

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED
FTTH/GPON EN EL CONTEXTO COLOMBIANO
PARA UNA PLATAFORMA MULTISERVICIO.**



Anteproyecto de Trabajo de Grado

**Mario Alberto Melo López
Iván Felipe Velasco Andrade**

Director: Mg. **Alejandro Toledo Tovar**
Codirector: Ing. **Gustavo Adolfo Gómez**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones GNTT
Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de comunicaciones
Popayán, Noviembre de 2016**

TABLA DE CONTENIDO

- 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**
- 2. ESTADO DEL ARTE**
 - 2.1. Trabajos relacionados
 - 2.2. Aportes
- 3. OBJETIVOS**
 - 3.1. Objetivo general
 - 3.2. Objetivos específicos
- 4. ACTIVIDADES, METODOLOGÍA Y CRONOGRAMA**
 - 4.1. Metodología
 - 4.2. Actividades
 - 4.3. Cronograma
- 5. RECURSOS, PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN**
 - 5.1. Recursos
 - 5.2. Presupuestos y fuentes de financiación
- 6. CONDICIONES DE ENTREGA**
- 7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**
- 8. ACTA DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. Cronograma de Actividades.....	7
--	---

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto y Fuentes de Financiación.....	8
---	---

ACRÓNIMOS

ATM: Asynchronous Transfer Mode, Modo de Transferencia Asíncrona.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa.

FIET: Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones.

FTTx: Fibre To The X, Fibra Hasta La X.

FTTH: Fibre To The Home, Fibra Hasta La Casa.

FTTB: Fibre To The Building, Fibra Hasta El Edificio.

FTTN: Fibre To The Node, Fibra Hasta El Nodo.

FTTC: Fibre To The Cabinet, Fibra Hasta El Gabinete.

FTTCS: Fibre To The Cell Site, Fibra Hasta La Celda.

GMPLS: Generalized Multiprotocol Label Switching, Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo Generalizado.

GPON: Gigabit-capable Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit.

GNTT: Grupo de Nuevas Tecnologías de las Telecomunicaciones.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

ITU-T: International Telecommunications Union- Telecommunications sector, Unión Internacional de las Telecomunicaciones - sector de Telecomunicaciones.

MPLS: Multiprotocol Label Switching, Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo.

NGN: Next Generation Networks, Redes de Nueva Generación.

OTN: Optical Transport Network, Red de Transporte Óptico.

P2MP: Point to Multipoint, Punto a Multipunto.

PON: Passive Optical Networks, Redes Ópticas Pasivas.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Síncrona.

SONET: Synchronous Optical Network, Red Óptica Síncrona.

WDM: Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, el campo de las redes de telecomunicaciones ha experimentado un crecimiento exponencial en el volumen de tráfico de datos, debido a la masificación de internet, el incremento de terminales inteligentes y el aumento masivo en la demanda de nuevos servicios de mejor calidad, disponibilidad, ancho de banda y velocidades superiores acorde a los nuevos intereses de los usuarios [1], razón por la cual los proveedores de servicios han visto la necesidad de mejorar la capacidad de sus redes, convirtiendo la fibra óptica en el medio de transmisión ideal, al ser capaz de soportar los servicios de nueva generación. Entre las principales ventajas de utilizar la fibra óptica, se destacan: mayor ancho de banda, mejor alcance, más seguridad en la señal, superior calidad, mejor flexibilidad y escalabilidad de red, inmunidad a interferencias electromagnéticas y menor degradación de las señales [2].

El crecimiento en las necesidades de ancho de banda, ha incentivado un rápido desarrollo de la tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda (*WDM*, *Wavelength Division Multiplexing*) que incrementa las capacidades de transporte de información de la fibra mediante la multiplexación de las señales ópticas de diferentes fuentes, permitiendo la implementación de distintas velocidades de transmisión de datos y protocolos sobre un único enlace [3]. El estándar DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) [ITU-T Rec. G.694.1] emerge como la mejor alternativa desarrollada para incrementar la capacidad de transporte de las redes existentes y como una tecnología robusta en el "Backbone" de redes multiservicios y redes de acceso móvil enfocado a las características de redes de próxima generación (NGN) [4].

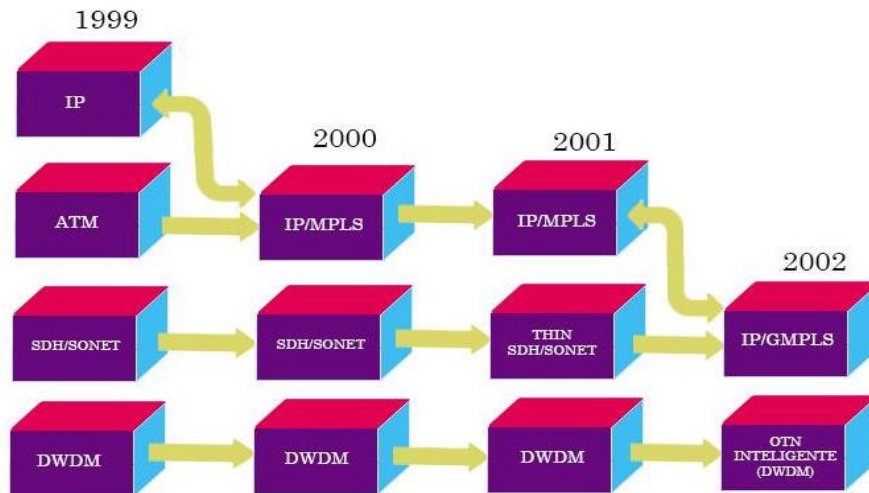


Figura No 1. Evolución de los modelos de sistemas de nueva generación óptica WDM

Como se aprecia en la figura No 1, la red de telecomunicaciones tradicional ha sido construida utilizando un modelo en capas IP/ATM/SDH/WDM (SONET). No obstante, la convergencia de las tecnologías hacia IP y los avances producidos en las tecnologías de transmisión óptica, han permitido la simplificación de este modelo. El primer cambio se presenta al conseguir trasladar los beneficios proporcionados por la capa ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) a la capa IP mediante el desarrollo del Multiprotocolo de Conmutación de Etiquetas (*MPLS*, *Multiprotocol Label Switching*), como un estándar IP de conmutación de paquetes. En el avance, hacia una arquitectura de red simplificada: IP/WDM; surge el Multiprotocolo de Conmutación de Etiquetas Generalizado (*GMPLS*, *Generalized*

Multiprotocol Label Switching), como la evolución de MPLS para soportar no solo la conmutación de paquetes, sino también la conmutación en el tiempo, en longitud de onda y espacio; facilitando la integración total en la parte del plano de control de las redes conmutación de paquetes IP y la redes ópticas (SDH/SONET y DWDM) [5].

Finalmente, la evolución en las tecnologías de transporte óptico ha permitido combinar los beneficios de la tecnología SDH/SONET con la transparencia y la capacidad de DWDM en una Red de Transporte Óptico (OTN, *Optical Transport Network*) dinámica e inteligente; que constituye hoy en día el marco perfecto de convergencia de las redes de nueva generación (NGN, *Next Generation Network*) [6].

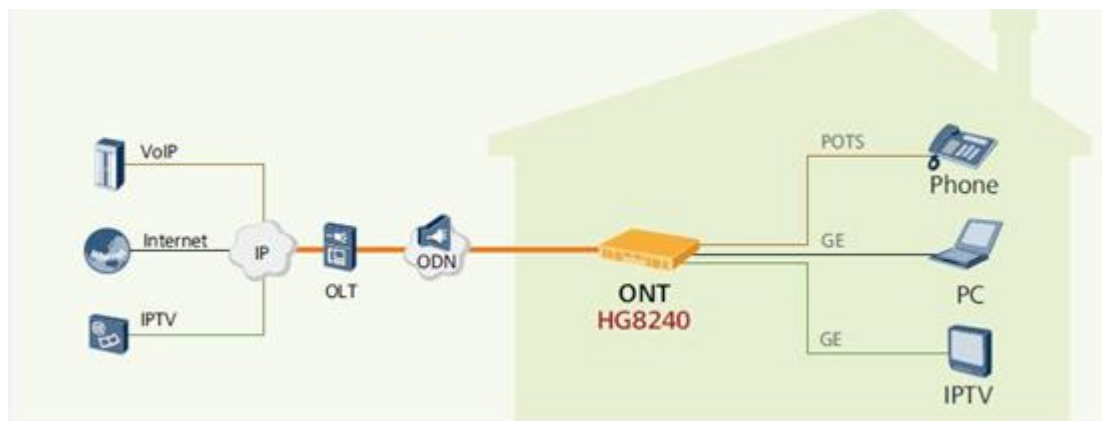


Figura No 2. Función del OTN en el diagrama de red [ref].

Entre los estándares más interesantes y prometedores que facilitan esta convergencia; cabe destacar en la parte de red de acceso, la Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit (GPON, Gigabit Passive Optical Network) [ITU-T series G.984], basada en una arquitectura punto a multipunto (P2MP) sin electrónicos activos. Existe una nueva generación de tecnologías de esta red conocidas como NG-PON (Next Generation-PON), en donde NG-PON1 definido en el estándar [ITU-T G.987.1], provee velocidades simétricas a 10 Gbps y NG-PON2 definido en la recomendación [ITU-T G.989], para el acceso multi-longitud de onda que utiliza Multiplexación por División de Longitud de Onda y Multiplexación por División de Tiempo (TWDM, Time and Wavelength Division Multiplexed), soporta entre 4 y 8 longitudes de onda por fibra, y cada una de ellas puede facilitar velocidades simétricas o asimétricas de 2.5 Gbps ó 10 Gbps [7], [8], [9].

Los diversos escenarios de despliegue de GPON han originado un conjunto de topologías denominadas FTTx (Fiber-To-The-x, donde “x” denota el punto de terminación de la fibra). Entre las arquitecturas más relevantes en la actualidad se tiene: fibra hasta la casa (FTTH), fibra hasta el edificio (FTTB), fibra hasta el nodo (FFTN), fibra hasta el gabinete (FTTC) (Curb), fibra hasta la celda (FTTCS) y (FTTdP), fibra hasta el punto de distribución [10].

FTTx/GPON es la mejor alternativa técnica y económica para el despliegue de redes construidas 100% en fibra, pretendiendo ofrecer servicios de conectividad multi-gigabit a gran escala con un costo razonable para proveedores de servicios y usuarios, proporcionando una capacidad virtualmente ilimitada desde el punto de vista físico y por tanto un gran potencial de evolución tecnológica sobre la fibra instalada; sin embargo en Colombia no existe un servicio implementado que ofrezca las prestaciones y la capacidad de una red FTTH/GPON debido, entre otros, a altos costos como lo ha

planteado la Comisión Europea en su reporte anual para promover el despliegue de redes FTTH. Al igual que en la gran mayoría de países del mundo, los problemas para el despliegue de redes de banda ancha ultra rápida(GPON) son:

- Altos costos de inversión en la red por la división de mercados y por las de múltiples reglas legales a nivel nacional y local para el tendido de redes.
- Dificultades en el acceso a la infraestructura de los operadores establecidos.
- Trámites de autorizaciones ante autoridades locales.
- Falta de preparación de las redes internas de los edificios para recibir redes de banda ancha [11].

Considerando que es deseo de los sistemas DWDM generar la convergencia a redes de tipo NG-PON2, las cuales desean migrar a velocidades de hasta 40 Gbps, donde su proceso de normatividad, estandarización y contribuciones técnicas es llevado a cabo por el grupo FSAN (full service access network group) y el grupo ITU-T SG15, desarrollándose en un marco de la serie UIT-T G.989. [12] para sistemas AON (All Optical Networks), en la práctica, con la tecnología disponible, dicha implementación no es posible debido a que las tecnologías de conmutación actuales como (Ethernet, IP, SDH, ATM) se basan en dispositivos que realizan conversiones opto eléctricas en los puertos de conexión de la fibra [13]. La mayoría de redes implementadas hasta el momento utilizan el transporte de señales por medio de fibra óptica hasta un gabinete en donde se transforma la señal de luz al dominio eléctrico y se distribuye a los usuarios finales por medio de cable coaxial (HFC) como tecnología de acceso desplegada en la última milla [14].

Debido a todo lo anterior, no se evidencia específicamente un análisis y/o evaluación de requerimientos de una red FTTH/GPON para ofrecer una plataforma multiservicio (como Triple Play), como tampoco una caracterización de la red mediante simulación a fin de aprovechar las grandes ventajas de esas tecnologías por parte de los operadores de telecomunicaciones en el contexto colombiano; de esta forma se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿A partir del análisis de los requerimientos y la simulación de una red FTTH/GPON para una plataforma multiservicio, es viable y se justifica tecnológica y financieramente, su implementación en el contexto colombiano?

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Trabajos relacionados

- **Contexto Internacional**

SIMULATION OF FIBER TO THE HOME TRIPLE PLAY SERVICES AT 2 GBIT/S USING GE-PON ARCHITECTURE FOR 56 ONUS.

SIMULACIÓN DE SERVICIOS TRIPLE PLAY CON FIBRA HASTA LA CASA A 2 GBPS USANDO LA ARQUITECTURA GE-PON PARA 56 ONUS.

Este trabajo es un estudio que evalúa y compara el diseño de un enlace FTTH-GE-PON para 56 suscriptores a una distancia de 20 km a una velocidad de 2Gbps, se enfoca en la realización de una simulación con diferentes valores de datos evaluando el comportamiento de la B.E.R en la red, concluyendo así que a medida que el número de usuarios incrementa más allá de 56 la B.E.R llega a un nivel inaceptable y que además al incrementar la velocidad a por ejemplo 5Gbps se observa un

incremento en la B.E.R. también se concluye que el usar un amplificador tipo booster puede reducir la B.E.R de tal forma que más usuarios pueden ser instalados en la red. Sin embargo, en este trabajo no se ofrece una especificación de los elementos utilizados y a la vez necesarios para llevar a cabo el diseño de una red FTTH-GPON, no realiza un análisis de costeo y tampoco habla sobre las limitaciones por reglamentos del gobierno y uso de infraestructura por parte de terceros en su país (India) [15].

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A FIBER TO THE HOME FTTH ACCESS NETWORK BASED ON GPON.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO DE FIBRA HASTA LA CASA FTTH BASADA EN GPON.

Este trabajo presenta un diseño e implementación detallada para una red de acceso FTTH-GPON atendiendo a 1000 usuarios en la localidad de Bagdad en Irak, se enfoca en presentar las características técnicas y explicar la contribución que cada elemento aporta en la red concluyendo la validez de la red al obtener pérdidas en la potencia de transmisión por debajo del límite superior de -23.196 dB aproximadamente en los resultados de implementación de la red, sin embargo, este estudio no realiza un análisis exhaustivo de los costos de implementación de la red además de basarse en la oferta de servicios de voz y datos únicamente y no de video [16].

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PRACTICAL FTTH NETWORK.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED FTTH PRÁCTICA.

En este trabajo se agrupan diferentes elementos pasivos para formar una red de acceso FTTH-GPON basada en WDM, luego se presenta el estudio de implementación de dicha red en la localidad de Bagdad en Irak. Este estudio se basa en la reutilización de la infraestructura de la arquitectura de una red de acceso existente en la región denominada ITPC, posteriormente especifica las características de la red que se desea diseñar presentando las características de cada elemento necesario para dicho diseño concluyendo que una solución de FTTH basada en WDM permite flexibilidad y adaptabilidad para soportar futuros servicios, sin embargo, en este trabajo no se presenta un análisis exhaustivo de los costos de implementación además de que en los servicios ofrecidos para los usuarios no se encuentra la transmisión de datos ni de video [17].

FIBER TO THE HOME (FTTH) NETWORKS BASED ON OCDM TECHNIQUE.

REDES FTTH BASADAS EN LA TÉCNICA OCDM.

En este estudio se explica en detalle una red de acceso FTTH basada en la técnica OCDMA (acceso múltiple por división de código óptico), dicho trabajo se basa en la realización de simulaciones en el software de Optisystem en el cuál se diseña una red FTTH con velocidad de 200Mbps para cada usuario en la cual se analiza el comportamiento de diferentes parámetros tales como la B.E.R, la distancia del cable de la fibra y la potencia transmitida. El estudio concluye que a medida que la distancia hasta el usuario, la tasa de bits y el número de usuarios aumenta la B.E.R se incrementa exponencialmente, además se encontró que la tasa de bit óptima mínima a 125 Mbps y la tasa de bit óptima máxima a 300Mbps puede transmitirse apropiadamente, sin embargo, en la red diseñada en este trabajo se realiza una limitación en la velocidad de acceso con respecto a la velocidad máxima de la fibra tendida hasta el usuario, además de extender la red para un número limitado de usuarios y utilizar exclusivamente la técnica de acceso OCDMA [18].

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA BRINDAR SERVICIOS TRIPLE PLAY EN EL SECTOR SANTIAGO ROLDÓS PARROQUIA XIMENA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Este es un artículo que referencia el estudio y solución a una problemática en la ciudad de Guayaquil que pretende diseñar una red FTTH para ofrecer servicios de Triple Play a una comunidad de algunos usuarios, se enfoca en una red con elementos pasivos para evitar la utilización de energía con una planta externa, hacer un análisis financiero para implementar dicha red y la descripción de los elementos que la componen en la última milla hacia los usuarios donde su inversión sería recuperable entre 3 y 5 años, sin embargo, el campo de estudio es limitado campo de estudio puesto que es solo una comunidad, no expone una simulación a nivel de software y tampoco un análisis específico de cada servicio [19].

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA, DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DE UNA RED DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES, MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE ACCESO FTTH EN EL CANTÓN GUALACEO PARA LA EMPRESA CNT E.P.

Este proyecto de grado hace referencia a un estudio financiero y técnico para la empresa CNT E.P, enfocado a obtener información sobre la demanda de servicios por parte de algunos usuarios en el sector del Cantón en el municipio de Gualaceo y de esta manera analizar la pre factibilidad de implementar una red basada en la tecnología de acceso FTTH, se obtienen resultados como la calidad de la señal en el usuario más lejano con valores de -19.8dB de pérdidas, que es menor que los -29dB (pérdida de presupuesto óptico que incluye los $+3\text{dB}$ de margen de resguardo) establecidos como máximos por la CNT y que por lo tanto se encuentra dentro del rango de las pérdidas máximas admisibles que soporta la red de manera que la señal llegue al receptor sin sufrir distorsión, con una inversión de implementación de \$1401275,3 recuperables a un plazo de 28 meses, sin embargo no se evidencia la red simulada con alguna herramienta o software, hacen una relación de spliteo de 1:32 usuarios llevando tan solo una velocidad máxima de 78Mps por usuario y su limitado campo de estudio [20].

DISEÑO DE UNA RED FTTH CON TECNOLOGÍA G-PON PARA UN SECTOR DE PAILLACO.

Se desarrolla un proyecto FTTH de la empresa Telefónica del Sur para la ciudad de Paillaco, Región de los Ríos en la provincia de Valdivia en Chile, este trabajo contempla el diseño de planta externa (desde la Central de telecomunicaciones hasta la caja de distribución de abonado), incluyendo demanda de usuarios, planos de diseño, cálculos de enlace, utilizaron el software propietario de la empresa Telefónica del Sur que permitió entender y aplicar la importancia de calcular la atenuación de un enlace de fibra. El valor de pérdida resultante de $-26,26\text{ dB}$ estuvo dentro del rango esperado (-28 dB), aunque el diseñador sabe que tiene una holgura de aproximadamente -4dB , realizan un análisis presupuestal y definen las características de los dispositivos a utilizar, sin embargo es una pequeña población a la que se realiza el estudio sin demostrar la velocidad ni capacidad exacta por abonado, sin un minucioso estudio de políticas y normativas de implementación y ausencia de una simulación que respalde los resultados y argumentos técnicos de la red [21].

PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UNA RED FTTH PARA UN MUNICIPIO.

Proyecto de grado que alude al estudio de una red con tecnología de acceso FTTH para un municipio de la provincia de Sevilla en España, basad en el objetivo de migrar una red ofrecida por una empresa mediante Wifi a una población de 4000 habitantes, enfocado a diseñar una red que ofrezca un ancho de banda común de 100Mbps por usuario, se define la topología de la red y las fases de implantación de la misma, se realiza un estudio para la obtención favorable al procedimiento de Calificación ambiental definido por la ley GICA y se justifica el cumplimiento de la legislación relacionada. Sin embargo tiene un enfoque más empresarial que técnico, donde caracterizan los elementos que compone la red pero no realizan simulación de ella. [22].

PROPUESTA DE UNA GUÍA GENERAL PARA EL DISEÑO DE REDES DE ACCESO DE ALTA VELOCIDAD.

Es un proyecto de grado que cuestiona cómo diseñar redes de acceso de alta velocidad que cumplan con las necesidades tecnológicas y económicas reales en la Cuba actual, proponer una guía de pasos generales para el diseño de una red de acceso de alta velocidad con altas prestaciones de servicios, tomando como escenario la provincia de Villa Clara.

Fue realizado un estudio sobre las recomendaciones internacionales de telecomunicaciones, los manuales de los equipos relacionados y los documentos existentes en ETECSA referente al tema, como base fundamental para comprender los pasos necesarios a seguir para la implementación de una red de acceso de alta velocidad.

Se logró llevar a la práctica la guía propuesta en la confección de una tarea técnica para la ciudad de Santa Clara, que fue propuesta a la dirección nacional de ETECSA, sin embargo es un análisis muy empresarial sin resultados reales ni simulados para obtener valores y conocer problemas técnicos, tampoco sustentan la capacidad y velocidad que tendrá cada usuario [23].

- **Contexto Nacional**

IMPACTO Y MASIFICACIÓN DEL USO DE LA REDES GPON EN COLOMBIA FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS.

Es un estudio basado en el análisis de la transmisión de datos mediante fibra óptica a través de GPON enfocado en las especificaciones y ventajas frente a otras tecnologías implementadas en Colombia y sus características en servicios como televisión, video y servicios multimedia argumentando en sus ventajas la utilización de elementos ópticos pasivos para la reducción de costos, sin embargo, además de ofrecer información general, no expone un trabajo minucioso y explícito de los requerimientos para la implementación de GPON mediante FTTH en la prestación de servicios Triple Play en Colombia. [1]

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE UNA RED GPON.

Este trabajo se basa en el análisis de una red GPON utilizando un software denominado VPI Transmission Maker, enfocado en la relación de la potencia del transmisor y la longitud de la fibra hasta el usuario final definido a nivel general, llegando a la conclusión de que se puede extender las distancias establecidas en la normatividad, presentando mínimas pérdidas de información, sin embargo enfatiza en tan solo dos aspectos de una red que utilice GPON como la potencia de transmisión y la distancia de la fibra, además de ser un estudio a nivel puramente técnico y utilizar un software diferente a *OptSim*®. [24]

ESTUDIO COMPARATIVO DE REDES GPON Y EPON.

Es un trabajo que se fundamenta en la comparación técnica, de características y costos de implementación entre las tecnologías GPON y EPON, enfocándose en las ventajas y desventajas a nivel técnico y económico de cada una, definido para cualquier país, obteniendo argumentos que justifiquen su implementación, no obstante este estudio se centra en un análisis comparativo entre dos redes y no se enfoca en los requerimientos necesarios para la implementación de las redes pasivas sobre FTTH en Colombia además de no sustentar resultados de la implementación de la red con simulaciones y no realizar una justificación económica de su despliegue en Colombia. [25]

ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS CORPORATIVOS SOBRE FIBRA ÓPTICA EN RED GPON PARA CLARO COLOMBIA SOLUCIONES FIJAS.

Este trabajo se basa en la definición de los aspectos correspondientes a la red GPON implementada en los servicios que ofrece la empresa Claro en Colombia, enfocándose en la necesidad de esta empresa de optimizar su tendido de fibra debido a la creciente demanda de usuarios concluyendo que la implementación de las redes pasivas conlleva a una solución óptima y efectiva pues el tendido de la fibra en esta red aumenta el ancho de banda, aumenta la eficiencia, reduce los costos, y aumenta cobertura, sin embargo su estudio especifica la optimización de un tendido sobre fibra ya existente utilizando la tecnología GPON para la prestación de servicios corporativos en donde no se especifica la implementación de FTTH, ni se obtienen resultados mediante simulaciones. [26]

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) PARA PRESTAR SERVICIOS TRIPLE PLAY A UN CONJUNTO RESIDENCIAL.

Este estudio se basa en un análisis y estudio de las redes pasivas GPON enfocándose en el desarrollo de una simulación mediante el software Optisystem comparando posteriormente los resultados obtenidos en la herramienta con cálculos teóricos para así verificar si el diseño de la red planteado cumple con los objetivos necesarios para ofrecer los servicios de triple play en un conjunto residencial en Pereira Colombia concluyendo que las redes ópticas pasivas son la mejor opción de acceso, sin embargo, es un proyecto definido solamente a nivel técnico específicamente para un conjunto residencial sin realizar un análisis económico, social y político requerido para su implementación en todo el país. [27]

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA AL HOGAR FTTH (FIBER TO THE HOME), A LA URBANIZACIÓN BARCELONA DE INDIAS.

Este proyecto de grado está basado en el estudio y diseño de una red FTTH enfocado a la prestación de servicios Triple Play a 60 casas de una urbanización en Cartagena donde se abordan conceptos técnicos de la tecnología, se detallan algunos componentes y se define una arquitectura de red, sin embargo se realiza el estudio en un campo de trabajo reducido, sin especificar la capacidad y velocidad con la que contarán los usuarios finales, se realiza el estudio solo en última milla sin tener en cuenta los problemas que se pueden generar en la red y no cuentan con una simulación en software que provea resultados y conclusiones. [28]

- **Institucional**

DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED DE ACCESO EPON PARA LA PRESTACIÓN DE UN SERVICIO IPTV EN COLOMBIA.

Este estudio está basado en el diseño de una red EPON enfocándose en la prestación de servicios de televisión a través del protocolo de internet (IPTV, *Internet Protocol Television*), teniendo en cuenta aspectos económicos, y de desempeño la red con el objetivo de identificar la capacidad de usuarios que es posible atender. El diseño de la red se lleva a cabo mediante una simulación en la herramienta *OptSim*®, en la que se evalúan diferentes parámetros de desempeño en diferentes condiciones de prueba. Se concluye que el desempeño de la red simulada tiene la capacidad de atender 32 usuarios haciendo uso de la codificación tipo MPEG-4, sin embargo, en este estudio se centra en una de las versiones de las redes ópticas pasivas (PON) sobre el estándar Ethernet IEEE802.3 (EPON) para la prestación del servicio de televisión a través del protocolo de internet (IPTV) a un nivel técnico y económico enfocándose solamente en uno de los servicios ofrecidos para plataformas multiservicio, sin especificar los parámetros necesarios para el despliegue de la red hasta la casa (FTTH) a nivel práctico, pues se desarrolla solamente a nivel de simulación. [29]

2.2. Aportes

El desarrollo de este proyecto ofrecerá:

- Un análisis detallado de los requerimientos de una red de alta velocidad usando fibra óptica para prestar servicios Triple Play basado en la tecnología FTTH/GPON.
- Aportes al fortalecimiento del estudio de factibilidad para la implementación, caracterización técnica y aspectos económicos de la red FTTH/GPON definida en el contexto Colombiano.
- Un importante conocimiento académico y empresarial para su utilización en investigación, futuros proyectos y uso comercial.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Presentar un estudio de factibilidad¹ para la implementación de una red FTTH/GPON en el contexto colombiano para una plataforma multiservicio.

3.2. Objetivos específicos

- Definir y analizar en el contexto colombiano, los requerimientos de una red FTTH/GPON para soportar un estándar multiservicio.
- Caracterizar mediante simulación en la herramienta *OptSim*®TM de Synopsis una la FTTH/GPON multiservicio definida en el objetivo anterior.
- Definir y analizar parámetros de desempeño para la red FTTH/GPON en el contexto colombiano y según la normalización actual.

¹ Factibilidad: se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.

4. ACTIVIDADES, METODOLOGÍA Y CRONOGRAMA

4.1. Metodología

Con el propósito de responder al problema de investigación y cubrir los objetivos fijados, para el desarrollo del proyecto se tomará como referencia el “Modelo Integral para un Profesional en Ingeniería” [30], el cual contiene los siguientes modelos de desarrollo:

- Modelo de Investigación Documental: el cual proporciona el soporte metodológico para desarrollar la base inicial de conocimiento.
- Modelo para la Construcción de Soluciones: el cual desarrolla los criterios utilizados en la obtención de resultados, los cuales podrán ser utilizados en investigaciones y trabajos futuros.

Para el desarrollo de las simulaciones se utilizará el programa *OptSim*® de la compañía Rsoft Desing Group. Se trata de un avanzado software de simulación de comunicaciones ópticas, diseñado para profesionales en ingeniería, que permite realizar investigaciones acerca de WDM y otros sistemas ópticos. Este software permite esencialmente determinar el desempeño de la red con respecto a los diferentes parámetros y componentes del sistema en cuestión, para lo cual utiliza avanzados modelos y algoritmos de simulación, los cuales garantizan gran precisión con resultados cercanos a los del mundo real [31].

El Modelo seleccionado para el desarrollo de las simulaciones, se basará en la metodología para la simulación de sistemas de telecomunicaciones utilizando como referente el documento [32].

Para el presente trabajo de grado se seleccionará y/o adaptará una metodología de simulación, para su aplicación en el análisis del sistema.

4.2. Actividades

Fase de investigación e identificación.

- **Actividad 1:** Recopilación de información referente a la tecnología, los protocolos que la preceden y aplicaciones FTTH y GPON.
- **Actividad 2:** Documentación relacionada con las tecnologías de comunicación que emplean redes GPON y sus aplicaciones en el entorno Colombiano.
- **Actividad 3:** Documentación acerca de las recomendaciones establecidas para el diseño de dichas redes.

Fase de diseño, implementación, simulación y pruebas.

- **Actividad 4:** Diseño de escenarios de simulación de redes de comunicaciones ópticas para entornos FTTH en redes GPON.

- **Actividad 5:** Elección y adaptación de una metodología de simulación para su aplicación en el análisis de los escenarios definidos.
- **Actividad 6:** Ejecución de la simulación en la herramienta *OptSim®* de *Synopsys, Inc.* sobre los escenarios definidos.

Fase de análisis.

- **Actividad 7:** Análisis de los efectos de velocidad, fidelidad y capacidad de la señal transmitida a través de la red implementada.
- **Actividad 8:** Determinación de los requerimientos técnicos y económicos necesarios para implementación de la red en Colombia.
- **Actividad 9:** Comparación de la red diseñada y obtenida con una de las redes convencionales utilizadas.

Fase de entrega.

- **Actividad 10:** Generación y entrega del Documento Final.
- **Actividad 11:** Generación y entrega del Artículo.
- **Actividad 12:** Preparación de sustentación.

4.3. Cronograma de actividades.



Figura No 3. Cronograma de Actividades

5. RECURSOS, PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

5.1. Recursos

En la Tabla 1., se presenta la información acerca de los recursos, presupuesto y fuentes de financiación que se utilizarán para el desarrollo del presente trabajo de grado, el tiempo estimado para la ejecución del proyecto es de 9 meses, con una intensidad horaria de 2 horas/semana de asesoría por parte del director del trabajo de grado y 40 horas semanales por parte de los estudiantes. El valor del punto para el año 2016 está fijado en \$12.120 M/cte.

- **Recursos Humanos:**

- Director de trabajo de grado: Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Especialista en Redes y Servicios Telemáticos, Magister en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones con disponibilidad de 2 horas semanales para asesorar el desarrollo del proyecto.
- Estudiantes: Dos estudiantes del programa de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones con dedicación de 40 horas semanales.

- **Recursos Hardware:**

- 1 Computadores Intel Core 2 Duo T5550, DD: 160GB, Memoria RAM 4096 o superior, con acceso a Internet.
- Impresora.

- **Recursos Software:**

- Herramienta de simulación *OptSim®* de Synopsis.
- Sistema operativo para el equipo con versiones superiores o iguales a Windows 7.
- Paquete de Microsoft Office 2013.

- **Recursos Bibliográficos:**

- Acceso a la documentación referida a los formatos avanzados de modulación para redes de fibra óptica.

- **Recursos Varios:**

- Acceso a Internet.
- Línea telefónica.
- Insumos varios como hojas de papel, tinta, etc.

5.2. Presupuestos y fuentes de financiación

<i>RUBROS</i>	<i>FUENTES</i>		<i>TOTAL</i>
	<i>Estudiantes</i>	<i>Universidad</i>	

1. Recursos Humanos			
• Director del Proyecto de Grado		\$ 2'181.600	\$ 2'181.600
• Estudiantes	\$ 34'905.600		\$ 34'905.600
2. Recursos Hardware			
• Computador	\$ 0.00	\$ 3'800.000	\$ 3'800.000
3. Recursos Software			
• Herramienta de simulación OptSim® de Synopsys (costo de uso) (40%)		\$6'400.000	\$6'400.000
4. Recursos Varios			
• Materiales e insumos	\$ 350.000	\$ 0.00	\$ 350.000
• Recursos bibliográficos	\$ 300.000	\$ 0.00	\$ 300.000
SUBTOTAL	\$ 35'555.600	\$ 12'381.600	\$ 47'937.200
AIU (20%)	\$ 7'111.120	\$ 2'476.320	\$ 9'587.440
TOTAL	\$ 42'666.720	\$ 14'857.920	\$ 57'524.640

Tabla 1. Presupuesto y Fuentes de Financiación

6. CONDICIONES DE ENTREGA

- Documento Final de Trabajo de Grado y anexos: se incluirá la base teórica, el análisis y los resultados a nivel de simulación.
- Artículo(s) que contendrá los resultados del proyecto.
- CD con toda la información generada a lo largo del desarrollo del trabajo de grado, en la que se incluirá el documento final, simulaciones realizadas y documentos de interés.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. A. Hernández, D. M. Espinosa, V. S. Gutiérrez, “IMPACTO Y MASIFICACIÓN DEL USO DE LAS REDES GPON EN COLOMBIA FRENTE A OTRAS TECNOLOGIAS”, artículo de reflexión, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”, No 1, vol 2, pp. 86-99, Enero 2011.
- [2] R. Millán, “GPON (Gigabit Passive Optical Network)”, *Ericsoon*, pp. 63-67, Enero, 2008.
- [3] D. Vásquez, “Estudio de redes de transporte óptico (OTN), como plataforma para redes multiservicios”, tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [4] D. Buelvas, I. Téllez, E. Mateus, “Redes ópticas DWDM: diseño e implementación”, *Revista Visión Electrónica*, año 4, No 1, pp. 70-80, Junio 2010.

- [5] C. Taşkın, H. Evirgen, H. Ekiz, A. Çakır, “Evolution of the Current Telecommunications Networks and the Next Generation Optical Networks”, *IEEE Xplore® Digital Library*, in *International Conference on Internet Surveillance and Protection (ICISP'06)*, Cap Esterel, Côte d'Azur, France, pp. 1-6, 2006.
- [6] C. Vásquez, T. Albán. “Diseño de una Red OTN Soportada en la Red de Transporte DWDM para CELEC EP-TRANSELECTRIC”, artículo de reflexión, *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*, Julio 2013, (En línea). Disponible: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1947>.
- [7] W. Feng, “The Requirements and Evolution to Next Generation Optical Access Network”, *Huawei Technologies Co., Ltd*, pp.1-20, 2009.
- [8] Huawei Technologies Co., Ltd, “Next - Generation PON Evolution”, *Huawei Technologies Co., Ltd*. Technical Staff, 2010.
- [9] J Kunstler, “TWDM PON is on the Horizon Facilitating fast FTTx network monetization”, *Ovum connects IT, Telecoms & Media*, 2014.
- [10] M. Diallo, A. Kora, O. Ringar, C. Aupetit, “Evolution to 200G Passive Optical Network”, *David Publishing Company*, Computer Technology and Application 3, pp. 723-728, 2012.
- [11] C. Palma, “FTTH como respuesta a la creciente demanda de ancho de banda”, *Cintel Proyectos TIC innovadores*, pp. 1-9, 2013.
- [12] K. Asaka, J. Kani, “Standardization Trends for Next-Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2)”, *NTT Technical Review*, Vol 13, No 3, pp. 1-5, Marzo 2015.
- [13] A Koçyiğit, D. gökişik, S Bilgen, “All – Optical Networking”, *Turk J Elec Engin*, Vol.9, NO.2 pp. 69-121, 2001.
- [14] Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) Republica de Colombia, “Condiciones de Calidad en la Prestación de servicios de Televisión en Colombia”, Septiembre 2014. [En línea]. Disponible: https://www.crcm.gov.co/recursos_user/Documentos_CRC_2014/Actividades_Regulatorias/Calidad_TV/Documento_soporte_calidadTV.pdf
- [15] D. Kocher, R.S. Kaler, R. Randhawa, “Simulation of fiber to the home triple play services at 2 Gbit/s using GE-PON architecture for 56 ONUs”, artículo, *Elsevier GmbH*, Volume 124, Issue 21, pp. 5007–5010, November 2013
- [16] M. Mahmoud, Al-Quzwini, “ Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON”, artículo, *International Journal of Computer Applications*, Volume 92 , No.6, pp. 30 – 42, Abril 2014.
- [17] D. J. Kadhim, N.A. Hussain “ Design and Implementation of a Practical FTTH Network”, artículo, *International Journal of Computer Applications*, Volume 72 , No.12, pp. 50 – 56, junio 2013.
- [18] S.S. El Faleet, “Fiber To The Home (FTTH) Networks based on OCDM Technique”, tesis de maestría, The Islamic University – Gaza, Franja de Gaza, Arabia Saudita, 2015.
- [19] J. Chalén, C. Cornejo, E. Del Rosario, “Análisis y Diseño de una red de Fibra Óptica FTTH para brindar servicios triple play en el Sector Santiago Roldós Parroquia Ximena de la Ciudad de

Guayaquil”, artículo de tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil-Ecuador, 2015

[20] C. Castillo, S. Figueroa, “Determinación de la demanda, dimensionamiento y diseño de una red de servicios de telecomunicaciones, mediante la tecnología de acceso FTTH en el Cantón Gualaceo para la empresa CNT E.P.” tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2013.

[21] A. Quinchagual, N. Rodríguez, “Diseño de una red FTTH con tecnología G-PON para un sector de Paillaco”, tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2013.

[22] M. Cano, A. Oria, “Proyecto de ejecución de una red FTTH para un municipio”, tesis de pregrado, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2015.

[23] Y. Sánchez, “Propuesta de una guía general para el diseño de Redes de Acceso de alta velocidad”, trabajo de pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2014.

[24] L. Gallego, E. Reyes, “Análisis y Evaluación de Parámetros de una Red GPON,” *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, pp. 95–98, 2014.

[25] M. López, E. Moschim, F. Rudge, “Estudio Comparativo de Redes GPON y EPON,” *Scientia et Technica*, No. 41, pp. 321-326, Mayo 2009.

[26] N. Castiblanco, “Estudio para la implementación de servicios corporativos sobre fibra óptica en red GPON para Claro Colombia soluciones fijas”, tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2014.

[27] P. A. Carmona, P. A. Montes, “Diseño y simulación de una red óptica pasiva PON para prestar servicios Triple Play a un conjunto residencial,” tesis de pregrado, Universidad Católica Popular del Risaralda, Pereira, Colombia, 2009.

[28] A. A. Verbel, R. J. Pérez, “Análisis y diseño de una red de fibra al hogar FTTH (fiber to the home), a la urbanización Barcelona de Indias”, tesis de postgrado, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia, 2013.

[29] L. Paredes, F. Andrade, “Dimensionamiento de una red de acceso EPON para la prestación de un servicio IPTV en Colombia,” tesis de pregrado, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2008.

[30] C. E. Serrano Castaño. “Modelo para Construcción de Soluciones, versión 1.0”, Grupo en Ingeniería Telemática. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Popayán, 2001.

[32] “OptSim™ Product Overview”. Publication Web. [En Línea]. Disponible: <https://optics.synopsys.com/rsoft/>.

[32] Pressman, R. S.; “*Ingeniería del Software, un enfoque práctico*,” Editorial Mc Graw Hill 2002.

8. ACTA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

UNIVERSIDAD DEL CAUCA FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES ACTA DE ACUERDO SOBRE LA PROPIEDAD INTELECTUAL DEL TRABAJO DE GRADO

En atención al acuerdo del Honorable Consejo Superior de la Universidad del Cauca, número 008 del 23 de Febrero de 1999, donde se estipula todo lo concerniente a la producción intelectual en la institución, los abajo firmantes, reunidos el día ____ del mes de _____ del 2017 en el salón del Consejo de Facultad, acordamos las siguientes condiciones para el desarrollo y posible usufructo del siguiente proyecto.

Materia del acuerdo: Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.

Título del Proyecto: Presentación del estudio de factibilidad para la implementación de una red FTTH/GPON en el contexto colombiano para una plataforma multiservicio.

Objetivo del proyecto: Estudio de factibilidad para la implementación de una red FTTH/GPON en el contexto colombiano para una plataforma multiservicio.

Duración del proyecto: 9 meses.

Los participantes del proyecto, el señor estudiante de pregrado Mario Alberto Melo López, identificado con la cédula de ciudadanía número 1.061'692.479 de Popayán Cauca a quien en adelante se le llamará "estudiante", el señor estudiante de pregrado Iván Felipe Velasco Andrade, identificado con la cédula de ciudadanía número 1.061'781.629 de Popayán Cauca a quien en adelante se le llamará "estudiante", el ingeniero Alejandro Toledo Tovar en calidad de Director del trabajo de grado, identificado con la cédula de ciudadanía 76.321.704 de Popayán a quien en adelante se le llamará "docente", y la Universidad del Cauca, representada por el ingeniero Oscar Josué Calderón identificado con la cedula de ciudadanía 10.523.038 en su calidad de Decano de la FIET, manifiestan que:

1.- La idea original del proyecto es del docente y los estudiantes, quienes la propusieron y presentaron al Departamento de Telecomunicaciones, que la aceptó como tema para el proyecto de grado en referencia.

2.- La idea mencionada fue acogida por los estudiantes como proyecto para obtener el grado de Ingenieros en Electrónica y Telecomunicaciones, quienes la desarrollarán bajo la dirección del docente.

3.- Los derechos intelectuales y morales corresponden al docente y a los estudiantes.

4.- Los derechos patrimoniales corresponden al docente, a los estudiantes y a la Universidad del Cauca por partes iguales y continuarán vigentes, aún después de la desvinculación de alguna de las partes de la Universidad.

5.- Los participantes se comprometen a cumplir con todas las condiciones de tiempo, recursos, infraestructura, dirección, asesoría, establecidas en el anteproyecto, a estudiar, analizar, documentar

y hacer acta de cambios aprobados por el Consejo de Facultad, durante el desarrollo del proyecto, los cuales entran a formar parte de las condiciones generales.

6.- Los estudiantes se comprometen a restituir en efectivo y de manera inmediata a la Universidad los aportes recibidos y los pagos hechos por la Institución a terceros por servicios o equipos, si el comité de Investigaciones declara suspendido el proyecto por incumplimiento del cronograma o de las demás obligaciones contraídas por los estudiantes; y en cualquier caso de suspensión, la obligación de devolver en el estado en que les fueron proporcionados y de manera inmediata, los equipos de laboratorio, de cómputo y demás bienes suministrados por la Universidad para la realización del proyecto.

7.- El docente y los estudiantes se comprometen a dar crédito a la Universidad y de hacer mención del Fondo de Fomento de Investigación, en los informes de avance y de resultados, y en registro de éstos, cuando ha habido financiación de la Universidad o del Fondo.

8.- Cuando por razones de incumplimiento, legalmente comprobadas, de las condiciones de desarrollo planteadas en el anteproyecto y sus modificaciones, alguno de los participantes deba ser excluido del proyecto, los derechos aquí establecidos concluyen para él. Además se tendrán en cuenta los principios establecidos en el reglamento estudiantil vigente de la Universidad del Cauca en lo concerniente a la cancelación y la pérdida del derecho a continuar estudios.

9.- El documento del anteproyecto y las actas de modificaciones si las hubiere, forman parte integral de la presente acta.

10.- Los aspectos no contemplados en la presente acta serán definidos en los términos del acuerdo 008 del 23 de febrero de 1999 expedido por el Consejo Superior de la Universidad del Cauca, del cual los participantes del acuerdo aseguran tener pleno conocimiento.

Alejandro Toledo Tovar
Director

Oscar Josué Calderón Cortes
Decano FIET

Gustavo Adolfo Gómez
Codirector

Mario Alberto Melo López
Estudiante

Iván Felipe Velasco Andrade
Estudiante