

Análisis y evaluación de parámetros de eficiencia de la señal en un sistema de transmisión sobre fibra óptica utilizando modulación QAM y empleando Optisystem

Analysis and evaluation of signal efficiency parameters in a transmission system over fiber optics using QAM modulation and employing Optisystem

- ¹ Henry Jeanpiere Barreno Gómez  <https://orcid.org/0009-0002-9874-3162>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo/ Facultad de Informática y Electrónica
jbarrenogomez@gmail.com
- ² Oswaldo Geovanny Martínez Guashima  <https://orcid.org/0000-0001-9018-7777>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo/ Facultad de Informática y Electrónica
omartinez@epoch.edu.ec
- ³ Jorge Rigoberto López Ortega  <https://orcid.org/0000-0002-4790-6876>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo/ Facultad de Informática y Electrónica
jorge.lopezo@epoch.edu.ec
- ⁴ Darwin Paul Carrión Buenaño  <https://orcid.org/0000-0001-7827-7702>
Universidad Estatal de Bolívar/ Facultad de Ciencias Administrativas, Gestión Empresarial e Informática
dcarrion@ueb.edu.ec

Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 15/05/2024

Revisado: 14/06/2024

Aceptado: 31/07/2024

Publicado: 09/08/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v6i3.1.516>

Cítese:

Barreno Gómez, H. J., Martínez Guashima, O. G., López Ortega, J. R., & Carrión Buenaño, D. P. (2024). Análisis y evaluación de parámetros de eficiencia de la señal en un sistema de transmisión sobre fibra óptica utilizando modulación QAM y empleando Optisystem. AlfaPublicaciones, 6(3.1), 49–68. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i3.1.516>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras claves:

comunicación
óptica,
modulación
QAM,
Optisystem,
diagrama de ojo,
factor Q, Ber.

Resumen

Introducción: Este trabajo se aborda el diseño de un sistema de transmisión de comunicaciones ópticas haciendo uso de la modulación QAM y el software OptiSystem el cual va a ayudar a analizar la señal durante el proceso de transmisión, dando como resultados en las diferentes variaciones de este tipo de modulación como 4-QAM, 8-QA, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM a diferentes distancias, considerando también el tipo de fibra utilizada para largas distancias como es la monomodo, de esta manera los resultados arrojados a analizar van a ser el factor Q, BER, umbral, con los cuales se dará un análisis en cada uno de los casos antes mencionados. **Objetivos:** Analizar y evaluar los parámetros de eficiencia de una señal en un esquema de simulación de un sistema de comunicaciones ópticas. **Metodología:** La metodología utilizada para analizar y evaluar los diferentes parámetros de eficiencia de una señal, ha sido realizar simulaciones de un sistema de comunicaciones ópticas utilizando modulación QAM partiendo de un diagrama diseñado en el software OptiSystem con sus diferentes herramientas, la señal analizada va a ir de un transmisor a un receptor, considerando un medio el cual va a ser variable su distancia, y de la misma manera el tipo de fibra óptica considerada en este caso para largas distancias llega a ser monomodo por tener eficiencia de transmisión a largas distancias y así para lograr analizar los diagramas de ojo, la tasa de error de bit, umbral, y el factor de calidad de la señal a la recepción. **Resultados:** Los resultados de este trabajo han sido satisfactorios ya que muestra en cada gráfico, los diferentes valores de desempeño de la señal con las variaciones que tiene la modulación QAM, siendo que en los diferentes casos existen un mejor rendimiento de la señal dependiendo de la distancia. **Conclusiones:** Este trabajo ha mostrado que la señal digital debe ser tratada según el servicio que se lo vaya a utilizar, siendo que en la modulación QAM va a ofrecer mayor eficiencia espectral cuando utiliza un orden superior como 64-QAM frente a uno de orden inferior, a costa de una mayor sensibilidad al ruido. **Área de estudio general:** Telecomunicaciones. **Área de estudio específica:** Comunicaciones Ópticas. **Tipo de estudio:** Original, proyecto técnico, comunicaciones ópticas.

Keywords:

optical communication, QAM modulation, Optisystem, eye diagram, Q factor, Ber.

Abstract

Introduction: This work addresses the design of an optical communications transmission system using QAM modulation and the OptiSystem software, which will help analyze the signal during the transmission process, resulting in different variations of this type. of modulation such as 4-QAM, 8-QA, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM at different distances, also considering the type of fiber used for long distances such as single-mode, in this way the results obtained to analyze are to be the Q factor, BER, threshold, with which an analysis will be given in each of the aforementioned cases. **Objectives:** Analyze and evaluate the efficiency parameters of a signal in a simulation scheme of an optical communications system. **Methodology:** The methodology used to analyze and evaluate the different efficiency parameters of a signal, simulations of an optical communications system have been carried out using QAM modulation based on a diagram designed in the OptiSystem software with its different tools, the analyzed signal will go from a transmitter to a receiver, considering a medium whose distance will be variable, and in the same way the type of optical fiber considered in this case for long distances becomes single-mode because it has transmission efficiency over long distances and thus, to analyze the eye diagrams, the bit error rate, threshold, and the quality factor of the signal at reception. **Results:** The results of this work have been satisfactory since it shows in each graph, the different values of signal performance with the variations that QAM modulation has, and in different cases there is better signal performance depending on the distance. **Conclusions:** This work has shown that the digital signal must be treated according to the service that is going to be used, and that QAM modulation will offer greater spectral efficiency when a higher order such as 64-QAM is used compared to a higher order. lower. , a cost of increased noise sensitivity. General study area: Telecommunications. Specific area of study: Optical Communications. Type of study: Original, technical project, optical communications.

Introducción

En el presente trabajo se reconoce la necesidad de que un sistema de comunicaciones ópticas sea óptimo mejorando en la eficiencia de su desempeño durante el avance del tiempo, siendo que ha usado diferentes modulaciones con estos sistemas, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue el analizar y evaluar los parámetros de eficiencia de una señal en un esquema de simulación de un sistema de comunicaciones ópticas. Siendo de esta manera que le analizar los parámetros de técnicos de eficiencia de la modulación QAM en un sistema de comunicación óptica un punto de partido del cual ayuda a que el estudio planteado sea definido de manera correcta, para con esto proceder a diseñar un sistema de comunicaciones en el cual el evaluar cada uno de los parámetros que se establecen (Vega, 2015).

En la actualidad los sistemas de fibra óptica han buscado mejorar la transmisión de datos, siendo que la capacidad de transmisión es uno de los factores a cambiar teniendo así una mejor eficiencia para el uso del ancho de banda (Alvarado, 2019). Existen varios métodos para que esto suceda, siendo así que el uso de modulaciones de señal, como los sistemas que modifican la señal en amplitud y cuadratura, pero existe una limitante en los efectos de propagación que se dan en el canal de transmisión de la fibra óptica. Por lo que para una misma modulación se requieren de varias modulaciones (Peñañiel, 2017).

Las comunicaciones a lo largo del tiempo se han ido desarrollando especialmente en países desarrollados donde la tecnología o la forma de comunicarse ha sido uno de los puntos clave para avanzar hacia una forma de transmisión de datos como lo es la comunicación óptica donde se ha primado la velocidad y la distancia a donde puede este tipo de comunicación llegar (Albán, 2019). Pero también bien cuando se necesitaba de un medio de transmisión por el cual se pueda enviar mucha información se recurría a usar cables coaxiales o a su vez hacer enlaces de radio frecuencia que tengan mayor capacidad de tráfico en su medio, con lo que se requería mayor ancho de banda teniendo que hacer uso de frecuencias mucho más altas y con esto la implementación de los repetidores en el camino de los cables coaxiales sea mucho mayor y así teniendo un valor más elevado de implementación (Santa, 2010).

Junto con la aparición de la comunicaciones ópticas han llegado varias ventajas de las cuales nos da un mayor ancho de banda solucionando así el problema del envío de más información por un mismo medio sin hacer uso de repetidores ya que la fibra óptica puede enviar información a largas distancias mayores a 100 km (De Andrés, 2017), y tal como está conformada su estructura hace que sea un medio más seguro ya que no puede ser interceptado de manera fácil y evita la pérdida de información al tener inmunidad a la interferencias electromagnéticas, la velocidad en la que puede trabajar este tipo de medio hace que sea otra de las ventajas por la cual proveedores de servicio de internet usen este tipo de medio de transmisión (Vargas, 2014).

Al conocer las ventajas que se puede tener con las comunicaciones ópticas también existen mejoras para que la transmisión sea más eficiente y rápida como es el uso de las modulaciones en la señal como son BPSK, PSK, QPSK, Y QAM siendo que estas pueden ayudar en la transmisión, en este caso se procede hacer el análisis de los parámetros de eficiencia utilizando directamente la modulación QAM teniendo los antecedentes de que esta modulación al hacer que la información combinada vaya por un solo camino hace que la transmisión sea mucho más eficiente frente a los factores que pueden bajar el rendimiento de la transmisión de la señal a través de un sistema de comunicación óptico (Ulloa, 2021).

Metodología

En el proyecto propuesto se enfocó en analizar la señal que va a ser enviada y recibida en un sistema de comunicaciones ópticas, con la ayuda de la modulación QAM en sus diferentes tipos, con esto se hace un análisis a diferentes distancias y con diferentes velocidades de transmisión (Guano et al., 2014). Las diferentes simulaciones realizadas se las realizo en el software de Optiwave que ayuda a la simulación de estos sistemas como es *OptiSystem*, dando las herramientas necesarias para que las simulaciones sean lo más parecidas a la vida real, mientras los sistemas ópticos se vuelven mucho más complejos en su ámbito de estudio y diseño, los investigadores e ingenieros buscan una forma o crean técnicas más avanzadas de simulación de software para poder resolver los diferentes problemas de diseño (Optiwave, 2023).

Para saber de qué tipo de comunicación se va a dar es necesario conocer acerca de la modulación QAM o también conocida como modulación en amplitud en cuadratura, en este tipo de modulación podemos darnos cuenta de que la estructura de la señal saliente o conocida como señal modulada, va a ser la misma que una señal que ha sido modulada de doble banda lateral ortogonal (Espuela, 2017). Hay que tener en cuenta que para este tipo de modulación se van a necesitar dos fuentes independientes de datos que va a ser transmitidos por un mismo canal. Al ser una modulación lineal hace que una de las partes se module linealmente la envolvente una señal seno, mientras que la otra parte se modulara la envolvente de una señal seno (Toapanta, 2019).

De esta manera se procede hacer un diagrama base en el cual, se explica todo el sistema que se va a emplear para las diferentes simulaciones que se van a realizar como se puede observar en la figura 1.

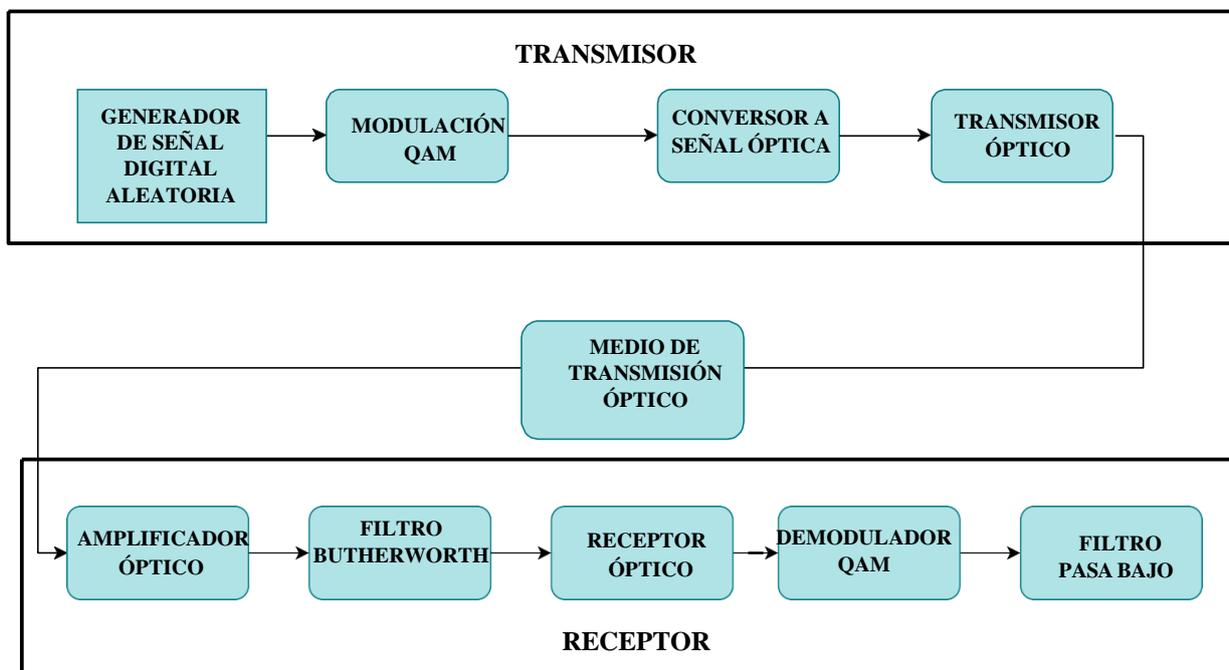
Para modelar nuestro sistema de comunicación óptico, se va a necesitar de la modulación QAM en la cual se va a proceder hacer el análisis de cada uno de los parámetros de eficiencia midiendo así el rendimiento mediante la probabilidad de error o bien conocida como BER o tasa de error de bits, en la cual se procederá a ver cuántos bits erróneos y cuantos se lograron transmitir (Vargas, 2014).

Para observar el rendimiento de la señal se procede a observar el BER, así como el espectro de la señal en el medio óptico, también teniendo en cuenta la frecuencia y la velocidad de transmisión, se nota como se van a formar las constelaciones de la modulación QAM, dando así que la variación tanto en 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 64-QAM van a ser diferentes (Troya, 2021), con un rendimiento diferente frente a estas variaciones, constatando cuál de ellas es mejor para el uso en una mayor distancia que esta será la variable que al cambiarla tendremos una mejor lectura del desempeño de la señal ya que este tipo de sistemas es utilizado para largas distancias (Reynodls, 2016).

También de la misma manera se puede hacer un estudio de ancho de banda para saber cuál de estas va a tener una mejor calidad de transmisión haciendo notar de esta manera que en cada caso el estudio de las constelaciones que se generan, nos da la información necesaria incluso de potencia por cada grupo de datos que se dan con su amplitud y fase, de acuerdo con esto podemos decir que llegar a un análisis y evaluación de cada uno de estos parámetros nos ayudara a saber cuál es la que tienen una mejor eficiencia (Pinto & Cabeza, 2014).

Figura 1

Diagrama de simulación de un sistema de comunicación óptica



Transmisor de sistema de comunicación óptica

Para empezar con el envío de la señal se hace uso de un generador de secuencia de bit, pero no de manera aleatoria para poder controlar cual es la señal enviada y saber si al

momento de llegar al receptor se puede recuperar la misma señal. De la misma forma una vez generada la señal, se procede a modular con la herramienta de modulación QAM, teniendo en cuenta que este tipo de modulación va a usar una parte en fase y otra en cuadratura, es decir la información se dividirá para ser transmitidos en dos canales antes de combinarse de nuevo para el envío de información por el medio de fibra óptica, en esta herramienta se procede a configurar cuantos bits por símbolo se va enviar para de esta forma tener la variación de los diferentes modelos de QAM y también la frecuencia a la que va a trabajar.

Una vez que la información pase por el modulador, esta va a ser filtrada con un filtro pasa banda para que la simulación sea más exacta simulando un ambiente real. Las dos partes de la señal que al principio fueron separadas para su modulación se unirán con un combinador de señal la cual va a ser unida por medio de un convertidor óptico de señal eléctrica a señal óptica y teniendo una alimentación de un láser óptico para el envío de la señal por el medio de fibra óptica.

Medio de transmisión de sistema de comunicación óptica

Para este proyecto se simula como medio de transmisión lo que es el uso de fibra óptica en sus diferentes distancias teniendo así una variación que se va a considerar para los diferentes resultados que se van a dar es decir la distancia va a ser unos de los factores claves para saber cuál tipo de modulación QAM es mejor, las distancias a considerar son de 10 km, 100 km y 1000 km teniendo en cuenta que este último va a tener algo completamente atenuado la señal por la distancia que se usa.

El tipo de fibra que se utiliza en la simulación es monomodo la cual como bien se conoce es una de las más utilizadas para largas distancias siendo que la señal necesita propagarse por el medio de manera directa hasta el receptor.

Según la recomendación de la ITU-T G.655 que habla acerca de la fibra monomodo, habla acerca de que va a trabajar con longitudes de onda de 1530 nm a 1565 nm, siendo de esta manera que se procede a escoger la ventana de transmisión de 1550 nm para las diferentes simulaciones propuestas, siendo así que se logra justificar por qué el uso de esta ventana de transmisión.

Otra de las variantes del porqué se escoge este tipo de fibra es porque al momento de lograr la transmisión este tipo de fibra va a evitar la dispersión de la señal siendo que no van a existir efectos no lineales a lo largo del medio ya que el índice de refracción es bajo.

Receptor de sistema de comunicación óptica

Cuando pase por el medio de transmisión óptica, la información llegará a un amplificador óptico en el cual se procederá a dar potencia a la señal para que llegue a los receptores

ópticos para que estos puedan recuperar la señal que fue transmitida por la primera parte del sistema. Hay que dividir la señal de llegada en su fase y cuadratura los cuales por la modulación empleada se lo hace de la misma manera de al demodular, teniendo en cuenta que se hace uso del filtro de Butterworth para la recuperación de la señal debido a que no tiene rizado en el filtrado de la frecuencia siendo que este filtro llega a ser casi completamente plano siendo que tiene una respuesta suave al trabajar en todas las frecuencias, al tener esta ayuda para la recuperación de señal hacer que al momento de la detección en el receptor óptico sea más eficiente para saber que la información llega sin ningún inconveniente y mucho menos con falta de la misma.

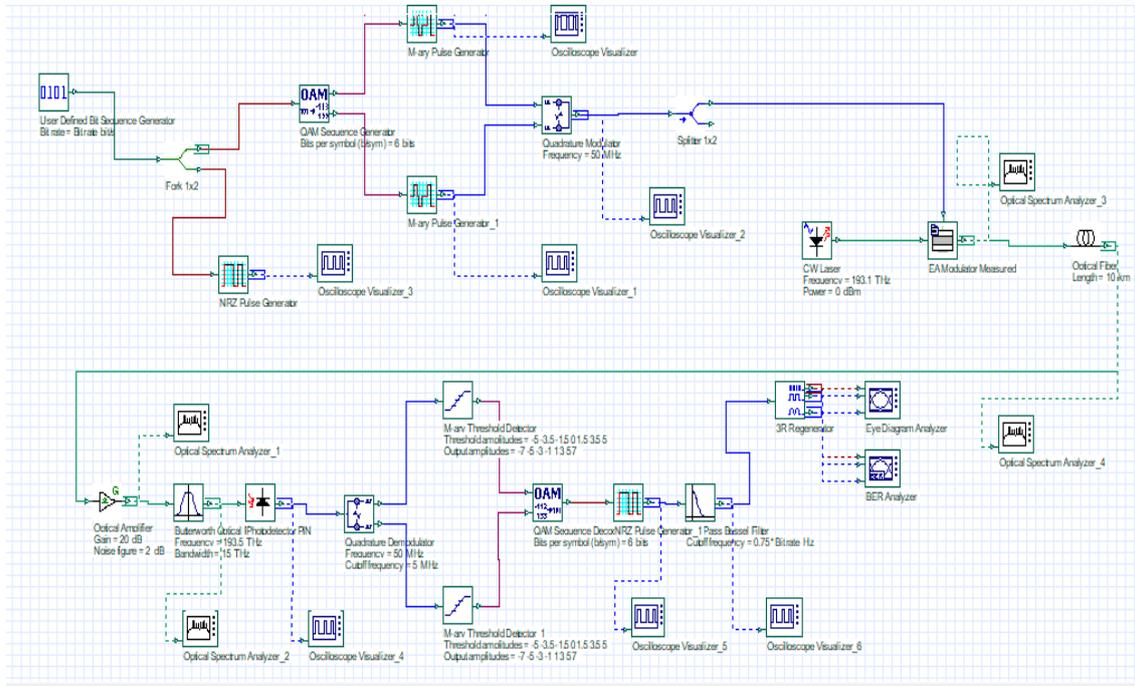
Para la recepción se menciona acerca de un receptor óptico el cual recibirá la información de tal manera que pueda ser evaluada de manera final con los diferentes visualizadores que se usan para ver los resultados de la eficiencia de la señal en este sistema de fibra óptica. Una vez que ha llegado al fotodetector la señal va a entrar al demodulador empleado en la parte de recepción que es un demodulador donde se procede hacer el tratamiento de la señal para llegar a una señal banda base final con la información completa para después hacer el análisis de esta en las diferentes herramientas que se encuentran disponibles para saber cuál fue el rendimiento de la señal durante el proceso de transmisión.

Una vez pasado por el demodulador se procede a llegar a un filtro pasa bajo que va a ayudar a filtrar la señal de información simulada para que sea la misma la cual ha sido enviada, una vez pasado por el filtro se acaba con la transmisión y recepción de la señal.

Una vez que se ha explicado cómo va a ser el método del sistema de comunicación óptica, se llega a un diagrama realizado en el software antes mencionado, con las diferentes herramientas que el mismo nos ofrece, teniendo de esta manera el diagrama en la figura 2.

Figura 1

Diagrama de simulación realizado en OptiSystem



Resultados

Para el análisis de cada parámetro procedemos hacer las diferentes variaciones tanto en distancia como en el número de bits que se considera para cada uno de los tipos de modulación QAM, hay que tener en cuenta que para cada una de las distancias existe una velocidad de transmisión estándar la cual podemos ayudar de ayuda para saber cuál modulación es la mejor para una transmisión.

El diagrama mostrado en la figura 2 será la base de todas las simulaciones, siendo que este diseño permite hacer cambios directamente en el uso de bits según como se necesite en este trabajo, ya que tan en el modulador como en el demodulador se puede cambiar con que numero de bir se puede trabajar es decir para cada modelo QAM solo se ira cambiando el número de bits que se va a usar, según siendo el caso.

Modulación 4-QAM

Se considera para esta simulación 2 bits, el cual va ayudar en la formación de la modulación 4-QAM al momento de hacer el proceso de modulación, una vez considerado y siendo este un dato fijo se procede a definir la tasa de transmisión de datos en 400 Gbps, siendo esta velocidad que nos va a dar una transmisión optima, siguiendo con esto se procede hacer una tabla y la simulación para poder observar el BER y el diagrama de ojo,

con los cuales podemos verificar que los datos propuestos son correctos.

Tabla 1

Datos de transmisión con modulación 4-QAM

Distancia (Km)	Tasa de transmisión (Gbps)	Ventana de transmisión (nm)	Factor Q	BER	Umbral
10	400	1550	13.9028	3.04147e-44	0.493018
100	40	1550	4566.72	0	-0.00458851
1000	4	1550	1.70803	0.0196207	0.684246

En la tabla 1, se muestra los parámetros que fueron medidos en las simulaciones hechas respecto a cada una de las distancias propuestas dando como resultado que este tipo de modulación es eficiente a 100 km dando que el BER es bajo y el factor de calidad es el más alto, mostrando la eficiencia de 4-QAM a largas distancias, en las figuras 3, figura 4, figura 5, figura 6, se muestra cada uno de los resultados de la tabla 1. Con cada uno de estos valores que han sido simulados, de manera clara se ve el rendimiento del sistema de comunicaciones.

Figura 2

Diagrama de ojo de 4-QAM a 100 Km

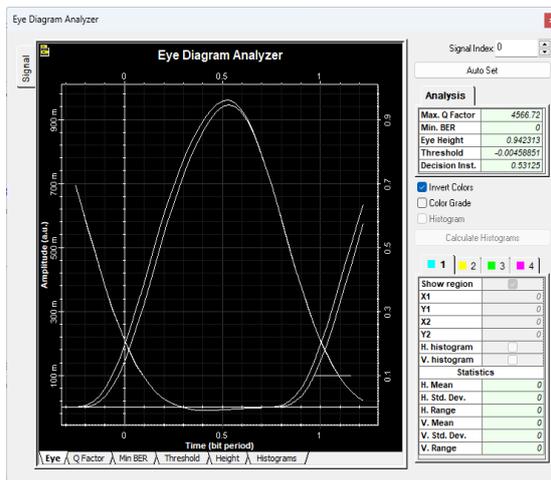


Figura 3

Diagrama Factor Q de 4-QAM a 100 Km

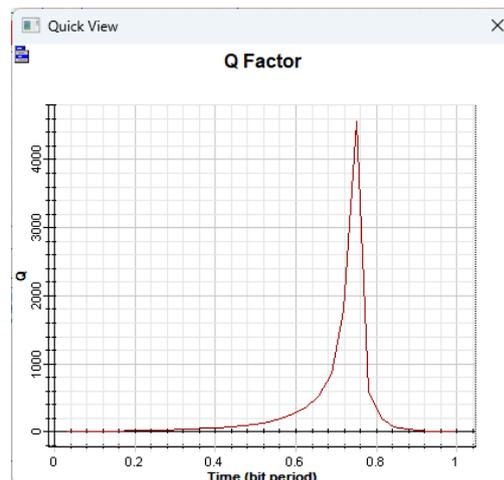


Figura 4

Diagrama de min BER en 4-QAM a 100 Km

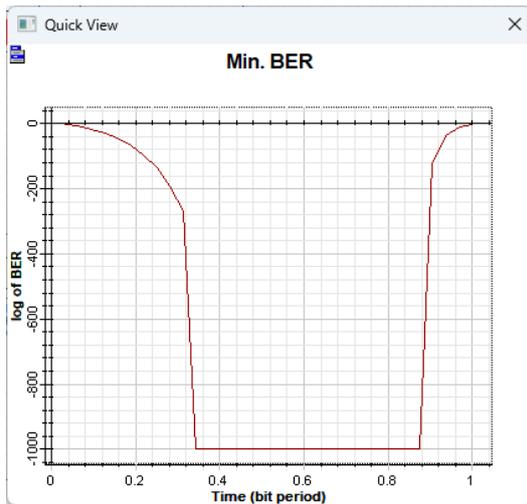
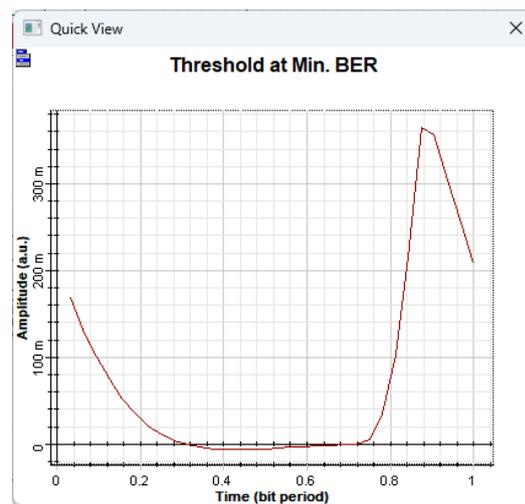


Figura 5

Diagrama de umbral en BER mínimo a 100 Km



Modulación 8-QAM

Se considera para esta simulación 3 bits, los cuales van ayudar en la formación de la modulación 8-QAM al momento de hacer el proceso de modulación, una vez considerado y siendo este un dato fijo se procede a definir la tasa de transmisión de datos en 400 Gbps, 40 Gbps, 4 Gbps, siendo estas velocidades las que nos va a dar una transmisión optima, siguiendo con esto se procede hacer una tabla en donde van a estar los diferentes valores para la comparación según las distancias propuestas y la simulación para poder observar el BER y el diagrama de ojo, con los cuales podemos verificar que los datos propuestos son correctos.

Tabla 2

Datos de transmisión con modulación 8-QAM

Distancia (Km)	Tasa de transmisión (Gbps)	Ventana de transmisión (nm)	Factor Q	BER	Umbral
10	400	1550	10.2599	1.05212e-27	0.999898
100	40	1550	93.8033	0	0.00150717
1000	4	1550	3.77703	6.23395e-05	-0.319149

Como se observa en la tabla 2, tenemos diferentes valores que se sacaron desde las simulaciones hechas dando de esta manera una tabla de comparación en donde la transmisión con modulación 8-QAM es mejor cuando tiene una tasa de transmisión de 40

Gbps a 100 km de distancia dando menos perdida de transmisión y una transmisión efectiva hasta el receptor.

Figura 6

Diagrama de ojo de 8-QAM a 100 Km

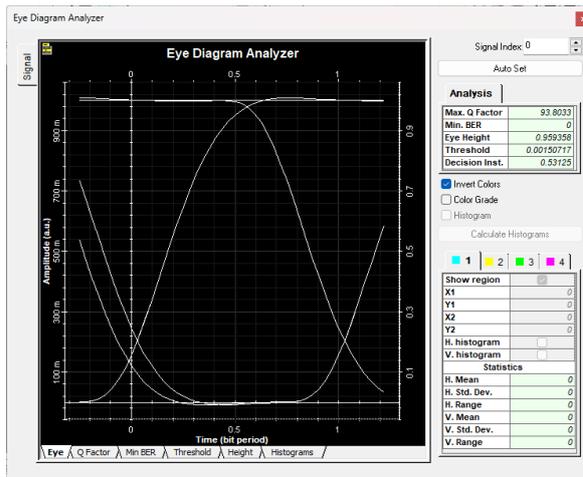


Figura 7

Diagrama Factor Q de 8-QAM a 100 Km

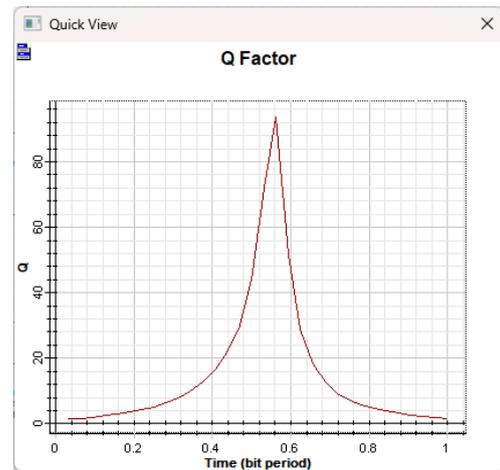


Figura 8

Diagrama de min BER en 8-QAM a 100 Km

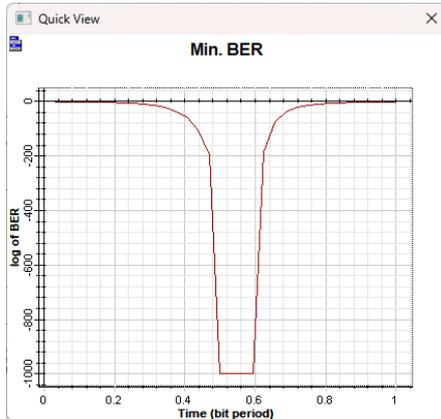
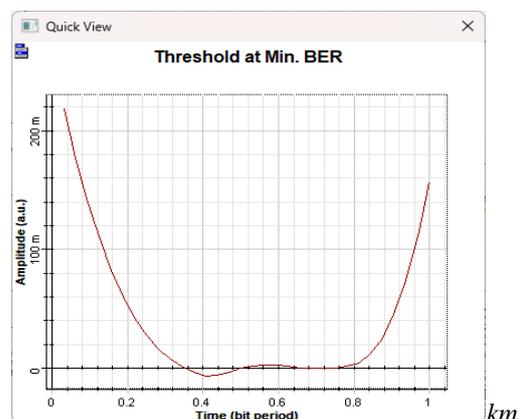


Figura 9

Diagrama de umbral en BER mínimo de 8-QAM a 100



Al observar las figuras 7, 8, 9, 10, demuestra que cada uno de los resultados obtenidos en la simulación con completamente ciertos, siendo así que cada uno de los parámetros establecidos se cumplen.

Modulación 16-QAM

En esta simulación, se analizan cuatro bits que se utilizan para la modulación 16-QAM. La tasa de transmisión de datos se define como 400 Gbps, 40 Gbps o 4 Gbps, buscando

una transmisión óptima. Se crea una tabla con los diferentes valores para comparar el BER y el diagrama de ojo a diferentes distancias, verificando la precisión de los datos.

Tabla 3

Datos de transmisión con modulación 16-QAM

Distancia (Km)	Tasa de transmisión (Gbps)	Ventana de transmisión (nm)	Factor Q	BER	Umbral
10	400	1550	68.6891	0	0.310227
100	40	1550	4.17745e+14	0	1.01593
1000	4	1550	12.167	2.29994e-34	0.496412

Como se observa en la tabla 3, se obtiene los diferentes valores simulados los cuales van a ser una comparación en la tabla haciendo saber cuál ha sido más eficiente frente a diferentes distancias y frente a la modulación 16-QAM con diferentes tasas de transmisión como son de 400 Gbps, 40 Gbps, 4 Gbps dando menos pérdida de transmisión y una transmisión efectiva hasta el receptor con 40 Gbps a 100 km.

Figura 10

Diagrama de ojo de 16-QAM a 100 Km

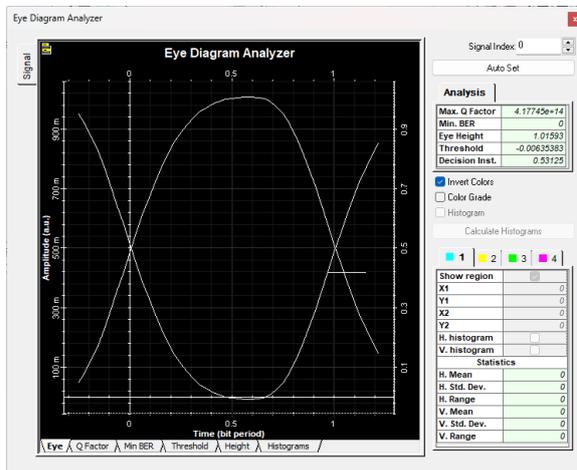


Figura 11

Diagrama Factor Q de 16-QAM a 100 Km

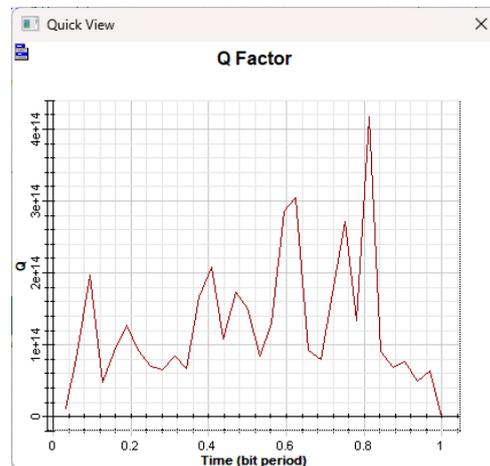


Figura 12

Diagrama de min BER en 16-QAM a 100 Km

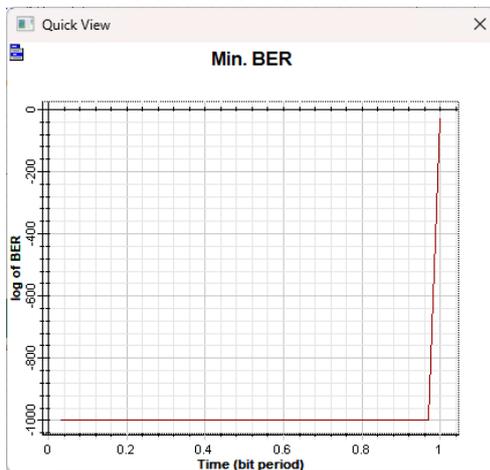
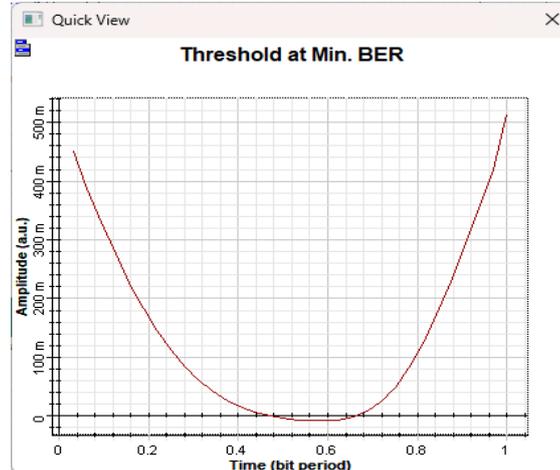


Figura 13

Diagrama de umbral en BER mínimo de 16-QAM a 100 km



En las figuras 11, 12, 13, 14, se muestra los diferentes valores mencionados en la tabla dándonos a notar que el error de bit es muy bajo con lo que demuestra que la información no se pierde durante la transmisión, siendo de esta manera efectiva, y de esta manera comprobando que la calidad del sistema es muy alta.

Modulación 32-QAM

En la siguiente simulación se hace uso de 5 bits para generar la modulación 32-QAM, en la cual al existir más bits con los cuales trabajar hace que siga siendo más robusta y al usar los parámetros antes mencionados se procede a generar una tabla donde se comparan valores en los diferentes casos de distancias, y tasas de transmisión diferentes, para evaluar parámetros que nos ayuda analizar el diagrama de ojo, como también valores de BER, factor Q, y umbral para determinar la eficiencia de la modulación en la señal.

Tabla 4

Datos de Transmisión con modulación 32-QAM

Distancia (Km)	Tasa de transmisión (Gbps)	Ventana de transmisión (nm)	Factor Q	BER	Umbral
10	400	1550	106.95	0	0.189105
100	40	1550	75.7557	0	0.300043
1000	4	1550	2.85581	0.0028294	0.40367

Como se observa en la tabla 4, la comparación de los diferentes parámetros da que este caso de simulación el que mejor se transmite es a 10 km con una tasa de transmisión alta, dando que este tipo de modulación 32-QAM es mejor a cortas distancias, lo cual vamos

a ver en las siguientes ilustraciones.

Figura 14

Diagrama de ojo de 32-QAM a 10 Km

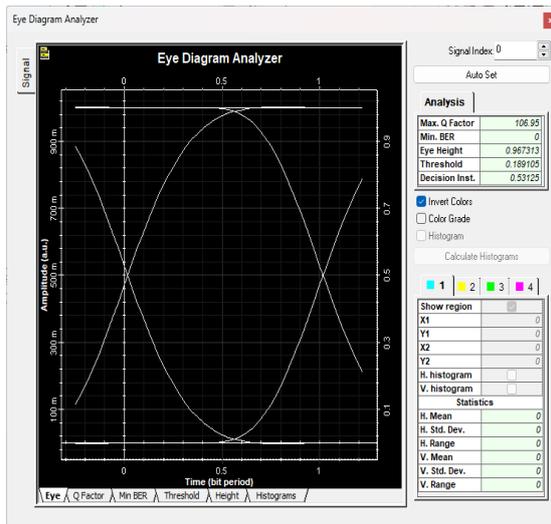


Figura 15

Diagrama Factor Q de 32-QAM a 10 Km

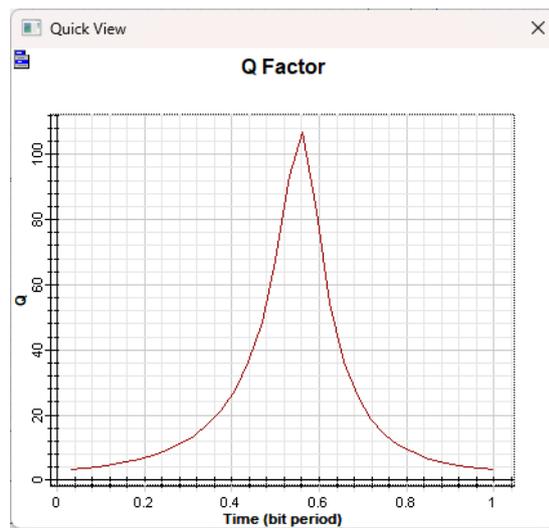


Figura 16

Diagrama de min BER en 32-QAM a 10 Km

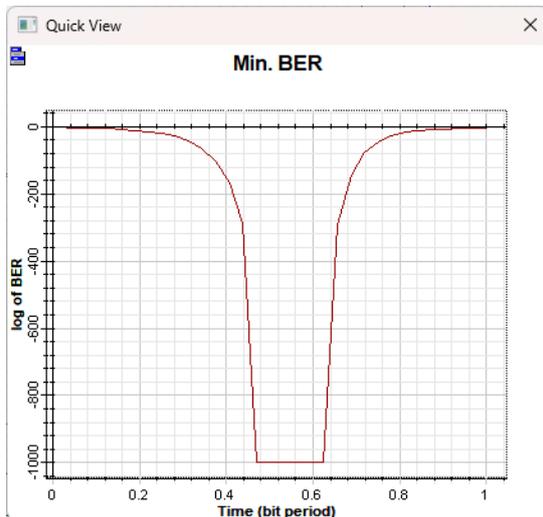
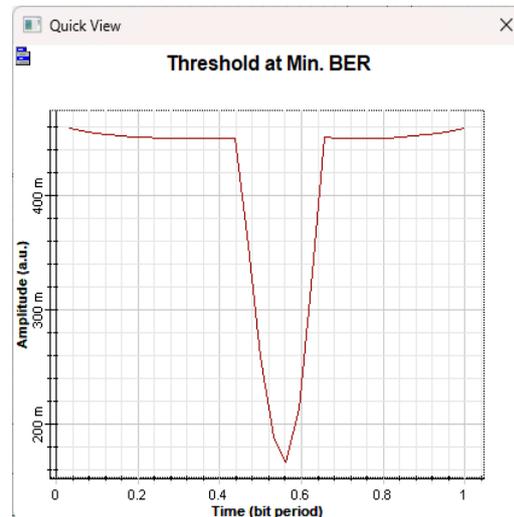


Figura 17

Diagrama de umbral en BER mínimo de 32-QAM a 10 Km



Al observar la figura 16, nos a conocer que la calidad del sistema es muy alta siendo que también en la figura 17 nos muestra una tasa de error de bit completamente nula con la cual, no hay perdida de información.

Modulación 64-QAM

En el último caso de simulación se van a usar 6 bits para poder obtener una modulación de 64-QAM, en la cual se usaron los mismos parámetros que los casos anteriores para tener una comparativa de donde se desenvuelve mejor esta señal al momento de ser usada en un sistema de comunicaciones ópticas, de tal manera que se procede a generar otra tabla en donde tendremos valores del factor Q, BER, y umbral para determinar la eficiencia en este caso.

Tabla 5

Datos de Transmisión con modulación 64-QAM

Distancia (Km)	Tasa de transmisión (Gbps)	Ventana de transmisión (nm)	Factor Q	BER	Umbral
10	400	1550	78.0967	0	0.28963
100	40	1550	4566.72	0	-0.00458851
1000	4	1550	2.63602	0.00418838	0.500705

En la tabla 5 se puede observar la comparación en donde la señal transmitida a 100 km es más eficiente con la modulación 64-QAM siendo que tiene un factor de calidad más alto respecto a las demás distancias, incluso se pudo pensar que al utilizar más bits para la transmisión sería eficiente para distancias más largas pero las simulaciones demostraron lo contrario dando valores de error de bit altos a los 100 km.

Figura 18

Diagrama de ojo de 64-QAM a 100 Km

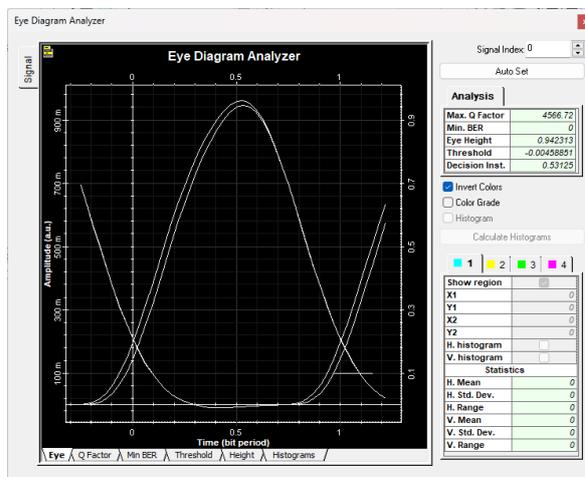


Figura 19

Diagrama Factor Q de 64-QAM a 100 Km

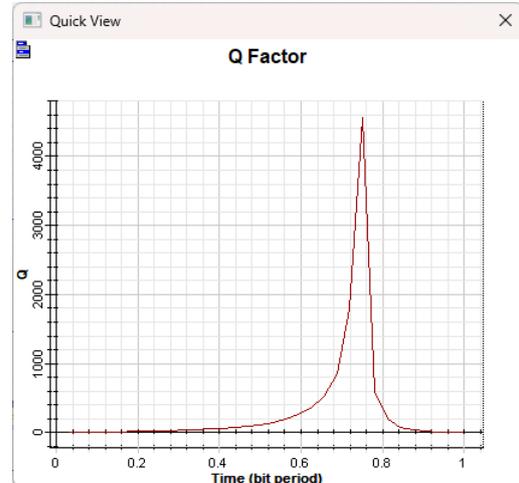


Figura 20

Diagrama de min BER en 64-QAM a 100 Km

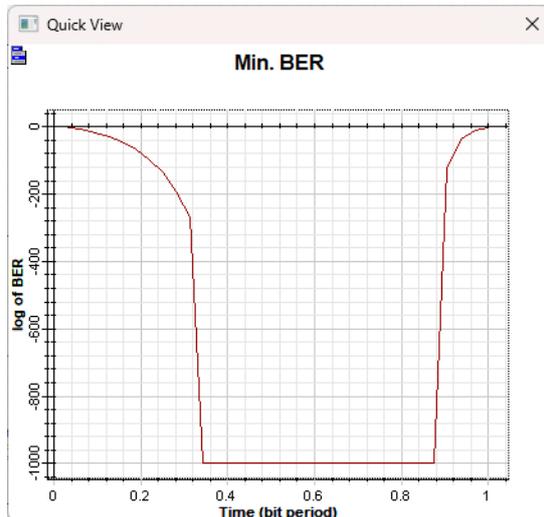
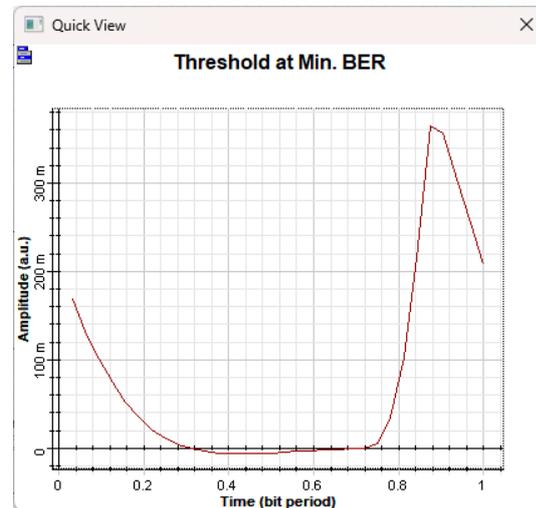


Figura 21

Diagrama de umbral en BER mínimo de 64-QAM a 100 km



En los diferentes resultados de la última simulación se puede observar que la robustez de una modulación 64-QAM ayuda a que la señal sea transmitida de manera eficiente considerando las largas distancias y una tasa de transmisión alta.

Conclusiones

- Se analizó los parámetros técnicos de eficiencia de la modulación QAM en un sistema de comunicación óptico utilizando el software OptiSystem. Donde se evaluaron diferentes configuraciones de modulación QAM (4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM y 64-QAM) en términos de tasa de error de bit (BER), diagrama de ojo y factor de calidad (Q).
- Se diseñaron y ejecutaron simulaciones para cada configuración de modulación QAM, considerando una distancia de transmisión de 10 km, 100 km, 1000 km. Este estudio se limitó a la evaluación de la modulación QAM en un canal de fibra óptica monomodo siendo que se estableció un sistema básico en el cual se pretendió abarcar los parámetros necesarios para que el análisis sea el correcto.
- El análisis de constelaciones en las simulaciones, se lo hizo, pero de manera ineficiente siendo que el software no recalca los puntos necesarios y completos, pero al tener una simulación explicativa donde cada una de sus partes están explícitas, se puede dar cuenta cual es el tipo de modulación que se está utilizando en ese momento.
- Al realizar la evaluación en cada una de las simulaciones dadas, y con los datos obtenidos se tiene que la modulación QAM de orden superior (64-QAM) ofrece una mayor eficiencia espectral en comparación con QAM de orden inferior (4-

QAM, 16-QAM) a costa de una mayor sensibilidad al ruido. La elección del orden de modulación QAM óptimo depende de la distancia de transmisión, la tasa de datos deseada y los requisitos de calidad de la señal. Los diagramas de ojo para todas las configuraciones mostraron una apertura adecuada sin distorsión inter simbólica en los casos en donde los parámetros estudiados eran los correctos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

- Albán López, E. V. (2019). *Análisis de rendimiento de métricas en el modelado del sistema de radio sobre fibra (RoF) utilizando OptiSystem* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12725>
- Alvarado Centeno, D. E. (2019). *Análisis y simulación de una red WDM para medir el efecto no lineal de la fibra óptica monomodo denominado dispersión estimulada de raman a través de software Optisystem* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12726>
- De Andrés Garrido, Rocío. (2017). *Desarrollo de modelos y simulación de sistemas de comunicaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Madrid, Madrid, España].
https://oa.upm.es/53006/1/TFG_ROCIO_DE_ANDRES_GARRIDO.pdf
- Espuela Sanchez, G. (2017). *Procesado de señal en comunicaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España]. <https://oa.upm.es/48661/>
- Guano, H. A., Molina, P. C., & Jiménez, M. S. (2014). Estudio y Simulación de los efectos no lineales Scattering Estimulado de Brillouin (SBS) y Scattering Estimulado de Raman (SRS) en una Fibra Óptica Monomodo. *Revista Politécnica*, 33(1).
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/134
- Optiwave. (2023). *OptiSystem overview. 2023*. <https://optiwave.com/optisystem-overview/>
- Peñafiel Pinos, B. F. (2017). *Simulación de la transmisión de la información a través de fibra óptica con modulación 16-QAM a una distancia de 10 km y tasa de*

transmisión de 20 Gbps [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14056/1/UPS-CT006953.pdf>

Pinto García, R. A., & Cabezas, A. F. (2014). *Sistemas de Comunicaciones Ópticas (Monografía) Ira Edición*. Editorial Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11995/Com%20opticas%20V.2014-03-28%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reynolds, S. (2016). Evolución de las Redes Ópticas. *Prisma Tecnológico*, 2(1), 11-14. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/527>

Santa Cruz, O. (2010). *Las Comunicaciones Ópticas* [Capítulo de libro]. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. <https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/electronicaaplicadaiii/PlanteLExterior/IntroduFO1.pdf>

Toapanta Hidalgo, F. R. (2019). *Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico que emplea transmisión oportunista y modulaciones QAM no cuadradas* [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas, Quito, Ecuador] <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11778>

Troya Valarezo, L. A. (2021). *Análisis comparativo de escenarios de simulación de esquemas de modulación PSK y QAM sobre sistema OFDM mediante MatLab/Simulink* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17164>

Ulloa Florencia, G. A. (2021). *Evaluación del sistema de radio sobre fibra utilizando* [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas, Quito, Ecuador]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16246>

Vargas, I. A. (2014). *Sistemas de Fibra Óptica*. Prenti Hall. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43740274/SISTEMAS_DE_FIBRA_OPTICA_-_Ibrahim_Alonso_Vargas-libre.pdf?1458041540=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSISTEMAS_DE_FIBRA_OPTICA.pdf&Expires=1709156559&Signature=JKYLCB3S05E2Qqb5wWd26HSHKVEFJ

Vega Rodríguez, J. G. (2015). *Análisis de la sincronización de la trama de datos en la modulación OFDM utilizando radio definido por software* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/15105>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.

