



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**EVALUACION GFDM, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO
ÓPTICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título del
Título de Ingeniero En Telecomunicaciones

AUTOR: Johann Gabriel Vizuite Proaño

TUTOR: Milton Napoleón Tipán Simbaña

Quito-Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johann Gabriel Vizuite Proaño con documento de identificación N° 1724360209; 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, 21 de febrero del año 2024

Atentamente.



Johann Gabriel Vizuite Proaño
1724360209

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

Yo, Johann Gabriel Vizuite Proaño con documento de identificación N° 1724360209, 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: “Evaluacion Gfdm, Catv Y Datos En Una Red De Acceso Óptico”, 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, 21 de febrero del año 2024

Atentamente,



Johann Gabriel Vizuite Proaño
1724360209

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Napoleón Tipán Simbaña con documento de identificación N° 1713583126, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACION GFDM, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO realizado por Johann Gabriel Vizuite Proaño con documento de identificación N° 1724360209 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, 21 de febrero del 2024



Ing. Milton Napoleón Tipán Simbaña MSc.

1713583126

DEDICATORIA

Este artículo está dirigido, en primer lugar, a mis padres, Gabriela Proaño y Juan Carlos Vizuite, quienes me han inculcado la perseverancia necesaria para alcanzar esta meta tan anhelada y me han brindado apoyo en cada obstáculo que he enfrentado. También quiero dedicar este trabajo a mis abuelos, José Proaño y Guadalupe Jiménez, quienes han sido como segundos padres para mí y me han enseñado valiosos principios que me han ayudado a alcanzar mis objetivos con mi propio esfuerzo. Son la parte más importante de mi vida y la fuerza que me impulsa cada día. Su amor sincero y dedicación constante por nuestro bienestar han sido fundamentales para que pueda obtener mi título profesional. El cariño que me brindan es esencial para lograr mis metas. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mis ingenieros por los momentos compartidos durante mi formación profesional. Siempre han estado presentes con su amistad, orientación y apoyo, creando un vínculo duradero de respeto. Agradezco a mi familia por su constante presencia en cada logro alcanzado. Este éxito es gracias a ustedes y para ustedes.

Gabriel

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud, en primer lugar, a mi familia, que representa el pilar fundamental que me impulsa a seguir adelante. Agradezco especialmente a mi madre por su inquebrantable fuerza y determinación para enfrentar cada día los desafíos de la vida, así como a mis abuelos por su constante presencia en los momentos tanto felices como difíciles. También deseo reconocer al Dr. Germán Arévalo, quien ha sido tanto el Director de Carrera como mi mentor desde el inicio de mis estudios, así como al Ing. Milton Tipán, quien, como tutor de este artículo, fue el primero en creer en este proyecto. Agradezco a la Ing. Berenice Arguero y a la Ing. Adriana Riofrío por su valioso apoyo profesional e institucional en los laboratorios, y por animarme a concluir esta carrera de Ingeniería.

Gabriel

EVALUACION GFDM, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO

GFDM, CATV AND DATA, EVALUATION IN A OPTICAL ACCESS NETWORKS

Johann G. Vizuite ¹, Milton N. Tipán ²

Resumen

Se llevó a cabo la implementación de una red de acceso óptico WDM que emplea señales GFDM, CATV y datos ópticos en las bandas C28, C29, C30 de la ITU, con modulación en intensidad y detección directa. El resultado muestra una degradación del desempeño de las señales GFDM y de datos cuando se transmiten juntas con CATV, obteniéndose una penalidad de 9 dB y 3.5 dB para GFDM y datos respectivamente.

Palabras Clave: CATV, Convergencia, GFDM, Red de acceso óptico.

Abstract

The implementation of a WDM optical access network was carried out that uses GFDM, CATV signals and optical data in the C28, C29, C30 bands of the ITU, with intensity modulation and direct detection. The result shows a performance degradation of GFDM and data signals when transmitted together with CATV, obtaining a penalty of 9 dB and 3.5 dB for GFDM and data respectively.

Keywords: CATV, Convergence, GFDM, Optical Access Network.

¹Carrera de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, e-mail: jvizuetep@est.ups.edu.ec

²Carrera de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, e-mail: mtipans@ups.edu.ec

1. Introducción

El avance de tecnologías emergentes impulsa la búsqueda de características que superen las capacidades actuales de tecnología 4G [1]. Sin embargo, las limitaciones de dispositivos existentes planean desafíos, especialmente en relación con la gestión del espectro de frecuencia, un recurso que es limitado [2]. El crecimiento exponencial de servicios multimedia y la proliferación de dispositivos que demandan conexión son evidencia clara de un aumento acelerado en el tráfico móvil [3]. Esta creciente demanda plantea desafíos significativos, en la infraestructura de comunicación móvil del futuro debido a que el nuevo sistema de comunicaciones móviles requiere un enfoque en el uso más eficiente del ancho de banda [4], esto se logrará mediante la implementación de nuevas técnicas de multiplexación, con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de velocidades de datos más elevadas y la reducción de la latencia [5]. En escenarios como la realidad aumentada, el internet de las cosas (Internet of Things, IoT) o la interconexión de una cantidad masiva de dispositivos [6], han motivado numerosos estudios centrados en el procesamiento de señales para la tecnología 5G. La esperanza es que las futuras redes sean capaces de ofrecer una mayor flexibilidad en el uso del ancho de banda, proporcionado así soluciones más eficientes y adaptativas [2].

Actualmente, la multiplexación de división de frecuencia ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) es ampliamente utilizada en sistemas de comunicación 4G. Sin embargo, para algunas aplicaciones de 5G, OFDM presenta desafíos como la alta tasa de potencia promedio máxima (PAPR) y la emisión fuera de banda (Out of Band Emission, OOBE) [7]. Como alternativa, se proponen nuevas tecnologías como la multiplexación por división de frecuencia generalizada (Generalized Frequency-Division Multiplexing, GFDM), el sistema universal de múltiples portadoras filtradas (Universal Filtered Multi-Carrier, UFMC) y la modulación por bancos de filtros (Filterbank based multi-carrier, FBMC) que mitigan estos problemas [8], en especial el uso de GFDM se destaca por su mejor eficiencia espectral (Spectral Efficiency, SE) al reducir la sobrecarga del prefijo cíclico (Cyclic Prefix, CP) de

OFDM [11], la naturaleza no ortogonal de la forma de onda de GFDM proporciona una alta eficiencia de utilización de ancho de banda, especialmente para señales de banda ancha, gracias a su forma de pulso flexible y métodos de transmisión de bloque. [12] - [13].

Este artículo explora la configuración de potencias que permita el uso de redes ópticas pasivas (PON, Passive Optical Network) para transmitir conjuntamente señales de datos ópticos y televisión por cable (Community Antenna Television, CATV) con 5G. El objetivo es lograr una transición suave hacia nuevas tecnologías, como n-play, que integra diversas aplicaciones en la red, brindando multiservicios a los usuarios y reduciendo costos [9]-[10].

2. IMPLEMENTACIÓN

2.1 Transmisión

Las señales GFDM, CATV, y datos ópticos se transmitieron simultáneamente a través de la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing, WDM). Estas señales fueron sometidas a modulación en intensidad mediante tres moduladores ópticos de intensidad (Intensity Modulator, IM) con una relación de extinción de 16 dB, un voltaje de offset de 1V y un voltaje en cuadratura de 2.5V, para garantizar la linealidad de los moduladores para las tres señales. La Figura 1 ilustra el diagrama de implementación. La señal GFDM fue creada mediante Matlab, enviando 212 bits que fueron convertidos a una modulación de amplitud en cuadratura 4-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, QAM), los símbolos en paralelo fueron modulados usando una transformada de Fourier inversa rápida (IFFT, Fast Inverse Fourier Transform) de 128 puntos, seguida por un filtro de Coseno elevado con un parámetro beta de 0.3 [14]. Este proceso resultó en una señal con un ancho de banda (Bandwidth, BW) de aproximadamente 4.94 GHz. CATV se configuró a una longitud de onda de 1554.94 nm perteneciente a la banda de frecuencia C28, y una potencia de salida $P_{out} = 6$ dBm. Para la señal de GFDM se configuró el láser portador a una longitud de onda de 1554.13 nm, correspondiente a la banda C29, con una $P_{out} = 6$ dBm.

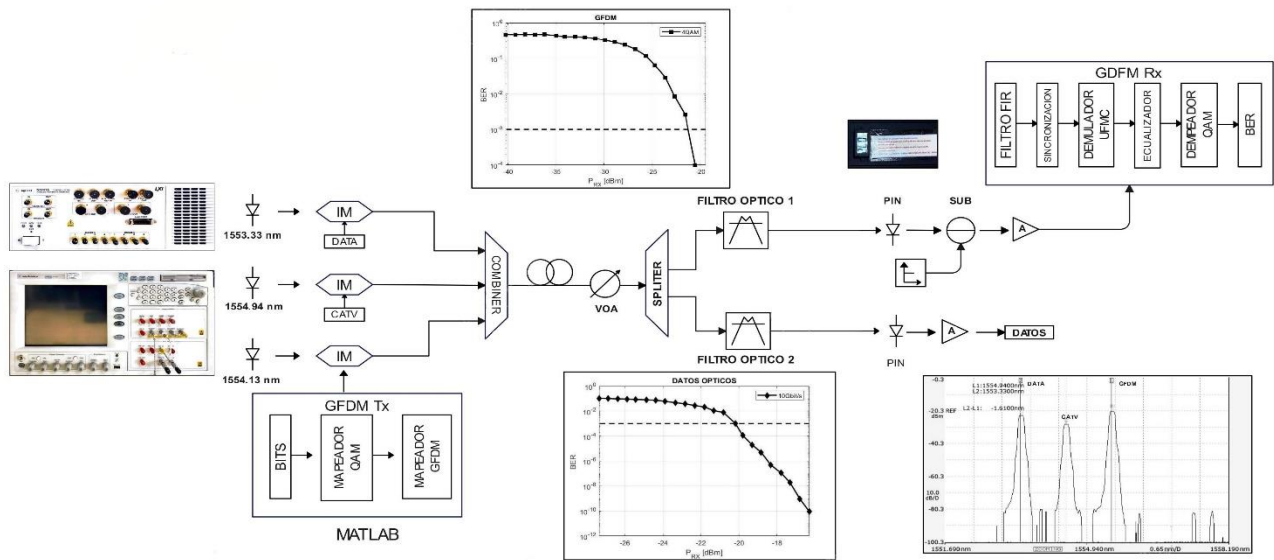


Figura 1. Esquema de evaluación. Las representaciones gráficas revelan los espectros de (I) la fibra que transporta las señales GFDm, CATV y datos ópticos, (II) los espectros de GFDm y datos ópticos tras pasar por filtros ópticos específicos para cada señal, y (III) los puntos de recepción de PRX vs BER (IV).

La generación de datos se lleva a cabo mediante una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence), y un codificador de línea sin retorno a cero (NRZ), convirtiendo la secuencia binaria en una señal eléctrica transmitida a una velocidad de bits de 10 Gb/s, generada mediante un BER Tester, estos datos usaron una longitud de onda de 1553.33 nm, pertenece a la banda C30, también con una $P_{out} = 6$ dBm.

La transmisión de señales CATV y GFDm, se hizo mediante un generador arbitrario de formas de onda (Arbitrary Waveform Generator, AWG) (N8241A 1,25 Gb/s). Con el fin de ajustar las potencias de transmisión óptica, se implementaron amplificadores y moduladores específicos para cada señal. Para CATV en la banda C28, se utilizó un amplificador 45843 (SHF115AP) de 27 dB, 50 KHz - 20 GHz, con una $P_{sat} = 18$ dB, junto con el modulador (8036011). En el caso de GFDm en la banda C29, se optó por un amplificador 47371 (SHFS126A) de 29 dB, 80 KHz - 20 GHz, con una $P_{sat} = 28.5$ dB, y el modulador (8036016). Por último, para la señal de datos en la banda C30, se empleó un amplificador 45842 (SHFS115AP) de 27 dB, 80 KHz - 20 GHz, con una $P_{sat} = 18$ dB, junto con el modulador (8036016).

Posteriormente, las tres señales se integraron mediante un DWDM Demux Module 1X4 (Banda C - 100 GHz) y se transmitieron conjuntamente a lo largo de 20 Km de fibra óptica monomodo (SMF, Single Mode Fiber) del estándar ITU G652D, con una atenuación de 0.2 dB/km. Se incorporaron atenuadores ópticos variables (VOA) con el propósito de controlar la potencia óptica de recepción, simulando el aumento de usuarios de red.

2.2 Receptor

Para la recepción de las señales, se utilizó otro DWDM Demux Module 1X4, permitiendo la detección individual de las señales GFDm y Datos ópticos, mientras que la señal CATV no fue recuperada. Esta decisión se basó en la necesidad de evaluar su impacto en las otras señales, dada su llegada con una potencia superior.

En la fase final del experimento, CATV y GFDm fueron recuperadas a través del DSAV164A (Digital Signal Analyser), con una capacidad de 20 GHz y 80 GSa/s. La señal de coexistencia se sincronizó y posteriormente se procedió a la amplificación de la señal eléctrica. Los cálculos tanto del Bit Error Rate (BER) como del diagrama del ojo se llevaron a cabo utilizando las herramientas estándares del osciloscopio en tiempo real (Recovery Time Objective, RTO), asegurando así una evaluación precisa de las variables involucradas.

3. Resultados y Discusión

Las señales fueron transmitidas individualmente a lo largo de 20 km de fibra óptica monomodo (SMF), los resultados de la transmisión de GFDM se muestran en la figura 2. Se observa que para la Corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction, FEC) se tiene una potencia de aproximadamente -21dB, llegando a alcanzar un $BER=1 \times 10^{-4}$, lo que garantiza su adecuado desempeño.

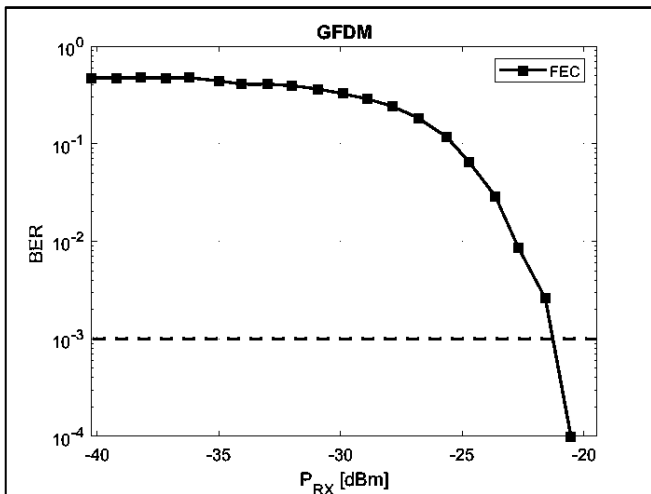


Figura 2. Gráfica de Señal GFDM en relación de BER vs PRX y el límite FEC.

Los resultados de la transmisión de los datos ópticos a 10Gbps, son mostrados en la figura 3. Una potencia óptica recibida de aproximadamente -21 dBm, similar al de GFDM; del mismo modo se tiene un adecuado desempeño pues llega hasta $BER=1 \times 10^{-10}$ para una potencia óptica recibida de -16dBm.

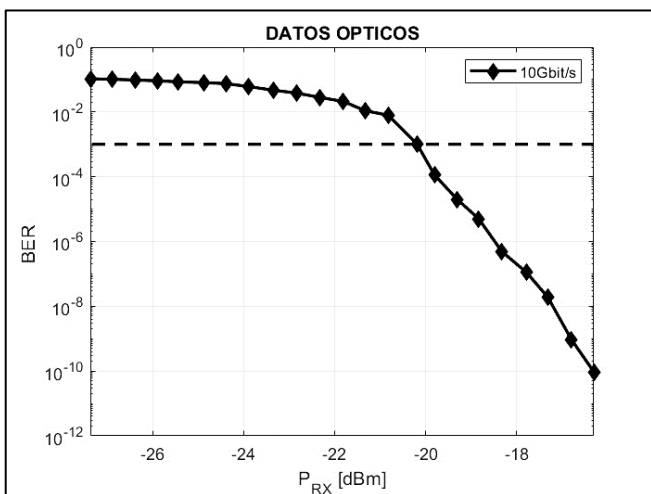


Figura 3. Gráfica de Señal Datos Ópticos en relación de BER vs PRX y el límite FEC.

Entonces, se llevó a cabo la transmisión simultánea de las tres señales, GFDM, CATV y datos, a través de un enlace de fibra óptica de 20 km, se observó que existe una degradación del sistema, en GFDM hay una penalidad de 9 dB en la potencia óptica recibida, para el caso de datos, se tiene una penalidad de 3.5 dB. Lo anterior, se debe a que la interferencia de la potencia de CATV en las dos señales y que posiblemente exista una transferencia de energía de entre la señal de datos y GFDM. Los resultados se visualizan en la figura 4.

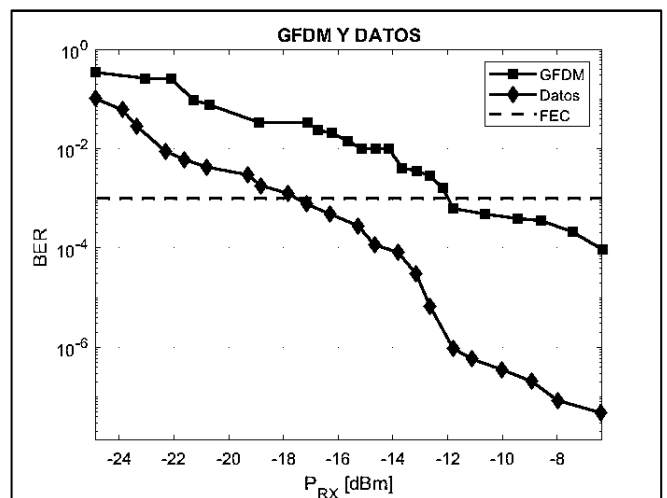


Figura 4. BER vs PRX de la señal GFDM al ser detectada después de la transmisión conjunta con datos ópticos a una distancia de 20km.

4. Conclusiones

En este trabajo de investigación, se sometió a prueba una red de acceso óptico que transmitió de manera simultánea las señales de GFDM, CATV y Datos Ópticos a lo largo de 20 Km mediante WDM, utilizando modulación en intensidad y detección directa. Se logró un BER de $1e^{-4}$ al tener una potencia en el receptor de -21 dBm tanto para GFDM y datos ópticos cuando son transmitidos de manera independiente. Cuando se transmitieron las señales juntas los valores de potencia en el receptor para lograr el mismo BER fueron de -12 dBm y -17.5 dBm para GFDM y datos respectivamente. Se observó, una disminución del desempeño debido a la interferencia de la potencia de CATV y además una posible transferencia de potencia entre las señales de datos y GFDM que será posteriormente investigada. Lo anterior indica que es posible encontrar puntos óptimos para la coexistencia de las señales de tecnologías de legado con las nuevas tecnologías de 5G, proyectando la posibilidad de ofrecer servicios múltiples y eficientes a bajos costos desde el punto de vista espectral.

Referencias

- [1] P. H. Z. Cano, A. Ramirez-Arroyo, F. L. Valero, A. Valenzuela-Valdes, P. A. Castillo-Valdivieso, and J. F. V. Valdes, "Optimization of Massive Connections in 5G Networks for IoT," *2019 6th Int. Conf. Internet Things Syst. Manag. Secur. IOTSMS 2019*, pp. 581–585, 2019, doi: 10.1109/IOTSMS48152.2019.8939211.
- [2] A. Feryando, "Performance Analysis of Regularized Channel Inversion Precoding in Multiuser MIMO- GFDM Downlink Systems," pp. 101–105, 2017.
- [3] S. Chen and J. Zhao, "The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 36–43, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6815891.
- [4] C. An and H. Ryu, "CPW-OFDM (Cyclic Postfix Windowing OFDM) for the B5G (Beyond 5th Generation) Waveform," *2018 IEEE 10th Latin- American Conf. Commun.*, pp. 1–4, 2018.
- [5] G. Wunder *et al.*, "5GNOW: Non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 97–105, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6736749.
- [6] P. A. Q.- Sarmiento, U. Internacional, and M. Labanda, "La Nueva Generación de Redes Móviles : Tecnología 5G y su Aplicación en el Contexto E - Educación The New Generation of Mobile Networks : 5G Technology and its application in the e-education context," *2018 13th Iber. Conf. Inf. Syst. Technol.*, pp. 1–4, doi: 10.23919/CISTI.2018.8399404.
- [7] Y. Yang and L. Zhu, "A Data-aided Interference Cancellation GFDM Receiver for Hybrid Satellite-Terrestrial Communication Systems," *2018 Int. Symp. Networks, Comput. Commun. ISNCC 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ISNCC.2018.8530913.
- [8] E. N. Ayvaz, M. Maras, M. Gomec, and A. Ozen, "A novel waveform design based on lifting wavelet transform for the 5G beyond," *2019 42nd Int. Conf. Telecommun. Signal Process. TSP 2019*, pp. 660–663, 2019, doi: 10.1109/TSP.2019.8769042.
- [9] W. Wu, B. Chen, and C. Li, "Experimental research on Triple Play via Power Line," *2012 IEEE Int. Symp. Power Line Commun. Its Appl. ISPLC 2012*, pp. 72–76, 2012, doi: 10.1109/ISPLC.2012.6201284.
- [10] M. N. Tipan, G. V. Arevalo, I. N. Cano, and F. Amaya-Fernandez, "CATV, LTE and data convergence test in optical access networks," *2016 8th IEEE Latin-American Conf. Commun. LATINCOM 2016*, pp. 3–5, 2016, doi: 10.1109/LATINCOM.2016.7811591.
- [11] A. Nimr, M. Chafii, M. Matthe, and G. Fettweis, "Extended GFDM Framework: OTFS and GFDM Comparison," *2018 IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM 2018 - Proc.*, pp. 0–5, 2018, doi: 10.1109/GLOCOM.2018.8647704.
- [12] S. G. Neelam and P. R. Sahu, "Error performance of QAM GFDM waveform with CFO under AWGN and TWDP fading channel," *2019 Natl. Conf. Commun.*, no. 3, pp. 1–6.
- [13] C. Yang, Y. Wang, T. Yang, and B. Lin, "Superimposed Training for Time Synchronization in GFDM Systems Considering Out of Band Emission," no. Icsai, pp. 944–948, 2017.
- [14] M. N. Tipan, A. T. Berenice, and G. V. Arevalo, "GFDM and LTE Data Convergence Test in Optical Access Networks," *2018 IEEE 3rd Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2018*, 2018, doi: 10.1109/ETCM.2018.8580298.