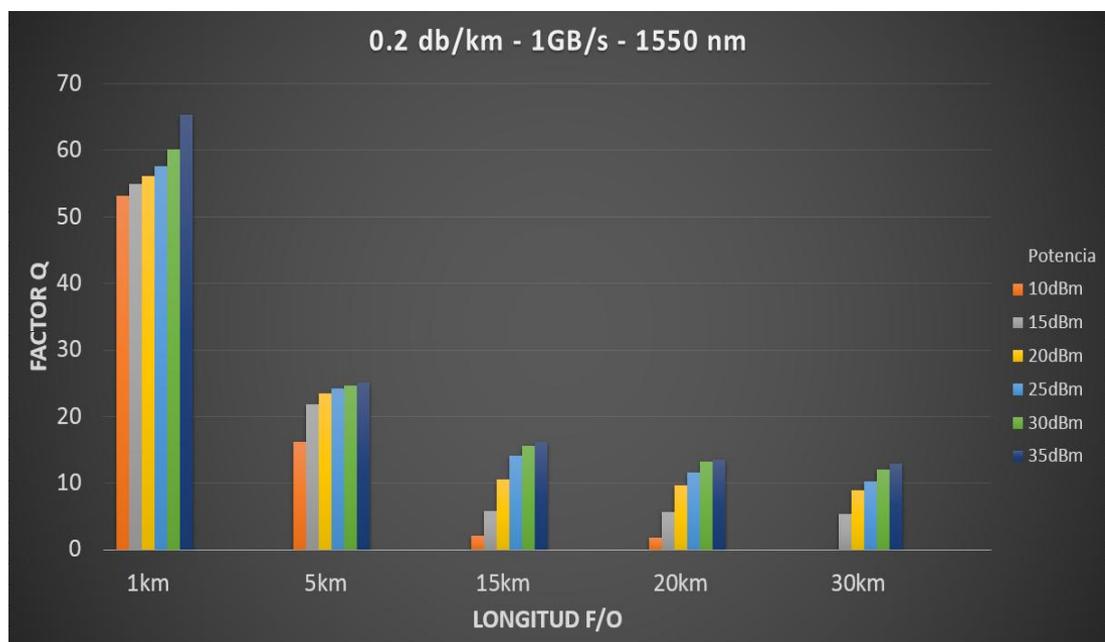


Figura 3. 4: Factor Q Vs. Longitud F/O de 0.2 dB/km.
Elaborado por: Autor.

Los resultados de la tabla 3.2 pertenecen a un sistema con una atenuación de 0.5dB/Km, se observa que a una potencia de transmisión de 10 dB no se podrá establecer un enlace exitoso de transmisión a partir de 20km de longitud de la fibra. Nuevamente se logra constatar que, con los diversos valores colocados en la potencia de salida, el factor Q disminuye a través de los kilómetros 1 y 30.

Para los casos anteriores de enlace con atenuación de 0,5 dB/Km se visualiza que el valor del BER promedio es 0,0671. Se observa que al instante que aumenta el valor de la potencia de la fuente de transmisión, el valor del

BER nuevamente asciende. El diagrama de ojo suministró resultados mostrando que a mayor distancia de enlace la inconsistencia del mismo aumentará.

Tabla 3. 2: *Resultados para diferentes parámetros del segundo escenario de simulación.*

Potencia	1km		5km		15km		20km		30km	
	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER
10	53,1042	0	14,4618	5,692520E-48	1,89170	1,34568E-02	0	1	0	1
15	54,9677	0	21,5476	1,69340E-103	4,92310	1,63320E-07	3,80335	4,84146E-05	2,58790	4,76161E-04
20	56,1079	0	23,3782	2,22705E-121	9,17724	8,41143E-21	8,37941	2,06868E-17	7,84750	6,51300E-16
25	57,5452	0	24,1062	1,19639E-129	13,3696	1,95840E-41	11,4874	1,29447E-31	10,0392	3,48641E-30
30	60,0671	0	24,5304	2,26728E-133	15,0820	2,13085E-50	12,4568	2,96404E-38	11,3956	4,56538E-36
35	65,0407	0	24,9781	3,50287E-138	16,1559	1,07663E-59	13,2179	5,57649E-42	12,5277	5,89963E-37

Elaborado por: *Autor.*

Se observa que a una distancia de enlace de 20 y 30Km no será factible la transmisión de datos con una potencia de 10dbm, ya que la misma es relativamente baja y la distancia es muy extensa para constituir el adecuado traslado de datos. Nuevamente se analiza que la potencia de transmisión y el factor Q conservan una correlación directa.

Se aprecia que con una potencia de 15dBm a las distancias de 15, 20 y 30 km se provoca una inconsistencia en el min BER debido que se encuentran en por debajo del rango establecido que corresponde al 1e-09, entonces no permitirá enviar la señal correctamente. En el kilómetro 1 se tiene un min BER 0 para las potencias de salidas del transmisor, por esta razón se tendrá la mejor transmisión sin interferencias ni errores.

En la distancia de 5km con las potencias de 25, 30 y 35dbm se observa que la diferencia es mínima entre cada una, en 25dbm es 24.10, 30dbm es 24.53 y 35dbm es 24.97 por esta razón no es necesario aumentarle más potencia en la salida del transmisor, ya que con cualquiera de ellas se puede realizar un enlace exitoso sin interferencia ni errores. Y el mejor enlace para transmitir es el de potencia 35dbm a una distancia de 1km. A continuación, se muestra la figura exponiendo los diversos diagramas de ojos, BER y factor Q correspondiente a la tabla 3.2.

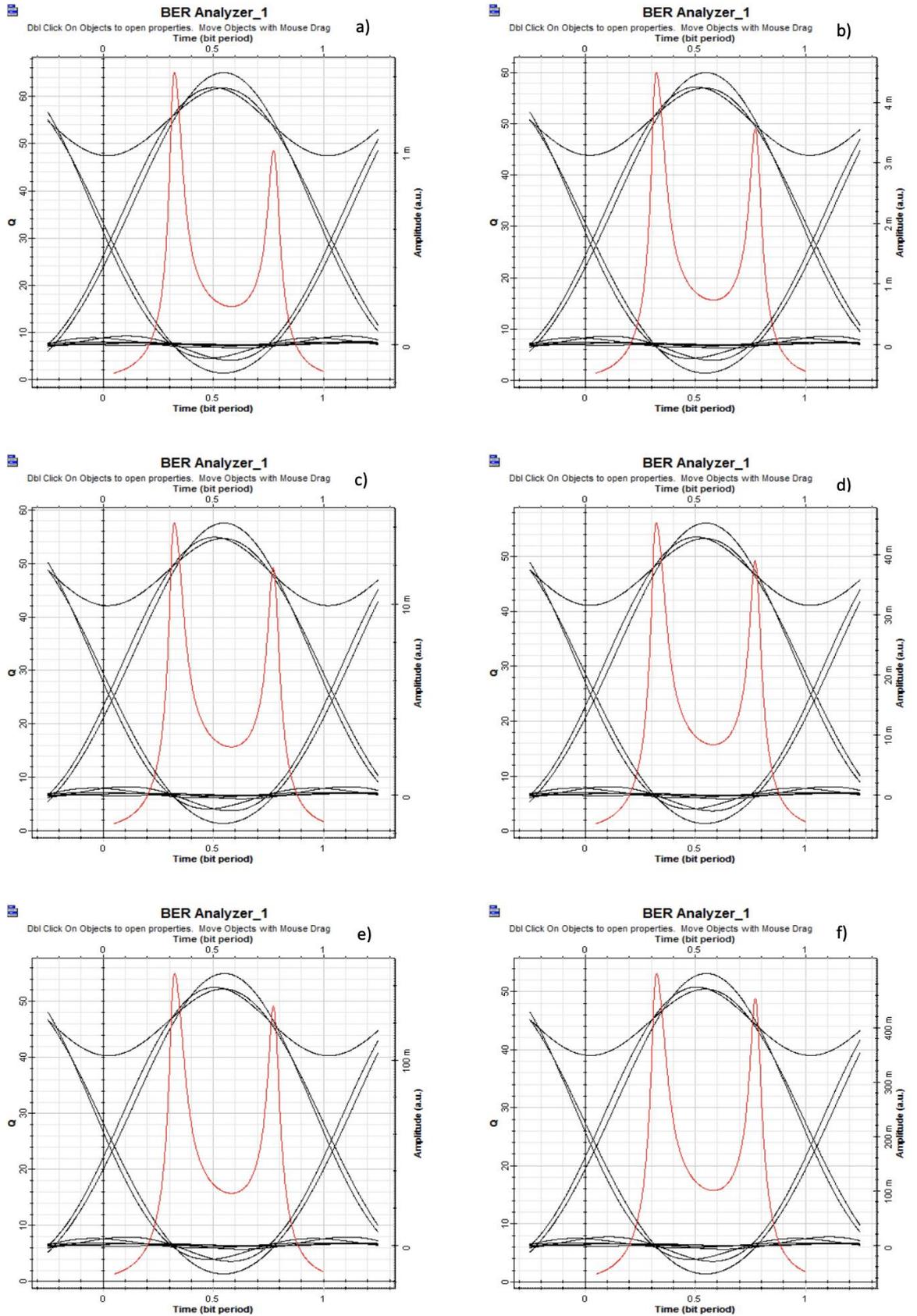


Figura 3. 5: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.5 dB/km, longitud de fibra de 1km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

Este esquema se lo ve reflejado en la figura a5 hasta a8 correspondiente a los valores de distancia expresados en la tabla 3.2 en el Anexo.

La figura 3.6 muestra una síntesis del sistema RoF con una atenuación de 0.5dB/km a través de diferentes distancias de enlace y potencias de transmisión, se indica que a partir de distancias de 20 km acompañadas de una potencia de 10dBm el factor Q decrece y provoca inconsistencia. También se visualiza que entre las distancias 15 y 30 a una potencia de enlace de 20 dbm la diferencia del factor Q es mínima, con esta similitud de valores se muestra que para obtener extensas distancias almacenando un buen valor de factor Q no es indispensable de mayor potencia en el transmisor.

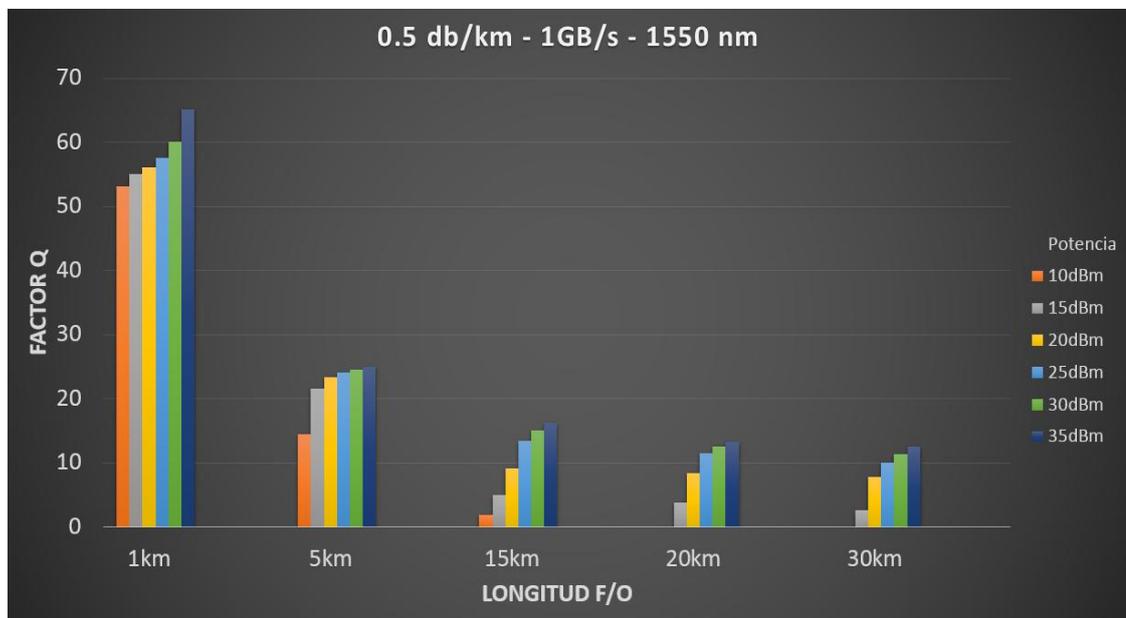


Figura 3. 6: *Factor Q Vs. Longitud F/O de 0.5 dB/km.*
Elaborado por: *Autor.*

Los resultados de la tabla 3.3 se dan a partir de un sistema con atenuación de 0.7dB/Km, se observa que a una potencia de transmisión de 10 dB no se conseguirá constituir un enlace exitoso de a distancias de 15 y 30 km de longitud de la fibra. Nuevamente se verifica que, con los diversos valores situados en la potencia de salida, el factor Q disminuye a través de los kilómetros 1 y 30. Se observa en la distancia de 5km entre la potencia de 30dbm y 35dbm existe una mínima relación entonces se podría utilizar ambas y lograr una excelente transmisión sin errores ni interferencias. Además, en la

distancia de 20 y 30 km no aparece la potencia de 10dbm, ya que posee una interferencia.

Tabla 3. 3: *Resultados para diferentes parámetros del tercer escenario de simulación.*

Potencia	1km		5km		15km		20km		30km	
	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER	Factor Q	Min. BER
10	52,9812	0	9,86004	1,49486E-23	0	1	0	1	0	1
15	54,9047	0	21,0533	6,42919E-99	4,01028	1,47793E-05	2,44990	3,36485E-03	2,07750	3,16708E-02
20	56,0418	0	23,1793	2,29713E-119	7,18062	1,31198E-13	7,14943	2,22239E-13	6,86187	1,27851E-12
25	57,4379	0	23,9960	9,69997E-128	11,5184	2,18703E-31	9,64380	2,17809E-22	8,18150	2,47576E-21
30	59,8654	0	24,4259	2,91724E-132	14,8309	9,95068E-47	12,2150	5,93770E-36	11,0910	3,79549E-28
35	64,6282	0	24,8333	1,28822E-136	15,6820	5,39070E-56	12,5074	3,39216E-40	11, 5423	4,42525E-32

Elaborado por: *Autor.*

Para los casos anteriores de enlace con atenuación de 0,7 dB/Km se pudo observar que el valor del BER promedio es 0,1011. Se exhibe que a partir de la distancia de enlace de 15km junto con la potencia de 10dbm no se logra obtener una correcta transmisión de datos, pues la distancia es amplia y la potencia es excesivamente pequeña para lograr un buen enlace.

Se observa que con la potencia de 15dBm a una distancia de 15km,20km y 30km de enlace se forma un error o inconsistencia debido a que no se encuentra en el rango permitido por min Ber, el cual nos dice que para poder tener un correcto envío de señal tiene que ser mayor al 1e-09, en este caso poseen señales menores a esas como son 1,47793E-05 para los 15km, 3.36485E-03 para los 20km y 3.16708E-02 para los 30km.

También se aprecia que con la potencia de 20dBm a una distancia de 15km y 20km la diferencia es mínima entre ellas por lo cual se puede utilizar ambas y se podrá obtener una excelente transmisión de señal sin interferencias. Además, se observa en la distancia de 5km con la potencia de 30 y 35dbm tiene un valor parecido por ende no es necesario aumentar más la potencia, ya que para esa distancia se puede utilizar las dos normalmente, sin que provoque interrupciones ni interferencia al momento de transmitir el enlace óptico y el diagrama de ojo se lo podrá apreciar de la mejor manera sin necesidad de hacer un nuevo barrido. A continuación, se expone la figura mostrando los diversos diagramas de ojos, BER y factor Q correspondiente a la tabla 3.3.

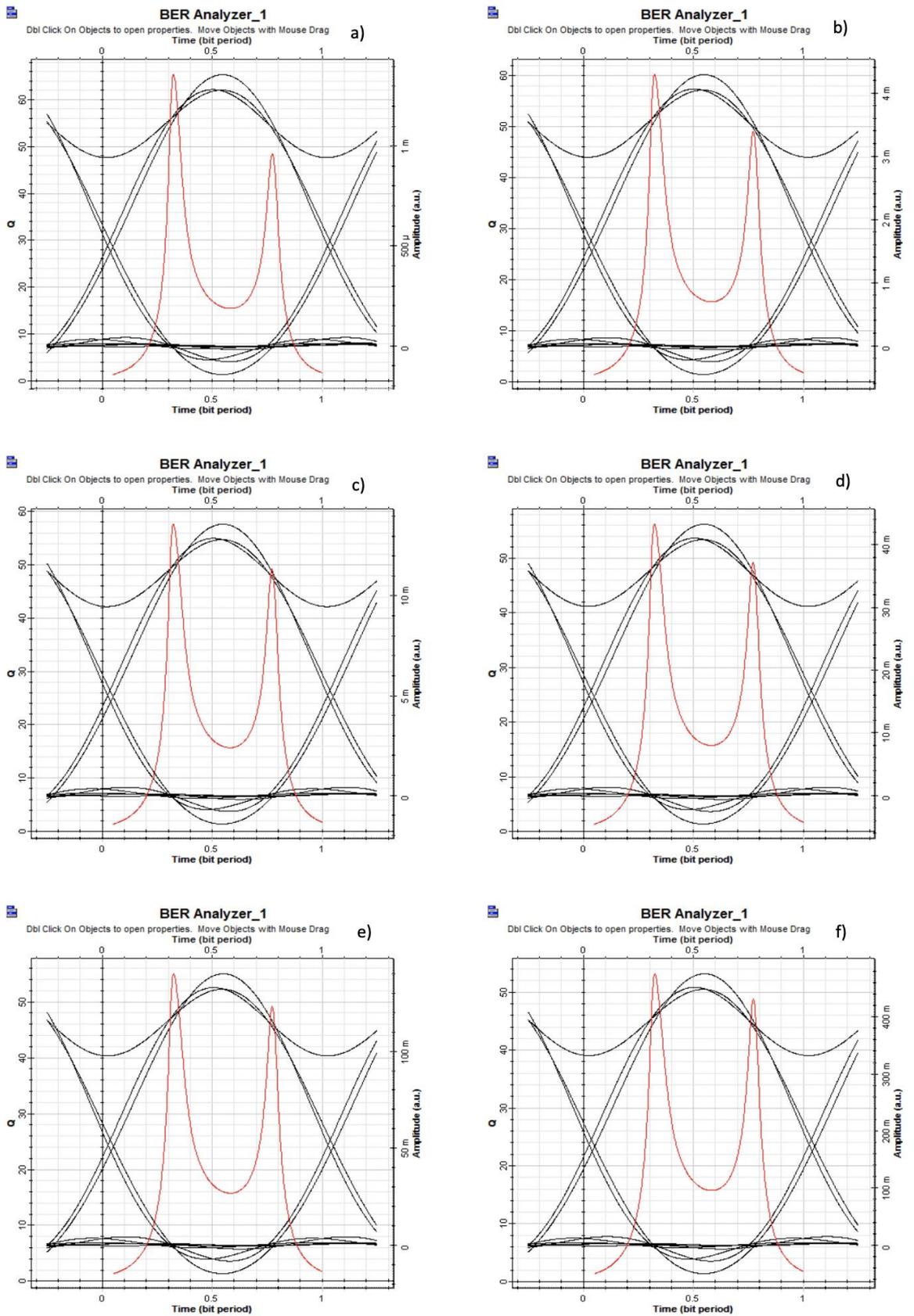


Figura 3. 7: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.7dB/km, longitud defibra de 1km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

Este esquema se lo ve reflejado en la figura a9 hasta a12 correspondiente a los valores de distancia expresados en la tabla 3.3 en el Anexo.

La figura 3.8 expone como el sistema RoF con una atenuación de 0.7dB/km por medio de numerosas potencias de transmisión y distancias de enlace, se expresa que desde la distancia de 15 km seguido de una potencia de 10dbm el factor Q reduce y forma inconsistencia. Además, como se ve en el caso anterior se mantiene que entre distancias de 15 a 30km con una potencia de enlace de 20dBm la diferencia del factor Q es mínima.

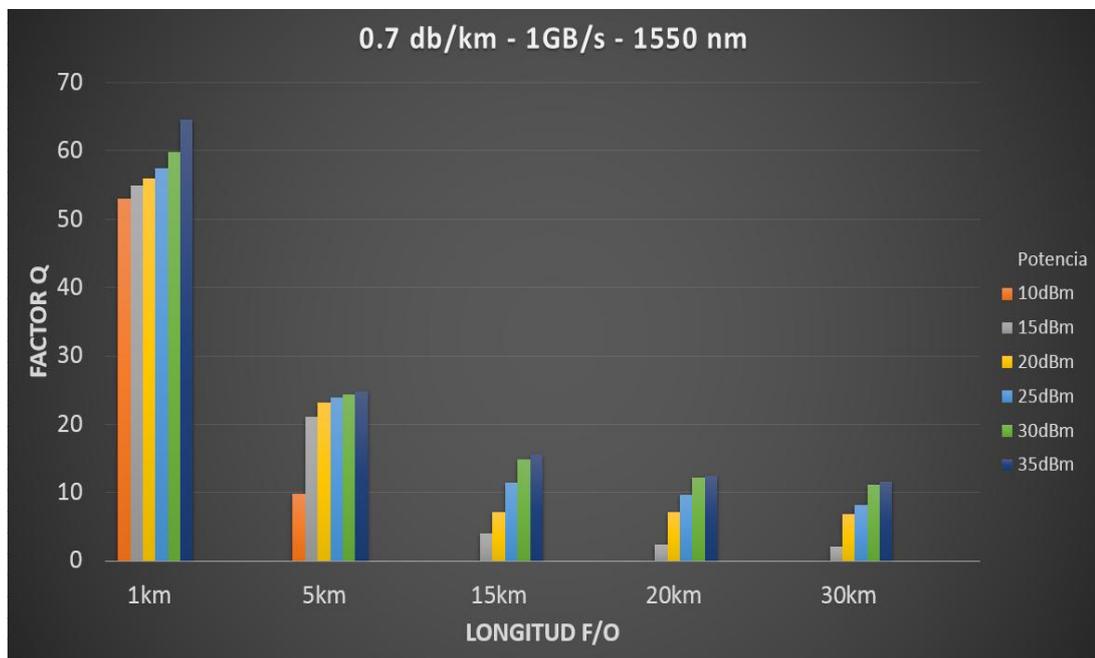


Figura 3. 8: Factor Q Vs. Longitud F/O de 0.7dB/km.
Elaborado por: Autor.

A partir de toda la recolección de datos por las diversas simulaciones realizadas puede denotar que el factor Q en todos los casos mejora a medida que la potencia de la fuente aumente.

Por otra parte, se distingue que el factor Q y la distancia de transmisión de la fibra guardan una relación inversamente proporcional. Se puede indicar también que el enlace óptimo según los resultados se alcanza a mayor potencia de la fuente y a menor atenuación, en la vecindad de 15km de distancia de transmisión. Entonces así se logrará obtener la mejor transmisión del enlace.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- Los fundamentos teóricos relacionados a los sistemas de comunicaciones óptica y sistemas de radio sobre fibra fueron de esencial importancia en el proceso investigativo, pues se los utilizó para el adecuado modelado del tema propuesto.
- RoF provee una buena y eficiente transmisión de datos, esta afirmación es comprobada a través de las distintas simulaciones mostradas anteriormente. Se logró obtener factores de calidad en la vecindad de 65.3 y diagramas de ojo libres de inconsistencia en el mayor de los casos. Se observa que el mejor escenario de simulación es el de mayor potencia de fuente, menor atenuación y distancias de enlace.
- Con la atenuación 0.2dB/km se observa que entre las distancias 15 y 30 a una potencia de enlace de 15dbm la diferencia del factor Q es tan solo de 8.5%, con esta semejanza de valores se expone que para alcanzar largas distancias guardando un buen valor de factor Q no es necesario de mayor potencia en el transmisor.
- El factor Q y la distancia de enlace guardan una relación inversamente proporcional, a diferencia de la relación directa que tienen este mismo factor de calidad con la potencia de la fuente trasmisora.

4.2. Recomendaciones.

- Impulsar a los estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones al uso de softwares de simulaciones como lo es el caso de OptiSystem, pues permite planificar y gestionar diseños de enlaces ópticos como RoF.
- Realizar un estudio para diversas situaciones de propagación y atenuación sobre el sistema de Radio sobre fibra para longitudes de ondas $\lambda = 850\text{nm}$ y $\lambda = 1350\text{nm}$.

Bibliografía

- Agrawal, G. P. (2014). *Fiber-optic communication systems* (3rd ed). New York: Wiley-Interscience. Recuperado de <http://pesona.mmu.edu.my/~hairul/files/Books/Fiber%20Optic%20Communication%20-%20Agrawal/CHAP3.PDF>
- Almasoudi, F., Alatawi, K., & Matin, M. A. (2013). Study of OFDM Technique on RoF Passive Optical Network. *Optics and Photonics Journal*, 03(02), 217–224. <https://doi.org/10.4236/opj.2013.32035>
- Alwayn, V. (2013). Tecnologías de fibra óptica> Una breve historia de las comunicaciones de fibra óptica. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=170740>
- Aragon-Zavala, A., Castanon, G., & Beas, J. (2011). Radio-over-Fiber Systems for Wireless Communications. *Recent Patents on Electrical Engineering*, 4(2), 114–124. <https://doi.org/10.2174/1874476111104020114>
- Bêche, B. (2013). Integrated photonics - Part II: Optical components for telecommunications and sensors applications | Request pdf. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/278805700_Integrated_photonics_-_Part_II_Optical_components_for_telecommunications_and_sensors_applications
- Carballar, A. (2002). Comunicaciones ópticas “1.- introducción a las comunicaciones ópticas”. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NrS8FQxSMFcJ:www.dinel.us.es/util/bajar.php%3Ffile%3DeJxTUo0rqZjfv_r_5PnTPn49_ufO67laTjL-_Dmo-tyX0KWkLuVmhtMsPKlcMHh0Ecg,%26x%3D21%26y%3D12%26r%3D0+%&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec

- Chodos, A. (2013). This Month in Physics History. Recuperado el 26 de noviembre de 2018, de <https://www.aps.org/publications/apsnews/200508/history.cfm>
- David, J. P. R., & Tan, C. H. (2008). Material Considerations for Avalanche Photodiodes. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 14(4), 998–1009. <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2008.918313>
- Djordjevic, I., Ryan, W. E., & Vasic, B. (2013). *Coding for optical channels*. New York: Springer. Recuperado de <https://www.springer.com/us/book/9781441955685>
- Fairuz, A., Md Zaini, J., & Nor Iza binti, M. (2013). OptiSystem: an alternative to optoelectronics and fiber optics teaching e-laboratory. AESS Publications. All Rights Reserved. Recuperado de [http://www.aessweb.com/pdf-files/ljass-%204\(2\)%20307-313.pdf](http://www.aessweb.com/pdf-files/ljass-%204(2)%20307-313.pdf)
- Garrett, I. (2015). Receivers for optical fibre communications. *Radio and Electronic Engineer*, 51(7), 349–361. <https://doi.org/10.1049/ree.1981.0053>
- Gowar, J. (2014). *Optical communication systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice/Hall International. Recuperado de <https://ece.umd.edu/~davis/chapter13.pdf>
- Ismail, T. (2014). OptiSystem-Optical Communication System and Amplifier Design Software. Recuperado de https://scholar.cu.edu.eg/?q=hmostafa/files/OptiSystem_d1.pdf
- Johny, J., & Shashidharan, S. (2012). Design and simulation of a Radio Over Fiber system and its performance analysis. En *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems* (pp. 636–639). St. Petersburg, Russia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2012.6459744>
- Kaur, S., Srivastava, M., Bhatia, K. S., Department, E., PRoFessor, A., Deptt, E., & Sahib, B. F. (2015). Radio over Fiber Technology – A Review, 5.

- Keizer, G. (2014). Comunicaciones de fibra óptica, 2ª edición por Keizer, Gerd: McGraw-Hill 9780070336179 Tapa dura - BookDepart. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de <https://www.abebooks.com/9780070336179/Optical-Fiber-Communications-2nd-Edition-0070336172/plp>
- Lee, F. (2017). Two major uses of photodetectors in optical communication systems. Recuperado el 30 de noviembre de 2018, de <https://www.fiberoptictel.com/two-major-uses-of-photodetectors-in-optical-communication-systems/>
- Lee, J.-H. (2000). *Analysis and Characterization of Fiber Nonlinearities with Deterministic and Stochastic Signal Sources*. Recuperado de https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/26265/jhlee_etd.pdf?sequence=1
- Martín, J. (2012). Ingebook - sistemas y redes ópticas de comunicaciones -. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=1326
- Minshid, D. M. A., Kadhim, D. S. A., Rasool, Q. A., & Lateef, S. M. (2017). Design and simulation of external modulation technique based radio over fiber (rof) communication system, 8.
- Mitchell, J. E. (2014). Emerging radio-over-fiber technologies and networks: challenges and issues. En B. B. Dingel, R. Jain, & K. Tsukamoto (Eds.) (p. 723407). Presentado en spie opto: Integrated Optoelectronic Devices, San Jose, CA. <https://doi.org/10.1117/12.819925>
- Muoi, V. (2013). *Optoelectronic technology and lightwave communications systems*. Place of publication not identified: Springer. Recuperado de <https://www.springer.com/la/book/9789401170376>

- Paschotta, R. (2015). *Field Guide to Lasers* | Paschotta | Publications | Spie. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <http://spie.org/Publications/Book/767474>
- Pinto, R., & Cabezas, A. (2014). *Sistemas de comunicaciones ópticas* (p. 145). Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11995/Com%20opticas%20V.2014-03-28%20PDF.pdf;jsessionid=7E0C5DA8D9980CEDAF4C59313B9ADBCE?sequence=1>
- Reddy, V., & Jolly, L. (2016). Simulation and Analysis of Radio over Fiber (RoF) Systems using Frequency Up-Conversion Technique. *International Journal of Computer Applications*, 133(12), 36–43. <https://doi.org/10.5120/ijca2016908074>
- Rodriguez, J. (2012). PIN Photodetector Characteristics for Optical Fiber Communication. Recuperado el 28 de noviembre de 2018, de <http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/pin-photodetector-characteristics-for-optical-fiber-communication/>
- S Oliveira, R., S Santos, N., Almeida, R., Costa, A., & Moritsuka, N. (2014). Low Cost Digital Radio over Fiber System. <https://doi.org/10.13140/2.1.3325.6323>
- Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2014). *Fundamentals of photonics*. New York: Wiley. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471213748>
- Sayfa. (2013). *Optical Transmitters and Receivers*. Recuperado el 30 de noviembre de 2018, de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:RnXYEWk0wzAJ:ece572.cankaya.edu.tr/uploads/files/Optical%2520transmitters%2520and%2520receivers_2013_HTE.pdf+%&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=e

- Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2009). *Optical fiber communications: principles and practice* (3rd ed). Harlow, England; New York: Financial Times/Prentice Hall.
- Singh, Rajbir, Ahlawat, M., & Sharma, D. (2017). A Review on Radio over Fiber communication System, 6, 2319–7471.
- Singh, Ranbir, & Baliga, J. (2012). *Cryogenic Operation of Silicon Power Devices*. Springer Verlag.
- Srivastava, N. K., Jaiswal, A. K., & Kumar, M. (2014). Design and Performance Analysis of Radio over Fiber System Incorporating Differential Phase Shift Keying Modulation in High Speed Transmission System. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 9(2), 37–42. <https://doi.org/10.9790/2834-09243742>
- Vandana, Y., Mukesh, K., & A.k, J. (2014). IOSR, 9. Recuperado de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jeee.html>

Anexo

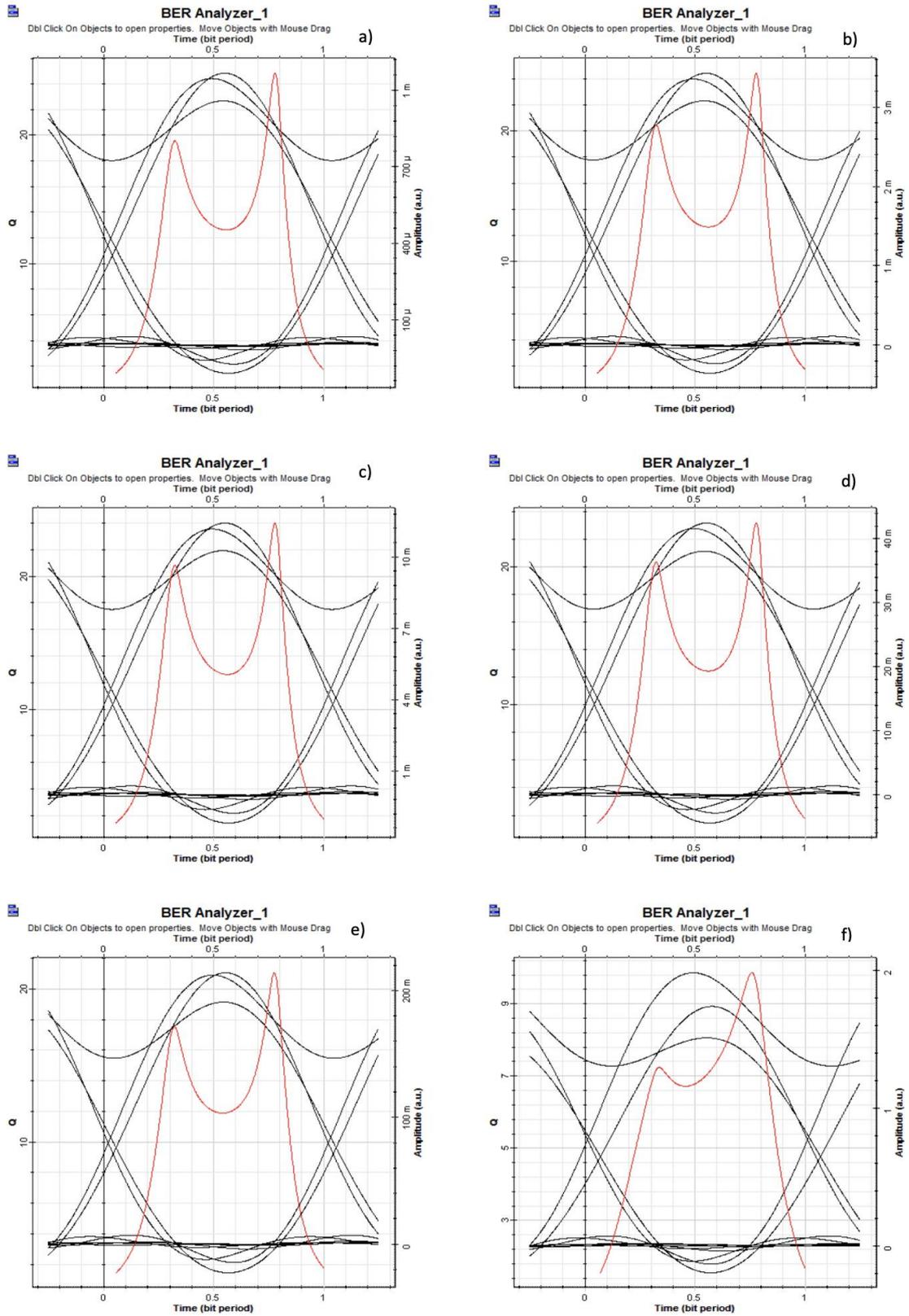


Figura a. 1: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.2dB/Km, longitud de fibra de 5km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

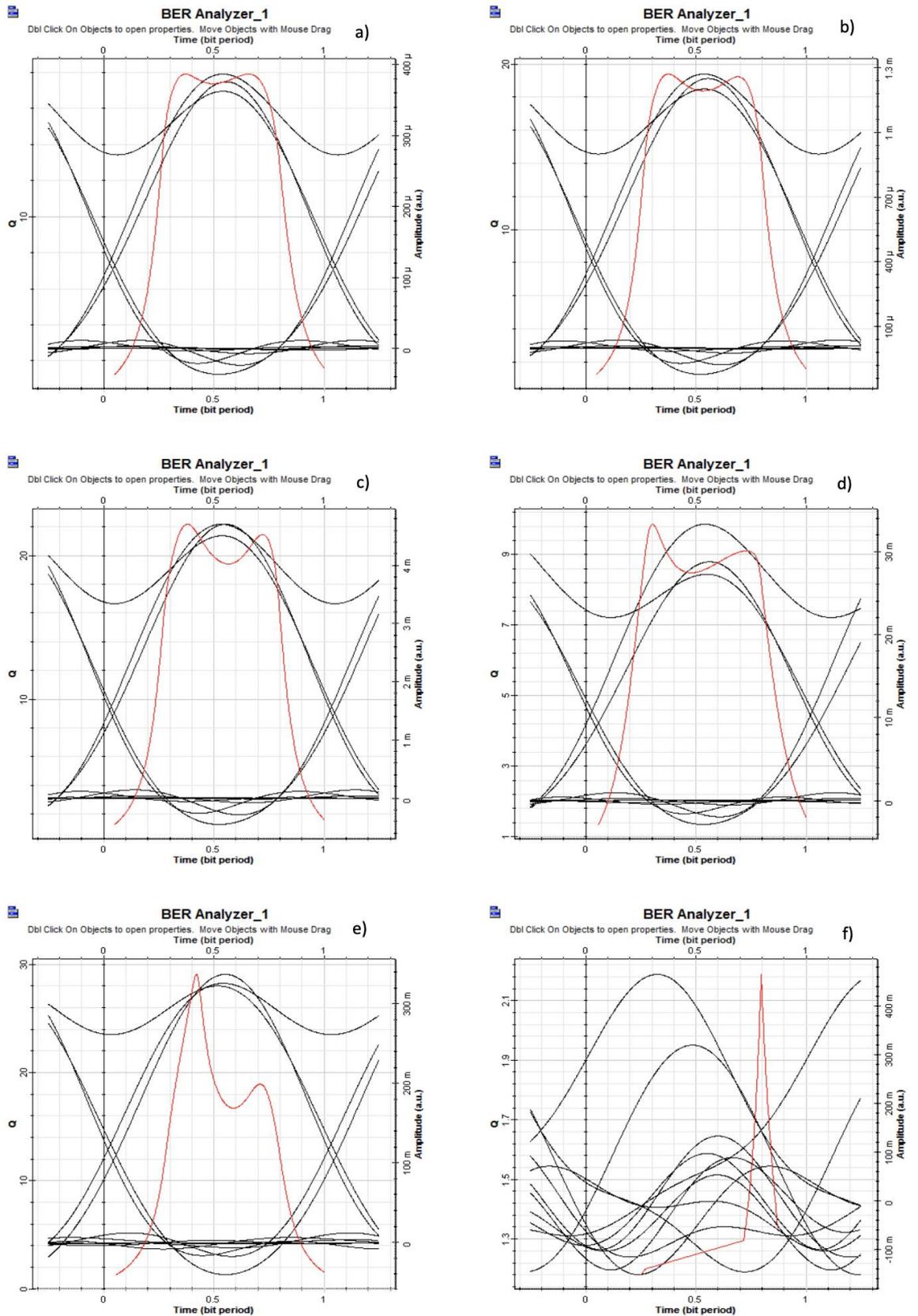


Figura a. 2: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.2dB/Km, longitud de fibra de 15km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

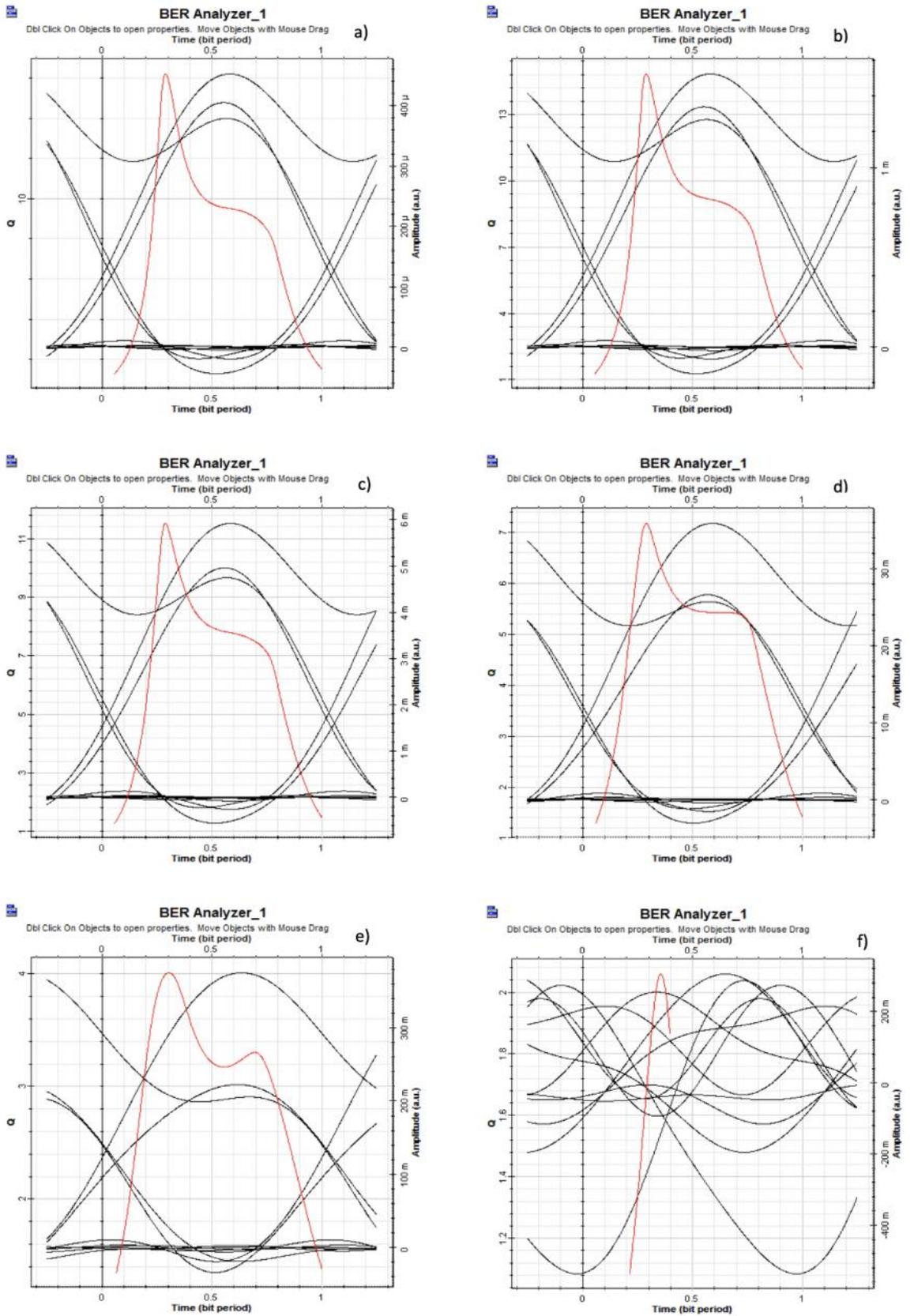


Figura a. 3: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.2dB/Km, longitud de fibra de 20km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

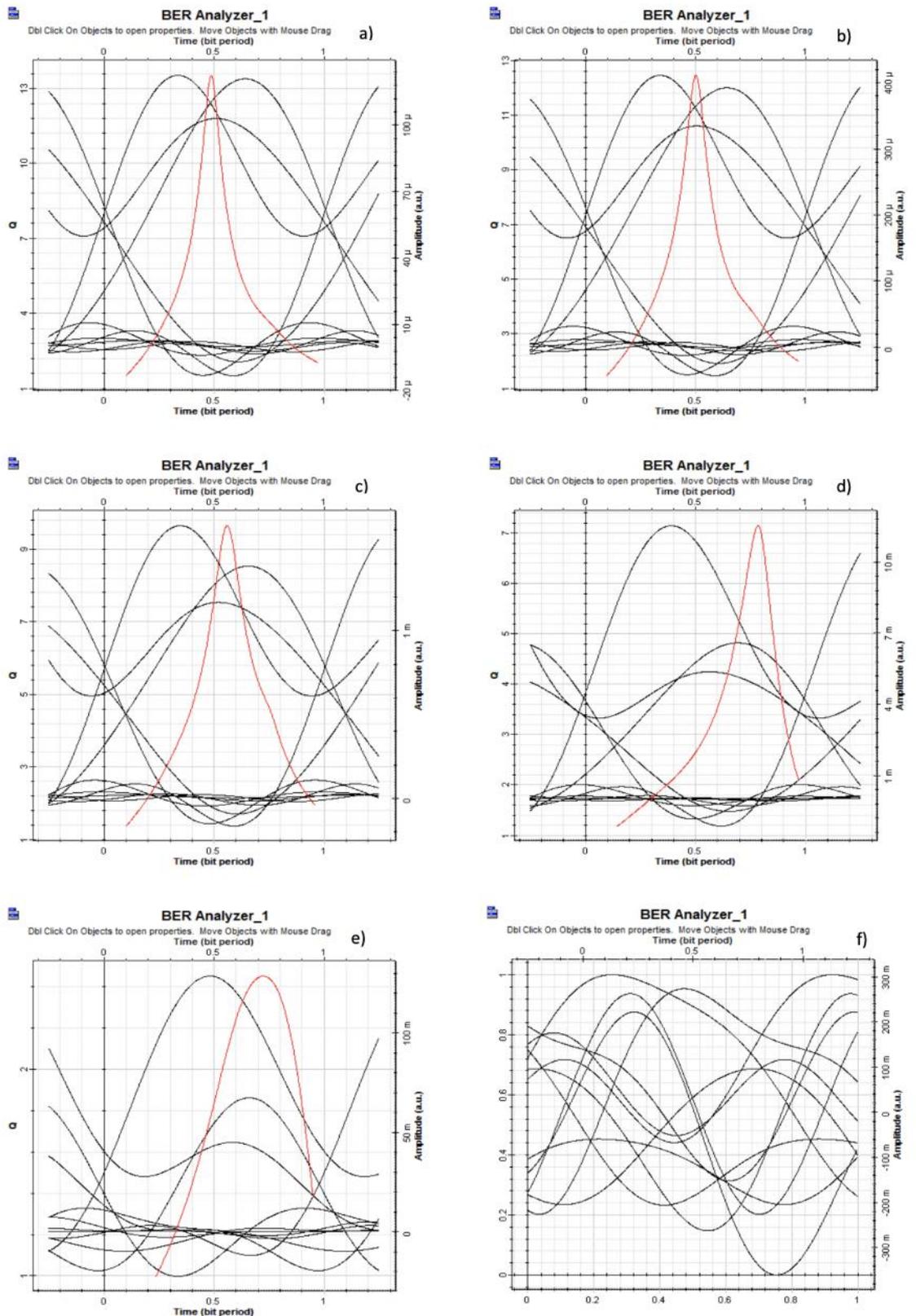


Figura a. 4: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.2dB/Km, longitud de fibra de 30km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

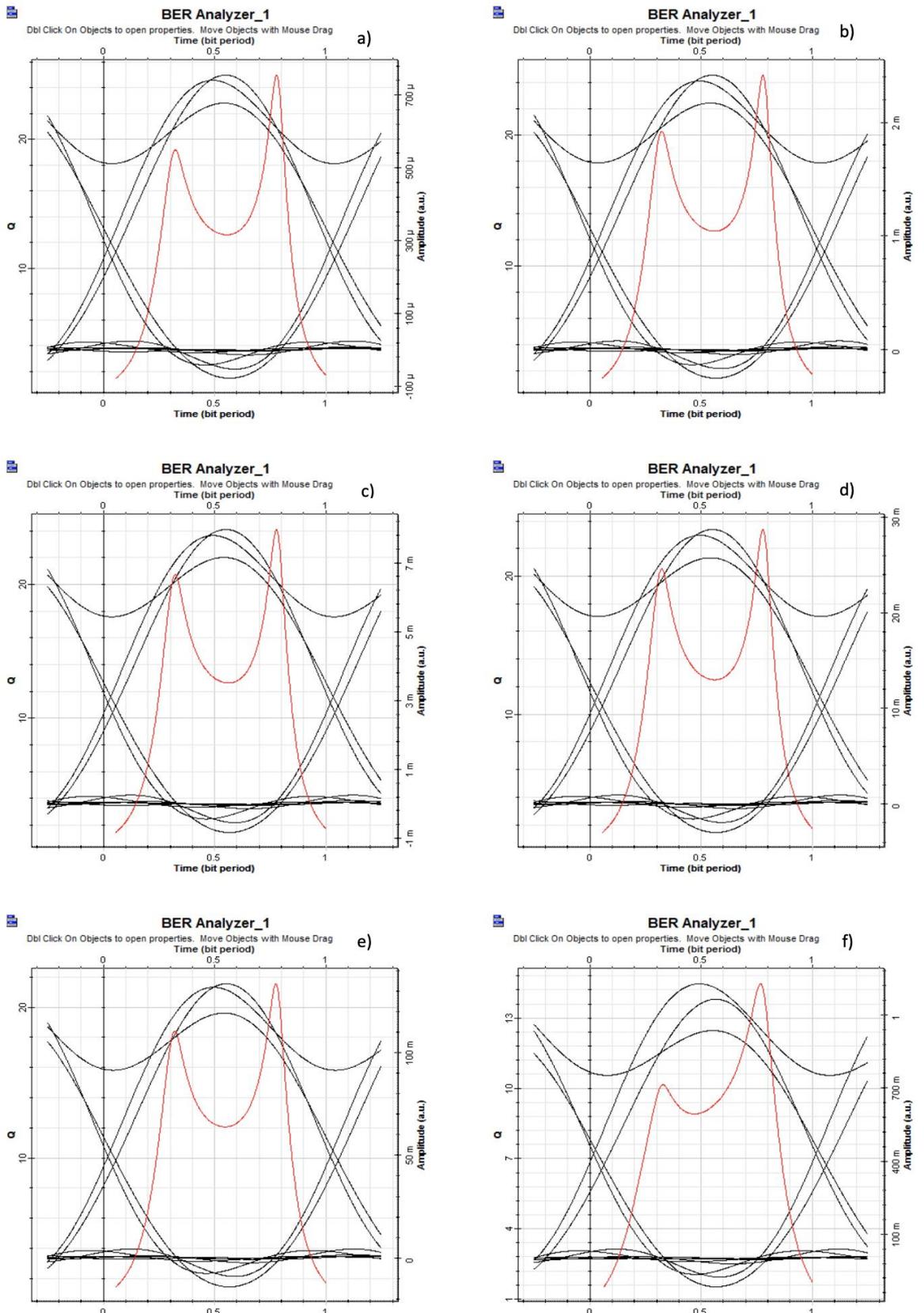


Figura a. 5: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.5dB/Km, longitud de fibra de 5km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

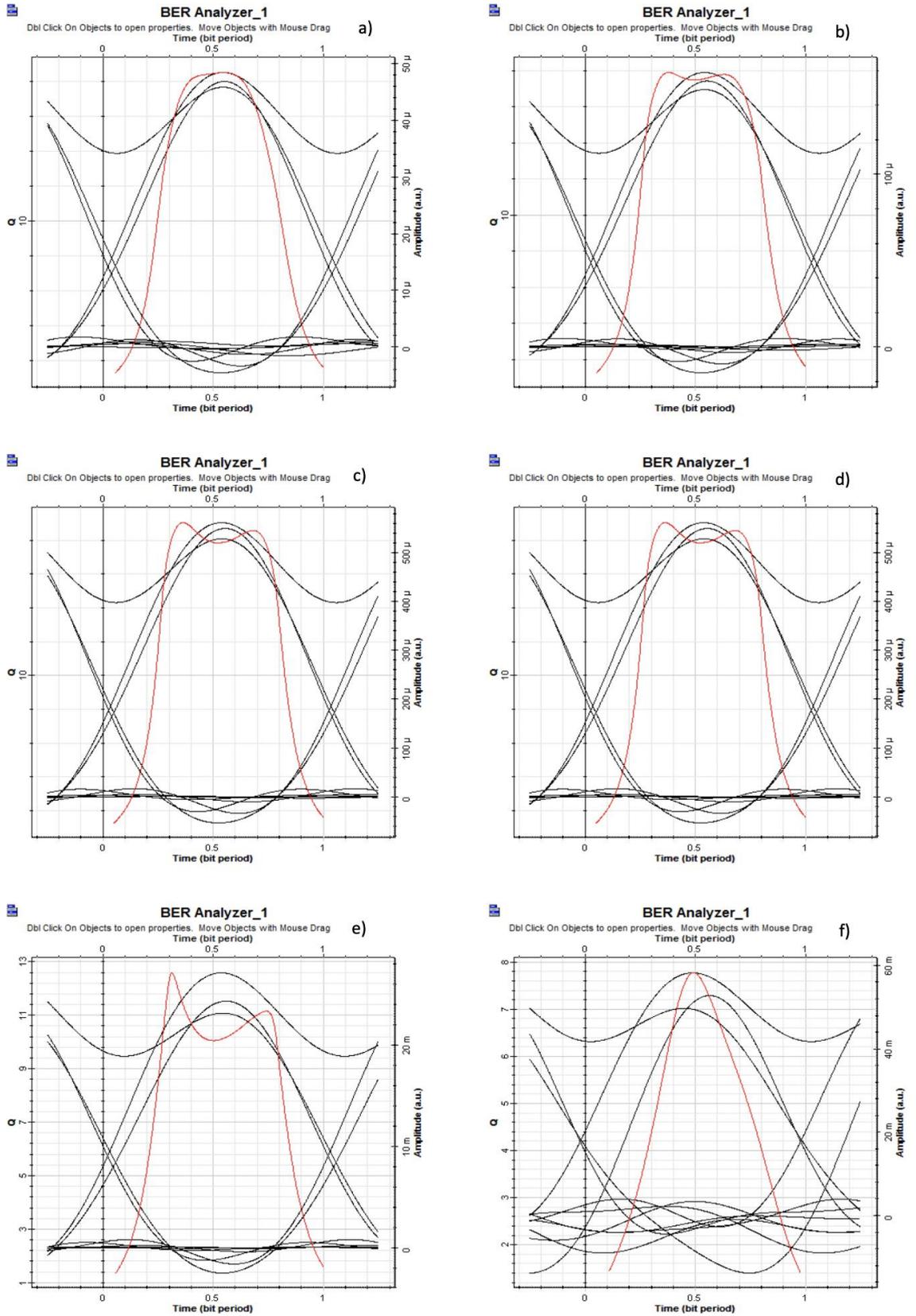


Figura a. 6: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.5dB/Km, longitud de fibra de 15km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

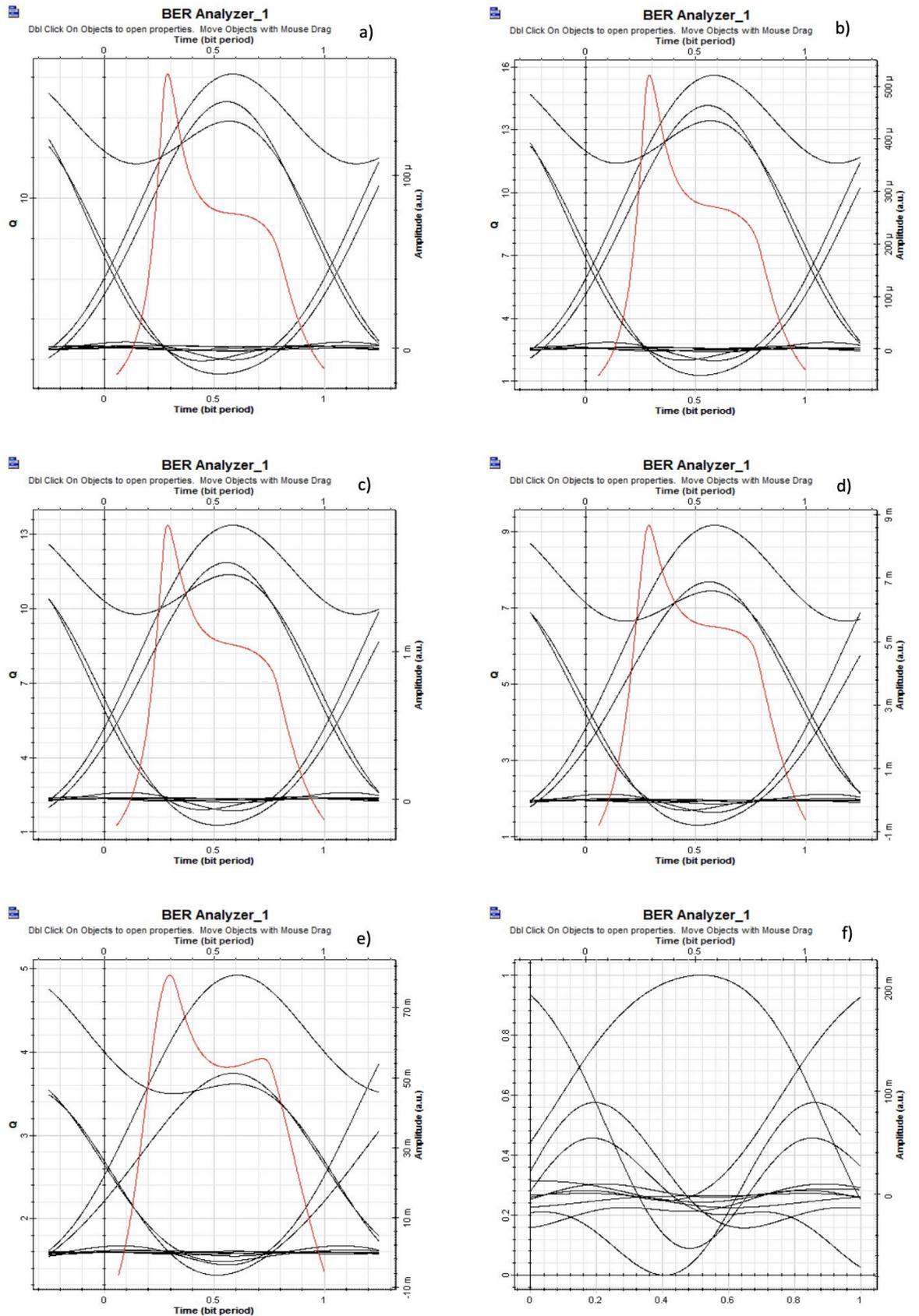


Figura a. 7: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.5dB/Km, longitud de fibra de 20km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

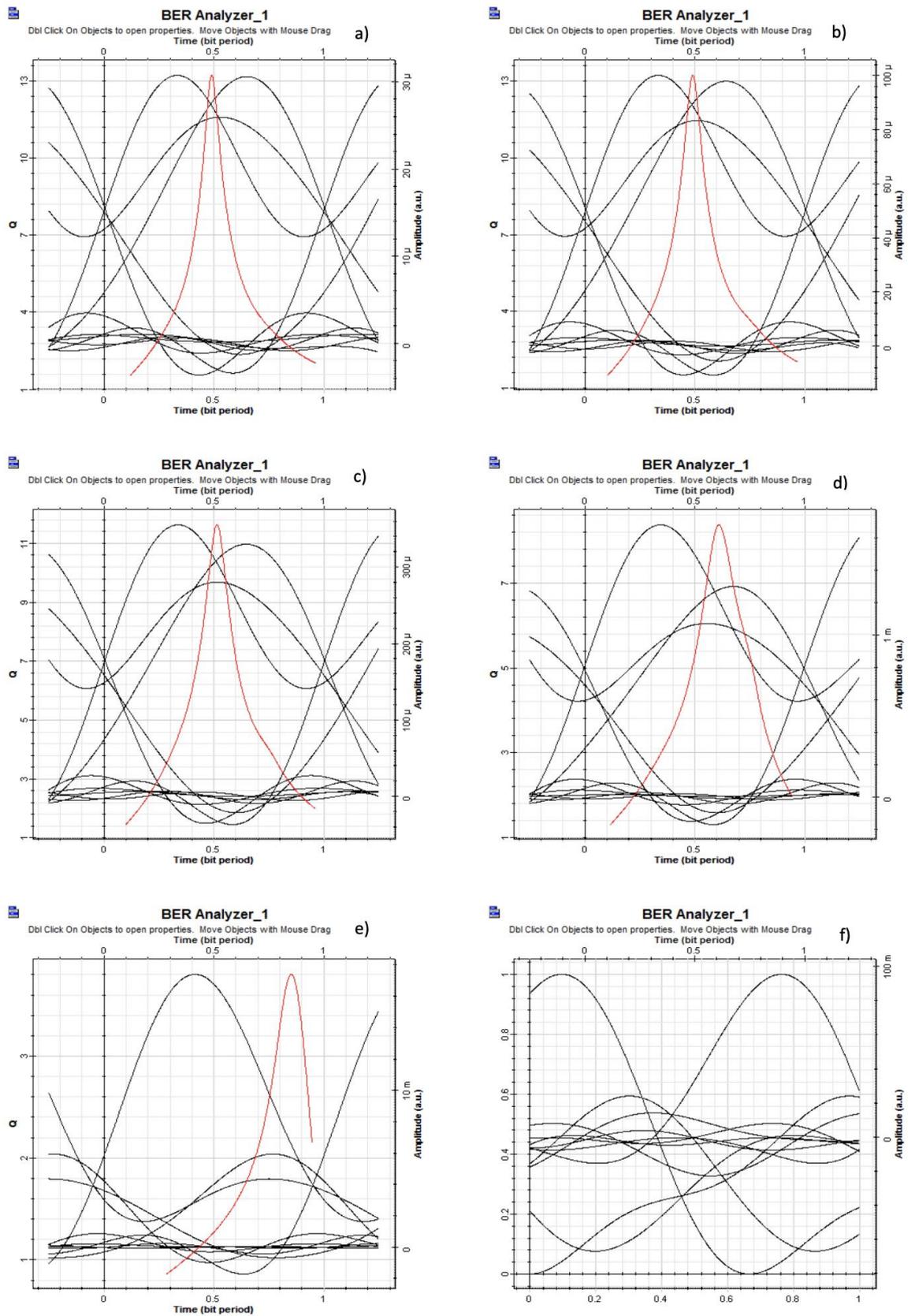


Figura a. 8: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.5dB/Km, longitud de fibra de 30km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

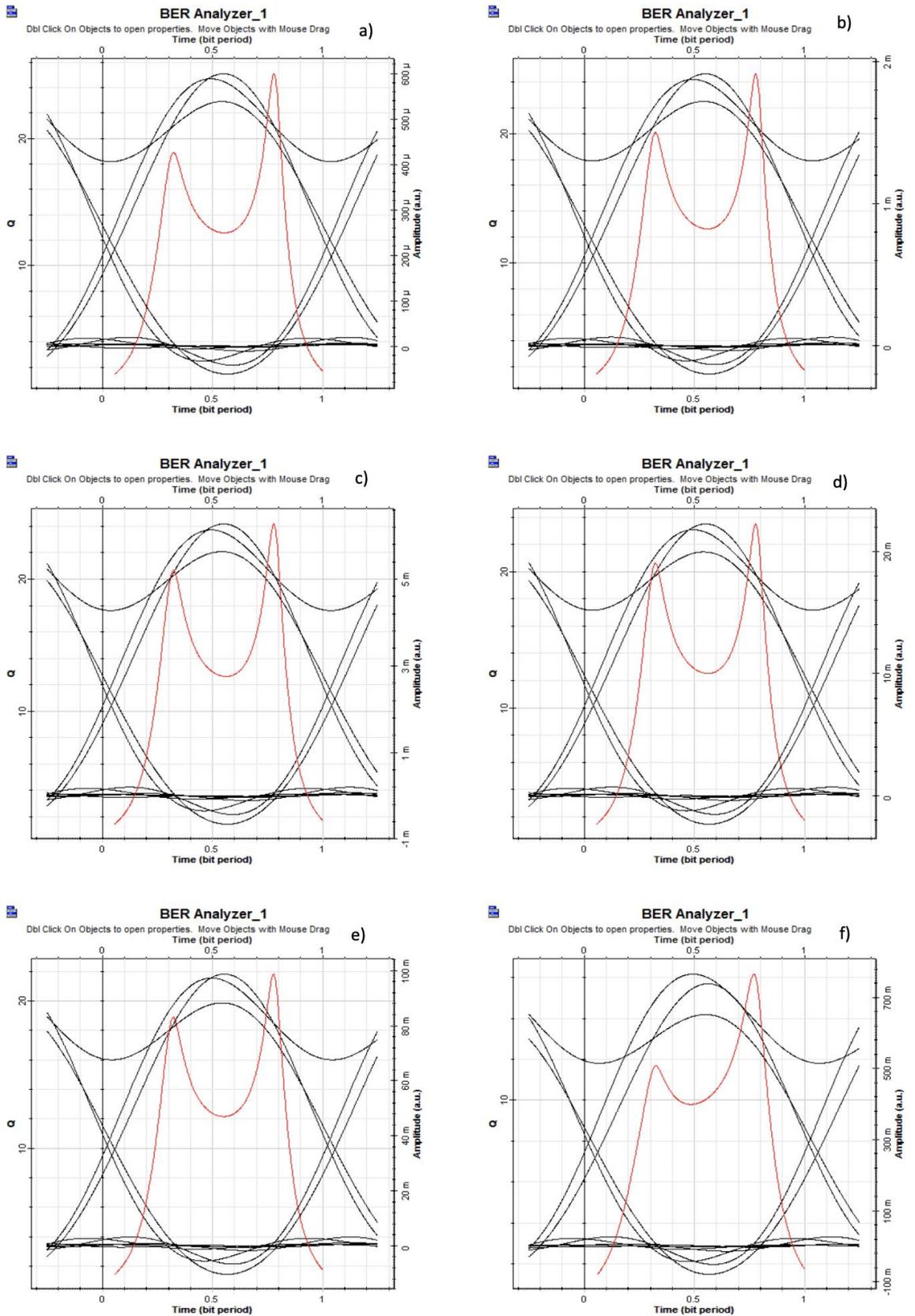


Figura a. 9: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.7dB/Km, longitud de fibra de 5km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

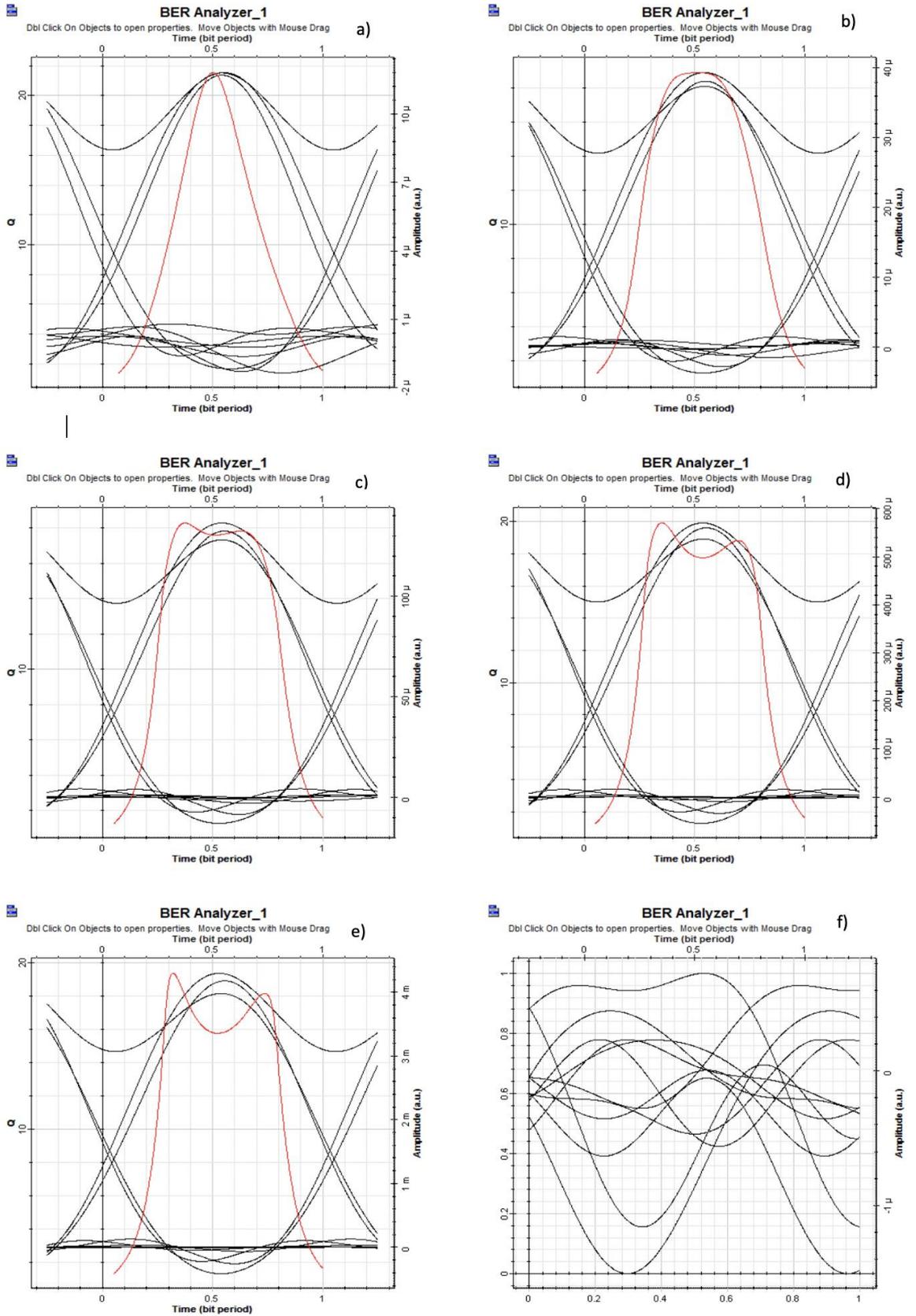


Figura a. 10: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.7dB/Km, longitud de fibra de 15km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.

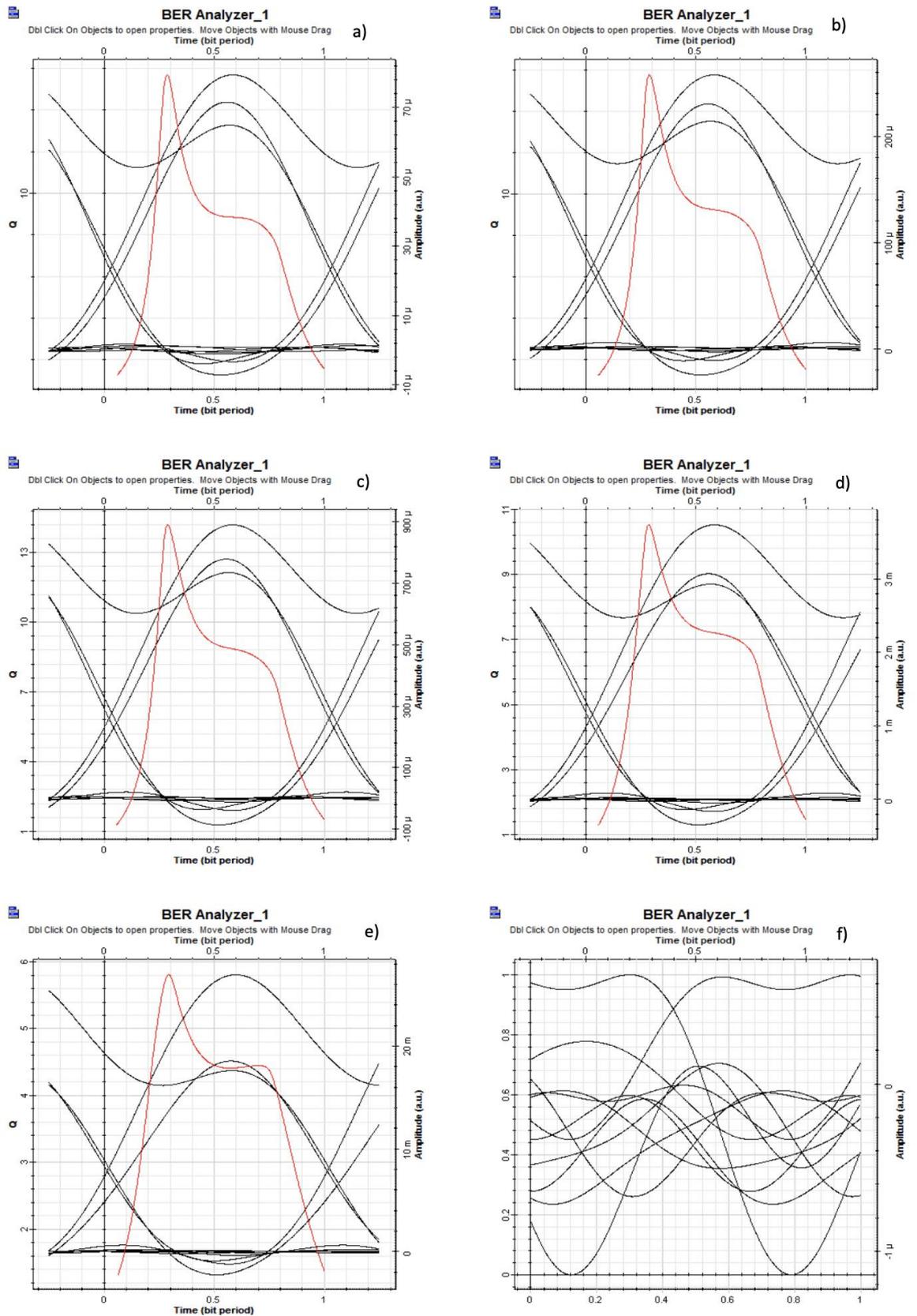


Figura a. 11: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.7dB/Km, longitud de fibra de 20km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por; Autor.

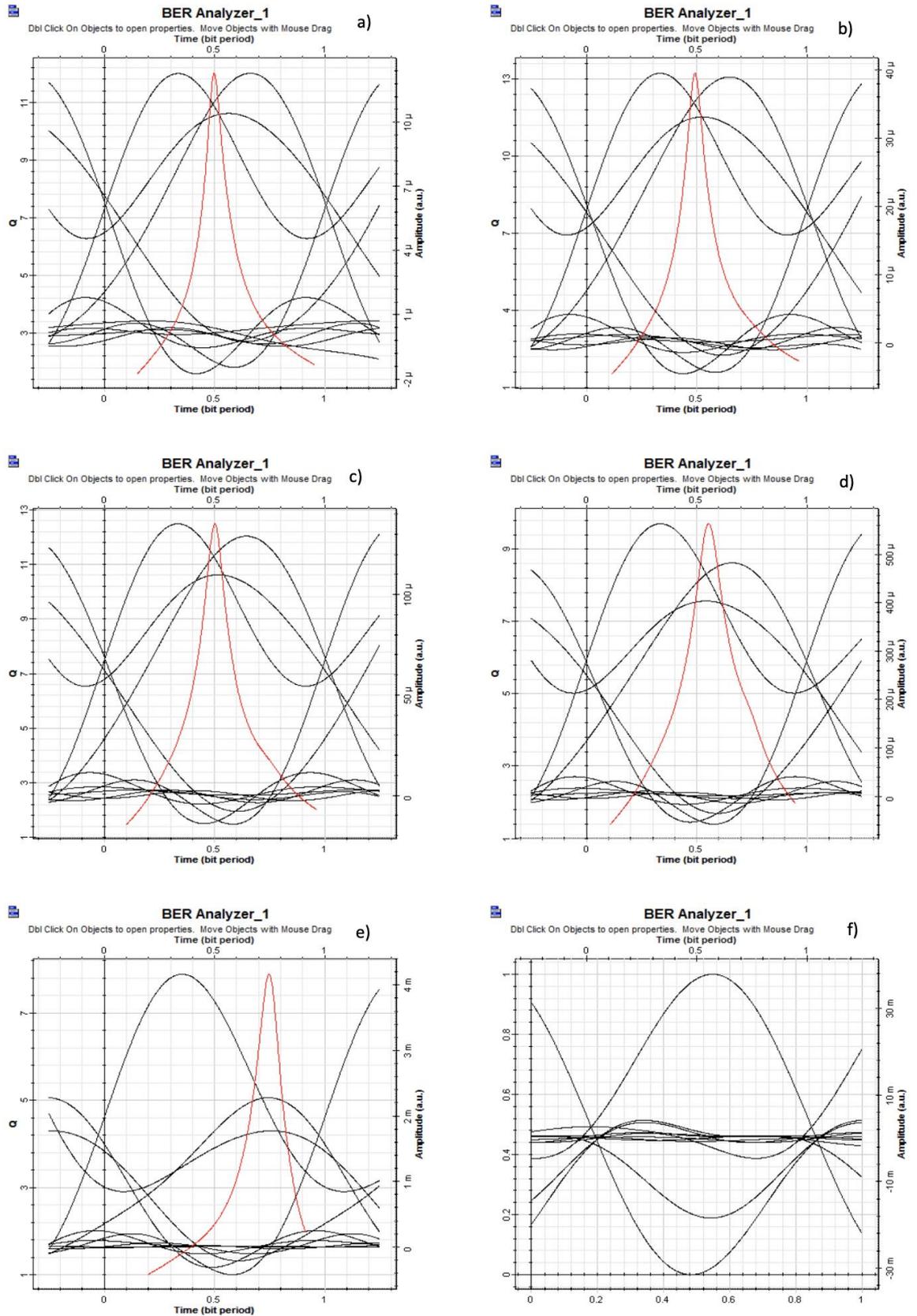


Figura a. 12: Diagrama de ojo y factor Q con atenuación de 0.7dB/Km, longitud de fibra de 30km y potencia de fuente a) 35db, b) 30db, c) 25db, d) 20db, e) 15db y f) 10db.

Elaborado por: Autor.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Albán López, Edison Vicente** con C.C: # 02019464-9 autor del Trabajo de Titulación: “**Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem**” previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 11 de Marzo de 2019

f. _____

Nombre: Albán López, Edison Vicente

C.C: 020194644-9



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



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

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem.		
AUTOR(ES)	Albán López, Edison Vicente		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Romero Rosero, Carlos Bolívar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	11 de Marzo de 2019	No. DE PÁGINAS:	80
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones Ópticas.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	RoF, OPTISYSTEMS, FACTOR Q, BER, TRANSMISOR, RECEPTOR, SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y FIBRA OPTICA.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El trabajo de titulación propuesto es “Análisis de rendimiento de métricas en el modelado de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem”. Para desarrollarlo, fue indispensable la definición del problema y antecedentes de trabajos vinculados al tema propuesto. Más adelante se planteó el objetivo general y los específicos, aspectos logrados dentro de los capítulos 2 y 3. La fundamentación teórica abarca temas relacionados con RoF como transmisores y receptores ópticos, componentes fundamentales de los sistemas de comunicaciones. Radio sobre fibra es un enlace óptico que permite enviar señales RF moduladas, las mismas son emitidas en enlace ascendente y descendente, dirigidas desde y hacia la estación central, para luego dirigirse a la estación base. La simulación de este sistema se la realizó en base al software OptiSystem 7.0, donde se realizaron diversos cambios en variables como atenuación, longitud de enlace y potencias de fuente trasmisora, para posteriormente mostrar la Tasa de Error de Bits (BER), Diagrama de Ojo y Factor Q para así demostrar el éxito o fallo de las diferentes configuraciones.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +59397798807 Edison Vicente Albán López	E-mail: edi17@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			