

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE LA CONVERGENCIA DE GFDM, CATV
Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO**

**AUTOR:
MARITZA GUISELLA MOROMENACHO PAUCAR**

**TUTOR:
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA**

Quito, octubre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Maritza Guisella Moromenacho Paucar, con documento de identificación N° 1723153142, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE LA CONVERGENCIA DE GFDM, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Maritza Guisella Moromenacho Paucar

C.I. 1723153142

Quito, octubre del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE LA CONVERGENCIA DE GFDM, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO” realizado por Maritza Guisella Moromenacho Paucar, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, octubre del 2020



Milton Napoleón Tipán Simbaña

C.I. 1713583126

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a Dios por infundirme perseverancia para alcanzar esta tan anhelada meta, por ayudarme en cada uno de los obstáculos presentados en mi vida y haberme dado una maravillosa familia. A mis padres María Paucar y Saúl Moromenacho, quienes me inculcaron grandes valores para alcanzar mis objetivos con esfuerzo propio, sobre todo a mi madre querida por su amor sincero, por luchar día a día por nuestro bienestar y que ha dedicado su vida para regalarme la oportunidad de salir adelante obteniendo mi título profesional. A mis hermanos Angel, Melanie y Anthony por ser la parte más importante en mi vida y el motor de cada día. De igual manera dedico este trabajo a mis segundos padres Leonidas y Fabiola por su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida con su más sincero amor, a mis tíos Cristian y Jenny por su cariño pilar fundamental para culminar mis metas, a Martha y Eduardo quienes han sabido guiarme brindándome sus consejos y ayuda para alcanzar mis sueños. Finalmente, pero no menos importante a mis amigos por los momentos compartidos en nuestra formación profesional, quienes han estado siempre presentes con su amistad y apoyo, formando así un lazo duradero entre todos. Gracias familia por estar siempre presentes en cada una de mis metas alcanzadas, este logro es por y para ustedes.

Maritza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por la vida y la salud que ha infundido a mi familia, que es lo primordial para continuar adelante, a mi Madre por su fuerza y determinación para luchar día a día ante las adversidades de la vida, a mis hermanos por estar siempre en los momentos tanto alegres como tristes, a mis primos Lenin, Abigail y Valentina por ocupar ese lugar de hermanos compartiendo grandes momentos inolvidables, a mis amigas Brigitte y Stephanie por su apoyo constante en la realización de este trabajo, de igual forma agradezco de manera especial al Ing. Milton Tipán por su apoyo incondicional, por haberme sabido ayudar con paciencia y sabiduría, siendo eje en todo este proceso, quien con su conocimiento ha guiado este Artículo Académico hasta su culminación.

Maritza

ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE LA CONVERGENCIA DE GFDM, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO

GFDM, CATV AND DATA, CONVERGENCE OPERATION ANALYSIS IN A OPTICAL ACCESS NETWORKS

Maritza G. Moromenacho¹, Milton N. Tipán²

Resumen

En este artículo se implementó una red de acceso óptico WDM con señales GFDM, CATV y datos ópticos en las bandas C28, C29 y C30 de la ITU respectivamente, en un enlace de 25 Km de SMF mediante simulación numérica. Modulación en intensidad y detección directa fueron utilizadas, obteniéndose potencias de recepción ópticas de -26 dBm y -18 dBm para un BER= 10^{-3} y BER= 10^{-12} para las señales GFDM y datos respectivamente. La coexistencia demostrada de señales legadas con la señal 5G de banda ancha, genera una transición suave hacia las nuevas tecnologías permitiendo la generación de nuevos y múltiples servicios en las redes actuales ópticas.

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

Abstract

In this article, a WDM optical access network was implemented with GFDM, CATV and optical data signals in the C28, C29 and C30 ITU bands respectively, in a 25 km SMF link using numerical simulation. Intensity modulation and direct detection were used, obtaining optical reception powers of -26 dBm and -18 dBm at a BER = 10^{-3} and BER = 10^{-12} for GFDM and data signals respectively. The demonstrated coexistence of legacy signals with the 5G wideband signal, generates a smooth transition to new technologies, allowing the generation of new and multiple services in today's optical networks.

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

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica (Mención en Telecomunicaciones) – Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur

² Docente la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del grupo de investigación en electrónica telemática y control GIETEC, campus Sur.

1. Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías conduce a la búsqueda de características que superen las capacidades actuales de la tecnología 4G [1], pero los dispositivos existentes poseen limitaciones haciendo que el espectro de frecuencia sea un recurso limitado [2]. El aumento tanto de servicios multimedia y la existencia de varios dispositivos que requieren conexión es la prueba que el tráfico móvil se incrementa de forma acelerada [3], haciendo difícil que la comunicación móvil actual soporte la comunicación móvil del futuro [4]. Además, para la evolución de un nuevo sistema de comunicaciones móviles requiere un ancho de banda más eficiente mediante el uso de técnicas de multiplexación para satisfacer la demanda de velocidades de datos más altas [5] y disminución de latencia. Para casos como la realidad aumentada, internet de las cosas (IoT) o la conexión de billones de dispositivos [6]; estos desafíos han llevado a numerosos estudios sobre el procesamiento de señales para 5G, esperando que las redes futuras satisfagan una mayor flexibilidad en el uso del ancho de banda [2].

En la actualidad la multiplexación de división de frecuencia ortogonal (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) se usa ampliamente en sistemas de comunicación 4G, sin embargo, para algunas aplicaciones de 5G no es aplicable debido a algunos inconvenientes como la alta tasa de potencia promedio máxima (PAPR, Peak Average Power Ratio) y la alta emisión fuera de banda (OOBE, Out of Band Emission) [7], por lo que se propone el uso de nuevas tecnologías como la multiplexación por división de frecuencia generalizada (GFDM, Generalized Frequency Division Multiplexing), el sistema universal de múltiples portadoras filtradas (UFMC, Universal Filtered Multicarrier) y la modulación por bancos de filtros (FBMC, Filter Bank Multicarrier) [8].

En este artículo se investiga la configuración de potencias que permita el uso de redes ópticas pasivas (PON, Passive Optical Network) para una transmisión conjunta de señales de 4G y 5G de banda ancha, generando una transición suave hacia

las nuevas tecnologías, como triple play que integra varias aplicaciones en la red, que permite multiservicios para los usuarios y la reducción de costos [9]-[10]. El uso de GFDM permite una mejor eficiencia espectral (SE, Spectral Efficiency) al reducir la sobrecarga del prefijo cíclico (CP, Cyclic Prefix) de OFDM [11], porque al poseer una forma de onda no ortogonal [12] proporciona una alta eficiencia de utilización de ancho de banda importante para señales de banda ancha, esto basado en su forma de pulso flexible y métodos de transmisión de bloque [13].

2. Configuración de la simulación

2.1 Transmisor

Se transmitió las señales GFDM, televisión por cable (CATV, Community Antenna Television) y datos ópticos de manera simultánea mediante multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing), y moduladas en intensidad a través de tres moduladores en intensidad ópticos (IM, Intensity Modulator), con relación de extinción de 20 dB, voltaje de offset de 1V y un voltaje en cuadratura de 2V, garantizando la linealidad del modulador, para las tres señales. La figura 1 muestra el diagrama de la configuración implementada en la co-simulación entre OptSim y Matlab®2019, donde se observa las señales en tiempo y frecuencia tanto para la parte eléctrica como óptica de las señales GFDM, CATV y datos coexistiendo. La señal GFDM fue generada en Matlab®, se enviaron 2^{12} bits para ser mapeados a una modulación de amplitud en cuadratura 4-QAM (QAM, Quadrature Amplitude Modulation), los símbolos en paralelo fueron modulados usando una transformada de Fourier inversa rápida (iFFT, Fast Inverse Fourier Transform) de 128 puntos seguida de un filtro de coseno elevado con 0.3 de parámetro beta [14], con un ancho de banda (BW, Bandwidth) de aproximadamente 4.94 GHz, y transmitida utilizando la interface de co-simulación que ofrece OptSim. Una fuente de láser de longitud continua (CW, Continuous Wave) fue empleada con una longitud de onda 1553.33 nm que pertenece a la banda de frecuencia C28, ancho de pulso 10 MHz, la cual es modulada mediante un IM.

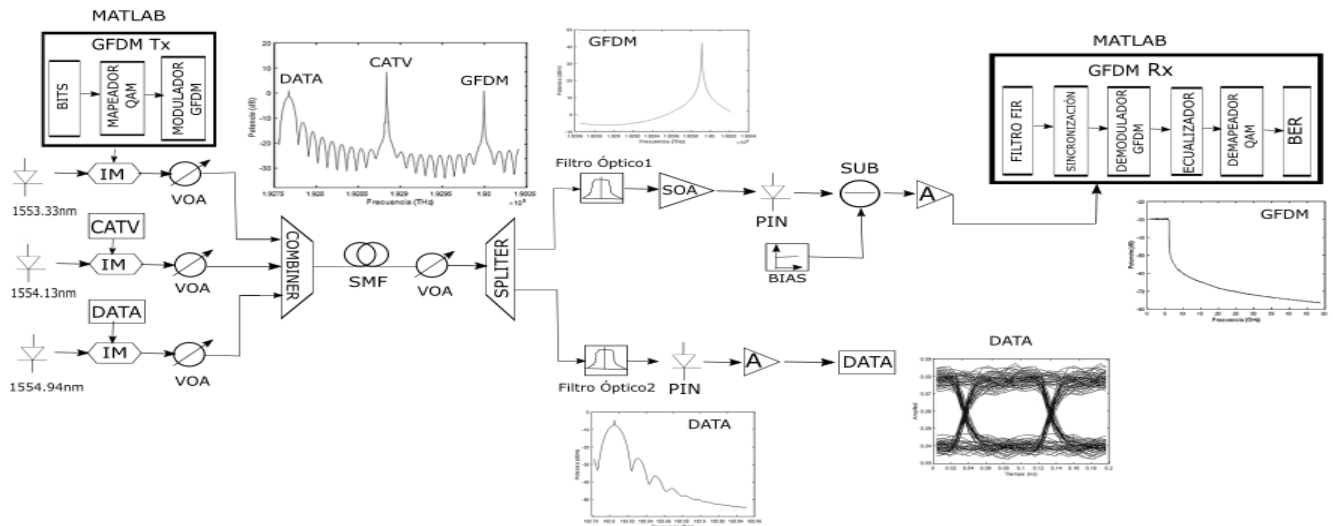


Figura 1. Esquema de configuración. Las inserciones muestran los espectros (i) en la fibra de GFDM, CATV y datos ópticos, (ii) los espectros de GFDM y datos ópticos después del filtro óptico diferente para cada señal, (iii) los espectros de las señales en recepción (iv) y el diagrama de ojo de la señal de datos ópticos a un BER= -12.

Por otro lado, la señal de CATV posee 82 canales de señal analógica, a partir de 54 MHz cada uno con 6 MHz de BW, modulada en intensidad mediante un láser con una longitud de onda de 1554.13 nm perteneciente a la banda C29, ancho de pulso de 10 MHz. Los datos fueron simulados mediante una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence), y un codificador de línea sin retorno a cero (NRZ, Non Return to Zero), convirtiendo la secuencia binaria de ceros y unos en una señal eléctrica que se transmite a una velocidad de bits de 10 Gb/s. Entonces, fue modulada con un IM y un láser con longitud de onda de 1554.94 nm de la banda de frecuencia C30 y ancho de pulso de 10MHz. Con el fin de establecer las potencias adecuadas de transmisión óptica se incorporaron atenuadores ópticos variables (VOA, Variable Optical Attenuator) a cada una de las señales, así 0dBm para la señal GFDM y datos y 10 dBm para CATV ya que esta señal analógica necesita de mayor potencia en su transmisión [15].

Las tres señales se unieron a través de un combinador óptico 4:1 y fueron transmitidas de manera conjunta por 25Km de longitud de fibra óptica monomodo (SMF, Single Mode Fibre) del estándar ITU G652D, con una atenuación de 0.2dB/km. Dentro del enlace óptico se añadió un VOA con el objetivo de limitar la potencia óptica de recepción, simulando el aumento de usuarios en la red.

2.2 Receptor

Un divisor óptico 1:4 permitió la detección de forma individual de las señales GFDM y datos ópticos, la señal de CATV no fue recuperada ya que el objetivo era saber el efecto que está tiene sobre las otras ya que llega con mayor potencia. Para la recepción de la señal GFDM se utilizó un filtro óptico Lorentziano de tres etapas centrado a 1553.33 nm y un ancho de banda de aproximadamente 4.94 GHz, a continuación, se colocó un amplificador óptico semiconductor (SOA, Semiconductor Optical Amplifier) con 20dBm de ganancia la cual permitió tener suficiente margen de la señal GFDM para el cálculo de los errores (BER, Bit Error Rate). Un fotodiodo PIN (Positive Intrinsic Negative) con una responsividad de 0.87 A/W y 0.7 de eficiencia fue usado para recuperar la señal eléctrica, sin embargo, debido a la componente de DC que está presente y la atenuación de esta, el uso de un voltaje de BIAS y un amplificador fueron necesarios. Esta señal fue enviada a Matlab para el procesamiento de la misma y el cálculo del BER con la ayuda de la interfaz de co-simulación. Finalmente, en el receptor de datos ópticos se utilizó un filtro óptico Lorentziano de tres etapas, centrado a 1554.94 nm 20 GHz de ancho de banda, luego se empleó un fotodiodo PIN con las mismas características que se usó en la recepción de la señal GFDM, a continuación, la señal eléctrica fue amplificada y el cálculo del BER, así como su

diagrama del ojo fueron calculados con las herramientas estándares de Optsim.

3. Resultados y Discusión

Inicialmente, se realizó una transmisión de la señal GFDM en 25 Km de SMF donde se observó que existe una componente de DC en la señal eléctrica recibida luego del fotodiodo y con muy baja potencia debido a la atenuación de la fibra óptica y al funcionamiento normal del fotodiodo, como se observa en la figura 2. Esto condujo a que se incluya un SOA, un voltaje de DC negativo de aproximadamente 18mV y un amplificador eléctrico con una ganancia de 25 dBm para que pueda ser demodulada de manera correcta esto es mostrado en la figura 3.

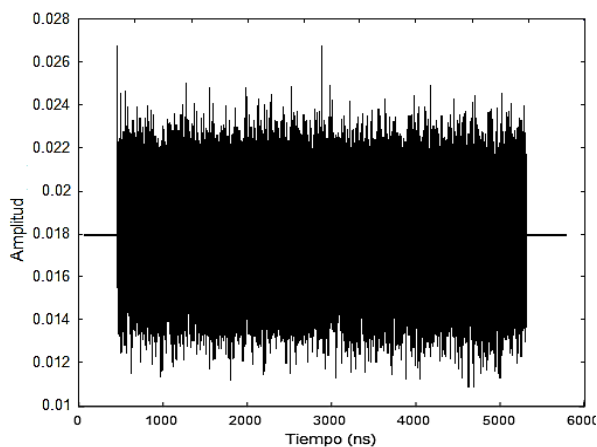


Figura 2. Señal GFDM recibida luego del fotodiodo PIN.

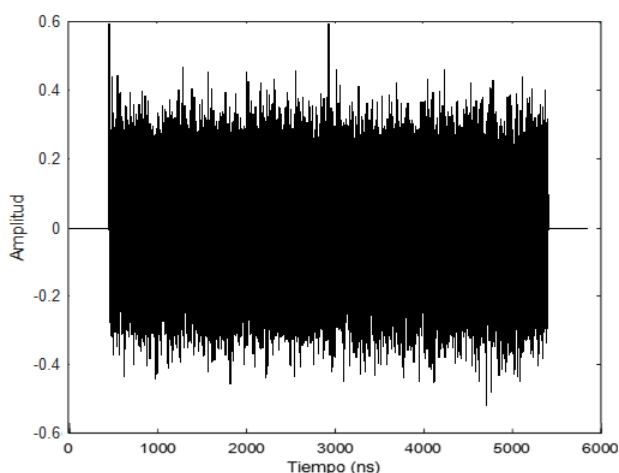


Figura 3. Señal GFDM recibida eliminada la componente DC y amplificada.

Luego, se procedió a realizar la transmisión conjunta de las tres señales GFDM, CATV y datos en un enlace de fibra SMF de 25Km con el SOA

sin ganancia. Como consecuencia la señal GFDM no pudo ser recuperada con el parámetro de desempeño impuesto de $BER=10^{-3}$, el cual es suficiente para el uso de técnicas de corrección de errores hacia adelante (FEC, Forward Error Correction) [16]. Entonces, se procedió a variar la ganancia del SOA para alcanzar un BER adecuado encontrando el mejor punto de desempeño del SOA, de esta manera se consigue el mejor desempeño a una ganancia de 20 dBm a una potencia óptica recibida aproximada de $P_{RX}=-26$ dBm como se observa en figura 4.

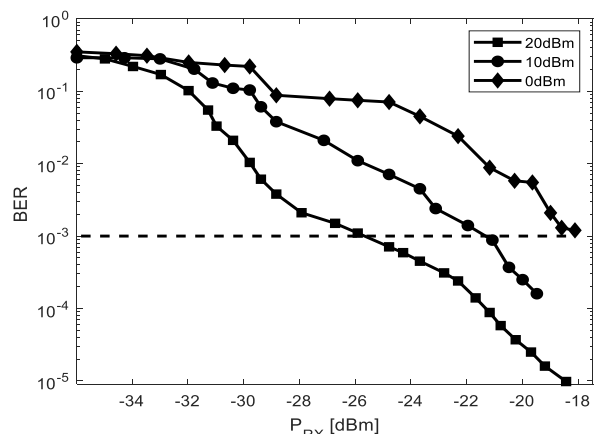


Figura 4. BER versus la potencia de recepción óptica de la señal GFDM al ser detectada después de la transmisión conjunta con CATV y datos ópticos por un enlace de SMF de 25km

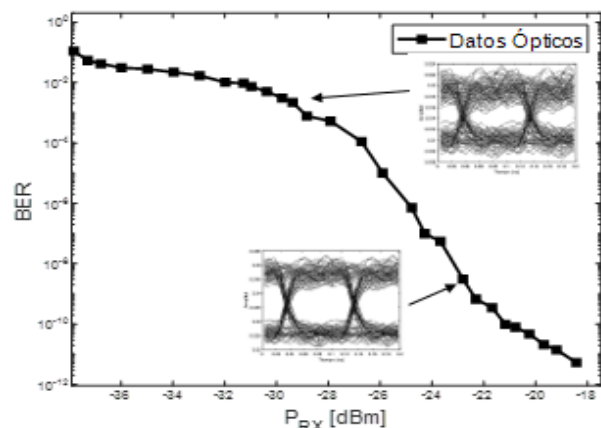


Figura 5. BER versus la potencia de recepción óptica de los datos ópticos al ser detectados después de la transmisión conjunta con GFDM y CATV por un enlace de SMF de 25km.

Para el caso de la señal de datos no fue necesario el uso del SOA ya que los niveles de potencia recibidos eran adecuados logrando un $BER = 10^{-12}$ con una potencia de recepción óptica $P_{RX}=-18$ dBm como se presenta en la figura 5. Se observa además los diagramas de ojo para $BER =$

10^{-3} y $BER = 10^{-9}$ como ejemplos del ruido inducido por la potencia de la señal de CATV misma que acrecienta las no linealidades de la fibra óptica causando la interferencia.

4. Conclusiones

Se probó mediante co-simulación una red de acceso óptico, donde se transmitieron de manera conjunta las señales de GFDM, CATV y datos ópticos mediante WDM, con modulación en intensidad y detección directa. Obteniéndose sensibilidades de -26 dBm a un $BER = 10^{-3}$ y -18 dBm a un $BER = 10^{-12}$ para GFDM y datos respectivamente. Un punto de operación adecuado de 20 dBm para el SOA fue encontrado. Esto permite comprobar la coexistencia de las señales legadas con las nuevas tecnologías de 5G propuestas para prestar nuevos y múltiples servicios a costos bajos y eficientes espectralmente.

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 5 th Generation) Waveform," *2018 IEEE 10th Latin-American Conf. Commun.*, pp. 1–4, 2018.
- [5] G. Wunder *et al.*, "5G NOW: 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.
- [15] Shenzhen Photon Broadband Technology Co., Ltd <<Transmisor óptico modulado externo>>, Accedido: agosto, 16 2020 [En línea]. Disponible en: https://www.photonbroadband.com.cn/index.php/product/index/g/e/id/49.html?gclid=CjwKCAjw9vn4BRBaEiwAh0muDA27XEKuQVtkuJXPq6WsFe9r-BAyPOEH9xs4_IkKy-iOwCVLf3Pk5xoCJxkQAvD_BwE [16] C. Rodrigues, A. Gamelas, F. Carvalho, and A. Cartaxo, "Evolution of FTTH networks based on radio-over-fibre," *Int. Conf. Transparent Opt. Networks*, pp. 26–29, 2011, doi: 10.1109/ICTON.2011.5970946.