

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:
ANÁLISIS DE OPERACIÓN DE UFMC, CATV Y DATOS EN UNA RED DE
ACCESO ÓPTICO**

**AUTORA:
IVONNE BRIGUITTE PROAÑO AUQUILLA**

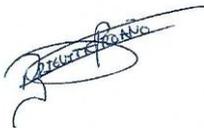
**TUTORA:
JOHANNA BERENICE ARGUERO TELLO**

Quito, noviembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ivonne Briguite Proaño Auquilla con documento de identificación N°1750248096, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy la autora del Artículo Académico, ANÁLISIS DE OPERACIÓN DE UPMC, 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 autora 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.



.....
Ivonne Briguite Proaño Auquilla
C.I: 1750248096
Quito, noviembre del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Johanna Berenice Arguero Tello declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico ANÁLISIS DE OPERACIÓN DE UFMC, CATV Y DATOS EN UNA RED DE ACCESO ÓPTICO, realizado por Ivonne Briguite Proaño Auquilla, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, noviembre del 2020


Johanna Berenice Arguero Tello

C.I: 1723989149

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con todo mi amor a Dios y a mis padres que fueron la inspiración para seguir adelante en cada momento, por brindarme su apoyo incondicional, su sabiduría para lograr mis propósitos, darme fuerzas y no desmayar en los problemas que se me presentaban y enseñarme que en las adversidades van a estar a mi lado apoyándome, este logro les debo a ustedes.

A mi hermano que fue la inspiración en seguir en esta carrera, sin él no estuviera hoy aquí por su apoyo, consejos y comprensión.

Andrés por confiar en mí, por ser parte de mi vida por estar en mis días buenos, malos, pésimos y a pesar de eso seguir junto a mí en este proceso.

Brigitte Proaño Auquilla

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos, a Dios y a mis padres por guiarme a lo largo de mi vida, ser el apoyo, fortaleza en momentos difíciles por ser los principales promotores de mis sueños y a quien me debo, por su cariño, dedicación, comprensión y consejos que me han brindado durante toda mi vida.

Andrés por su ayuda y animó para continuar, aconsejándome y brindándome su cariño incondicional.

A todos mis docentes por brindarme sus conocimientos a lo largo de mi carrera, especial a mi tutora Ing. Berenice Arguero por la confianza, apoyo y guiarme con éxito a la elaboración del proyecto. Al Ing. Milton Tipan por la dedicación y enseñanzas durante mi carrera. Finalmente, al Ing. Gustavo Caiza por su apoyo y asesoramiento durante mi vida universitaria.

A la Universidad Politécnica Salesiana por haber sido parte principal en el aporte y desarrollo de mis conocimientos.

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

UPMC, CATV AND DATA, OPERATION ANAYSIS IN A OPTICAL ACCESS NETWORKS

Ivonne B. Proaño¹, Johana B. Arguero²

Resumen

Se implementó una red de acceso óptico de 25 Km donde se transmitió tres señales UPMC, CATV y datos ópticos conjuntamente mediante una Co-simulación Matlab-OptSim. Con la finalidad de satisfacer una tasa de datos alta de usuarios superior de 10 Gbps, donde se obtuvo una sensibilidad Rx de -27 dBm a una tasa de bits para 10 Gbps logrando un BER= 10^{-3} . Para UPMC como forma de onda 5G se consiguió una potencia óptica Rx de -32 dBm en un BER= 10^{-3} los resultados obtenidos demuestran una mejoran en la capacidad de una red de acceso convergente.

Palabras Clave: CATV, convergencia, red de acceso óptico, UPMC

Abstract

A 25 Km optical access network was implemented where three signal: UPMC, CATV and optical data, there were transmitted together through for a Co-simulation Matlab-OptSim. In order to satisfy a high data rate of users higher than 10 Gbps, where a Rx sensitivity of -27 dBm was obtained at a big range of 10 Gbps achieving a BER = 10^{-3} . For UPMC as a 5G waveform, the Rx optical power of -32 dBm was achieved at a BER 10^{-3} , the results obtained demonstrate an improvement in the capacity of a converged access network.

Keywords: CATV, Convergence, optical access network, UPMC.

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

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

1. Introducción

Los nuevos entornos de redes inalámbricas pronostican que el tráfico de datos móviles crecerá de forma acelerada esto se debe a la adaptación global de dispositivos de Internet de las cosas (IoT, Internet of Things) y teléfonos inteligentes [1]. Para el desarrollo de nuevos desafíos se necesita 5G, ya que facilita velocidades de datos muy altas, baja latencia y gran ancho de banda, brindando una eficiencia espectral mejorada [2] [3]. Esta nueva generación de red es versátil, ideal para aplicaciones donde requieren una banda ancha mejorada, ultra confiables y de baja latencia [4].

Un candidato idóneo para usar como forma de onda de 5G es la multiportadora filtrado universal (UFMC, Universal Filtered Multicarrier) esta forma de onda es una serie de portadoras en sub-bandas y aumenta la eficiencia espectral debido a la eliminación del prefijo cíclico y la disminución de las emisiones fuera de banda [5].

La tendencia hoy en día es encontrar la coexistencia de diferentes tecnologías dentro de una misma arquitectura de comunicación. Siguiendo esta línea de investigación, se encuentra el estudio de transmisión de datos de multiplexación por división de frecuencia (GFDM, Frequency Division Multiplexing) y evolución a largo plazo (LTE, Long Term Evolution) donde transmitieron simultáneamente en la misma longitud de formas de onda 4G y 5G logrando un BER de 10^{-3} [6]. Por otro lado en [7] proponen la convergencia de LTE, servicios de televisión por Cable (CATV, Community Antenna Television) y datos en redes de acceso óptico donde demuestran la transmisión simultánea por un enlace de fibra óptica de 25 Km, obteniendo un BER de 10^{-4} .

El presente trabajo se enfocará, en encontrar parámetros de operación óptimos para transmitir simultáneamente las señales de UFMC, CATV y datos ópticos dentro del enlace óptico, se busca integrar soluciones de transmisión convergente en redes de acceso mediante un modelo numérico de un sistema de comunicación multiportadora UFMC para la medición de parámetros de desempeño como la tasa de error de bit (BER, Bit Error Rate). Se propone transmitir una nueva forma de onda para 5G, incorporando CATV y datos mejorará la capacidad de las redes de acceso ópticas convergentes.

2. Configuración de la simulación

En la figura 1, se muestra el escenario propuesto de la configuración experimental para realizar un análisis de resultados por medio de una co-simulación numérica mediante el software OptSim y Matlab compuesto por tres bloques. Donde se muestran los espectros ópticos de las tres señales transmitidas simultáneamente, así como el espectro eléctrico de la señal UFMC.

En el bloque del transmisor se envían simultáneamente, las señales de UFMC y CATV, las cuales fueron implementadas en Matlab y luego se envía a OptSim. La señal de datos es generada en OptSim mediante una fuente de datos (Data Source) conectada a un modulador de tipo rectangular sin retorno a cero (NRZ Rectangular Driver) que convierte la secuencia binaria de unos y ceros en una señal eléctrica. Las señales se modularon empleando un modulador de intensidad óptica (IM, Intensity Modulator) con voltaje offset de 2.5V y voltaje en cuadratura de 5V.

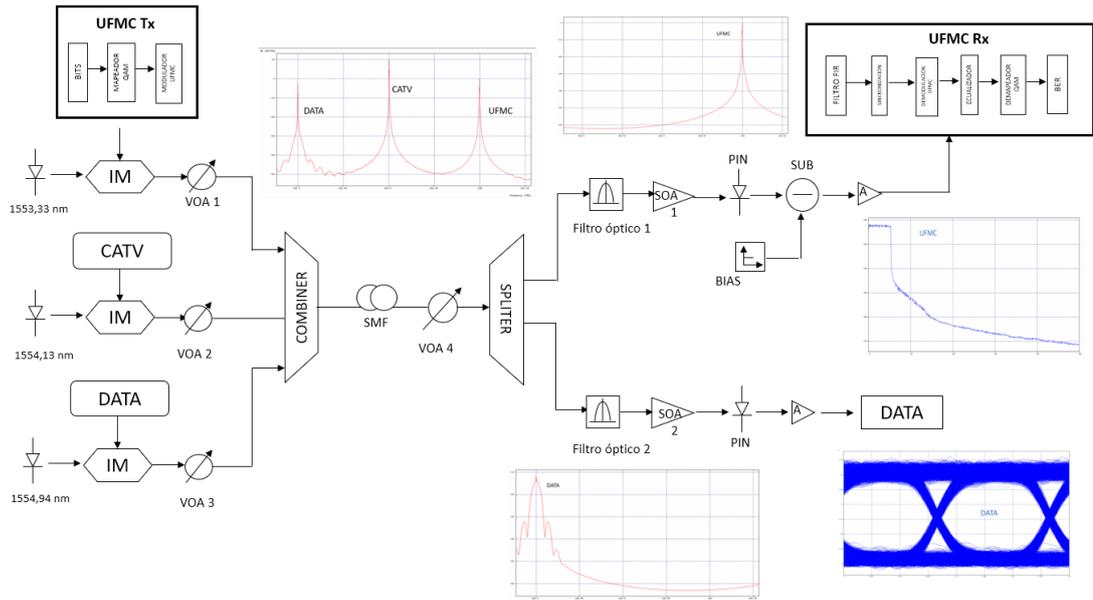


Figura 1. Esquema de configuración propuesto. Se muestran los espectros (i) en la fibra de UFMC, CATV y datos ópticos, (ii) los espectros de UFMC y datos ópticos después del filtro óptico diferente para cada señal, (iii) los espectros de las señales en la recepción (iv) y el diagrama de ojo de la señal de datos ópticos a un BER = 10^{-3} .

Posteriormente, las señales moduladas serán propagadas a través fibra óptica de 25 Km mediante multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing). La señal UFMC se agrupa en subportadoras dando lugar a sub-bandas, después se realiza la transformada rápida de fourier inversa (IFFT – Inverse Fast Fourier Transform) de cada sub-banda, por último pasa por un filtro para formar la señal a transmitir [8]. Para la señal UFMC se enviaron 2^{18} bits aleatorios, los cuales fueron mapeados empleando una modulación de amplitud en cuadratura 4-QAM (QAM, Quadrature Amplitude Modulation), los símbolos se transformaron en paralelo y se filtraron en pulsos de 128 puntos mediante IFFT [6], con un ancho de banda 10 GHz aproximadamente y una velocidad 10 Gbps en banda base. La señal fue modulada por un láser Lorentziano (Lorentzian Laser) con una longitud de onda de 1553.33 nm (C30) mediante un IM, una potencia óptica de 0 dBm.

En la señal CATV se transmitieron 82 canales analógicos con un ancho de banda de 6 MHz generado en Matlab. Se moduló mediante un láser Lorentziano a 1554.13 nm (C29) modulado por un IM con una potencia óptica de 10 dBm.

Finalmente, señal de datos ópticos se transmitió empleando velocidades de 1.25 Gbps, 2.5 Gbps y 10 Gbps para representar los estándares de redes de acceso [7]. Modulada por un láser Lorentziano a 1554.94 nm (C28) con una potencia de la señal óptica a 0 dBm.

Para las señales UFMC, CATV y datos ópticos se implementó un atenuador óptico variable (VOA, Variable Optical Attenuator) a la salida cada modulador, para fijar potencias adecuadas de transmisión ópticas de 0 dBm tanto para la señal UFMC y datos ópticos [9] según las especificaciones del estándar G.948.2 para redes PON y por la pérdida que se establece en la fibra óptica.

El bloque del canal de transmisión incluye un combinador óptico 4:1 para incorporar las tres señales a través de 25 Km de fibra óptica monomodo (SMF, Single Mode Fiber) del estándar ITU G.652 correspondiente a una atenuación de 0.2 dB/Km [10]. Seguido de un atenuador óptico variable (VOA, Variable Optical Attenuator) para simular la división en una red de acceso y el número de usuarios conectados a la red. A la salida del VOA se conecta un multiplexor óptico 1:4 para detectar UFMC, datos ópticos y observar el efecto de CATV sobre estas señales.

El bloque de recepción está formado con un filtrado selectivo para canales ópticos C28 y C30 [11]. Cabe recalcar solo recuperó la señal de UFMC y datos ópticos para el análisis de resultados respectivos. Empleando un filtro óptico Lorentzianos de multietapa (Optical Filter: Multi Stage Lorentzian).

Para convertir la señal óptica de UFMC y datos ópticos en señal eléctrica se conecta a un fotodiodo (PD - photodiode) tipo PIN (Positive Intrinsic Negative) que tiene una salida eléctrica que genera un proceso de fotodetección para señal en una dirección directa con la respuesta del PD. Este proceso depende de la potencia de entrada óptica y de la corriente en la salida del PD [12] que posee con una responsividad de 0.5 A/W, 0.4 de eficiencia y 10 GHz de ancho de banda. Para mejorar la señal de recepción de UFMC se colocó un amplificador óptico semiconductor (SOA, Semiconductor Optical Amplifier) con 20 dBm para compensar las pérdidas ópticas que sufre las señales con los diferentes equipos antes del PIN.

La señal UFMC se recupera y digitaliza para luego ser procesada en el bloque de receptor de Matlab además se normaliza la potencia RF recibida y se corrige el desplazamiento positivo de la señal eléctrica recuperada por el fotodiodo tipo PIN y además se utilizó un voltaje BIAS,

que centra la señal en el eje y a 0 mV para detectar los bits recuperados.

A continuación, se realiza el procesamiento digital de señal donde la señal es sincronizada y ecualizada. Los símbolos recuperados ingresan al demodulador M-QAM y finalmente se calcula la tasa de error de bit (BER, Bit Error Rate) para evaluar el desempeño del enlace propuesto.

3. Resultados y Discusión

En la figura 2, se observa la señal UFMC en el dominio temporal, donde se observa un componente DC de baja potencia que altera la señal recibida luego del fotodiodo debido a la alimentación de este, tiene un desplazamiento de 11 mV el cual al entrar al receptor se coloca centrado en 0 dBm.

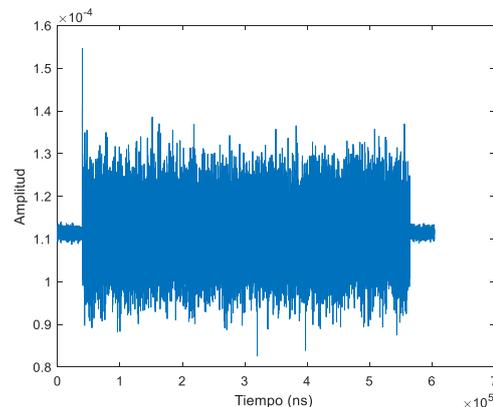


Figura 2. Señal UFMC recibida luego del fotodiodo PIN en el bloque de recepción.

Para centrar el componente DC de 11 mV se utilizó un voltaje BIAS y una ganancia eléctrica de 20 dBm para que la señal sea demodulada de manera correcta esto se muestra en la figura 3.

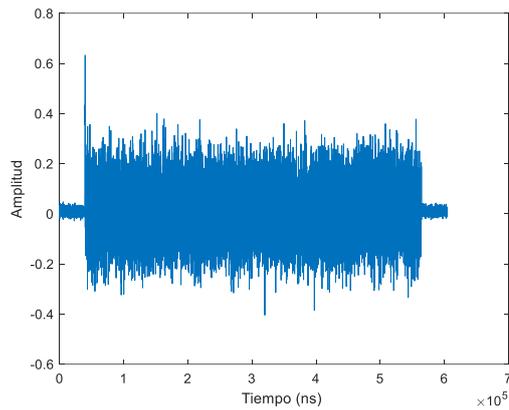


Figura 3. Señal UFM recibida eliminada la componente DC y amplificada en el bloque de recepción.

Inicialmente la señal de UFM y datos ópticos se caracterizaron de forma independiente dentro del enlace óptico donde CATV fue desconectado.

La señal de UFM fue caracterizada de forma independiente, los resultados alcanzados se muestran en la figura 4, donde se obtuvo una sensibilidad de recepción de -32 dBm para un BER de 10^{-3} para 4QAM cuyo valor de referencia está descrita por la línea punteada en la figura.

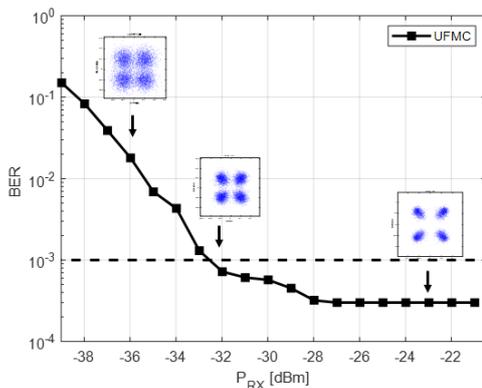


Figura 4. BER vs. potencia óptica Rx para caracterización individual de la señal UFM por un enlace de SMF de 25 Km.

Los resultados de transmisión de datos ópticos para diferentes velocidades de 1.25 Gbps, 2.5 Gbps y 10 Gbps se muestran en la figura 5. Para una velocidad de bits de 1.25 Gbps la sensibilidad Rx para un $BER=10^{-10}$ y

un $BER=10^{-3}$ es de -26 dBm y -33 dBm respectivamente. Para 2.5 Gbps, la sensibilidad Rx es de -23 dBm y -32 dBm a un $BER = 10^{-10}$ y un $BER = 10^{-3}$. Para la señal de 10 Gbps la sensibilidad Rx a $BER=10^{-10}$ y un $BER=10^{-3}$ fue -21 dBm y -31 dBm respectivamente.

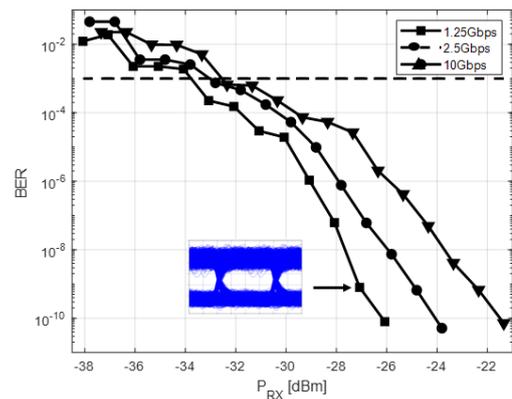


Figura 5. BER vs. potencia óptica Rx para la caracterización individual de la señal de datos ópticos a 1.25 Gbps, 2.5 Gbps y 10 Gbps por un enlace de SMF de 25 Km.

Dado que UFM y la señal de datos ópticos a una velocidad de 10 Gbps tienen los mismos valores Rx, con una ligera penalización en el rendimiento cuando se transmitan simultáneamente se concluye que esta velocidad es la adecuada a transmitirse con UFM, CATV simultáneamente. Además, tienen una separación espectral óptica entre ellos de 1.6 nm (aproximado 200 GHz), la interferencia entre las señales es limitada [7].

Por último, se enviaron las señales de UFM, CATV y datos ópticos simultáneamente a través de la fibra óptica a 25 Km. En la figura 6 se observa el espectro óptico de la coexistencia de las tres señales. Donde datos ópticos está centrado a 1554.94 nm con un ancho de banda de 20 GHz y limitada a una salida de potencia óptica de 0 dBm; CATV está centrada en 1554.13 nm limitada a una salida óptica de 10 dBm y UFM está centrada en 1553.33 nm con un ancho de

banda de 10 GHz y limitada a una salida óptica de 0 dBm.

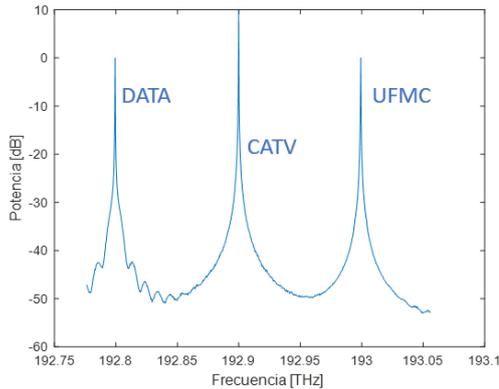


Figura 6. Espectro óptico de la coexistencia de UPMC, CATV y datos ópticos a 10 Gbps por un enlace de SMF de 25 Km.

En la figura 7 representa la caracterización de la señal UPMC cuando se transmite las tres señales simultáneamente, se demuestra el efecto de la señal CATV causa a la señal de UPMC en que se observó que la sensibilidad Rx -29 dBm se obtiene un BER = 10^{-3} el cual cumple el rendimiento debajo de la corrección de errores hacia adelante (FEC, Forward Error Correction) que permite la corrección de errores en el receptor.

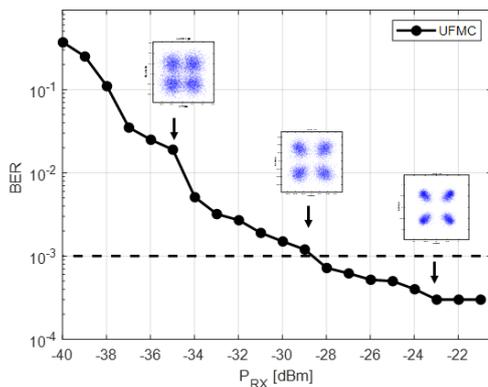


Figura 7. BER vs. potencia óptica Rx para la señal de UPMC después de ser acoplados a la señal de CATV y datos ópticos a 10 Gbps por un enlace de SMF de 25 Km.

En la figura 8 se representa la caracterización de datos ópticos a una velocidad de 10 Gbps cuando se transmite las tres señales simultáneamente, se demuestra el efecto de la señal CATV a la señal de datos en

que se observó que la sensibilidad Rx -27 dBm para un BER = 10^{-3} cuyo valor de referencia está descrita por la línea punteada en la figura. Y se observa que se alcanzó valores bajo la línea 10^{-10} .

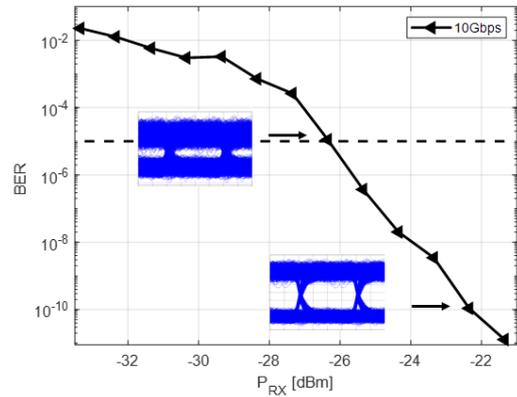


Figura 8. BER vs. potencia óptica Rx para la señal de datos ópticos a 10 Gbps después de ser acoplados a la señal de UPMC y CATV por un enlace de SMF de 25 Km.

4. Conclusiones

En la presente investigación se comprobó la transmisión simultánea de UPMC, CATV y datos ópticos dentro de una red de acceso óptico a través de la co-simulación de Optsim y Matlab. La configuración del enlace propuesto cumple con las especificaciones del estándar G.948.2 para redes PON. Donde se obtuvo de potencia óptica Rx de -32 dBm para un BER = 10^{-3} para la señal de UPMC. Para datos ópticos a un BER = 10^{-3} con una sensibilidad Rx de -29 dBm.

En el enlace óptico se transmiten las tres señales simultáneamente con una separación óptica de 100 GHz para obtener el rendimiento FEC, donde se observó que la señal de UPMC obtiene una sensibilidad Rx de -31 dBm a un BER = 10^{-3} y para la señal de datos ópticos de una velocidad de 10 Gbps obtiene una sensibilidad Rx de -27 dBm a un BER = 10^{-3} , se evidencia el efecto

de que produce CATV dentro del canal óptico en la sensibilidad Rx de UFMC y datos ópticos, se requiere más potencia RF para lograr un BER debajo del FEC.

Es así como la coexistencia de las tres señales dentro de una red de acceso óptico a 25 Km mejorará la experiencia de los usuarios ofreciendo nuevas aplicaciones y servicios capaces de alcanzar velocidades altas.

Referencias

- [1] M. Tayyab, X. Gelabert, y R. Jantti, «A Simulation Study on Handover in LTE Ultra-Small Cell Deployment: A 5G Challenge», en *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, Dresden, Germany, sep. 2019, pp. 388-392, doi: 10.1109/5GWF.2019.8911616.
- [2] E. V. B. Velasco, J. S. T. Gómez, y J. G. L. Perafán, «Compensación de dispersión cromática mediante la técnica de pre-chirping negativo utilizando moduladores Mach-Zehnder de tipo Single y Dual Drive», p. 10, 2017.
- [3] P. N. Rani y Ch. S. Rani, «UFMC: The 5G modulation technique», en *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, Chennai, dic. 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICCIC.2016.7919714.
- [4] Q. Yuan, Q. Qian, Y. Mo, y H. Chen, «Research on Mixed Planning Method of 5G and LTE», en *2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT)*, San Jose, CA, USA, mar. 2020, pp. 489-493, doi: 10.1109/ICICT50521.2020.00084.
- [5] R. S. Yarrabothu y U. R. Nelakuditi, «Optimization of out-of-band emission using kaiser-bessel filter for UFMC in 5G cellular communications», *China Commun.*, p. 9, 2019.
- [6] M. N. Tipan, A. T. Berenice, y G. V. Arevalo, «GFDM and LTE Data Convergence Test in Optical Access Networks», en *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, Cuenca, Ecuador, oct. 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ETCM.2018.8580298.
- [7] M. N. Tipan, G. V. Arevalo, I. N. Cano, y F. Amaya-Fernandez, «CATV, LTE and data convergence test in optical access networks», en *2016 8th IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, Medellin, Colombia, nov. 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/LATINCOM.2016.7811591.
- [8] L. A. C. Masabanda, «COMPARACIÓN DE LAS FORMAS DE ONDA FBMC Y UFMC BASADAS EN OFDM A TRAVÉS DE SIMULACIONES EN MATLAB», p. 130.
- [9] Shenzhen Photon Broadband Technology Co., Ltd, «<<<Transmisor óptico modulado externo>>>». https://www.photonbroadband.com.cn/index.php/product/index/g/e/id/49.html?clid=CjwKCAjw9vn4BRBaEiwAh0muDA27XEKuQVtkuJXPq6WsFe9r-BAyPOEH9xs4_IkKy-iOwCVLf3Pk5xoCJxkQAvD_BwE.
- [10] International Telecommunication Union «SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS» Recommendation IUT-T G.652 en 2016, p. 15-23.
- [11] D. G. S. Andrade, «SIMULACIÓN DE UN ANILLO DE RED DE TRANSPORTE DE FIBRA ÓPTICA COMPARANDO LOS MÉTODOS DE MULTIPLEXACIÓN WDM Y UDWDM A TRAVÉS DEL SOFTWARE OPTSIM», p. 150.
- [12] E.M. Yáñez Mora «MODULACIÓN OFDM Y SISTEMAS ÓPTICOS.pdf» en 2016 Quito-Ecuador, p.13-18.