

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
ANÁLISIS, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO  
PARA MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TRÁFICO  
CONVERGENTE (VOZ, VIDEO Y DATOS) EN UNA RED METRO-  
ETHERNET ÓPTICA**

**AUTORES:  
GALO FERNANDO GUERRA ROMERO  
SEBASTIÁN ALBERTO GUERRERO VÉLEZ**

**TUTOR:  
GERMÁN VICENTE ARÉVALO BERMEO**

**Quito, enero del 2018**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Galo Fernando Guerra Romero y Sebastián Alberto Guerrero Vélez, con documentos de identificación N° 1717929010 y N° 0922328356 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “ANÁLISIS, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TRÁFICO CONVERGENTE (VOZ, VIDEO Y DATOS) EN UNA RED METRO-ETHERNET ÓPTICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, 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 nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Galo Fernando Guerra Romero

CI: 1717929010

Sebastián Alberto Guerrero Vélez


CI: 0922328356

Quito, enero del 2018

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TRÁFICO CONVERGENTE (VOZ, VIDEO Y DATOS) EN UNA RED METRO-ETHERNET ÓPTICA” realizado por Galo Fernando Guerra Romero y Sebastián Alberto Guerrero Vélez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2018



Germán Vicente Arévalo Bermeo

CI: 010315250-0

# ANÁLISIS, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TRÁFICO CONVERGENTE (VOZ, VIDEO Y DATOS) EN UNA RED METRO-ETHERNET ÓPTICA

## ANALYSIS, SIMULATION AND IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE FOR MEASUREMENT AND CHARACTERIZATION OF CONVERGENT TRAFFIC (VOICE, VIDEO AND DATA) IN AN OPTICAL METRO-ETHERNET NETWORK

Galo Guerra Romero<sup>1</sup>, Sebastian Guerrero Velez<sup>1</sup>

### Resumen

En el siguiente artículo se presenta el desarrollo de un prototipo de red con el fin de medir y caracterizar el desempeño del tráfico convergente (voz, video y datos) enviado en banda base y en modulación 4QAM. Esto se llevó a cabo sobre una red Metro-Ethernet óptica en tiempo real, usando un analizador de tráfico ALBEDO/Ether.Genius, considerando parámetros como la tasa de bits errados (Bit Error Rate - BER) y el vector de error de magnitud (Error Vector Magnitude - EVM) en los diagramas de constelaciones. El tráfico se transmitió a 1Gb/s sobre un enlace óptico de 75 km de fibra monomodo. Con un BER de  $10^{-3}$  que corresponde a un EVM del 38%, la sensibilidad del receptor fue de -19.77 dBm para tráfico enviado en banda base mientras que para la transmisión con modulación 4 QAM se obtuvo -20.02 dBm. En este trabajo se demostró que es posible transmitir datos convergentes en una red Metro-Ethernet usando transceptores de muy bajo costo.

### Abstract

The following article presents the development of a prototype network in order to measure and characterize the performance of convergent traffic (voice, video and data) sent in baseband and 4QAM modulation. This was carried out on an optical Metro-Ethernet network in real time, using an ALBEDO / Ether.Genius traffic analyzer, considering parameters such as the bit error rate (BER) and the magnitude error vector (Vector Magnitude Error - EVM) in the constellation diagrams. Traffic was transmitted at 1Gb / s over a 75-km optical link of single mode fiber. With a BER of  $10^{-3}$ , which corresponds to an EVM of 38%, the sensitivity of the receiver for convergent and only voice traffic was -19.77 dBm and -20.02 dBm respectively. In this work we demonstrate that it is possible to transmit convergent data in a Metro-Ethernet network using very low-cost transceivers.

**Palabras Clave:** Metro-Ethernet, 4QAM, Red Óptica, Tráfico Convergente.

**Keywords:** Metro-Ethernet, 4QAM, Optical Network, Convergent Traffic.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica (mención Telecomunicaciones) - Universidad Politécnica Salesiana, UPS - sede Quito.

## 1. Introducción

Una red Metro-Ethernet, corresponde a una arquitectura de red de transporte Ethernet que proporciona servicios de conectividad de datos punto a punto o multipunto a través de una Red de Área Metropolitana (Metropolitan Area Network - MAN). Actualmente en el mercado existen redes Metro-Ethernet implementadas para dar soporte a servicios que requieran cubrir distancias de hasta 100 km sobre fibra óptica, con velocidades típicas de transmisión de 10/100/1000/10000 Mb/s. La flexibilidad es uno de los parámetros que actualmente se busca en una red Metro-Ethernet es así que [1] propone en su diseño que dicho parámetro es uno de los requisitos fundamentales, ya que soporta toda la carga del tráfico dinámico generado en la red antes mencionada. La agregación de tráfico es uno de los factores más importantes actualmente en las redes Metro-Ethernet, [2] presenta un concepto de agregación de ráfagas Ethernet con un 90% en la reducción de procesamiento de paquetes debido a la simplificación y escalamiento óptimo de funciones de reenvío de conmutación. La creciente demanda de nuevas aplicaciones y usuarios sólo pueden ser satisfechas por la enorme capacidad de ancho de banda proporcionada por la fibra óptica, es por esto que [3] propone en su estudio una capa de adaptación para desplegar servicios Metro-Ethernet a través de redes de anillos ópticos WDM de receptor fijo y transmisor sintonizable con el fin de reducir a una la cantidad de conversiones óptica-electrónica-óptica por cada trama unicast. Actualmente es muy importante la inclusión de más servicios dentro de las redes Metro-Ethernet ópticas, por tal motivo [4] plantean en su trabajo transmitir experimentalmente una señal de datos OFDM y LTE, demostrando que la técnica de multiplexación de frecuencias RF puede emplearse hacia una red de acceso óptica que converge tanto en datos fijos como móviles.

Muchas investigaciones recientes se centran en proponer nuevos mecanismos de enrutamiento para redes Metro-Ethernet, [5] describen en su investigación una visión general de varios mecanismos de ruta más cortos para dichas redes, al clasificar esos mecanismos en *distribuidos* cuando las tablas de enrutamiento se calculan en cada nodo y *centralizados* cuando las tablas de enrutamiento de todos los nodos se calculan en uno solo. El protocolo de Ethernet basado en el tradicional árbol expandido (Spanning Tree Protocol - STP) no cumple con los requisitos para redes de área metropolitana en términos de resiliencia de red, es por tal motivo que [6] proponen un mecanismo de reconexión rápida de árbol expandido (Fast Spanning Tree Reconnection - FSTR) para que las redes Metro-Ethernet manejen fallas de enlace único.

Por otro lado, el empleo de transceptores de bajo costo es muy importante para viabilizar económicamente la implementación de este tipo de redes. Los transceptores del tipo SFP (Small Form-Factor Pluggable) a 1.25 Gb/s, que pueden ser utilizados en switches y enrutadores con puertos de expansión de este tipo, pueden tener un costo de menos de 10 USD.

Este artículo tiene como fin analizar el medio de transmisión del prototipo de red Metro-Ethernet, empleado para el presente estudio, a través del envío de tráfico convergente (voz, video y datos), modulado y en banda base, sobre un enlace sobre 75 km de fibra óptica monomodo (Simple Mode Fiber - SMF), utilizando equipos de capa de enlace de datos y transceptores de bajo costo.

La sección dos del artículo describe el funcionamiento del sistema utilizado, la sección tres presenta y analiza los resultados obtenidos en la experimentación. Finalmente, en la sección cuatro se concluye el artículo.

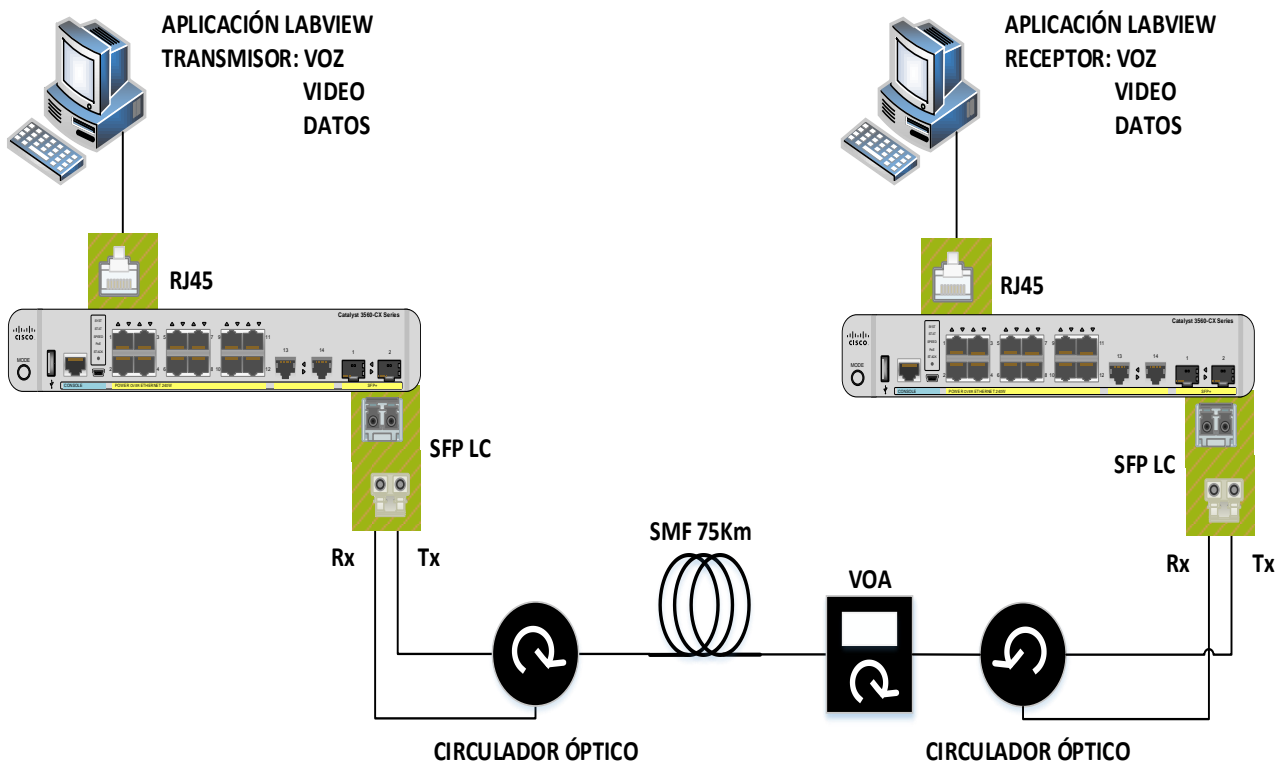


Figura 1. Diagrama de enlace Metro-Ethernet Óptico.

## 2. Experimentación

### 2.1 Parámetros y Características de la Red Metro-Ethernet Óptica

En la figura 1 se muestra la configuración experimental del prototipo implementado para la transmisión de tráfico convergente. Para la generación y recepción de tráfico se desarrolló una aplicación en el software LabView de National Instruments<sup>TM</sup>.

La red Metro-Ethernet Óptica está compuesta por dos switches de 12 puertos Cisco de la serie Catalyst 3560-CX enlazados por un enlace óptico. Cada uno de los switches está configurado por un transceptor SFP Gigalight GP-5524-L8CD con una tasa de datos de 1.25 Gb/s, longitud de onda de 1550 nm, alcance de 80 km, potencia de transmisión de 2 dBm y monitoreo de diagnóstico digital. El enlace óptico está caracterizado por dos circuladores ópticos, utilizados para la comunicación bidireccional, y por una fibra monomodo (SMF) G652D de 75 km con dispersión de 17 ps/nm/Km. con atenuación de 0.2 dB/km, con

la inclusión de efectos no lineales. Además, se incluye un atenuador óptico variable (Variable Optic Attenuator - VOA), con un rango de atenuación que va desde 1 dB hasta 5.5 dB, el mismo que ayuda a emular diferentes potencias de recepción, con la finalidad de determinar el BER en función de las potencias variables en el receptor del sistema.

### 2.2 Generación del tráfico convergente

Mediante el software LabView, se creó una aplicación de transmisión y recepción para datos convergentes que serán transmitidos en banda base y en modulación 4QAM (Quadrature Amplitude Modulation). En la figura 2 se observa el diagrama de bloques de la aplicación creada para los dos tipos de transmisión. Donde, el módulo de transmisión está constituido por diagramas de bloques que son: el bloque de adquisición de información (voz, video y datos), en el que se obtienen los bits de la cámara, micrófono y documentos almacenados; luego estos bits en el caso de la transmisión en banda base pasan directamente

al bloque TCP mientras que para los datos modulados ingresan al bloque de modulación digital empleando 4QAM. El bloque TCP (Transmission Control Protocol) controla la comunicación y el direccionamiento de paquetes. El módulo de recepción está formado por el bloque TCP donde se establece la comunicación entre cliente-servidor, los bits obtenidos del bloque anterior pasan al bloque de demodulación si lo requiere, recuperando y visualizando la información transmitida.

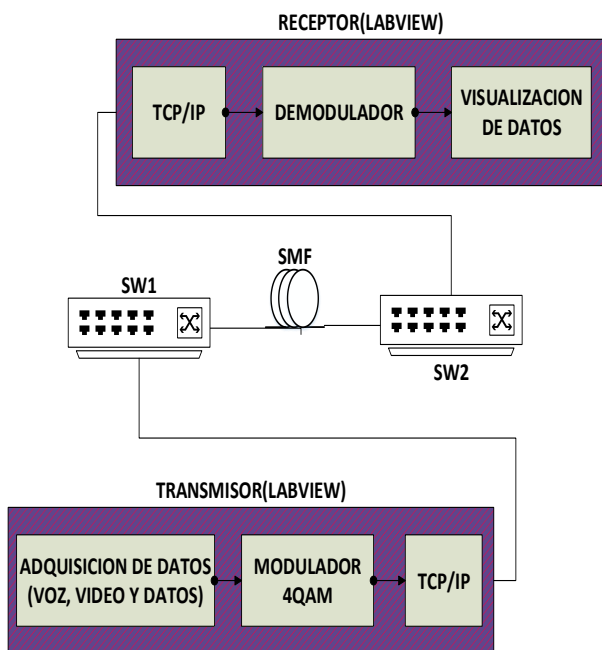


Figura 2. Gráfica de módulos de Labview.

### 3. Análisis de Resultados

Se probó experimentalmente una red Metro-Ethernet Óptica transmitiendo tráfico convergente, considerando un presupuesto de perdidas variable entre 18.5 dB a 23dB, sobre 75 kilómetros en una fibra SMF G652D a 1Gb/s.

Mediante el instrumento de análisis de campo Ether.Genius, de marca ALBEDO™ [7], se obtuvo la relación entre el porcentaje de paquetes perdidos vs. la potencia de recepción para tráfico en banda base, como se observa en la figura 3, a medida que la potencia de

recepción disminuye existe un aumento del porcentaje de paquetes perdidos.

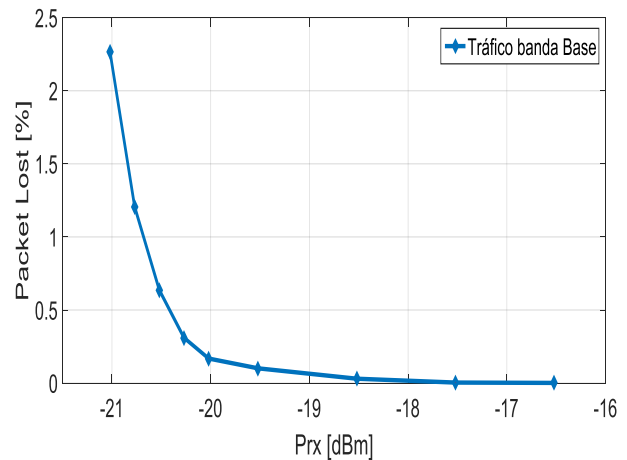


Figura 3. Gráfica del porcentaje de paquetes perdidos vs la potencia de recepción.

Para realizar el análisis del porcentaje de paquetes perdidos vs. la potencia de recepción para tráfico en banda base se enviaron un total de 1197313 paquetes para cada valor de potencia recibida. Los paquetes recibidos y perdidos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de paquetes perdidos y BER para tráfico generado en banda base.

| Potencia de recepción(dBm) | Paquetes Recibidos | Paquetes perdidos | BER                   |
|----------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| -16.52                     | 1197310            | 3                 | $2.75 \times 10^{-6}$ |
| -17.52                     | 1197298            | 15                | $1.25 \times 10^{-5}$ |
| -18.52                     | 1197270            | 43                | $3.59 \times 10^{-5}$ |
| -19.52                     | 1196951            | 362               | $3.02 \times 10^{-4}$ |
| -19.77                     | 1196101            | 1212              | $1.01 \times 10^{-3}$ |
| -20.02                     | 1195299            | 2014              | $1.68 \times 10^{-3}$ |
| -20.27                     | 1193590            | 3723              | $3.11 \times 10^{-3}$ |
| -20.52                     | 1189702            | 7611              | $6.36 \times 10^{-3}$ |
| -20.77                     | 1182866            | 14447             | $1.21 \times 10^{-2}$ |
| -21.02                     | 1170169            | 27144             | $2.27 \times 10^{-2}$ |

En la figura 4 se muestra la curva BER vs. la potencia del receptor. La sensibilidad para un BER de  $10^{-3}$ , corresponde aproximadamente a -19.77 dBm (0.01122 mW), para tráfico enviado en banda base y -20.02dBm (0.01047 mW) modulado en 4QAM, todo esto a través de un enlace de fibra óptica con un presupuesto de perdidas variable entre 18.5 dB a 23dB. Por lo tanto, la diferencia de desempeño entre las curvas del BER es poca al transmitir estos dos tipos de tráfico. Conjuntamente se obtuvo los valores del EVM enlistado en la tabla 2. Nótese

Además, se observa la degradación del diagrama de constelaciones cuando el valor del BER aumenta a partir de  $10^{-3}$ .

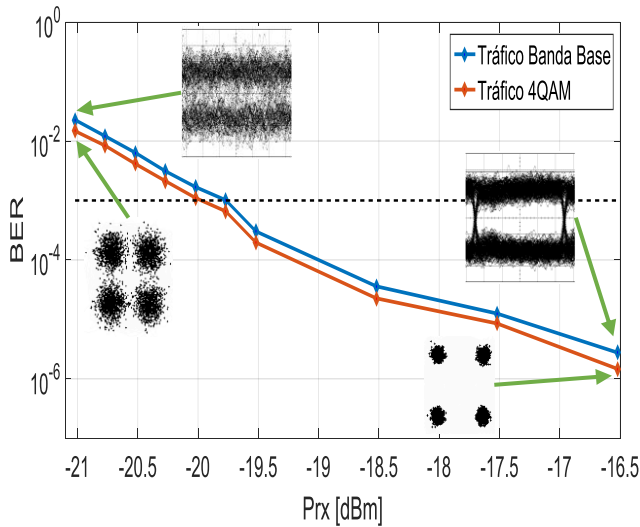


Figura 4. Gráfica del BER vs la potencia de recepción.

Tabla 2. Valores de EVM y BER para el tráfico modulado con 4QAM.

| Potencia de recepción (dBm) | EVM (%) | BER (tráfico convergente) |
|-----------------------------|---------|---------------------------|
| -16.52                      | 25.43   | $1.46 \times 10^{-6}$     |
| -17.52                      | 27.65   | $8.52 \times 10^{-6}$     |
| -18.52                      | 29.15   | $2.26 \times 10^{-5}$     |
| -19.52                      | 33.54   | $1.92 \times 10^{-4}$     |
| -19.77                      | 37.01   | $6.56 \times 10^{-4}$     |
| -20.02                      | 38.85   | $1.10 \times 10^{-3}$     |
| -20.27                      | 41.59   | $2.12 \times 10^{-3}$     |
| -20.52                      | 45.03   | $4.13 \times 10^{-3}$     |
| -20.77                      | 49.68   | $8.34 \times 10^{-3}$     |
| -21.02                      | 54.62   | $1.47 \times 10^{-2}$     |

## 4. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación hemos demostrado la transmisión de tráfico convergente en una red Metro-Ethernet empleando transceptores de bajo costo. Con  $-20.02$  dB de pérdidas en un enlace de 75 km se logra un BER de  $10^{-3}$ , que corresponde a un valor de EVM de aproximadamente 38%. La transmisión de información con modulación 4QAM logra un mejor desempeño en la tasa de bits enviados.

En el receptor se necesita al menos 0.5 dBm más para lograr el mismo Bit Error Rate con transmisión en banda base que lo que se logró con 4QAM.

## 5. Referencias

- [1] P. Testa, A. Germoni, R. Sabella, M. L. L. Caponecchia, and F. Scalise, "Ethernet Burst Transport : a Scalable Solution for Optical Metro Networks," no. 1, pp. 5–7, 2010.
- [2] W. Lautenschlaeger *et al.*, "Optical Ethernet - Flexible Optical Metro Networks," *J. Light. Technol.*, vol. 35, no. 12, pp. 2346–2357, 2017.
- [3] G. R. De Los Santos, M. Urueña, J. A. Hernández, and D. Larrabeiti, "On providing metro ethernet services over transparent WDM optical rings," *IEEE Netw.*, vol. 25, no. 1, pp. 14–19, 2011.
- [4] I. N. Cano, M. N. Tipán, and G. V Arévalo, "OFDM and LTE Data Convergence Test in Optical Access Networks," 2015.
- [5] R. Jmal and L. C. Fourati, "An overview of shortest path mechanisms for Metro-Ethernet networks," *2015 2nd World Symp. Web Appl. Networking, WSWAN 2015*, pp. 0–5, 2015.
- [6] J. Qiu, G. Mohan, K. C. Chua, and Y. Liu, "Handling double-link failures in metro ethernet networks using fast spanning tree reconnection," *GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conf.*, 2009.
- [7] G. Ethernet and T. Guide, "Ether.Genius Ether.Sync Ether.Giga."