



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN DE VIDEO Y DATOS EN UNA
RED DE ACCESO PON**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Telecomunicaciones

AUTOR: KEVIN FERNANDO CAIZA LEMA

TUTOR: JOHANNA BERENICE ARGUERO TELLO

Quito-Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Fernando Caiza Lema con documento de identificación N° 1723760607; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Kevin Fernando Caiza Lema

1723760607

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Kevin Fernando Caiza Lema con documento de identificación N° 1723760607, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis de convergencia de transmisión de video y datos en una red de acceso PON”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Kevin Fernando Caiza Lema

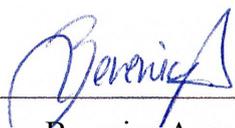
1723760607

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johanna Berenice Arguero Tello con documento de identificación N° 1723989149, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN DE VIDEO Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO PON, realizado por Kevin Fernando Caiza Lema con documento de identificación N° 1723760607 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. Johanna Berenice Arguero Tello, MSc

1723989149

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a mi mayor inspiración: mi madre, **Mónica Patricia Caiza Lema**. Gracias por ser no solo la mejor madre, sino también el padre que la vida me otorgó. Por tu amor incondicional, por tu apoyo en cada circunstancia, ya sea buena o mala, y por tus sabios consejos que han iluminado mi camino, permitiéndome llegar hasta aquí. Cada sacrificio que hiciste, cada desvelo y cada lucha han sido la base sobre la que he construido este logro. Sin ti, nada de esto habría sido posible.

También dedico esta tesis a **Carlos Tipán**, un pilar fundamental en mi crecimiento personal y profesional. Gracias por tu amistad inquebrantable, por ser un compañero de vida y por creer en mí en cada paso del camino.

Y para el **Kevin del futuro**: Eres más fuerte de lo que crees. Nunca dejes de brillar, sigue adelante sin miedo, porque todo tiene solución. Exprésate, ama con intensidad y recuerda que los sueños sí se cumplen. Celebra cada logro y nunca dejes de aprender.

AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud, dedico este logro a mi madre, **Mónica Patricia Caiza Lema**, por ser mi mayor apoyo en cada decisión que he tomado a lo largo de mi vida. Gracias por tu amor incondicional, por tu esfuerzo incansable y por brindarme la fuerza necesaria para culminar una etapa más en mi camino. Este logro es tanto tuyo como mío.

A mi amigo incondicional, **Carlos Tipán**, por estar siempre presente, por sus palabras de aliento y su apoyo en los momentos difíciles, convirtiéndolos en desafíos más manejables. Tu amistad ha sido un pilar fundamental en este proceso.

A mi novia, **María Paula**, por su amor sincero, su cariño inquebrantable y por cada palabra de motivación que me ha impulsado desde el inicio de este proyecto. Gracias por creer en mí y por acompañarme en este viaje.

A mi tutora, por su invaluable guía, paciencia y orientación a lo largo de esta investigación. A todos los docentes de la **Carrera de Telecomunicaciones**, quienes, con su dedicación y vasto conocimiento, contribuyeron a mi formación profesional.

Finalmente, a mis amigos, quienes han estado a mi lado brindándome su apoyo y compañía en este desafiante pero gratificante camino universitario. Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de esta historia.

ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN DE VIDEO Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO PON

CONVERGENCE ANALYSIS OF VIDEO AND DATA TRANSMISSION IN A PON ACCESS NETWORK

Caiza Lema Kevin Fernando¹, Arguero Tello Johanna Berenice²

*dept. Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

Email: kcaizal1@est.ups.edu.ec

*dept. Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

Email: jarguero@ups.edu.ec

Resumen

Este artículo presenta un análisis sobre la convergencia de transmisión de video y datos en una red de acceso PON (Pasive Optical Network). La investigación se centró en optimizar parámetros como potencia RF, voltaje de Bias mediante el uso de herramientas avanzadas, como el software LabVIEW NXG y equipos hardware como el USRP 2944-R. Se evaluaron variables críticas, incluyendo la potencia de transmisión, el voltaje de polarización BIAS del modulador Mach-Zehnder y la tasa de errores de bloque (BLER), utilizando modelos matemáticos y pruebas experimentales para determinar configuraciones óptimas.

El estudio demostró que una potencia de transmisión de -5.89 dBm y un voltaje de BIAS de 3.2 V permitieron una transmisión estable y de alta calidad. La eliminación del amplificador óptico ubicado después del receptor fue esencial para evitar la saturación de la señal, mejorando significativamente la calidad de la transmisión y reduciendo errores en el diagrama de constelación. Además, se identificó que la sensibilidad del sistema sin amplificador alcanzó -35 dBm para un BLER de 10^{-3} . Los resultados obtenidos sientan una base sólida para futuros desarrollos en redes de acceso óptico.

Palabras clave: PON, LTE, BLER, VBias, Convergencia, USRP, SDR, GPON.

Abstract

This paper presents an analysis on the convergence of video and data transmission in a PON (Passive Optical Network) access network. The research focused on optimizing parameters such as RF power, bias voltage by using advanced tools such as LabVIEW NXG software and hardware equipment such as the USRP 2944-R. Critical variables including transmission power, Mach-Zehnder modulator bias voltage and block error rate (BLER) were evaluated using mathematical models and experimental tests to determine optimal configurations.

The study showed that a transmission power of -5.89 dBm and a bias voltage of 3.2 V allowed a stable and high-quality transmission. The elimination of the optical amplifier located after the receiver was essential to avoid signal saturation, significantly improving the transmission quality and reducing errors in the constellation diagram. In addition, it was identified that the sensitivity of the system without an amplifier reached -35 dBm for a BLER of 10^{-3} . The results obtained lay a solid foundation for future developments in optical access networks.

Keywords: PON, LTE, BLER, VBias, Convergence, USRP, SDR, GPON.

1. Introducción

Las redes PON (Optical Passive Network) enfrentan el desafío de mantener una transmisión óptima para adaptarse al creciente aumento en la demanda de servicios de transmisión de video, voz y datos. Esto requiere un delicado equilibrio entre el ancho de banda disponible, la eficiencia en la entrega de contenidos y la capacidad de gestionar múltiples flujos de datos de manera simultánea [1].

En la actualidad, la demanda de transmisión de video en alta definición, servicios de video bajo demanda y plataformas de streaming ha experimentado un notable incremento [2]. Esto ha llevado a que las redes PON enfrenten el desafío de proporcionar servicios eficientes que satisfagan las crecientes expectativas de los usuarios, tales como una mayor velocidad de conexión, baja latencia en la transmisión de datos y una calidad de video estable y en alta resolución [3].

Estas redes se destacan por su capacidad para integrar diversos tipos de tráfico, como video, voz y datos, en una única infraestructura, [4]. Esta integración no solo permite una gestión más eficiente, sino que también optimiza la utilización de los recursos disponibles, [5].

Anticiparse a los desafíos que plantea la convergencia de transmisión de video y datos en redes de acceso PON es esencial para garantizar un desempeño óptimo y una infraestructura confiable en un entorno tecnológico en constante evolución ya que sin una adecuada gestión y optimización de los recursos, la red corre el riesgo de saturarse, provocando una disminución en la calidad del video, retrasos en la transmisión y en consecuencia, una experiencia desfavorable para el usuario final [6].

La convergencia de estos servicios en redes PON requiere no solo de asegurar la calidad de transmisión de video en alta definición, si no también una gestión eficiente del tráfico de datos, lo que demanda innovaciones en el diseño y operación de las redes para satisfacer las crecientes demandas de servicios digitales en tiempo real [7]. Este análisis permite gestionar múltiples flujos de datos simultáneamente, asegurando una experiencia de calidad consistente para los usuarios, incluso bajo condiciones de alta demanda [8].

La incorporación de tecnologías avanzadas, XG-PON y Wi-Fi, combina capacidades de alta velocidad y flexibilidad, ofreciendo soluciones rentables para satisfacer las necesidades crecientes de conectividad [7]. Estudios recientes han demostrado que ajustes precisos en parámetros como ventanas de contención y estrategias de asignación de recursos pueden mejorar significativamente el rendimiento de las redes [9]. Esto permite minimizar la pérdida de paquetes, mantener el retardo dentro de los estándares internacionales y distribuir de manera eficiente el ancho de banda, incluso bajo condiciones de carga máxima [7].

En este estudio se propone determinar los parámetros óptimos de operación necesarios para garantizar una transmisión de video con la modulación QPSK y datos a 625Mbps de alta calidad en redes de acceso PON convergentes [10].

Se busca identificar configuraciones que optimicen el desempeño de las redes PON, asegurando una transmisión eficiente y la integración de servicios de video y datos en una misma infraestructura [11]. Para lo cual, se llevo a cabo un trabajo orientado en la variación y análisis de parámetros clave como: el cálculo y ajuste del voltaje de BIAS, la potencia de transmisión y velocidad de transmisión fueron elementos críticos para garantizar el funcionamiento eficiente de los equipos, minimizando distorsiones en la señal y maximizando su rendimiento [4]. Además, se realizaron ajustes en los niveles de potencia de transmisión y recepción de los equipos USRP, lo que permitió determinar configuraciones ideales para lograr una transmisión confiable y estable. Este método experimental sienta una base técnica sólida para mejorar la calidad del servicio en redes de acceso PON.

Con el fin de aportar recomendaciones prácticas para mejorar la calidad del servicio, maximizar la eficiencia en el uso de los recursos disponibles y abordar los desafíos asociados con la creciente demanda de ancho de banda en entornos tecnológicos en constante evolución.

2. Configuración Experimental

En la Figura 1 se observa la configuración de una red convergente PON diseñada para la transmisión simultánea de video y datos a través de un enlace de fibra óptica de 20km. Este sistema emplea tecnología de radio definido por software (SDR), implementada mediante dispositivos USRP 2944-R que incorpora el Framework (LabVIEW NXG 3.1.1 versión 2.5) para la transmisión de video el cual permite monitorear y analizar de forma dinámica el BLER (Block Error Rate) que mide en proporción de bloques de datos recibidos con errores respecto al total transmitido [12].

Esta métrica es crítica para evaluar la calidad del enlace de radiofrecuencia, identificar posibles problemas de transmisión y ajustar los parámetros de operación para lograr una configuración óptima que garantice la eficiencia y fiabilidad del sistema en la transmisión de video en tiempo real.

La configuración experimental se organizó en tres grupos, tal como se muestra en la Figura 1.

2.1. Transmisor

Para la transmisión de video en redes PON, se utilizó el equipo USRP 2944-R configurado con una señal LTE, con una modulación QPSK con una tasa de modulación de 0.19 Mbps. Con una frecuencia portadora de

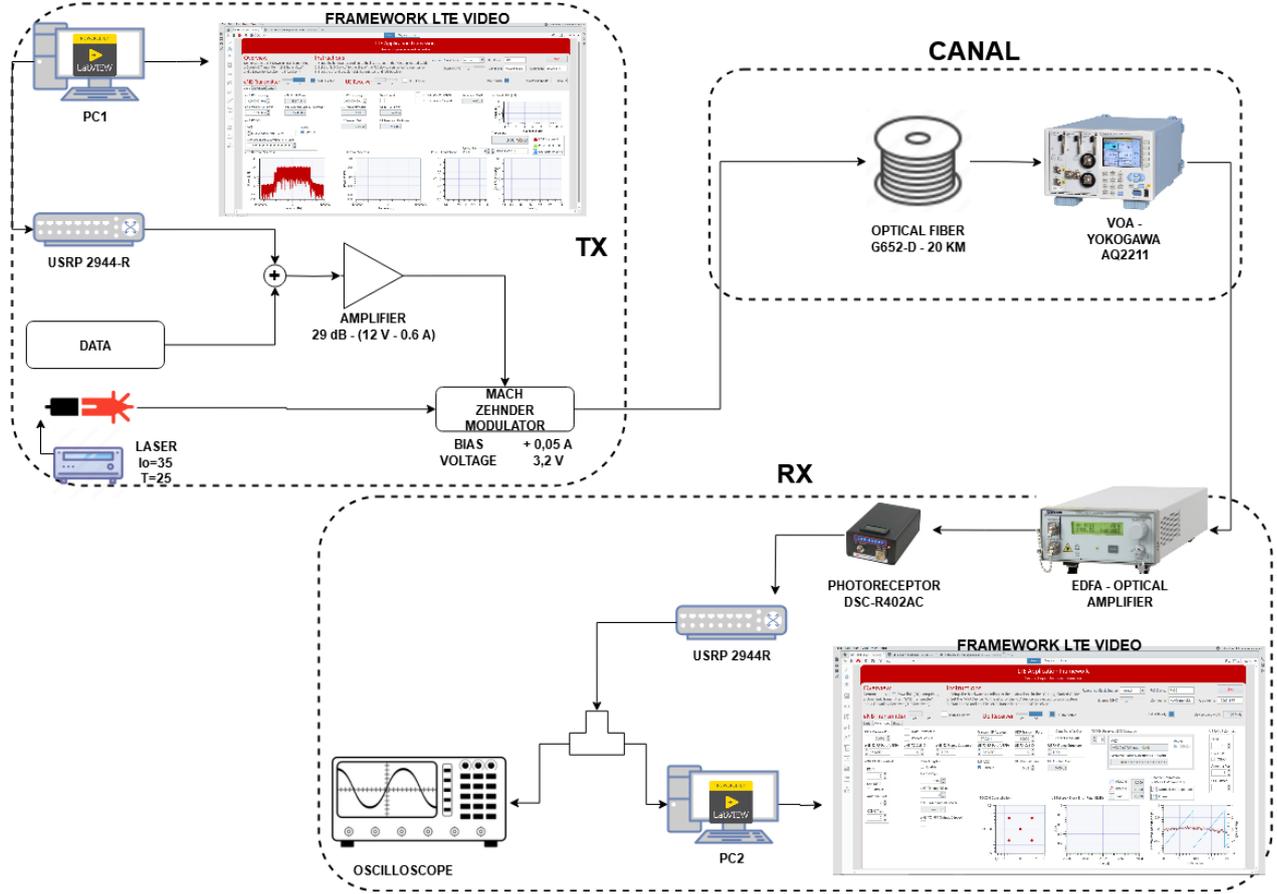


Figura 1. Esquemático transmisión de video y datos en una red PON

1.5 GHz y una potencia de transmisión de -5.89 dBm, esta configuración asegura una transmisión confiable y de alta calidad incluso en entornos con elevadas tasas de error.

Además, se utilizó el equipo BERT modelo N4906B de 12.5 Gbps (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) para generar una señal PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) con una velocidad de transmisión de 625Mbps con un longitud de de secuencia binaria de 2^7 . Ambas señales, de video y datos, se combinaron y fueron dirigidas a un amplificador de RF con una ganancia de 29 dB, energizado mediante una fuente de poder externa configurada a 0.6 A y 12V.

La señal amplificada se conectó a un modulador Mach-Zehnder alimentado con una corriente de 0.05 A y un voltaje de polarización (VBIAS) de 3.2 V, que fue cuidadosamente ajustado para optimizar el punto de operación del modulador en su curva de transferencia óptico-eléctrica. Este ajuste aseguró que el modulador operara en su región lineal, minimizando las distorsiones, mejorando la relación de extinción óptica y garantizando la estabilidad del sistema frente a fluctuaciones ambientales [4].

Adicionalmente, se incorporó una láser (Arroyo In-

struments 6305) con una potencia de salida de 6 dBm y una longitud de onda de (1550 nm), conectado al modulador Mach-Zehnder. Este láser proporcionó la señal óptica portadora necesaria para el proceso de modulación, asegurando una integración eficiente entre las señales ópticas y eléctricas para la transmisión en redes PON.

Este modelo experimental permitió analizar y ajustar los factores de transmisión necesarios para lograr una coexistencia eficiente de flujos de video y datos, contribuyendo al desarrollo de redes de acceso PON capaces de satisfacer las crecientes demandas de ancho de banda y calidad de servicios en entornos modernos.

2.2. Canal

Para el canal se utilizó una bobina de fibra óptica monomodo G652-D de 20 km, caracterizada por una constante de atenuación de 0.25 dB/km, resultando en un total de pérdidas de 4 dB, con una dispersión cromática de 17 ps/nm*km. Estas propiedades permitiendo evaluar con precisión las condiciones del canal, considerando tanto la atenuación como los efectos de dispersión en la transmisión de señales de video y datos.

Dentro del enlace óptico se integró un atenuador

óptico variable (VOA) de la marca YOKOGAWA, diseñado para ajustar las condiciones del canal óptico de manera precisa durante las pruebas. Este dispositivo, operando en un rango de atenuación de 10-30 dB, que permitió simular diferentes niveles de carga en el enlace, replicando escenarios reales desde condiciones de baja demanda hasta escenarios de alta congestión. Gracias a esta flexibilidad, fue posible analizar cómo el sistema responde a variaciones en la cantidad de usuarios conectados al enlace.

El VOA también permitió recrear el impacto acumulativo de la atenuación en el canal, facilitando la identificación del límite operativo del sistema. Este análisis es crucial para garantizar la integridad del enlace antes de alcanzar su punto crítico, en el cual el incremento de interferencias y pérdidas podría comprometer significativamente la calidad de transmisión, particularmente en el caso del video.

Este planteamiento resulta fundamental para comprender el comportamiento del canal óptico bajo distintas condiciones operativas y garantizar un rendimiento estable en redes PON convergentes sin comprometer la calidad del servicio.

2.3. Receptor

El receptor está integrado por un amplificador óptico de tipo EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), diseñado para operar a una longitud de onda de 1550 nm y con una corriente de 134.5 mA. Implementado para recuperar la potencia de la señal óptica que puede haber sido afectada por pérdidas acumuladas a lo largo del canal de transmisión. Gracias a su capacidad para proporcionar una ganancia óptica significativa, con una corriente de 134.5mA, el EDFA compensa las pérdidas inherentes en enlaces a larga distancia, asegurando niveles de potencia adecuados para su procesamiento.

Posterior a la amplificación, la señal óptica fue dirigida hacia un fotoreceptor PIN modelo DSC-R402AC, serial 402501823, caracterizado por su alta sensibilidad lumínica, cercana a -18 dBm y un ancho de banda de 10 GHz, optimizado para trabajar en el rango de longitud de onda de 1550 nm, con una responsividad de 0.8 A/W, permitió convertir la señal óptica en una señal eléctrica con gran precisión y mínima distorsión, asegurando una alta calidad en la recuperación de datos.

La señal eléctrica obtenida fue conectada al USRP 2944R, un equipo SDR configurado como receptor final con una ganancia interna de (0 dB), que facilitó el análisis del BLER, la calidad del video transmitido y la estabilidad del enlace. Por otro lado se derivó una parte de la señal hacia un osciloscopio para la visualización y análisis de la señal del ojo y las características cuadráticas de los datos, confirmando la correcta coexistencia de video y datos en la red de acceso PON.

3. Resultados y Discusión

En la Figura 2 se observa la gráfica potencia de transmisión RF versus el BLER, donde se observa que el valor óptimo fue de 11dBm. Durante la implementación inicial de la red PON, se establecieron parámetros clave basados en configuraciones estándar utilizadas en equipos de comunicaciones ópticas. Entre estos parámetros se incluyeron la potencia de transmisión y el VBIAS aplicando al modulador Mach-Zehnder (MZ). Inicialmente, se identificó que una potencia de transmisión de 11 dBm ofrecía un desempeño óptimo, con una tasa de errores por bloque (BLER) igual a cero, lo que garantiza una transmisión perfecta del video. Aunque potencias de 10 dBm y 12 dBm también eran viables, estas variaciones en estos valores provocaban errores en la transmisión, por lo que se optó por 11 dBm como la opción más estable.

Sin embargo, al incrementar la atenuación utilizando el VOA (YOKOGAWA AQ2211) para simular un escenario de alta carga con múltiples usuarios transmitiendo simultáneamente, comenzaron a presentarse errores significativos en la transmisión. Por lo tanto se varió el voltaje de BIAS de 1.3 V a 2.3 V y se recalculó la potencia de transmisión de LTE donde se obtuvo una potencia mayor de -5.89 dBm.

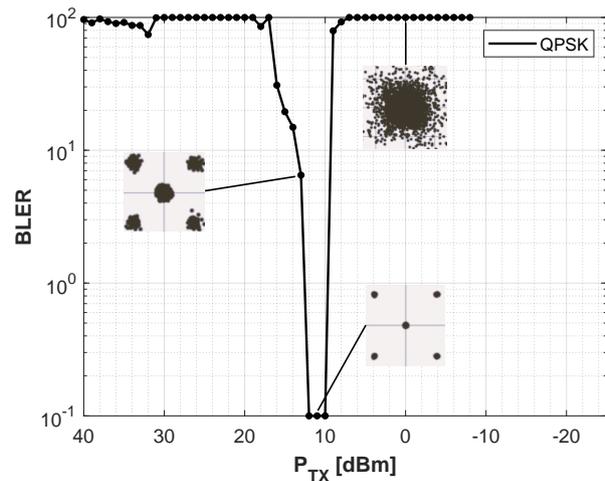


Figura 2. BLER vs PTX

En la Figura 3 se muestra la gráfica de BLER vs Potencia de recepción P_{RX} cuando se envió solo el video en tiempo real sobre una fibra óptica de 20 km en una red PON, evaluando el desempeño del sistema con y sin el uso de un amplificador óptico ubicado después del fotoreceptor. La gráfica incluye representaciones semilogarítmicas que ilustran claramente el impacto del amplificador en la calidad de la señal, específicamente en términos del BLER frente a las potencias de recepción P_{RX} .

Donde se identificó que el problema radicaba en un

amplificador óptico ubicado al final del fotoreceptor (DSC-R402AC) con una capacidad de 29 dB. Este componente generaba una potencia excesiva en la señal saliente, provocando una saturación progresiva y un deterioro acumulativo de la calidad de la señal conforme la red permanecía operativa durante periodos prolongados. Esta saturación explicaba por qué las pruebas iniciales eran exitosas, pero posteriormente la señal mostraba una degradación significativa.

Al analizar el comportamiento del sistema sin el amplificador, se observa una mejora significativa en comparación con la configuración que incluye este componente. Este cambio se traduce en una penalidad de 5 dB, lo que indica que la eliminación del amplificador después del fotoreceptor optimiza el rendimiento del sistema. La señal sin amplificador mantiene una mayor integridad, como se evidencia en las menores tasas de error y los diagramas de constelación más definidos.

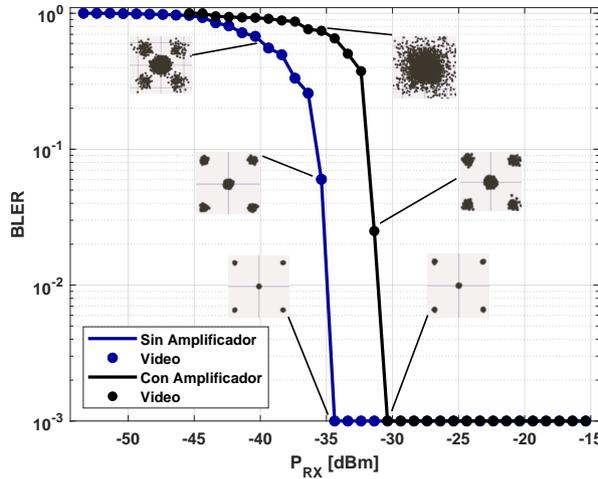


Figura 3. Transmisión de video sin amplificador y con amplificador

En la Figura 4, se representa el análisis de la transmisión de video y datos de manera simultánea en una red PON de 20 km. A diferencia de la etapa de post amplificación, en este caso no se utilizó un amplificador óptico después del fotoreceptor, dado que el análisis previo demostró que la transmisión sin este componente ofrecía un mejor desempeño. La gráfica evidencia un bajo BLER y una mayor estabilidad en las señales transmitidas, incluso en condiciones de mayor carga debido a la integración de datos y video.

Este análisis confirma que la configuración sin amplificador optimiza el desempeño del sistema en redes PON convergentes, garantizando una transmisión confiable y eficiente incluso al manejar múltiples tipos de tráfico. Comparando con el esquema de modulación OOK (On-Off Keying), se observa que este alcanza una sensibilidad de -26 dBm para un BER 10^{-3} [12]. En el caso evaluado en esta red PON, la sensibilidad

obtenida mejora significativamente, logrando alcanzar -35 dBm para un BLER de 10^{-3} , resaltando la eficiencia del sistema configurado. Esta mejora evidencia la capacidad del sistema para operar de manera óptima con niveles de potencia reducidos, manteniendo tasas de error bajas y maximizando la estabilidad de la señal [12].

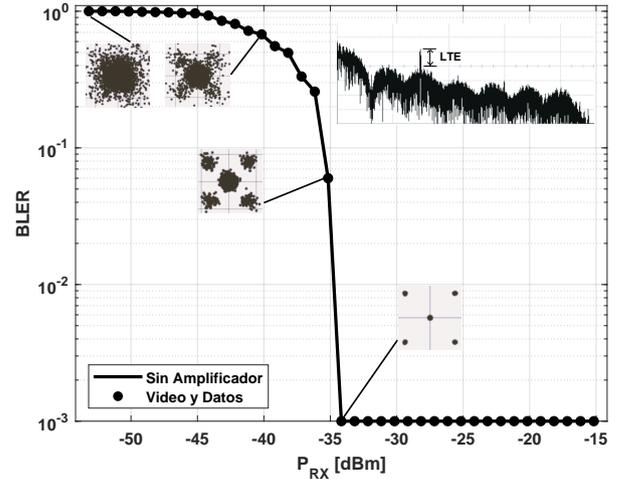


Figura 4. Transmisión de video y datos sin amplificador y con amplificador

4. Conclusiones

El presente análisis de la convergencia de transmisión de video y datos en una red de acceso PON demostró la importancia de realizar ajustes precisos en los parámetros del sistema para garantizar un desempeño óptimo. Desde el punto de vista cualitativo, se evidenció que la eliminación del amplificador óptico después del fotoreceptor mejoró significativamente la estabilidad de la señal, evitando saturaciones que anteriormente deterioraban progresivamente la calidad de transmisión. Se identificó que una potencia de transmisión de -5.89 dBm permitiría mantener un BLER de 0, incluso bajo condiciones de alta demanda, lo que confirma la confiabilidad de la configuración optimizada para el sistema.

Los resultados muestran que, al operar sin el amplificador, la transmisión logra mantener un BLER significativamente baja incluso a niveles de potencia más reducidos. Esto evidencia que la eliminación del amplificador contribuye a una mayor integridad de la señal, como se aprecia en los diagramas de constelación asociados, donde se observan distribuciones más definidas y menos dispersas. De igual manera, el espectro de la señal LTE demuestra una transmisión estable y con una relación señal-ruido adecuada, incluso bajo condiciones de carga combinada de video y datos.

Referencias

- [1] J. S. Wey, J. Zhang, X. Lu, Z. Ma, and B. Chen, "Real-time investigation of transmission latency of standard 4k and virtual-reality videos over a commercial pon testbed," in *2018 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC)*, 2018, pp. 1–3.
- [2] G. S. Park and H. Song, "Video quality-aware traffic offloading system for video streaming services over 5g networks with dual connectivity," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 6, pp. 5928–5943, 2019.
- [3] K. Nihei, N. Kai, Y. Maruyama, T. Yamashita, D. Kanetomo, T. Kitahara, M. Maruyama, T. Ohki, K. Kusin, and H. Segah, "Forest fire surveillance using live video streaming from uav via multiple lte networks," in *2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC)*, 2022, pp. 465–468.
- [4] M. Dávila, J. Camacho, B. Arguero, G. V. Arévalo, and C. Tipantuña, "Analysis of the optimal bias voltage for an optical fronthauling modulator in a rof system," in *2023 IEEE Seventh Ecuador Technical Chapters Meeting (ECTM)*, 2023, pp. 1–5.
- [5] M. N. Tipán, A. T. Berenice, and G. V. Arévalo, "Gfdm and lte data convergence test in optical access networks," in *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 2018, pp. 1–4.
- [6] E. Cifuentes, D. Mosquera, C. Tipantuña, B. Arguero, and G. V. Arevalo, "The analysis of service convergence in an optical access network," *Engineering Proceedings*, vol. 77, no. 1, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2673-4591/77/1/27>
- [7] R. Kaur, A. Gupta, A. Srivastava, B. C. Chatterjee, A. Mitra, B. Ramamurthy, and V. A. Bohara, "Resource allocation and qos guarantees for real world ip traffic in integrated xg-pon and ieee802.11e edca networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 124 883–124 893, 2020.
- [8] G. V. Arévalo, A. T. Berenice, and M. N. Tipán, "Convergence test of lte and ofdm-im in optical access networks," in *2024 24th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2024, pp. 1–5.
- [9] T. Thangappan, B. Therese, S. Adi, and S. Gadda, "Review on dynamic bandwidth allocation of gpon and epon," *Journal of Electronic Science and Technology*, vol. 18, p. 100044, 05 2020.
- [10] H. Chung, H. H. Lee, K. O. Kim, K.-H. Doo, Y. Ra, and C. Park, "Tdm-pon-based optical access network for tactile internet, 5g, and beyond," *IEEE Network*, vol. 36, no. 2, pp. 76–81, 2022.
- [11] A. T. Liem, I.-S. Hwang, E. Ganesan, O. Lengkong, and L. Jallow, "Enabling sdn in hybrid xhaul-twdm-pon networks for interactive video applications," in *2020 2nd International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)*, 2020, pp. 1–5.
- [12] J. B. Arguero Tello, M. N. Tipán, G. V. Arévalo, and C. Tipantuña, "Analysis of conventional direct detection and coherent optical receivers in optical access networks," *Engineering Proceedings*, vol. 77, no. 1, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2673-4591/77/1/30>