

CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE REDES GPON Y XGPON A
REDES 50GPON EN CIUDADES PRINCIPALES DE COLOMBIA

MARÍA PAULA RODRÍGUEZ CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ
2023

CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE REDES GPON Y XGPON A
REDES 50GPON EN CIUDADES PRINCIPALES DE COLOMBIA

MARIAPAULA RODRÍGUEZ CASTAÑEDA

PROYECTO DE GRADO

DIRECTORA JULIANA ALEJANDRA ARÉVALO HERRERA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ
2023

CONTENIDO

Glosario	8
Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
Problema	11
Objetivos.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos	13
Justificación	14
1. Capítulo 1: Tecnologías Basadas en Redes Ópticas Pasivas	15
1.1 Introducción a la Fibra Óptica	15
1.1.1 Composición Fibra Óptica	15
1.1.2 Clasificación Fibra Óptica.....	17
1.1.2.1 Fibra Multimodo.....	17
1.1.2.2 Fibra Monomodo	17
1.1.2.3 Topologías de Redes de Fibra Óptica (FTTx)	19
1.1.2.3.1 FTTB (Fiber to The Business/Building)	19
1.1.2.3.2 FTTC (Fiber to The Curb/Cabinet)	19
1.1.2.3.4 FTTH (Fiber to The Home)	20
1.1.2.3.4 FTTN (Fiber to The Neighborhood/Node)	21
1.1.2.3.5 FTTO (Fiber to The Office)	22
1.1.2.3.6 FTTP (Fiber to The Premises)	22
1.1.2.3.7 FTTR (Fiber to The Room)	22
1.2 Redes Ópticas Pasivas PON	22
1.2.1 Estandarización Redes PON	25
1.2.1.1 ATM (Asynchronous Transfer Mode)	26
1.2.1.1.1 APON	26
1.2.1.1.2 BPON	27

1.2.1.1.3 GPON.....	27
1.2.1.2 Ethernet	28
1.2.1.2.1 EPON	28
1.2.2 Ventajas Redes PON	28
1.2.3 Desventajas Redes PON.....	29
1.3 Estándares ITU (The International Telecommunication Union) / IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)	30
1.4 Resumen.....	31
2. Capítulo 2: Demanda Ancho de Banda y Tendencia de Mercado	32
2.1 Demanda Ancho de Banda	32
2.1.1 Demanda Ancho de Banda por Estrato	34
2.2 Penetración de Usuarios Según Operador	35
2.2.1 Tendencia de Mercado por Operador	35
2.3 Dimensionamiento Bogotá/Cali/Medellín	36
2.3.1 Tendencia de Distribución de Tecnología en Bogotá/Medellín/Cali	37
2.3.2 Tendencia de Suscripción de Usuarios por Operador en Bogotá/Medellín/Cali	39
3. Capítulo 3: Motivación para migración a tecnología 50G-PON	44
3.1 Introducción 50G-PON	45
3.1.1 Aspectos Técnicos a Evaluar	46
3.1.2 Ventajas 50G-PON.....	50
3.1.3 Desventajas 50G-PON	51
3.1.4 Comparativa con Tecnologías XG(S)-PON	53
3.1.5 Análisis de Migración a 50G-PON	55
3.1.5.1 Tipos de Infraestructura Actual	55
3.1.5.2 Planteamiento de Escenarios de Coexistencia	57
4. Capítulo 4: Estudio y Análisis de viabilidad de despliegue 50G-PON	59
4.1 Caso de estudio propuesto (Bogotá, Medellín y Cali)	59
4.2 Solución Problemática	61
4.2.1 Prueba de Funcionamiento de la solución	68
4.2.2 Diagrama de Gantt del proyecto.....	70

4.3 Consideraciones económicas.....	72
4.4 Consideraciones finales	82
Conclusión	84
Bibliografía.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa Fibra Óptica vs Cable Coaxial.....	16
Tabla 2. Comparativa GPON vs Otras Tecnologías Basadas en Fibra Óptica..	27
Tabla 3. Ventajas y Desventajas Redes PON.....	29
Tabla 4. Estandarización Redes PON.....	30
Tabla 5. Resumen Tecnologías PON (Capacidades).....	31
Tabla 6. Coexistencia 50G-PON con otras tecnologías (Longitud de onda).....	48
Tabla 7. Comparativa 10G-PON vs 50G-PON.....	54
Tabla 8. Especificaciones MA5800 – X7.....	63
Tabla 9. Especificaciones Licencias RTU, módulos ópticos y ONUs.....	64
Tabla 10. Especificaciones dispositivo MPM WDM integrado.....	67
Tabla 11. Diagrama de Gantt primera parte.....	70
Tabla 12. Diagrama de Gantt segunda parte.....	70
Tabla 13. Especificaciones económicas de costos de inversión para la ciudad de Bogotá.....	72
Tabla 14. Especificaciones económicas de costos de inversión para la ciudad de Medellín.....	72
Tabla 15. Especificaciones económicas de costos de inversión para la ciudad de Cali.....	73
Tabla 16. Especificaciones económicas de costos totales de inversión para Bogotá, Medellín y Cali.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura General Fibra Óptica.....	15
Figura 2. Estructura Fibra Multimodo.....	17
Figura 3. Estructura Fibra Monomodo.....	17
Figura 4. Estructura FTTB.....	19
Figura 5. Estructura FTTC.....	20
Figura 6. Estructura FTTH.....	21
Figura 7. Estructura FTTN.....	21
Figura 8. Estructura General PON.....	24
Figura 9. Estructura General PON Descendente.....	25
Figura 10. Estructura General PON Ascendente.....	25
Figura 11. Esquema longitud de onda 50G-PON.....	48
Figura 12. OLT Huawei MA5800 X7.....	62
Figura 13. Tarjeta de línea OLT FlexPON H902FLHF.....	65
Figura 14. Tarjeta de línea OLT FlexPON H902FLHF Datasheet.....	65
Figura 15. Módulo Óptico SFP XGS-PON&GPON OLT Class C+.....	66
Figura 16. Módulo Multi PON MPM WDM X PON (wdm3pon), WDM module, combine (split): GPON 2.5G / XGSPON 10G / NGPON2 40G.....	67
Figura 17. Huawei HN8010Ts, an XGS-PON bridging-type ONT.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de Tecnologías en Colombia.....	18
Gráfica 2. Preferencia de Paquetes Mbps.....	33
Gráfica 3. Distribución de Usuarios Según Estrato en Colombia	34
Gráfica 4. Penetración de Usuarios por Operador	35
Gráfica 5. Tendencia de Mercado por Operador	36
Gráfica 6. Tendencia de Distribución de Tecnología por Operador Bogotá	37
Gráfica 7. Tendencia de Distribución de Tecnología por Operador Medellín	38
Gráfica 8. Tendencia de Distribución de Tecnología por Operador Cali	38
Gráfica 9. Tendencia de Distribución de Usuarios por Operador Bogotá	39
Gráfica 10. Tendencia de Distribución de Usuarios por Operador Medellín	40
Gráfica 11. Tendencia de Distribución de Usuarios por Operador Cali	40
Gráfica 12. Evolución de estándares de las redes PON.....	46
Gráfica 13. Esquema línea del tiempo normativas ITU – T para 50G-PON.....	47
Gráfica 14. Especificaciones relevantes Redes 50G-PON.....	50
Gráfica 15. Ventajas de las Redes 50G-PON.....	51
Gráfica 16. Desventajas de las Redes 50G-PON.....	52
Gráfica 17. Método CEx (Elementos de Coexistencia Externos).....	57
Gráfica 18. Método MPM (Módulo Multi PON)	58
Gráfica 19. Concepto Home Passed y Home Connected.....	61
Gráfica 20. Topología de Acceso para caso de estudio.....	62
Gráfica 21. Topología de Acceso final para caso de estudio.....	63

GLOSARIO

Red Óptica Pasiva (PON): Utilizando componentes ópticos inactivos como cables y divisores de fibra óptica, una red óptica pasiva (PON) es una tecnología de telecomunicaciones utilizada para distribuir servicios de banda ancha como voz, televisión e Internet a diversos destinatarios, como hogares y empresas. La tecnología funciona transmitiendo señales luminosas a través de cables de fibra óptica desde un punto central como un centro de servicios hasta terminales ópticos ubicados en la ubicación del destinatario. No son necesarios dispositivos electrónicos en medio de la conexión. Ofrece un medio eficiente y rentable para prestar servicios de alta velocidad a un número significativo de consumidores.

Terminal de Línea Óptica (OLT): El terminal de línea óptica (OLT) es la columna vertebral de la red óptica pasiva (PON) situada dentro de los cimientos de la empresa de telecomunicaciones. Su responsabilidad es controlar y supervisar las señales luminosas enviadas a través de redes de fibra óptica a múltiples terminales de red óptica (ONT) o unidades de red óptica (ONU) ubicadas en las instalaciones del usuario final. Es fundamental para gestionar el tráfico de datos, voz y vídeo hacia y desde la ONT/ONU, además de gestionar el acceso a la red y la asignación de capacidad de transmisión. Esencialmente, es el eje central de PON y un componente integral para garantizar la prestación de servicios de telecomunicaciones de alta velocidad y la gestión de la infraestructura óptica.

Terminal de Red Óptica (ONT): Ubicado en la dirección del usuario en una Red Óptica Pasiva (PON), el Terminal de Red Óptica (ONT) funciona como un instrumento de telecomunicaciones. Su tarea principal es convertir señales ópticas, utilizando redes de fibra óptica, en señales eléctricas o de datos para dispositivos como computadoras, teléfonos y televisores. Actuando como enlace entre la infraestructura de fibra óptica del proveedor de servicios y los dispositivos de los clientes, la ONT permite servicios rápidos, como acceso a Internet, telefonía y televisión. Además de esta función básica, el ONT puede ofrecer características adicionales como enrutamiento, gestión de ancho de banda y medidas de seguridad para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la red en la ubicación del cliente, ya sea un hogar o una empresa. En resumen, el ONT es un componente fundamental en las redes de acceso de fibra óptica que facilita la conectividad y la entrega de servicios de comunicación de alta velocidad en el extremo del usuario final.

GPON (Gigabit PON): GPON, o red óptica pasiva gigabit, es una tecnología de telecomunicaciones de última generación que utiliza una infraestructura de fibra óptica para ofrecer servicios de alta velocidad, como acceso a Internet, telefonía y televisión de alta velocidad, a los usuarios en sus ubicaciones finales. GPON se destaca por su capacidad para transmitir datos a velocidades gigabit (1 Gbps o más) y su configuración punto a multipunto, lo que significa que una única fibra óptica puede servir a varios clientes, lo que la convierte en una solución altamente eficiente para implementaciones a gran escala. Esta tecnología se implementa globalmente para proporcionar conectividad de alta velocidad y servicios de comunicación avanzados, mejorando así la experiencia de los usuarios y permitiendo la entrega de una amplia variedad de aplicaciones y servicios en línea.

XG-PON (10-Gigabit PON): XG-PON, también conocida como Red Óptica Pasiva de 10 Gigabits o 10-Gigabit PON, es una tecnología de telecomunicaciones avanzada que opera a través de una infraestructura de fibra óptica y ofrece un significativo incremento en la velocidad y capacidad de transmisión, alcanzando velocidades de hasta 10 gigabits por segundo (Gbps) tanto en la dirección de descarga como en la de carga. Este avance en la tecnología PON hace posible ofrecer a los usuarios finales servicios de comunicación y acceso a Internet de alta velocidad, lo que la hace particularmente adecuada para aplicaciones que requieren un ancho de banda significativo, como transmisión de video de ultra alta definición, juegos en línea y aplicaciones comerciales sofisticadas. XG-PON se destaca al satisfacer la creciente demanda de conectividad de alta velocidad en un entorno que cambia constantemente.

NG-PON2 (PON de próxima generación 2): NG-PON2, también conocida como Red Óptica Pasiva de Próxima Generación 2, representa una tecnología avanzada en el ámbito de las redes de fibra óptica que ofrece una impresionante capacidad de transmisión de datos, superando los 40 gigabits por segundo (Gbps) en ambas direcciones. Esta evolución en las redes PON proporciona una solución escalable y adaptable mediante la utilización de múltiples longitudes de onda y técnicas de multiplexación para admitir una amplia variedad de servicios, que van desde la prestación de acceso a Internet de altísima velocidad hasta la provisión de servicios empresariales de alto nivel. NG-PON2 desempeña un papel fundamental en la mejora de la conectividad de alta velocidad y en la satisfacción de las crecientes demandas de ancho de banda en el campo de las telecomunicaciones.

PON con Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM-PON): La tecnología de red de fibra óptica conocida como WDM-PON, o red óptica pasiva de

multiplexación por división de longitud de onda, permite la transmisión simultánea de múltiples señales de datos independientes a través de una única fibra óptica utilizando varias longitudes de onda para cada señal, de luz. Esto posibilita una gran capacidad de multiplexación y un incremento significativo en la capacidad de la red, lo que facilita la entrega eficiente de servicios de comunicación de alta velocidad, como acceso a Internet de banda ancha, voz y video, a varios usuarios finales. WDM-PON se destaca por su capacidad para satisfacer las crecientes necesidades de ancho de banda y su escalabilidad, haciéndola especialmente apropiada para despliegues en entornos donde se requiere un rendimiento óptimo y la distribución eficaz de servicios de comunicación avanzados.

Divisor: Un divisor óptico es un dispositivo empleado en sistemas de fibra óptica que posibilita la separación de una señal de luz de entrada en múltiples señales de luz, direccionándolas hacia diferentes trayectorias o destinos. Esto se consigue mediante la técnica de repartir la intensidad de la señal de entrada de forma uniforme o en proporciones específicas entre las salidas del divisor. Los divisores ópticos desempeñan un papel fundamental en las redes de fibra óptica al permitir la distribución eficaz de la señal óptica a múltiples destinos, como terminales de usuarios o dispositivos de red, sin requerir la utilización de componentes electrónicos activos.

Flujo de Datos Abajo (Downstream): Hace referencia a la dirección de transmisión de datos en una red de comunicaciones, donde la información se desplaza desde la fuente o servidor hacia el usuario final. En este contexto, el "downstream" representa la ruta por la cual los datos, ya sea en forma de archivos, contenido multimedia u otra información, se transmiten desde el punto central de la red, como un proveedor de servicios de Internet o un servidor, hasta el dispositivo del usuario, como una computadora, tableta o televisor. Este flujo es esencial para actividades como navegar por la web, ver videos en streaming o descargar archivos, ya que permite al usuario recibir la información necesaria desde la fuente para su visualización o acceso. En resumen, el "downstream" denota la dirección de datos que va desde la fuente hacia el usuario en una red de comunicaciones.

Flujo de Datos Arriba (Upstream): Hace referencia a la dirección en la que los datos fluyen en una red de comunicaciones, donde la información se origina en el usuario o dispositivo final y se envía hacia la fuente o servidor. En este contexto, el término "upstream" representa la ruta que siguen los datos generados por el usuario, como solicitudes web, carga de archivos o datos de entrada, mientras se desplazan desde su dispositivo hacia el centro de la red, que puede ser un servidor

o el proveedor de servicios. Esta dirección es esencial para tareas como enviar correos electrónicos, cargar contenido en la web o interactuar en tiempo real con aplicaciones, ya que permite que el usuario transmita información al sistema central para su procesamiento o almacenamiento. En resumen, el "upstream" indica la dirección de datos que parte del usuario y se dirige hacia la fuente en una red de comunicaciones.

Ancho de Banda: Es la capacidad que tiene una red o canal de comunicación para enviar datos durante un tiempo determinado, es decir, la cantidad de datos que se pueden transmitir a través de una red en un período de tiempo determinado, normalmente se mide en bits por segundo (bps) en el campo de las tecnologías de la comunicación, como Internet o las redes de telecomunicaciones. Un ancho de banda más amplio indica una mayor capacidad para enviar información de manera rápida y eficiente, lo que se traduce en una mejor calidad de conexión, tiempos de respuesta más rápidos y una mayor capacidad para soportar actividades como la transmisión de video en alta definición, descargas de archivos grandes o la realización de videoconferencias sin interrupciones. El ancho de banda desempeña un papel esencial en la infraestructura de las comunicaciones modernas y es fundamental para la prestación de servicios de alta velocidad y el rendimiento de las redes.

Multiplexación por División de Tiempo (TDM): Hace referencia a la técnica de comunicación conocida como Multiplexación por División de Tiempo, en inglés Time Division Multiplexing. En el TDM, múltiples flujos de datos se combinan en un solo canal de transmisión compartido, pero en lugar de transmitirlos simultáneamente, se les asigna un intervalo de tiempo específico para su transmisión. Esto implica que los datos de cada fuente se envían secuencialmente, uno tras otro, en un ciclo repetitivo. Esta estrategia se utiliza en diversas aplicaciones, como la transmisión de voz en redes telefónicas, la transferencia de datos en redes informáticas y la distribución de señales digitales en sistemas de comunicación. La principal ventaja es que permite aprovechar eficazmente la capacidad del canal de transmisión y garantiza que cada fuente de datos tenga la oportunidad de ser transmitida, lo que facilita una comunicación organizada y confiable.

Red Punto-Multipunto (P2MP): Se refiere a una configuración de red en la cual un único punto de origen o transmisor se conecta con múltiples puntos de destino o receptores. Esta estructura de red posibilita que la información sea transmitida desde un punto central hacia varios receptores de manera simultánea, lo que resulta beneficioso en diversas aplicaciones, como la difusión de contenido, las

transmisiones en vivo, la distribución de datos a múltiples usuarios o la creación de conexiones de comunicación eficientes en contextos inalámbricos y de fibra óptica. La tecnología P2MP es ampliamente empleada en el campo de las telecomunicaciones y las redes para facilitar la propagación de información desde una fuente única hacia varios destinos, optimizando así la eficiencia en la transmisión de datos y la distribución de servicios.

Red Punto a Punto (P2P): Es un modelo de comunicación y compartición de información en el que cada miembro de la red desempeña roles de cliente y servidor simultáneamente, permitiendo la conexión directa entre dispositivos sin depender de un servidor central. En esta estructura descentralizada, los usuarios tienen la capacidad de intercambiar recursos, archivos o servicios directamente entre ellos, lo que da lugar a una red más distribuida y menos vulnerable a fallos. Las redes P2P se han utilizado ampliamente para compartir archivos, aplicaciones y contenido en línea, y han impulsado el desarrollo de tecnologías como BitTorrent y sistemas de intercambio de archivos. Este modelo de comunicación es reconocido por su eficiencia en la distribución de contenido y su capacidad para operar en situaciones donde la disponibilidad de servidores centralizados es limitada o costosa.

Corrección de Errores hacia Adelante (FEC): Es una estrategia empleada en las comunicaciones y la transferencia de datos con el propósito de mejorar la integridad de la información transmitida. Implica la adición deliberada de bits redundantes a los datos previo a su envío, lo que permite detectar y corregir errores en el receptor sin requerir una retransmisión de datos. La FEC resulta particularmente beneficiosa en ambientes susceptibles a errores, como redes inalámbricas o canales de comunicación ruidosos, donde puede asegurar una recepción precisa de los datos. Esta técnica proporciona una mayor confiabilidad y eficiencia en la transmisión de información al minimizar la necesidad de reenviar datos y asegurar una comunicación más sólida y segura.

Red de Área Local Virtual (VLAN): Es un método de división de redes que posibilita la subdivisión de una red física en múltiples redes lógicas independientes, a pesar de compartir la misma infraestructura física. Esto se realiza mediante la asignación de etiquetas o identificadores llamados "etiquetas VLAN" a grupos de dispositivos o puertos de red. Estos conjuntos de dispositivos etiquetados pueden comunicarse entre sí como si estuvieran en redes físicas distintas, aislados de otros grupos. Las VLAN se emplean para mejorar la seguridad, la gestión y el rendimiento de una red, permitiendo que diferentes departamentos, equipos o aplicaciones operen en segmentos de red separados sin la necesidad de crear nuevas redes.

físicas. Este enfoque es ampliamente utilizado en empresas y centros de datos para optimizar la organización y administración de la infraestructura de red.

Calidad de Servicio (QoS): Se refiere a una tecnología y conjunto de protocolos empleados en redes de comunicación con el propósito de gestionar y dar prioridad al tráfico de datos, garantizando así un rendimiento óptimo y una experiencia satisfactoria para los usuarios. La QoS se centra en asignar niveles de prioridad a distintos tipos de tráfico, como voz, video o datos, con el objetivo de asegurar que los servicios críticos reciban la cantidad adecuada de ancho de banda y recursos, incluso en situaciones de congestión de la red. Esto permite reducir la latencia, prevenir interrupciones y mejorar la calidad de la comunicación en tiempo real, como las llamadas de voz sobre IP o las transmisiones de video en línea. La implementación de QoS es esencial en diversos entornos, desde redes empresariales hasta proveedores de servicios de Internet, para proporcionar una experiencia de usuario coherente y confiable en redes de alta demanda.

Operaciones, Administración y Mantenimiento (OAM): Constituye un conjunto de funciones y protocolos esenciales en el ámbito de las redes de telecomunicaciones y tecnologías de red. Su propósito radica en supervisar, gestionar y preservar el rendimiento y la disponibilidad de la infraestructura de la red, englobando tareas como la detección y solución de problemas, la configuración y administración de dispositivos, y la garantía de la calidad del servicio. Las capacidades OAM habilitan a los responsables de redes a controlar el estado de la red, llevar a cabo diagnósticos, administrar recursos y asegurarse de que los servicios de comunicación operen de manera eficaz y fiable. En resumen, OAM desempeña una función vital en la supervisión y operación eficiente de las modernas redes de comunicación.

Small Form-factor Pluggable (SFP): Es un tipo de módulo óptico compacto y modular empleado en redes de comunicación para la transmisión de datos a través de fibras ópticas. Estos módulos se insertan en puertos SFP de conmutadores, enrutadores u otros dispositivos de red compatibles, permitiendo una conectividad de red flexible y adaptable. Los SFP están disponibles en diversas variantes, incluyendo SFP de una o dos fibras, y son compatibles con diferentes velocidades y distancias de transmisión, lo que los hace aptos para una amplia variedad de aplicaciones, desde conexiones de corta distancia en centros de datos hasta enlaces de larga distancia en redes metropolitanas.

Wavelength Division Multiplexing (WDM): Es una tecnología utilizada en redes de fibra óptica para aumentar la velocidad de transmisión de datos, permite transmitir datos simultáneamente a través de una variedad de longitudes de onda de luz, combinando múltiples señales de luz con diferentes longitudes de onda en una sola fibra óptica. Esto da como resultado un uso más eficaz del ancho de banda de fibra óptica y, como resultado, una mayor capacidad de transmisión de datos, lo cual es crucial para las redes de alta velocidad y la prestación de servicios de telecomunicaciones avanzados como el acceso a Internet de alta velocidad, videoconferencias y transmisión de contenido multimedia. El desarrollo y la mejora de las redes de fibra óptica se ven muy favorecidos por la tecnología WDM, que permite transmitir de manera eficiente grandes cantidades de datos a distancias muy largas.

RESÚMEN

En la actualidad, las redes PON desempeñan un papel crucial en la transformación de las redes de acceso fijo, marcando una transición importante de tecnologías basadas en cobre hacia la fibra óptica. Estos avances se sustentan en estándares reconocidos, como los definidos por la ITU-T, que regulan los procesos de telecomunicaciones estimulando el desarrollo de tecnologías basadas en PON que se adaptan a las necesidades emergentes de la sociedad. Entre las tecnologías notables se encuentran GPON (Gigabit Passive Optical Network), XGS-PON (10 Gigabit Symmetric Passive Optical Network), NG-PON (Next Generation Passive Optical Network) y la propuesta más reciente, 50G-PON (50 Gigabit Passive Optical Network).

El propósito principal de esta monografía es realizar un análisis comparativo entre las redes de acceso fijo 10G-PON y 50G-PON. Inicialmente, se destacará la importancia de la transición hacia 50G-PON debido a sus capacidades técnicas y su relevancia en diversos escenarios de aplicación, como el metaverso, WiFi 5/WiFi 6, realidad virtual, realidad aumentada, 5G, entre otros.

PALABRAS CLAVE: PON, GPON, XSGPON, 50GPON, Symmetric, Optical, Redes, Velocidad, Rendimiento, Evolución, Reestructuración, Era digital, Conectividad, Renovación, Accesibilidad, Implementación.

ABSTRACT

Currently, PON networks play a crucial role in the transformation of fixed access networks, marking a significant shift from copper-based technologies to optical fiber. These advancements are grounded in recognized standards, such as those defined by the ITU-T, which govern telecommunications processes and stimulate the development of PON-based technologies that adapt to emerging societal needs. Among the notable technologies are GPON (Gigabit Passive Optical Network), XGS-PON (10 Gigabit Symmetric Passive Optical Network), NG-PON (Next Generation Passive Optical Network), and the most recent proposal, 50G-PON (50 Gigabit Passive Optical Network).

The primary purpose of this monograph is to conduct a comparative analysis between fixed access networks of 10G-PON and 50G-PON. Initially, we will emphasize the significance of transitioning to 50G-PON due to its technical capabilities and relevance in various application scenarios, such as the metaverse, WiFi 5/WiFi 6, virtual reality, augmented reality, 5G, among others.

KEY WORDS: PON, GPON, XSGPON, 50GPON, Symmetric, Optical, Networks, Speed, Performance, Evolution, Restructuring, Digital Era, Connectivity, Renewal, Accessibility, Implementation.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de las generaciones, las tecnologías digitales han avanzado continuamente, optimizando procesos y abordando las crecientes necesidades de la sociedad. Estos avances se centran en aspectos como velocidad, latencia, ancho de banda, equipos y mantenimiento, impulsando la evolución de las telecomunicaciones en beneficio del usuario.

Anteriormente, la mayoría de los operadores de redes solían adoptar soluciones basadas en el acceso por cobre. Sin embargo, con el paso del tiempo y la rápida evolución de los escenarios de aplicación, surgió una tecnología que gradualmente comenzó a reemplazar el acceso de cobre por fibra óptica. Esta transición dio lugar a la creación de nuevas redes de acceso basadas en tecnologías PON, implementando topologías basadas en GPON (Gigabit). No obstante, el crecimiento que ha surgido de la demanda de consumo por parte de los usuarios en campos de economía, medicina, educación, y demás, que traen consigo requerimientos de mejor calidad de videos, servicios de carga y descarga, juegos en línea, telemedicina y muchos otros, han dado camino para la idealización y puesta en marcha de tecnologías que contribuyan a llegar a ese futuro tan esperado más allá de FTTH. De acuerdo a lo anterior, en la actualidad 10G-PON es una de las tecnologías que ha superado el mercado de tendencia en GPON con un incremento de capacidades más grandes de lo que se esperaba en la industria, sin embargo, es necesario comprender que hay que anticipar nuevos cambios y por ende nuevas soluciones en línea de investigación para el paso gradual que se espera. Es por ello, que en el siguiente trabajo de grado se revisará las tecnologías de PON disponibles en el mercado e implementadas en las principales ciudades de Colombia (Bogotá, Cali, Medellín) como son GPON y XGPON. De igual manera se presentará 50GPON para hacer comparación entre sus características, la necesidad de adaptación de la misma, y como sería el paso migratorio en las redes actuales para el despliegue de esta tecnología.

PROBLEMA

En la actualidad, en Colombia, el uso de Internet y su capacidad, ha influido en diversas actividades que los usuarios demandan, como el trabajo remoto, la educación en línea y el entretenimiento de manera más eficiente y sin interrupciones, lo que a su vez contribuye a mejorar el nivel de comodidad de los usuarios al acceder a servicios en línea. Sin embargo, en muchas áreas, las velocidades actuales resultan insuficientes, lo que puede tener un impacto negativo en la productividad y la calidad de vida de las personas.

Se pueden considerar varias causas que afectan las velocidades en las redes fijas, incluida la congestión de la red cuando múltiples usuarios están conectados al mismo tiempo, hardware defectuoso y problemas de rendimiento de dispositivos, así como interferencias en la señal. Según la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, las redes fijas enfrentan desafíos para proporcionar servicios de alta velocidad debido a los altos costos operativos y de mantenimiento, así mismo, es difícil extender la cobertura a zonas rurales debido a los costos y la falta de usuarios suficientes (Camargo, 2008).

Por otro lado, empresas como Telefónica señalan que las redes fijas han evolucionado para ofrecer mayor flexibilidad y eficiencia, con un enfoque en tecnologías como 5G y Fibra. El 5G ofrece una revolución tecnológica al proporcionar una conexión de internet de alta velocidad y mayor eficiencia en comparación con el 4G, mejorando hasta en un 90% la relación entre la cantidad de tráfico y el rendimiento. La tecnología de Fibra, en particular FTTx, conlleva hasta un 85% más de eficiencia energética que tecnologías como el cobre (Telefónica, s.f.).

Las redes basadas en dispositivos pasivos, conocidas como PON (Passive Optical Network), han permitido velocidades de hasta 10 GPON (10 Gigabit Passive Optical Network) y, progresivamente, redes de 50GPON (50 Gigabit Passive Optical Network). Por tanto, es óptimo decir que existe la necesidad de la constante evolución de tecnologías involucrando un crecimiento en los servicios ofertados a los usuarios. Este trabajo se enfoca en el estudio de tecnologías basadas en FTTx y PON en el país, considerando la necesidad técnica y evolutiva de migrar hacia tecnologías como 50GPON desde una perspectiva técnica.

Es por ello, que en el presente trabajo se involucra el estudio de tecnologías basadas en FTTx en Colombia, dado que a nivel global se sitúa en el puesto 101 en

cuanto a velocidad de internet, y un promedio de hasta 17,99 Mbps según un artículo de la BBC (Mundo, 2019) que permiten la construcción de nuevos campos de solución de problemáticas actuales como la necesidad técnica y evolutiva del desarrollo de las redes basadas en PON, considerando la posibilidad migratoria a la reciente tecnología de 50G-PON en el país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer las condiciones de demanda y cambio en la infraestructura que permitan la migración de redes actuales GPON y XGPON con las características de aquellas presentes en Bogotá, Medellín o Cali, al nuevo estándar 50GPON.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar las diferentes tecnologías basadas en Redes Ópticas Pasivas para examinar el por qué y cómo han evolucionado hasta la actualidad.

Describir la demanda de ancho de banda y las tendencias de mercado (según los proveedores de servicios de acceso), para determinar la necesidad de nuevas tecnologías.

Exponer la motivación para la migración a la tecnología 50GPON basadas en Redes Ópticas Pasivas.

Elaborar un caso de estudio que permita describir el proceso de migración a una tecnología de despliegue en 50GPON.

JUSTIFICACIÓN

La principal razón de esta monografía radica en la exigencia de examinar y adquirir conocimiento acerca de la tecnología 50G-PON como una progresión de las redes basadas en fibra óptica para el acceso a internet. Con el progreso de la sociedad y el surgimiento de nuevas demandas en áreas como la economía, medicina, educación y otros, se hace imprescindible contar con una mayor capacidad y calidad en los servicios de comunicación y conexión.

Históricamente, las soluciones basadas en acceso por cobre han sido utilizadas por muchos operadores de redes, pero con el tiempo, la fibra óptica ha surgido como una opción que ofrece una eficiencia y rendimiento superiores en comparación con otras alternativas disponibles. Las tecnologías PON, con énfasis en GPON, han sido ampliamente desplegadas para construir redes de acceso de alta velocidad.

Sin embargo, la demanda es cada vez mayor cuando de usuarios finales se trata, abarcando calidad de video, servicios de transferencia de datos, juegos en línea, telemedicina y otros aspectos relacionados continúa en aumento, ha llevado a la necesidad de investigar y desarrollar tecnologías que superen las capacidades actuales de las redes de fibra óptica, como el GPON. Es en este contexto que surge la tecnología 10G-PON, la cual ha demostrado un incremento significativo en capacidad en comparación con el GPON, pero se espera que en el futuro se requieran aún mayores capacidades.

Es por eso que este trabajo se propone explorar la tecnología de 50G-PON como una solución potencial para satisfacer las necesidades futuras de conectividad de alta velocidad. El objetivo principal es analizar las características de esta tecnología y evaluar su adaptación en las redes actuales. Esto implica analizar los requisitos técnicos, las ventajas y los desafíos asociados con la implementación de 50G-PON, así como diseñar un plan de migración gradual desde las tecnologías existentes hacia esta nueva tecnología.

En resumen, este trabajo busca anticipar los cambios futuros en las redes de acceso y proporcionar una perspectiva y análisis sobre la tecnología de 50G-PON, con el propósito de fomentar el progreso y desarrollo de las telecomunicaciones, así como asegurar que las demandas de conectividad de alta velocidad de la sociedad sean satisfechas de manera óptima y eficaz.

CAPÍTULO 1

TECNOLOGÍAS BASADAS EN REDES ÓPTICAS PASIVAS

1.1 INTRODUCCIÓN A LA FIBRA ÓPTICA

Este concepto se explica según la *Comisión Interamericana de Telecomunicaciones* como “una guía de onda en forma de hilo de material altamente transparente diseñado para transmitir información a grandes distancias utilizando señales ópticas” (Jorge Pierri, 2010).

Teniendo lo anterior en cuenta, la fibra óptica nace a mediados de 1966 como propuesta para uso en las comunicaciones, esto después de un arduo proceso en el desarrollo de posibilidades entorno a la utilización de la luz, denominada rayo láser, con el cual se quería llegar a cubrir una alta demanda y una gran transmisión de velocidades, sin embargo, al ser muy limitada por diferentes factores, se hizo énfasis en estudios especializados en óptica de manera que se pudiera llevar a través de un canal, para conocer hoy en día lo que es el concepto de fibra óptica. Ya en 1977, se inició la primera prueba en Inglaterra y posteriormente se procedió a producir grandes cantidades de esta.

1.1.1 COMPOSICIÓN FIBRA ÓPTICA

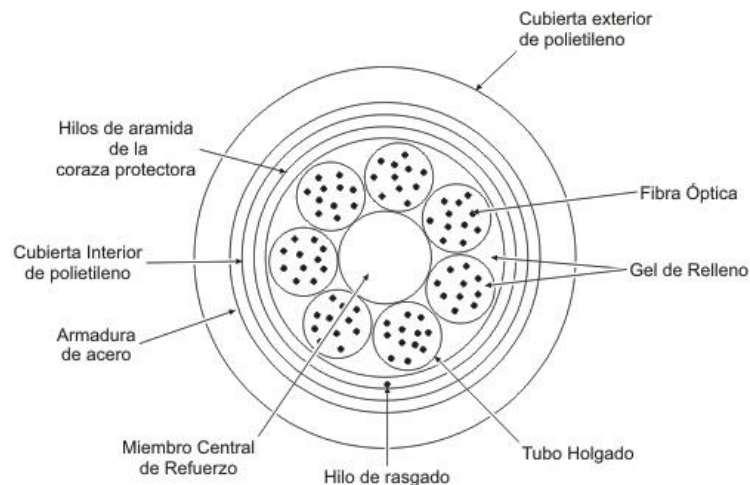


Figura 1. Estructura general Fibra Óptica

En la figura 1, la estructura precisa de la fibra óptica que se puede observar, consiste en un hilo extremadamente delgado y flexible, pero a su vez, muy delicado, está

fabricado generalmente por materiales no conductores de cargas eléctricas, conocido como material dieléctrico. Con respecto a su índice de refracción, es capaz de transmitir señales con muy poca pérdida de intensidad, incluso cuando el cable se dobla. La fibra óptica constituye tres partes elementales: el núcleo, el revestimiento (con un índice de refracción menor que el del núcleo) y el recubrimiento (que envuelve externamente a la fibra) (MinTIC, s.f.).

Gracias a estos componentes y estructura es uno de los medios más utilizados en las telecomunicaciones ya que en comparativa a otros medios, esta es más liviana, permitiendo que haya una fácil instalación, además de otras características como lo es su técnica de funcionamiento, y la inmunidad a interferencias electromagnéticas y al ruido. Ahora bien, dentro de sus rasgos más notorios, se encuentra su relación costo – beneficio, en la cual, a nivel de sus beneficios de implementación, el uso de la misma permite generar una buena ganancia, teniendo en cuenta las grandes cantidades de información que se manejan. (MinTIC, s.f.) (Telefónica, s.f.)

Fibra Óptica	Cable Coaxial
Pulsos de luz para transmitir información	Electricidad para transmitir información
Conexiones FTTx	Conexiones HFC
Puede ofrecer velocidades de aproximadamente 100 a 2000 Mbps de carga y descarga	Puede ofrecer velocidades de bajada de aproximadamente 10 a 300 Mbps, y de subida, aproximadamente de 3 a 30 Mbps
No es resistente y robusta al manipulado	Es resistente y robusta al manipulado
Inmune a interferencias electromagnéticas	No es inmune a las interferencias electromagnéticas
Cuenta con una conexión para largas distancias	No cuenta con una conexión para largas distancias

Tabla 1. Comparativa Fibra óptica vs Cable coaxial

En la tabla 1, se puede observar el correcto análisis frente a la fibra óptica vs el cable coaxial, comparativa que se hace para dimensionar las capacidades de cada uno, determinado porque en la actualidad, la fibra óptica es ampliamente utilizada por los proveedores de servicios en Colombia y en todo el mundo, siendo uno de los medios de transmisión más prevalentes.

1.1.2 CLASIFICACIÓN FIBRA ÓPTICA

Para comprender un poco más, el papel que juega la fibra óptica en general, es necesario comprender su clasificación de acuerdo a la capacidad de transmisión y la necesidad de acuerdo a cada operador de servicios (Jorge Pierri, 2010) (VIAVI, s.f.).

1.1.2.1 FIBRA MULTIMODO

Es un tipo de fibra que se caracteriza por tener valor más que nada a nivel de cortas distancias de aproximadamente 2 Kilómetros, por lo cual son adaptables a redes empresariales y/o campus universitarios. A nivel técnico y teórico, su estructura se puede visualizar en la figura 2, de esta forma, se logra la transferencia de múltiples haces de luz a través del núcleo de la fibra (MinTIC, s.f.).

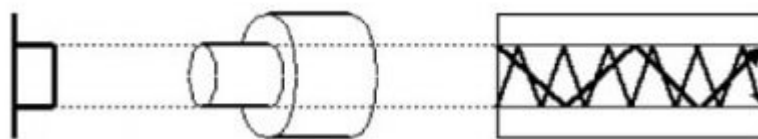


Figura 2. Estructura fibra Multimodo

1.1.2.2 FIBRA MONOMODO

Se trata de un tipo de fibra que se distingue por la transmisión de luz a través de su núcleo. Dentro de sus características, se puede contar con su uso mediado para largas distancias con bastante cobertura y capacidad de transmisión. Su estructura se puede evidenciar en la figura 3 (MinTIC, s.f.).

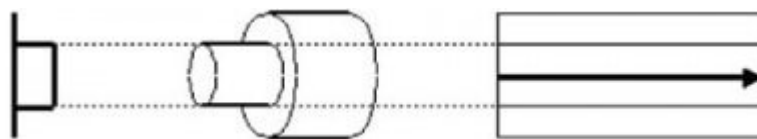
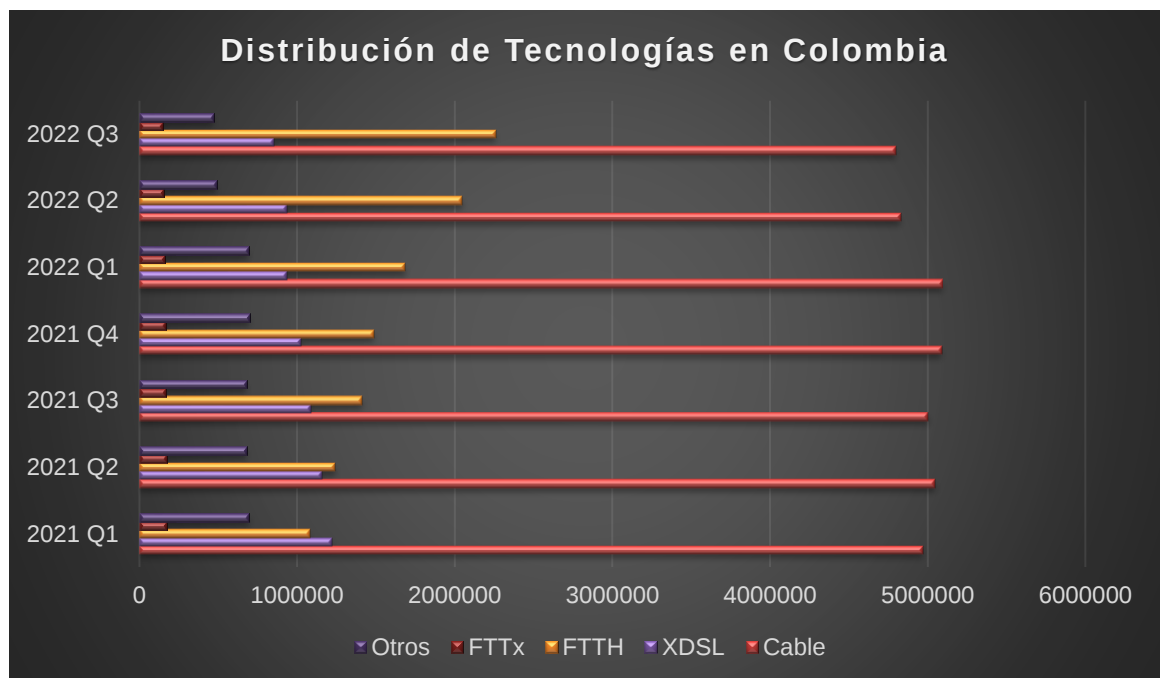


Figura 3. Estructura fibra Monomodo

Teniendo lo anterior en cuenta, es completo decir que, debido a varias de las características presentadas con anterioridad, los beneficios que trae la fibra óptica respecto al cable coaxial son bastantes, incluyendo aspectos de interés a los usuarios como lo son las capacidades y el ámbito económico que define su relación de calidad vs precio.

Según cifras tomadas por MinTIC, es preciso inferir de la gráfica 1 que en comparativa a nivel Colombia, la fibra óptica ha experimentado un crecimiento notable como el principal medio de transmisión, desplazando gradualmente al cable HFC y posicionándose como la opción preferida.



Gráfica 1. Distribución de tecnologías en Colombia (MinTIC, 2022)

1.1.2.3 TOPOLOGÍAS DE REDES DE FIBRA ÓPTICA (FTTx)

La terminología para FTTx consiste en la definición de *Fiber To The X*, que básicamente es una incidencia de las tecnologías PON, a través de esto, se logra consolidar la conexión, abarcando tanto hogares como empresas y otros usuarios.

El objetivo principal de esta terminología es destacar la proximidad que existe desde el punto de extremo de la fibra hasta el cliente.

Dentro de esta clasificación, la más reconocida es FTTH, sin embargo, para dar un amplio conocimiento de lo que se puede lograr, se va a proporcionar información de cada una de las clasificaciones que hasta el momento se conocen (Keiser, 2006):

1.1.2.3.1 FTTB (Fiber to The Business/Building)

Lo que traduce al español, Fibra hasta el negocio, el cual se entiende como la instalación de fibra desde un conmutador ubicado en la CO hasta una empresa específica, se realiza de manera directa para garantizar una conexión eficiente y directa. Una vez ya esté el tendido de la fibra hasta el edificio, se puede usar otro tipo de modalidad de menor coste para las demás conexiones dentro del edificio. Esta ejemplificación se puede analizar correctamente en la figura .

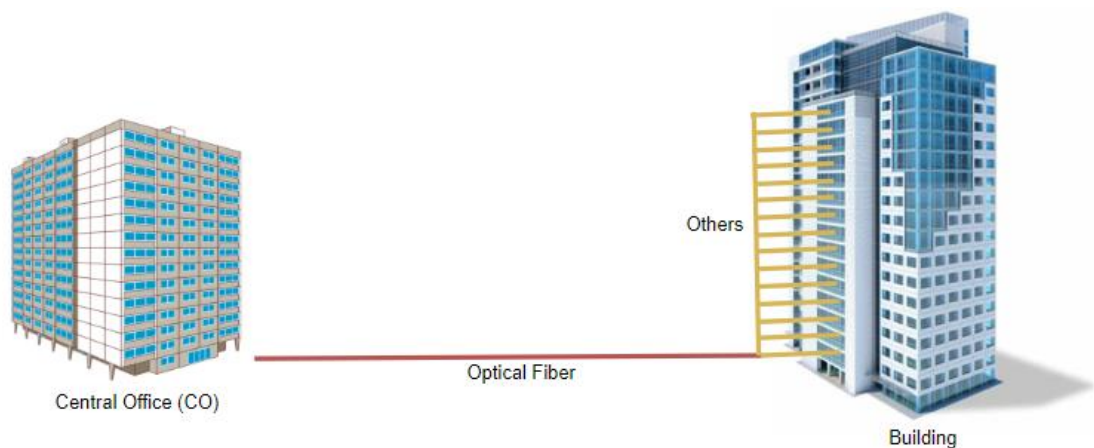


Figura 4. Estructura FTTB

1.1.2.3.2 FTTC (Fiber to The Curb/Cabinet)

Curb o Acera en español, implica que este tipo de uso es directamente Fibra hasta la acera, su implementación se lleva a cabo desde el equipo en la CO hasta un conmutador de comunicación situado a una distancia aproximada de 300 metros de una residencia o empresa en particular. De igual forma que en FTTB, las conexiones guiadas desde el equipo de la acera hasta los clientes finales se pueden realizar a partir de modalidades de menor coste. En la figura 5, podemos visualizar el correcto funcionamiento de este.

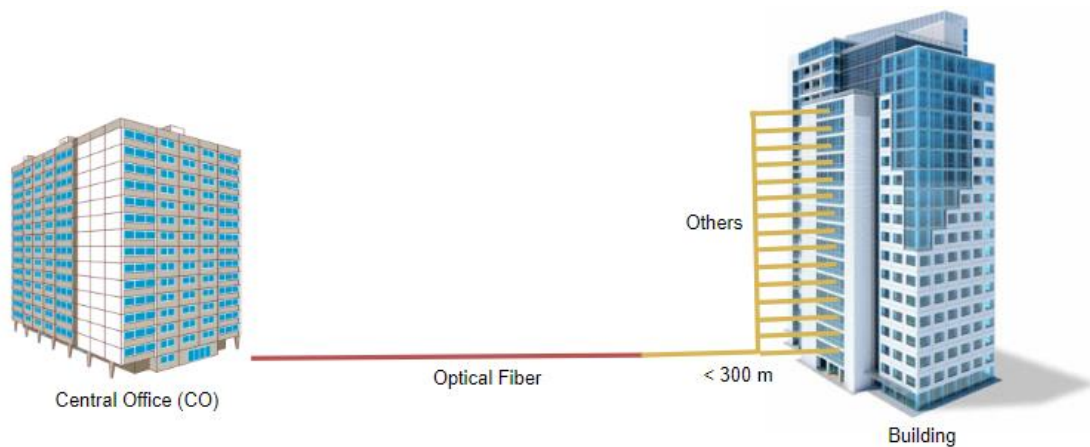


Figura 5. Estructura FTTC

1.1.2.3.3 FTTH (Fiber to The Home)

Esta terminología se refiere a "Fibra hasta el hogar" (FTTH). En esencia, su implementación radica en la conexión de un conmutador en la CO hasta el hogar directamente. La diferencia entre FTTB (Fibra hasta el edificio) y FTTH radica en que las empresas requieren un ancho de banda mayor en comparación con los usuarios residenciales, lo cual implica una mayor necesidad de implementación de FTTB por parte de los proveedores de servicios en comparación con la instalación a nivel del hogar. En la figura 6, se puede observar el correcto despliegue de FTTH.

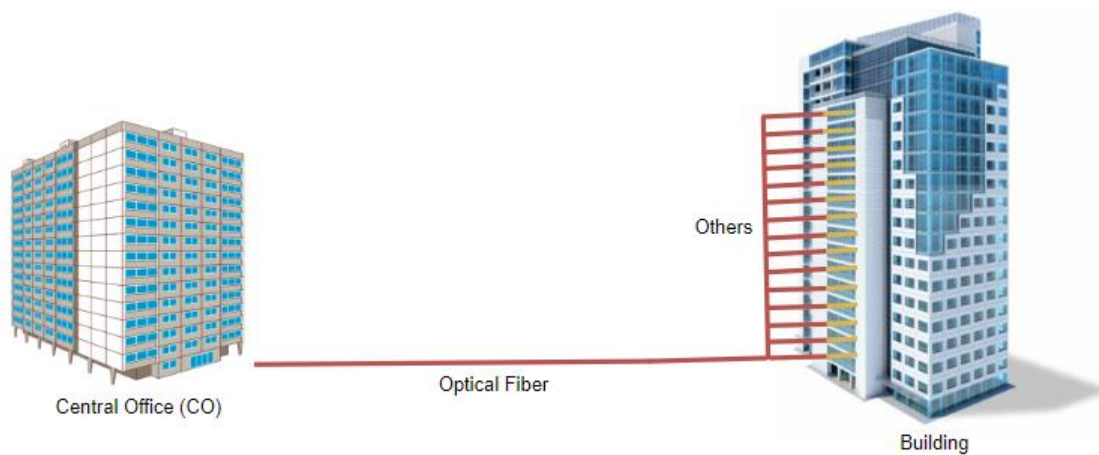


Figura 6. Estructura FTTH

1.1.2.3.4 FTTN (Fiber to The Neighborhood/Node)

Traducido al español, esta terminología se refiere a "Fibra hasta el vecindario" (FTTN), que describe una arquitectura de red PON (Red Óptica Pasiva) en donde los cables de fibra se extienden hasta aproximadamente 1 kilómetro de distancia de los hogares y negocios. Es decir, es una solución en donde el armario de telecomunicaciones se encuentra a una distancia mayor del domicilio, lo cual implica a su vez un bajo rendimiento. En la figura 7, vemos el correspondiente gráfico de esta solución.

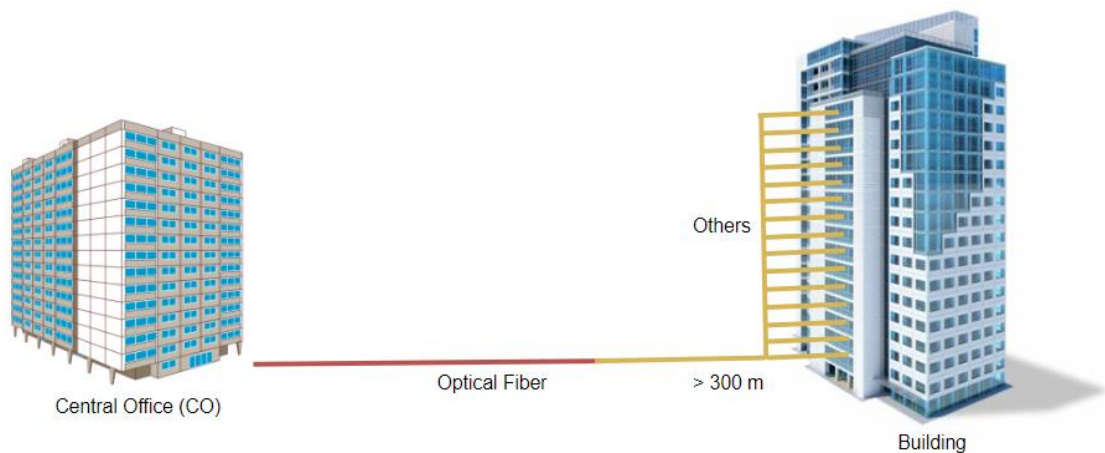


Figura 7. Estructura FTTN

1.1.2.3.5 FTTO (Fiber to The Office)

En este caso es muy relacionado a FTTH, sin embargo, esta terminología abarca lo que es el despliegue de Fibra hasta la Oficina. De acuerdo a lo anterior, significa que la fibra óptica se extiende hasta el interior de la oficina, permitiendo una conectividad directa y eficiente en ese entorno, permitiendo velocidades garantizadas, VoIP y demás en dependencia de los operadores de servicio.

1.1.2.3.6 FTTP (Fiber to The Premises)

La terminología consiste en Fibra hasta las instalaciones, la cual incluye implementaciones de FTTB y FTTH, haciendo uso de tecnologías de BPON, EPON,

o GPON. Es una arquitectura que sirve también para designar viviendas y pequeños negocios.

1.1.2.3.7 FTTR (Fiber to The Room)

Es un término relativamente nuevo junto con FTTM (Fiber to the Mobile). Implica lo que es Fibra hasta el cuarto, de manera que su despliegue consista en llegar a cada punto de una oficina, vivienda, campus y demás, a través de varios puntos de acceso evitando la pérdida de paquetes en ciertas zonas donde la conectividad de un solo equipo no llega a todos los “cuartos”. Este tipo de tecnología permite evitar la pérdida de paquetes a medida que se avanza por los diversos lugares de determinados sitios seleccionados para proveer servicios.

1.2 REDES ÓPTICAS PASIVAS PON

Las Redes Ópticas Pasivas, conocidas también como Redes PON, surgen en medio de la necesidad de contribuir con una mejora a nivel de calidad de servicios que evolucionaban conforme a los requerimientos de los usuarios. Esto se debe a que previamente solo se disponía de despliegues utilizando cables de cobre, lo cual a diferencia de la Fibra óptica (en la cual se basan las Redes PON) no ofrecen tan buenos porcentajes de ancho de banda, no obstante, si cuentan con un rango de cobertura mayor de aproximadamente 100 Km, mientras que en las redes PON se limita a aproximadamente 20 Km dada la intensidad de señal (Wikipedia, 2020) (VIVAI, s.f.) (FOCC, 2019).

Teniendo lo anterior en cuenta, las Redes PON surgen como una alternativa a la infraestructura de las redes tradicionales, en donde los elementos activos (dispositivos que requieren alimentación) que componen esta última, son eliminados, permitiendo el uso de elementos ópticos pasivos (de ahí su nombre), como los *Divisores ópticos/Splitter* donde su función principal se centra en dirigir la corriente de datos en la red con el objetivo de maximizar la eficiencia y aprovechamiento de la F.O, de manera que tenga la posibilidad de atender entre 16 a 128 usuarios por cada hilo de fibra, no obstante, se ha de tener en cuenta que al dividir las longitudes de onda se implica una pérdida de potencia (Wikipedia, 2020) (VIVAI, s.f.) (FOCC, 2019) .

Sin embargo, las infraestructuras basadas en PON también incluyen dispositivos activos para completar la red en su conjunto. Un dispositivo fundamental es la OLT (Optical Line Terminal), ubicada en la CO de los operadores que proveen servicios.

Su principal función consiste en gestionar los datos de información transmitida por medio de la ODN (Optical Line Distribution Network). Por otro lado, la OLT transforma las señales que son usadas por los operadores de servicio, en el formato requerido por el estándar de redes PON, permitiendo una multiplexación sencilla entre dispositivos de terminales ópticas ONT (Optical Network Terminal). A esta última, también se le conoce como ONU (Optical Network Unit), la cual permite transformar las señales ópticas en eléctricas, que se pueden utilizar para los usuarios finales, vistos como módems y enrutadores. En resumen, la ONT representa el punto final de una red óptica pasiva y se comunica con la OLT situada en la CO del proveedor de servicios (Wikipedia, 2020) (VIVAI, s.f.) (FOCC, 2019).

Esta tecnología se basa en un estándar *Punto a Multipunto (P2MP)* que transmite la información desde la central a varios puntos de usuarios finales, Es por ello, que al ser una red que implica una alimentación eléctrica solo en envío y recepción, va a proveer una gran eficiencia en costos operativos que va a ver beneficiado no solo a los operadores de servicio, sino también a los usuarios finales (Wikipedia, 2020) (VIVAI, s.f.) (FOCC, 2019) .

A continuación, se podrá evidenciar la correcta estructura general de una red PON que va a permitir establecer la diferencia entre una red con cable de cobre y dispositivos activos y una red basada en fibra y dispositivos pasivos.

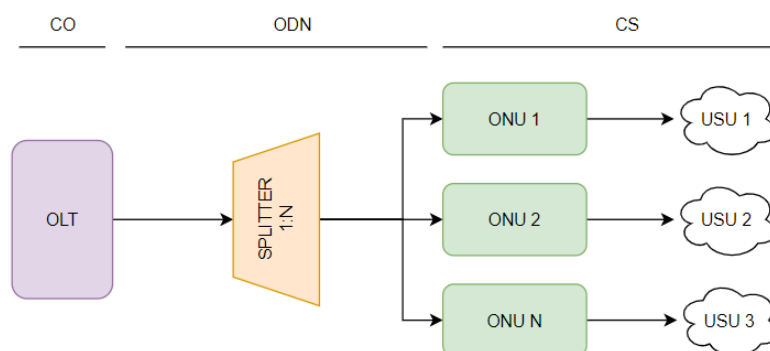


Figura 8. Estructura general PON

En la figura 8, se puede observar estructuralmente una Red PON, la cual a nivel técnico implica la conexión de una OLT (*Optical Line Terminal*) hacia una ODN (*Optical Distribution Network*) y posteriormente a hacia las respectivas ONU (*Optical*

Network Unit), es decir, se constituye una OLT en la Central Office y se conecta al splitter que lo que hace es dividir los diferentes canales para proveer a las diferentes ONUs conexión. Sin embargo, esta transmisión depende del tipo de conexión que se esté teniendo, dado que las Redes PON tienen la ventaja de tener una transmisión ascendente o descendente.

Si la transmisión es *descendente*, la información se envía desde la OLT para que la reciba el splitter, que va a dividir esta información y repartirla en las respectivas unidades ONU, es decir, filtrando la información para que les llegue a los destinatarios correctos. En este tipo de transmisión se hace uso de una técnica de multiplexación de *TDM (Time Division Multiplexing)* con el propósito de transmitir la información en distintos momentos o intervalos de tiempo, como se puede ver a continuación en la figura 9 (Sheldon, 2023) (Sonia Groff, 2014).

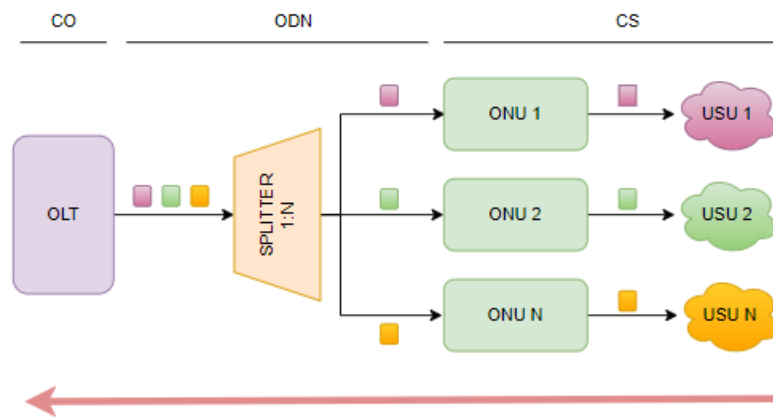


Figura 9. Estructura general PON descendente

En este sentido, se puede observar en la figura 10, si es una transmisión a nivel *ascendente*, la información se envía a través de las ONU hacia la OLT en diferentes instantes de tiempo, en el cual se usa la técnica de multiplexación basada en *TDMA (Time Division Multiple Access)*.

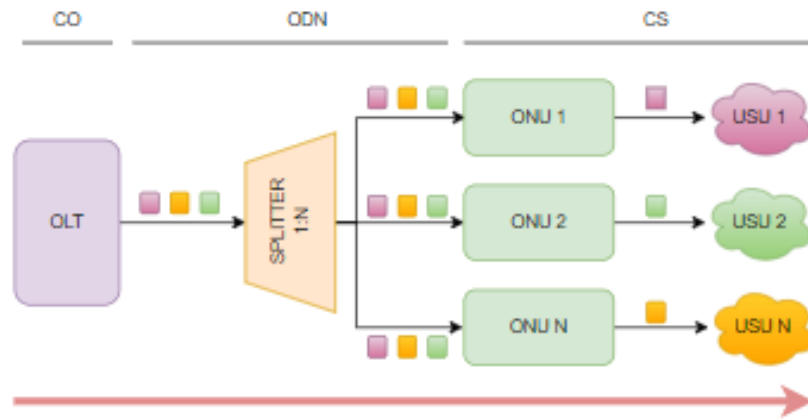


Figura 10. Estructura general PON ascendente

1.2.1 ESTANDARIZACIÓN REDES PON

A nivel que se iba incluyendo una gran capacidad de uso en las tecnologías PON, creció un gran interés por su uso y exploración en capacidad, interferencia, mantenimiento, velocidad y demás factores que sobrepasaban las tecnologías basadas en cobre. Es por ello que la ITU (*International Telecommunications Union*) y la IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), han desarrollado variantes de esta tecnología en pro de la evolución aplicativa que se desarrolla para tener mejoras en los servicios ofrecidos. Su clasificación se basa en dos grupos (IVONNE, 2016) (VIAVI, s.f.).

1.2.1.1 ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

En esta clasificación se tienen en cuenta las tecnologías de ATM PON / APON (*Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network*), BPON (*Broadband Passive Optical Network*), y GPON (*Gigabit Passive Optical Network*).

1.2.1.1.1 APON

Esta Tecnología fue especificada inicialmente según el Comité FSAN (*Full Service Access Network*), tomando como referencia la capa de enlace de datos del modelo OSI, específicamente el protocolo de señalización. De manera ascendente, cuenta con una tasa de 155,52 Mbps que se distribuyen entre los usuarios, además de contar con 53 bytes para cada celda ATM. Y de manera descendente, se tienen 54 bytes para cada celda ATM, en donde dos de ellas contienen información de mantenimiento y de destino. Sin embargo, dada su diseño complejo y sus características de bajas tasas de transferencia, es una tecnología que progresivamente va a tender a desaparecer.

1.2.1.1.2 BPON

Esta tecnología se fundamenta principalmente en APON, pero a diferencia de ésta, tiene la capacidad de soportar otros estándares de banda ancha para usuarios finales. Permite la transferencia de información de alta velocidad a través de una red de fibra y es utilizada por proveedores de servicios de Internet para brindar estos servicios a los clientes. Esta tecnología puede considerarse tanto simétrica como asimétrica en términos de rendimiento.

De manera simétrica se cuenta con una tasa en canal ascendente y descendente de aproximadamente 622Mbps, mientras que, a nivel asimétrico, se puede contar con una tasa a nivel de canal ascendente de 155Mbps y de canal descendente 622Mbps.

1.2.1.1.3 GPON

Esta tecnología se basa a nivel estructural en lo que conocemos como BPON, sin embargo, a nivel técnico cuenta con diversas características que definen un soporte multiservicio, protocolos de seguridad y cobertura de hasta aproximadamente 20 Kilómetros. Soporta transferencias a modo simétrico de 622 Mbps o 1.25 Mbps, y en canal asimétrico soporta en modo descendente 2.5 Gbps y en modo ascendente 1.25 Gbps.

Dentro de sus características principales se pueden analizar los siguientes aspectos respecto a las tecnologías de DSL y cable.

- Mayor ancho de banda
- Servicios a distancia mayores
- Tecnología más económica
- Tecnología más confiable

A nivel comparativo con algunas de las otras tecnologías basadas en fibra, podemos encontrar la tabla 2:

TECNOLOGÍA GPON	OTRAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN F. O
La tecnología GPON utiliza equipos pasivos para lograr amplificar y regenerar la señal de la fibra óptica, por lo cual es más económica y fácil de implementar	En las tecnologías AON, se hace uso de equipos activos que permiten amplificar y regenerar la señal de la fibra óptica
En las tecnologías GPON, se usa solo una topología de red punto a multipunto (P2M), permitiendo a diferencia de EoF, proporcionar servicios a múltiples usuarios finales en un solo enlace de fibra óptica, haciendo de esta tecnología un componente más escalable y rentable	En las tecnologías Ethernet sobre fibra (EoF), se hace uso de una topología red punto a punto

Tabla 2. Comparativa GPON vs otras tecnologías basadas en Fibra óptica

1.2.1.2 ETHERNET

En esta clasificación se tiene en cuenta la tecnología de Ethernet PON / EPON (*Ethernet Passive Optical Network*).

1.2.1.2.1 EPON

Esta tecnología utiliza la fibra óptica y se basa en el protocolo Ethernet en la capa de enlace de datos. Del mismo modo que GPON, permite una topología de red punto a multipunto (P2M), utilizando equipos pasivos que amplifican y regeneran la señal de fibra óptica. Opera a velocidades Gigabit, por lo que la velocidad de cada usuario depende del número de ONT instaladas. Aunque comparte características de ancho de banda y alcance con GPON, en lugar de utilizar el protocolo propio de GPON, se utiliza el protocolo Ethernet estándar, lo cual mejora su implementación y gestión.

1.2.2 VENTAJAS REDES PON

De acuerdo a los aspectos descritos con anterioridad, podemos analizar en el siguiente apartado las ventajas que sobresalen sobre otras tecnologías y que

permiten en gran parte la evolución de estas mismas y de su oferta de servicios al usuario final.

- Es una solución escalable y eficiente de energía, que permite proporcionar servicios de banda ancha y al no hacer uso de equipos activos en la cabecera del despliegue inicial de la misma permite ahorrar energía, ya que permite una instalación se realiza de manera escalonada en función de la demanda requerida por los usuarios.
- Gran tasa de capacidad de transmisión de datos descendentes y ascendentes ya que integran grandes capacidades sin perder la calidad de la misma.
- Eliminación de dispositivos activos al aire libre, permitiendo el procesamiento de señales en el equipo del usuario final para reducir costos de mantenimiento y aumentar la fiabilidad.
- A nivel de seguridad, las redes PON pueden proporcionar servicios de seguridad y vigilancia, que, de hecho, respecto a sistemas de cableado coaxial o par trenzado, son más fáciles de instalar.

1.2.3 DESVENTAJAS REDES PON

Como toda tecnología, se deben tener en cuenta los aspectos tanto negativos como positivos para comprender a cabalidad una tecnología tan imponente como lo son las redes PON, de manera que, si hay mejores en un futuro, se puedan solventar a partir de estas características iniciales.

- Una de las limitaciones de esta tecnología se basa en compartir el medio de transmisión entre varios suscriptores mediante el uso de divisores o splitters, lo cual puede resultar en una disminución de la eficiencia de la red en comparación con las redes P2P (Point to Point).
- Cada splitter introduce una atenuación en la línea, con lo cual simplifica que, si hay un aumento del número de etapas, va a aumentar la pérdida introducida en el canal.
- Es importante tener en cuenta que cuando la información se dirige a múltiples usuarios a través de un mismo medio físico de transmisión, existe un mayor riesgo de escuchas en la red. Por lo tanto, se requiere un nivel de seguridad más alto mediante el uso de encriptación.

- Dado que varios dispositivos de ONT están conectados a una sola OLT, hay posibilidad de riesgo de que, si esta última se cae, una gran parte de la red estaría en problemas de funcionamiento. Sin embargo, es necesario aclarar que hay métodos de seguridad que se podrían enlazar para contar con redundancia, pero, es aumentaría los niveles de costo y mantenimiento.

Para resumir, podemos contar con la siguiente tabla 3 de información:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Escalabilidad	Disminuciones en la calidad o cantidad de datos transmitidos
Disminución de los gastos de O&M	Requerimiento de estructuras de seguridad en la red.
Alto ancho de banda	Dependencia de la OLT para el funcionamiento de la red

Tabla 3. Ventajas y Desventajas Redes PON

1.3 ESTÁNDARES ITU (The International Telecommunication Union) / IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)

La estandarización que se tiene estimada para las tecnologías PON, radica en la necesidad de seguir una normatividad para su correcto desarrollo, además de establecer las generalidades y funcionalidades específicas de cada rama de manera que se pueda avanzar con el desarrollo de las mismas, y a su vez, se tenga el régimen necesario para proveer en el sector de las telecomunicaciones.

En la tabla 4, se examinarán las diferentes normativas propuestas para las tecnologías existentes PON.

TECNOLOGÍA	NORMA ITU	NORMA IEEE
APON	ITU-T G.983.	-

BPON	<i>ITU-T G.983.</i> -G.983.1. -G.983.2. -G.983.3. -G.983.4. -G.983.5.	-
GPON	<i>ITU-T G.984.</i>	-
XGS-PON	<i>ITU-T G.987.1</i>	-
NG-PON2	<i>ITU-T G.989</i>	-
EPON	-	<i>IEEE 802.3ah.</i>
GEAPON	-	<i>IEEE 802.3ah.</i>
10G-EPON	-	<i>IEEE 802.3av.</i>
100G-EPON	-	<i>IEEE 802.3ca.</i>
50G-PON	<i>ITU-T G.9804.3</i>	-

Tabla 4. Estandarización redes PON

1.4. RESUMEN

De acuerdo a lo visto con anterioridad, se puede entender que las tecnologías basadas en PON están basadas en una tecnología de acceso que permite la transmisión de datos a partir de multiplexación por división de tiempo. Usa una topología de P2MP, y módulos basados en ONUs, conectadas al mismo puerto PON de manera que se vuelva eficiente el uso de recursos en CO. Se constituye a partir de un ODN que conecta la OLT con las diferentes ONUs, de manera que al usar componentes pasivos se eviten temas de interferencia y permita una fácil expansión y actualización de la red. Esta tecnología ha evolucionado hasta la actualidad debido a su gran capacidad de escalabilidad y ventajas de ancho de banda, confiabilidad y transmisión de datos. Gracias a las diferentes normativas y opciones de desarrollo manejados por los estándares de telecomunicaciones, se ha permitido evolucionar hasta el punto en el que ahora contamos con generaciones de redes PON 10G-EPON y XGS-PON entrando rápida y efectivamente en el mercado comercial a gran escala.

En la tabla 5, se podrán analizar las correctas capacidades de transmisión las diferentes generaciones PON.

TECNOLOGÍA	DOWNSTREAM RATE	UPSTREAM RATE
APON	155 Mbps	155 Mbps
BPON	155/622 Mbps	155/ 622 Mbps
GPON	1244/2488 Mbps	155/622/1244/2488 Mbps
XGS-PON	10 Gbps	10 Gbps
NG-PON2	40 (4 x 10) Gbps	40 (4 x 10) Gbps
EPON	1244 Gbps	1244 Gbps
GEAPON	1.25 Gbps	1.25 Gbps
10GE-PON	10 Gbps	10 Gbps
100GE-PON	100 Gbps	100 Gbps
50G-PON	50 Gbps	12.5/25/50 Gbit/s

Tabla 5. Resumen Tecnologías PON (Capacidades)

CAPÍTULO 2

DEMANDA ANCHO DE BANDA Y TENDENCIA DE MERCADO

En el siguiente capítulo, se recopila la información necesaria para comprender la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios finales que exigen para los diferentes servicios de internet, de manera que se entienda en un plano principal, la exigencia de los mismos para corroborar la necesidad de capacidades mayores a las que se tienen con las tecnologías de PON, es específico XG(S)-PON.

En la actualidad, esta demanda de mayores velocidades se da a razón del requerimiento de descarga más rápida, de manera que pueda incidir en la aplicación de servicios como videoconferencias, teletrabajo, educación online, Realidad virtual, y demás a los que se puede acceder en segundos. Por ejemplo, en el caso de información en la nube, si se tuviese un ancho de banda bajo y se quisiera subir archivos de hasta 1 Terabyte, tardaría mucho tiempo en hacer una acción tan simple como esta (Lorenzo, 2022) .

Una de las características que se tienen y deben tener en cuenta a nivel de contratación para los diferentes servicios es la calidad de servicio o QoS (Quality of Service), la cual comprende la gestión del tráfico de datos para que, a la hora de llegar un paquete al destino, se tenga una mejor latencia que impida demora en los tiempos de respuesta (Luz, 2022).

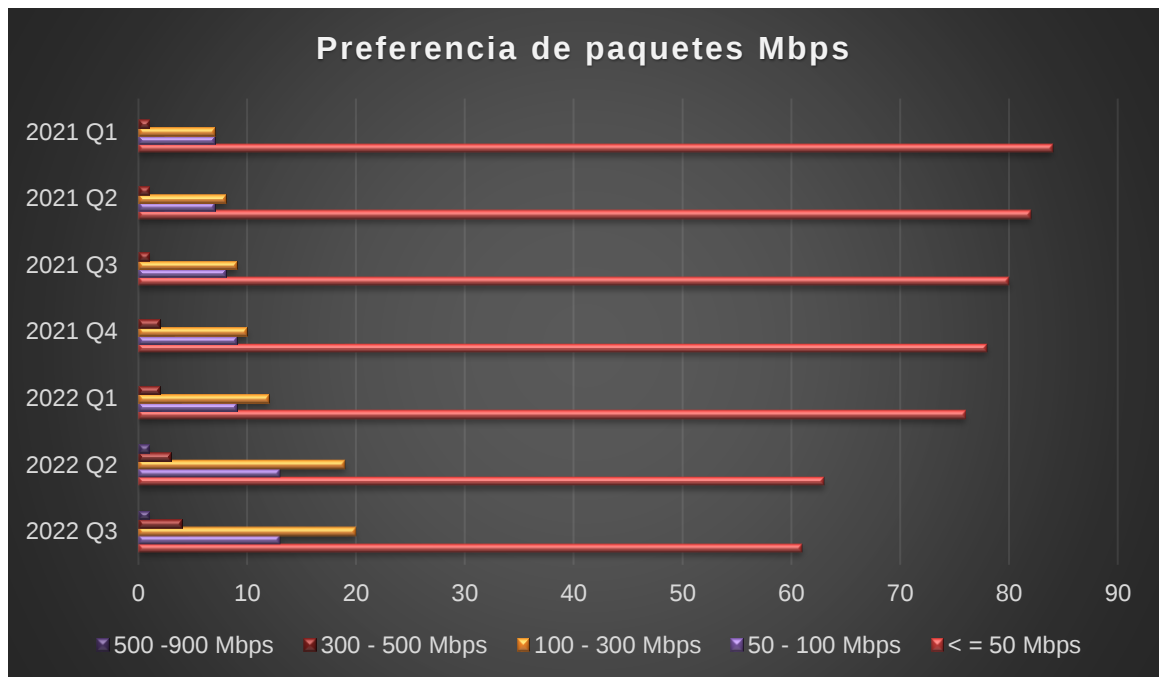
Es por ello que, a mayor capacidad de ancho de banda, mayores son los servicios simultáneos que puede considerar un usuario final, por lo cual, hoy en día, se requiere más ancho de banda al solicitar internet en base a la demanda exponencial de servicios de manera que se provea una mejor experiencia de usuario.

Para finalizar, vivimos en un mundo de digitalización y nuestra forma de trabajar y almacenar los datos está cambiando mucho, por ello, se debe enfocar el desarrollo en tecnologías que promuevan cada vez una capacidad más alta de transmisión de datos y tiempo respuesta para el usuario (Lorenzo, 2022).

2.1 DEMANDA ANCHO DE BANDA

En Colombia, gracias al Ministerio de las Tecnologías y la Información (MinTIC), se cuenta con una base de datos amplia, que permite conocer las diferentes

capacidades que se tienen y en que rangos los usuarios contratan estas. En la gráfica 2, se observa las diferentes tasas de velocidad que se ofrecen vs la cantidad de usuarios que las contratan.

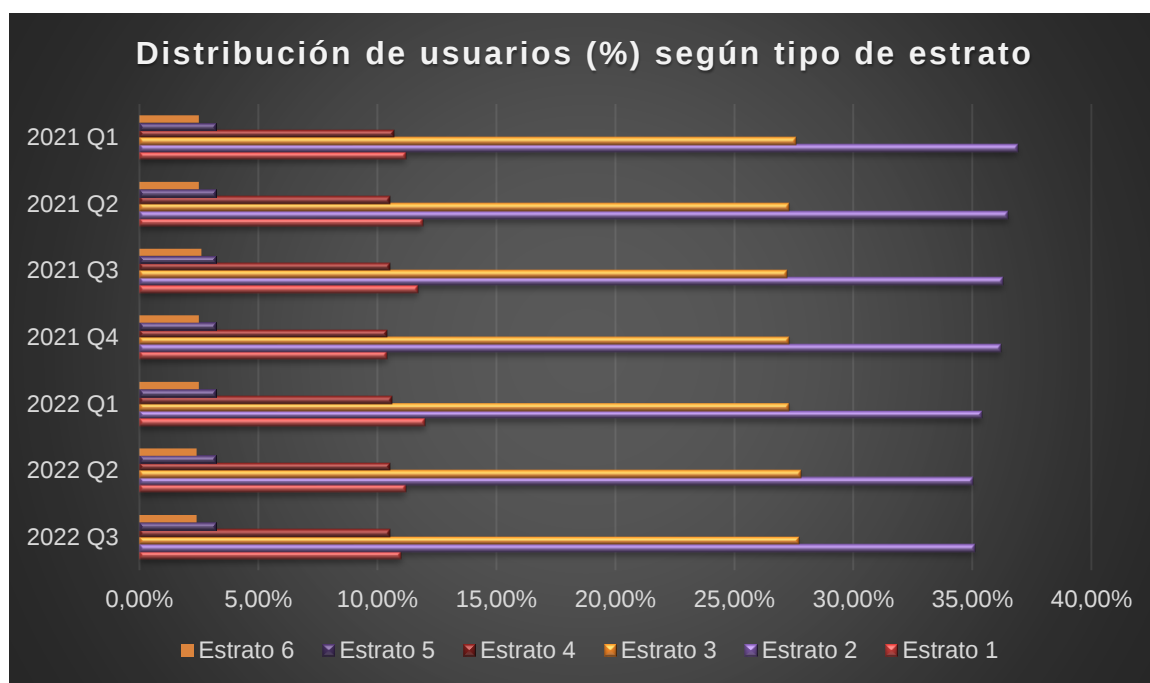


Gráfica 2. Preferencia de paquetes Mbps (MinTIC, 2022)

En la gráfica 2, se puede evidenciar las diferentes capacidades de paquetes que se tienen en Colombia, variando desde los 50 Mbps hasta los 900 Mbps. Se puede identificar que los paquetes que más se solicitan a los operadores de telecomunicaciones son los menores y/o iguales a los 50 Mbps, con un promedio del 80% de la población. Lo cual, puede indicar que son los paquetes más económicos o que la población realmente no se preocupa por tener grandes capacidades para sus servicios, sino que se acomodan a lo necesario. No obstante, se evidencia como las tasas de velocidades que comprenden los 50 a 300 Mbps se han venido incrementando desde 2022 Q1 hasta tener el 2022 Q3 un incremento de aproximadamente el 7%. *Nota:* Los valores del eje x corresponden a variaciones en porcentaje.

2.1.1 DEMANDA DE ANCHO DE BANDA POR ESTRATO

Una de las características y potenciales razones a la hora de contratación de un servicio, radica en la distribución de usuarios en los diferentes estratos del país, ya que inciden factores a nivel económico que pueden afectar la intensidad en la que se desea requerir paquetes con velocidades más altas. Es por ello que en la siguiente gráfica se expone el porcentaje de usuarios que contratan servicio a los operadores de telecomunicaciones.

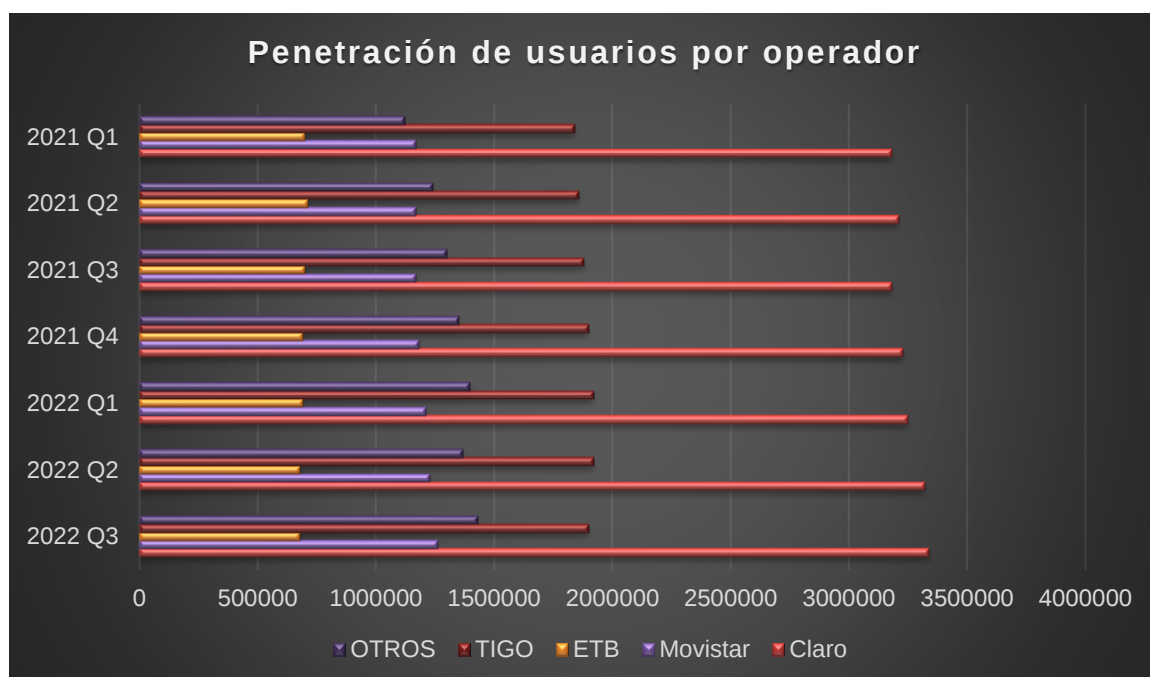


Gráfica 3. Distribución de usuarios según estrato en Colombia (MinTIC, 2022)

En la gráfica 3, se puede observar en detalle la contratación de paquetes por parte de los usuarios al proveedor de acuerdo a los diferentes estratos en Colombia. De acuerdo a la gráfica anterior, se puede dimensionar como en los estratos más altos (Estratos 5 y 6), la tasa de concentración de las diferentes tecnologías es menor que en los estratos más bajos (Estratos 1 y 2). Siendo los usuarios pertenecientes al Estrato dos, más consumidores de tecnologías de conexión en Colombia con un porcentaje de aproximadamente el 35%.

2.2 PENETRACIÓN DE USUARIOS SEGÚN OPERADOR

En Colombia se cuenta con operadores reconocidos como lo son Claro, Movistar, ETB, Tigo y otros que se identifican como operadores muy pequeños, que generalmente proveen servicios a zonas rurales, y muy alejadas de la ciudad, contando con paquetes no tan amplios pero que benefician las necesidades básicas a un costo económico a diferencia de los otros.



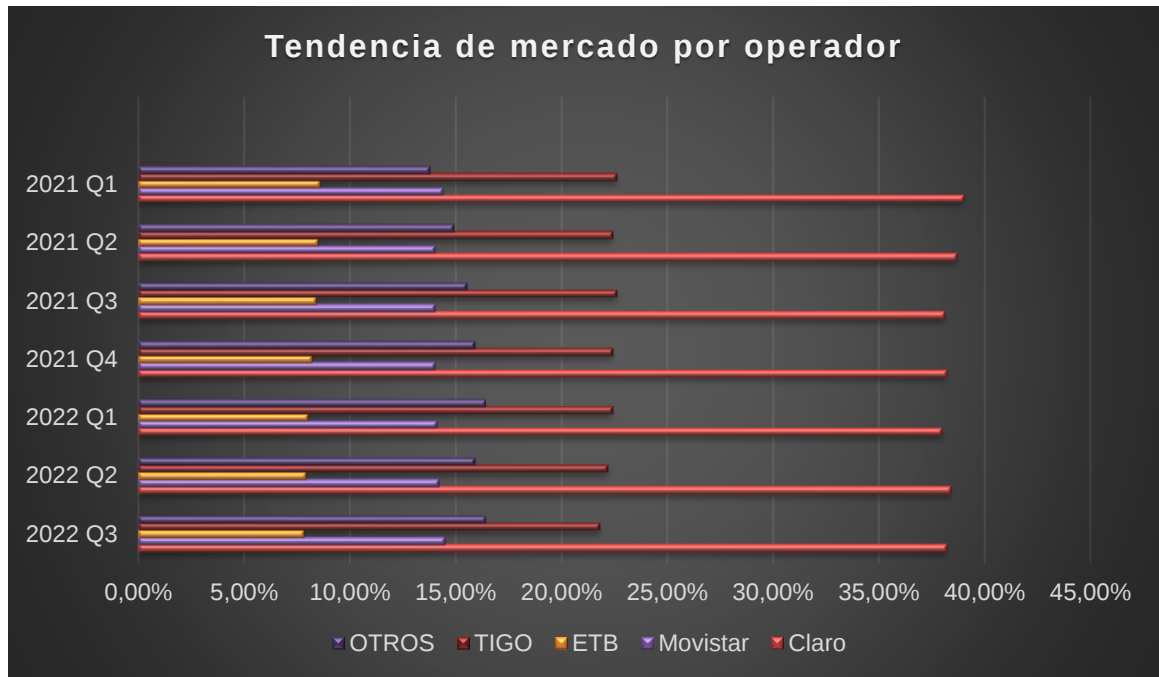
Gráfica 4. Penetración de usuarios por operador (MinTIC, 2022)

En la gráfica 4, se puede evidenciar la penetración de usuarios en unidad de millón que se han tenido en los diferentes trimestres de los años 2021 a lo que vamos de 2022 (Hasta donde se tienen datos del MinTIC actualmente). Según esta información, se puede observar como el operador como más suscripción de usuarios es Claro y el que menor penetración de usuarios es el operador de ETB, siendo inclusive menor a los operadores no reconocidos en el país y que la mayoría de estos se encuentra en lugares rurales.

2.2.1 TENDENCIA DE MERCADO POR OPERADOR

En comparativa con la gráfica 1, que identifica la distribución de tecnologías por operador, se puede reconocer como, aunque Claro tiene más dependencia en el

mercado de tecnología por cable, sigue siendo uno de los operadores que más tendencia de mercado tiene, ya que comprende a una mayor cantidad de suscriptores como se muestra en la figura 4 y como se va a mostrar a continuación en la gráfica 5.



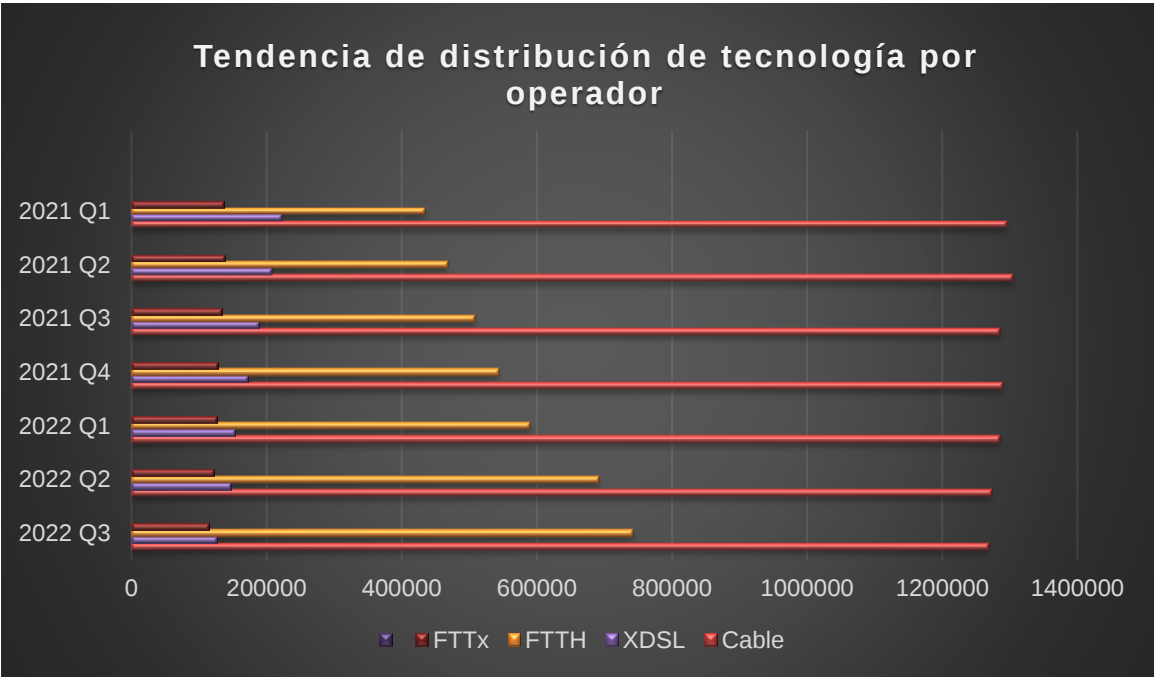
Gráfica 5. Tendencia de Mercado por operador (MinTIC, 2022)

2.3 DIMENSIONAMIENTO BOGOTÁ/CALI/MEDELLÍN

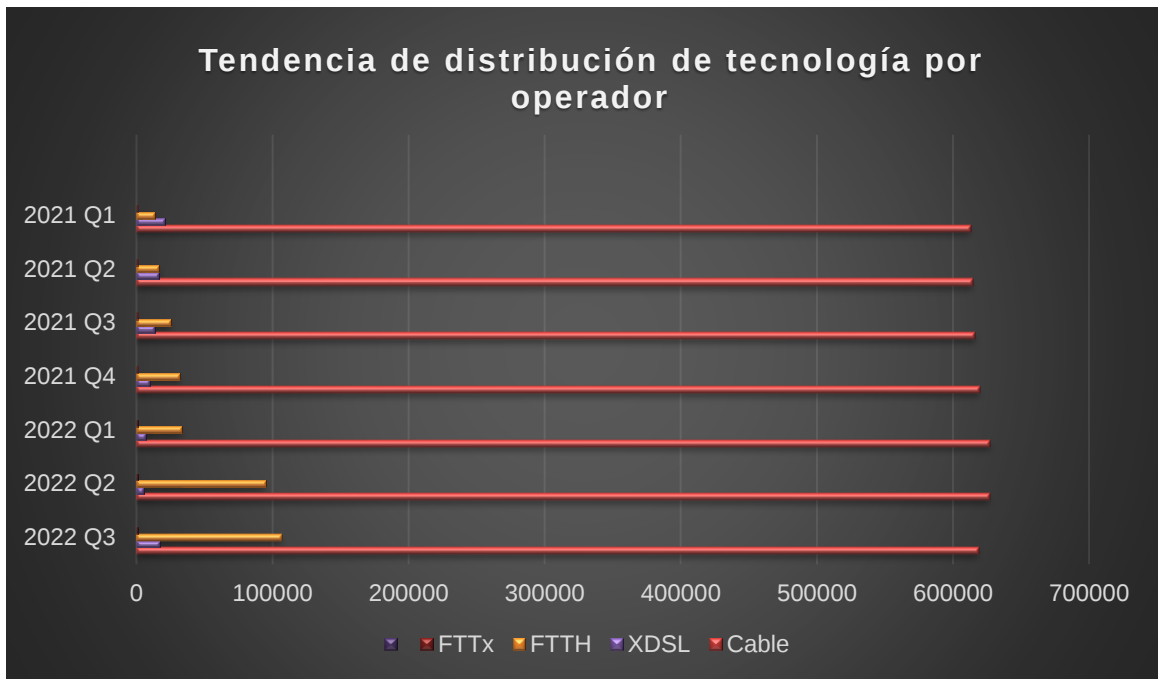
En Colombia, el acceso a internet por medio de cable coaxial evidenciado en la gráfica número 1, es más predominante que las tecnologías guiadas por fibra óptica, sin embargo, debido a que se ha convertido en una de las tecnologías más innovadoras dada su rapidez y eficiencia, se ha convertido a su vez, en uno de los retos más grandes de los operadores de telecomunicaciones debido a varios factores como lo es la inversión necesaria para el despliegue de infraestructura en todo el país, e inclusive la adopción de estas nuevas tecnologías puede conllevar a tiempo y cambios en la regulación y políticas públicas difíciles de considerar para los operadores. Sin embargo, es por ello que en el presente trabajo se va a dimensionar la capacidad de estas tecnologías en ciudades como lo son Bogotá, Medellín y Cali, que respectivamente son las ciudades con más población en

Colombia y que podrían propender por hacer más uso de estas soluciones basadas en Fibra óptica.

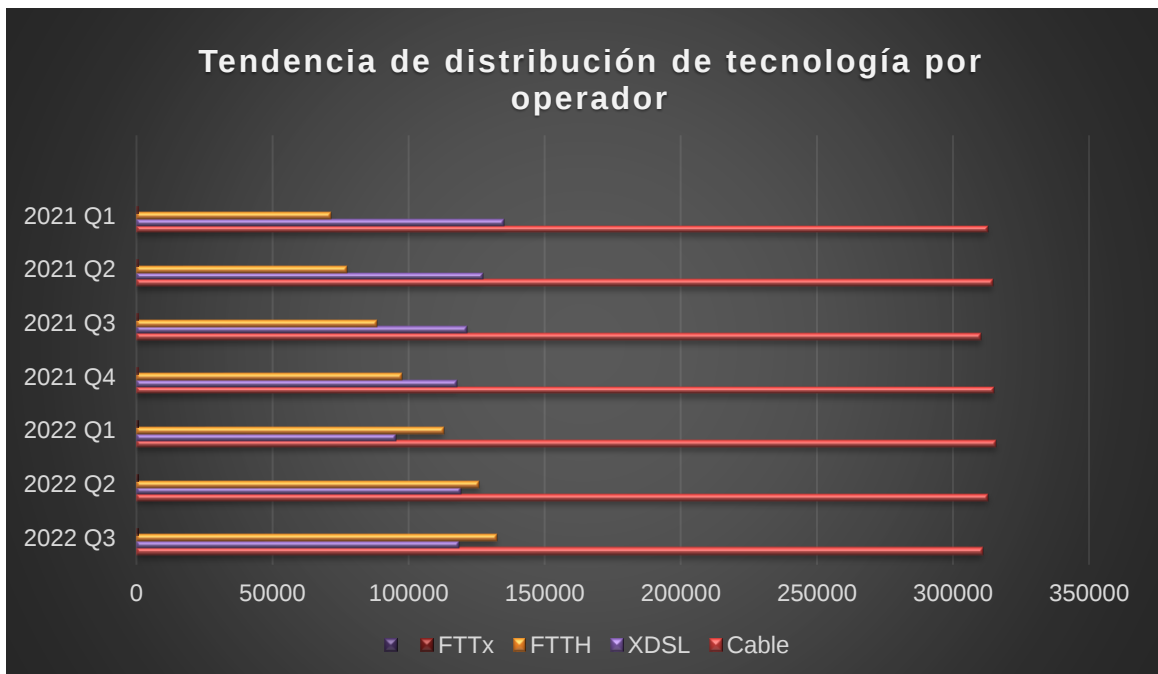
2.3.1 TENDENCIA DE DISTRIBUCIÓN DE TECNOLOGÍA EN BOGOTÁ/MEDDELÍN/CALI



Gráfica 6. Tendencia de distribución de tecnología por operador Bogotá (MinTIC, 2022)



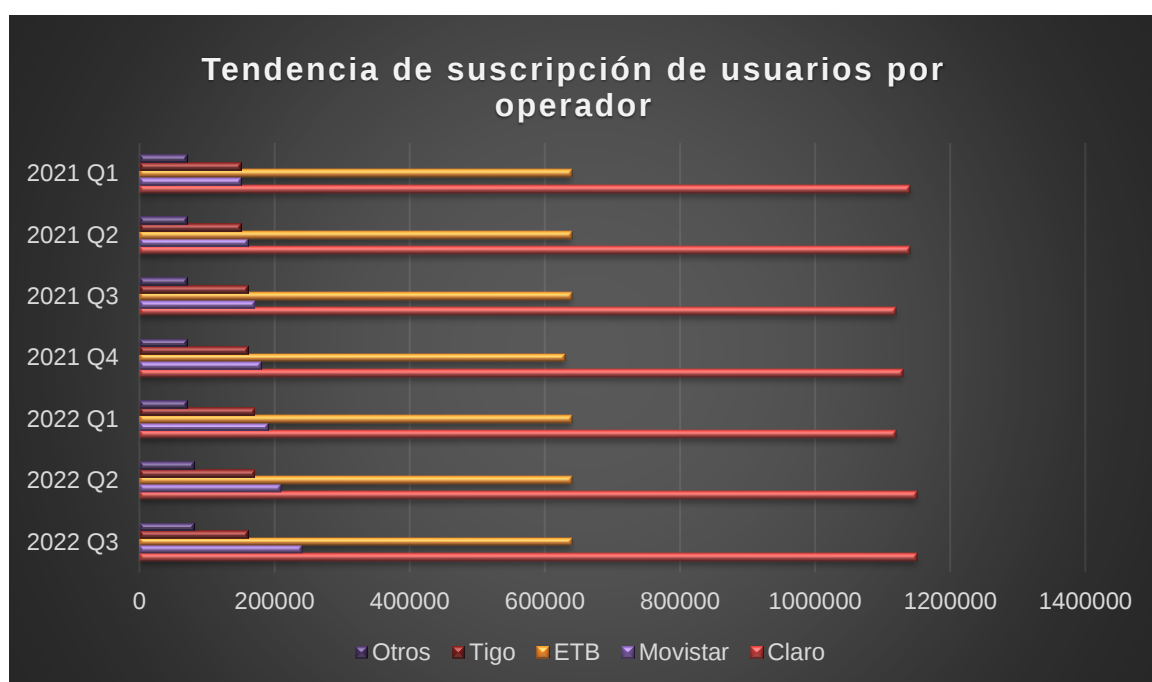
Gráfica 7. Tendencia de distribución de tecnología por operador Medellín (MinTIC, 2022)



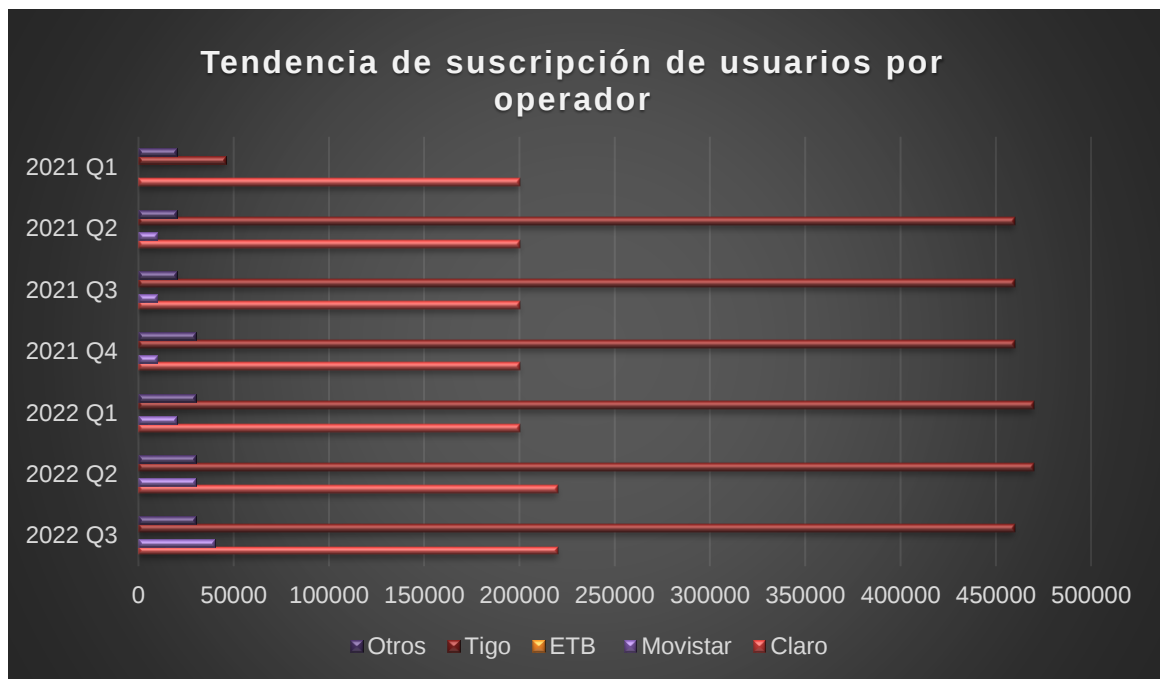
Gráfica 8. Tendencia de distribución de tecnología por operador Cali (MinTIC, 2022)

De acuerdo a las gráficas 6, 7 y 8, podemos evidenciar que las tecnologías que más se usan en Bogotá, Medellín y Cali respectivamente son las de Cable, debido a factores como regulaciones, políticas e inversión. Sin embargo, la segunda más utilizada es la de FTTH, visualizando como a abierto campo en los últimos trimestres y notando su progreso exponencial, no obstante, en Cali no funciona igual, ya que podemos observar como la tecnología de XDSL en el último Q de 2021 era la más solicitada después del cable. Ya en los primeros trimestres de 2022 la tecnología de FTTH ha ido sobrepasando estos estándares, lo que quiere decir que los operadores están implementando estas tecnologías pues se han hecho viables en términos económicos.

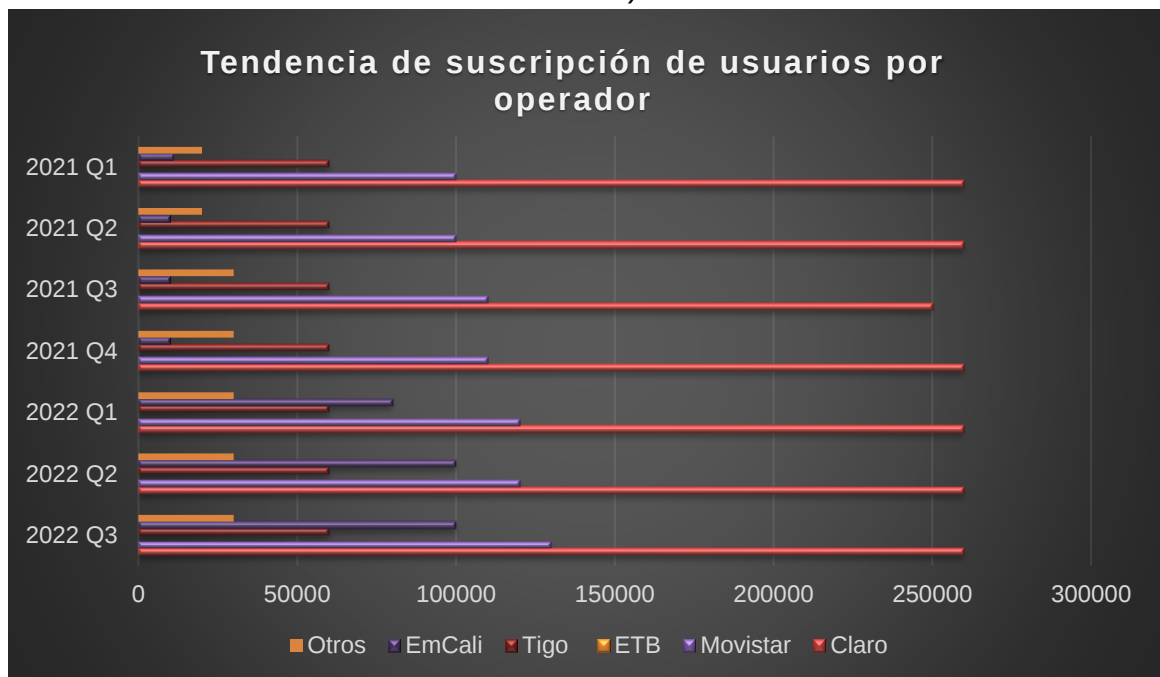
2.3.2 TENDENCIA DE SUSCRIPCIÓN DE USUARIOS POR OPERADOR EN BOGOTÁ/MEDDELÍN/CALI



Gráfica 9. Tendencia de distribución de usuarios por operador Bogotá (MinTIC, 2022)



Gráfica 10. Tendencia de distribución de usuarios por operador Medellín (MinTIC, 2022)



Gráfica 11. Tendencia de distribución de usuarios por operador Cali (MinTIC, 2022)

Como se evidencia en las figuras 9, 10 y 11, podemos visualizar en unidades de millón la cantidad aproximada de usuarios suscritos por proveedor, en donde se observa como a nivel de Claro, en Bogotá y Cali es el más prominente, y el operador de ETB solo se encuentra gestionando usuarios en Bogotá, siendo en esta ciudad el segundo más usado por los Bogotanos, y Tigo el menos concurrido junto con otros operadores no tan comunes. En Medellín, en cambio, el operador con más usuarios suscritos es Tigo, considerando un poco más de la mitad que las suscripciones en Claro, y siendo Movistar y otros operadores los menos utilizados por la población. Por último, en Cali, los operadores de Movistar y Emcali se llevan el segundo lugar del operador con más suscriptores después de Claro.

Se puede concluir de este apartado, que no todos los operadores tienen el mismo nivel de suscripción en las tres ciudades, ya que unos inciden más en ciertas ciudades que en otras, sin embargo, lo que no cambia, es el uso de tecnología que estos usan para proveer servicios, y dado que en la actualidad y posterior a la pandemia, se ha vuelto relevante tener unas capacidades suficientes para todo lo que se requiere, y esto se puede evidenciar en el crecimiento exponencial de FTTH vs Cable coaxial.

CAPÍTULO 3

MIGRACIÓN A TECNOLOGÍA 50GPON

La tecnología GPON (Red Óptica Pasiva Gigabit) es una opción de conectividad de banda ancha mediante fibra óptica que se emplea para suministrar servicios de alta velocidad, tales como Internet, televisión y telefonía, a los clientes finales. GPON utiliza una infraestructura de fibra óptica para transmitir datos a través de una red pasiva, lo que significa que no requiere de energía eléctrica para transmitir la señal.

50GPON, por su parte, es una evolución de la tecnología GPON que ofrece un incremento en la capacidad de ancho de banda y la velocidad de transferencia de información. El "50" en 50GPON se refiere a una relación de división de 1:50, lo que significa que un solo puerto GPON puede soportar hasta 50 usuarios finales.

Mediante el uso de 50GPON, los proveedores de redes pueden optimizar el potencial de la fibra óptica al brindar servicios de banda ancha de alta velocidad a un mayor número de usuarios. Esto se traduce en una mayor eficiencia y una disminución de los costos de implementación. Además, 50GPON es compatible con la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), lo que proporciona una mayor flexibilidad en la asignación de ancho de banda y la provisión de servicios adicionales.

En resumen, 50GPON representa una evolución de la tecnología GPON al proporcionar una capacidad de ancho de banda mejorada, lo que permite a los operadores ofrecer servicios de banda ancha ultrarrápidos a una mayor cantidad de usuarios mediante una infraestructura de fibra óptica eficaz y rentable.

En el siguiente capítulo se hará énfasis la viabilidad de esta tecnología, recogiendo en primer nivel los aspectos técnicos estándar para el despliegue de esta tecnología, posteriormente se abordará una comparativa con las redes XGS-GPON dado que en la actualidad son las más redundantes, y, por último, coexistencia con otras tecnologías y migración.

3.1 INTRODUCCIÓN 50G – PON

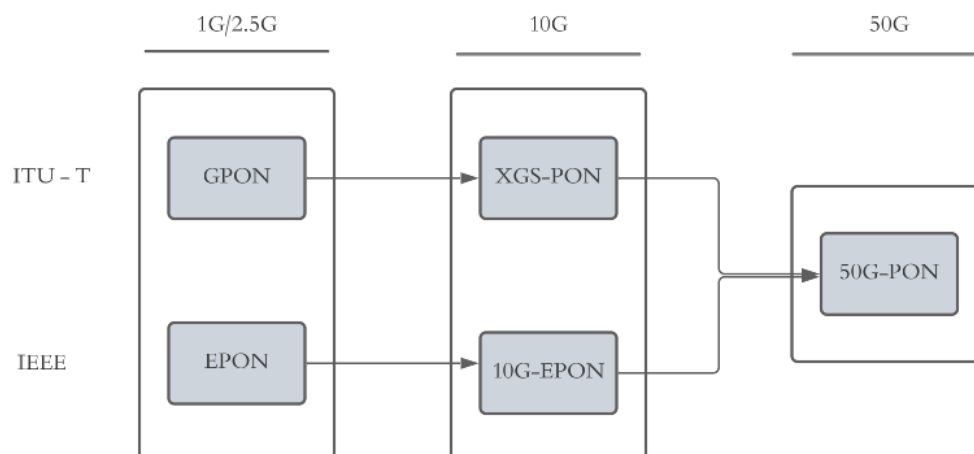
La tecnología 50G-PON, conocida como 50 Gigabit Passive Optical Network, al ser una red de banda ancha posibilita la transmisión de los datos a velocidades de hasta 50 Gbps, representando un paso significativo en las redes de acceso de fibra óptica, dadas sus considerables características respecto a otras tecnologías emergentes como la GPON. Con 50G-PON, se obtiene un potencial en las comunicaciones que permite dimensionar nuevas aplicaciones que demandan altas capacidades, como lo es la realidad virtual, telemedicina, la nube, y muchos otros campos y avances tecnológicos que requieren una conectividad veloz, confiable y eficiente.

En 50G-PON al igual que en otras tecnologías basadas en redes ópticas pasivas, existe una disminución a nivel de instalación y mantenimiento, dado que no se cuenta con amplificadores ópticos dentro de la red, es tan simple, como el tirado de fibra desde la CO hasta cada ONT pasando por los diferentes sistemas de distribución, que cada vez tienden a ser más inteligentes en disposición de la OLT, construyendo plataformas que permiten gestionar los diferentes puertos y las diferentes fallas que se pueden producir desde la alimentación de la red hasta el servicio de cada usuario.

Ahora bien, ¿por qué no se habla del paso de XGS-PON a 25G-PON sino de una vez a 50G-PON?, pues bien, como es conocido en los estándares, el paso, evolución y/o actualización de las tecnologías de red de acceso, se da en un aproximado de 8 a 10 años, aumentando hasta cuatro veces su capacidad, lo que haría que pasar a 25G-PON, sea un paso pequeño para la actualización de XGS-PON según la ITU-T, ya que el aumento de solamente dos veces en capacidad no lo hace suficiente para la inversión necesaria para una nueva generación de la tecnología PON, mientras que a nivel técnico y en el tiempo requerido, se pueden satisfacer las necesidades de servicio en los próximos años mediante esta nueva tecnología. Estos debates de la ITU presentados en 2018.2, 2019.7, 2020.2; han abierto paso a grandes objeciones por parte de operadores como Orange, China Telecom, Verizon, entre otras.

EVALUACIÓN ESTANDARIZACIÓN PON

En la siguiente gráfica 12, se puede observar la evolución de la diferente estandarización que se ha dado a las tecnologías basadas en Redes Pasivas Ópticas, de manera que se comprenda el gran salto que se está dando.



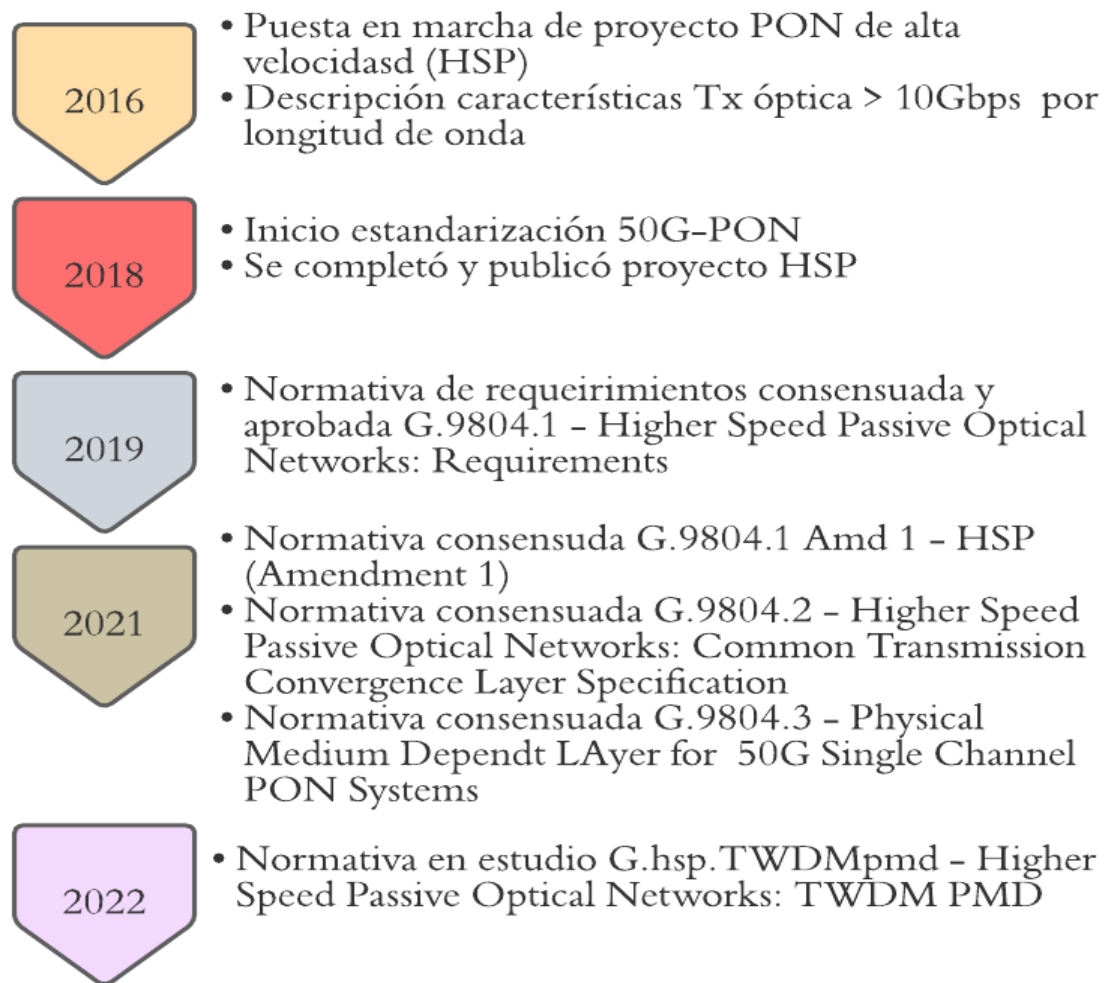
Gráfica 12. Evolución de estándares de las redes PON

3.1.1 ASPECTOS TÉCNICOS A EVALUAR

El 23 de abril de 2021, se aprobó oficialmente el estándar internacional de 50G-PON, según la reunión acordada por la ITU (ITU-T SG15), cumpliendo con las funciones básicas de estandarización.

El desarrollo que se tuvo frente a esta tecnología abarcó normativas que permitieran un paso consensuado de las partes involucradas en la **Reunión Plenaria de la CE 15 del ITU – T**. Las características reflejadas en estas normativas, abarcan la transmisión óptica por encima de 10 Gbps por longitud de onda entre la terminación de línea óptica (OLT) y la unidad de red óptica (ONU) y se aplicará a todas las normas PON por encima de 10G PON.

En la gráfica 13, se puede observar el correspondiente estado de estas solicitudes, consiguiendo comprender cuales de estas ya están finalizadas, aceptadas, y, por último, cuales se encuentran es estudio.



Gráfica 13. Esquema línea del tiempo normativas ITU – T para 50G-PON

Ahora bien, la tecnología de 50G-PON, basa su desarrollo en dos direcciones de manera que se pueda proveer la velocidad de 50Gbps. La primera se basa en mejorar la tasa de longitud de onda única o mejorando la tasa total por medio de multiplexación de longitud de onda múltiple, es por ello la amplia cobertura debatible para actualizar el ancho de banda de manera simple y eficiente. A continuación, se van a abordar los siguientes puntos clave a la hora del desarrollo de esta tecnología a nivel técnico:

- **Longitud de Onda:** En la actualidad, según la ITU-T todavía se tiene en discusión las longitudes de onda a usar por esta tecnología, sin embargo, se sabe que se puede usar una pequeña porción de longitudes de onda de la banda O, lo que teóricamente va a permitir reducir las penalizaciones por dispersión. Sin embargo, ya se determinó que no va a coexistir con GPON y

10GPON simultáneamente. Ahora, para evitar el uso de filtros ajustables, la longitud de onda del transmisor debe reducirse a un rango determinado. Por lo tanto, 50G-PON necesita un esquema de longitud de onda con longitudes de onda estrechas, por lo cual, se debatió el siguiente esquema de longitud de onda.

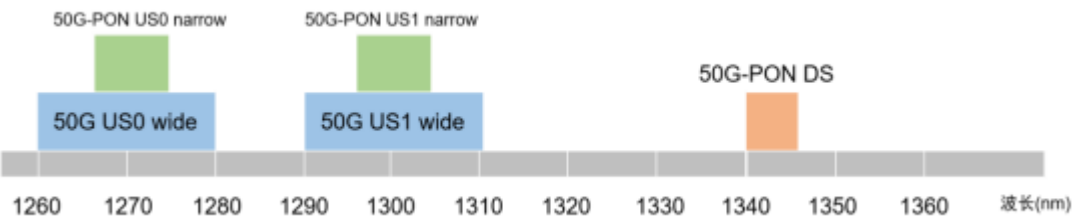


Figura 11. Esquema longitud de onda 50G-PON

En la figura 11, se puede observar el plan de longitud de onda propuesta a nivel de banda ancha y estrecha. Permitiendo comprender para un enlace descendente las bandas de 1310nm y 1314nm, y a nivel de canal ascendente, las opciones ya sea de 1290nm y 1310nm, o 1260nm y 1280nm. Que, a su vez, permitan la coexistencia con escenarios anteriores basados en PON.

Para la ejemplificación de lo que se desea, la idea es comprender un punto de asignación en donde se dé cabida a los diferentes requisitos de coexistencia de los operadores. Actualmente se ha estudiado la compatibilidad y coexistencia de la siguiente manera como se observa en la tabla 6:

Coexistencia	50G-PON US0		50G-PON US1	
	Banda Ancha	Banda Estrecha	Banda Ancha	Banda Estrecha
GPON	1260nm - 1280nm	1300nm - 1320nm / 1290nm - 1330nm	-	-
XG-PON/XGS-PON	-	-	1290nm - 1310nm	1298nm - 1302nm

Tabla 6. Coexistencia 50G-PON con otras tecnologías (Longitud de onda)

- **Codificación de Línea:** Se consideraron puntos a nivel de codificación de línea como PAM-4, modulación duobinaria y código NRZ, optando por esta última ya que se puede conseguir una mejor recepción de señal dado su requerimiento de potencia óptica alto.
- **Velocidad de línea:** Se requiere como principal objeto la velocidad de 50Gbps, pero además de ello, la ITU-T aclaró la combinación de velocidades simétricas y asimétricas, con una descendente y cuatro ascendentes. Se considerarían las siguientes velocidades:
 - 49,7664 Gbps de enlace descendente
 - 9,95328 Gbps de enlace ascendente
 - 12,4416 Gbps de enlace ascendente
 - 24,8832 Gbps de enlace ascendente
- **FEC:** Uso de FEC de mayor ganancia respecto a XG-PON, debido a que según el aumento de velocidad en tecnología se reduce la sensibilidad del receptor, es por ello, que se debe mejorar el rendimiento de este, por lo cual se va a hacer uso del esquema LDPC para FEC.
- **Convergencia Transmisión común:** Como bien se ha descrito, para los servicios que va a poder suplir la demanda, se requiere un bajo nivel de latencia, inclusive menor a 1ms, por lo cual, se implementa a través de DAW, CO-DBA y acortando el intervalo de asignación de ancho de banda.
 - **DAW:** Esta tecnología, permite a través de una longitud de onda definida o implementada por un sistema PON, la apertura de una ventana silenciosa en longitud de onda ascendente, de manera que se elimine el retraso causado esta.
 - **CO-DBA:** Es una tecnología que permite que, a través del estudio de la OLT hasta la ONU, se asigne un ancho de banda por adelantando, de manera que, se reduzca en lo posible el tiempo de almacenamiento en caché en la ONU.
 - **Acortar intervalo de asignación de ancho de banda:** Como se indica, es la reducción de ancho de banda asignado a la ONU, para reducir el tiempo de almacenamiento en caché de la ONU.

ESPECIFICACIONES RELEVANTES

Velocidades simétricas y asimétricas en dirección ascendente y descendente

- Velocidad simétrica de 50Gbps
- Velocidad asimétrica en canal ascendente de 50Gbps, y descendente de 25Gbps

ONUs con diferente tasa nominal de subida en el mismo canal de longitud de onda mediante TDMA

- Cobertura de hasta 60Km de distancia
- Máximo de longitud de fibra diferencial 40Km
- Relación de división óptica de 1:256

Admite tipos de fibra de acuerdo a especificaciones ITU-T G.652 e ITU-T G.657

Gráfica 14. Especificaciones relevantes Redes 50G-PON

3.1.2 VENTAJAS 50G-PON

A continuación, se van a desplegar las ventajas más características e imponentes de la tecnología de 50G-PON:

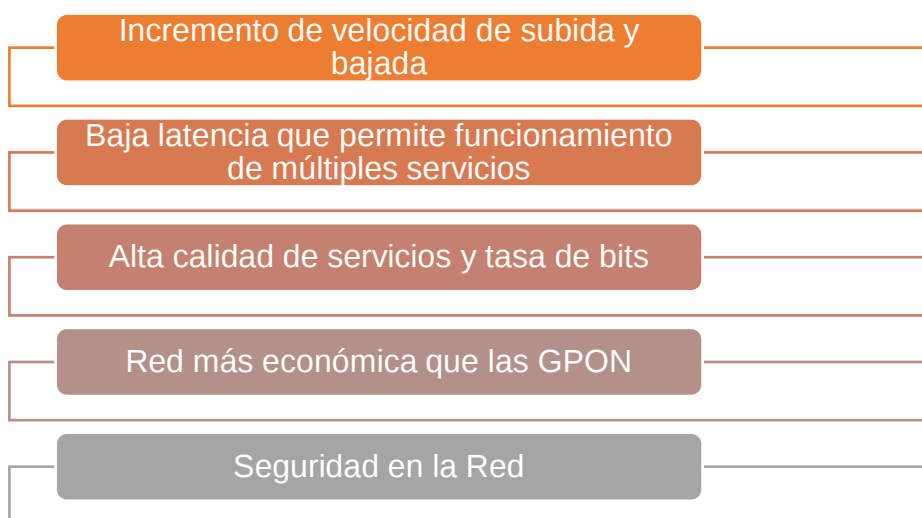
- **Mejor ancho de banda:** Como su propia denominación lo indica, esta tecnología se caracteriza por tener un componente de alta transmisión de velocidad en comparativa con otras tecnologías, lo que va a permitir que los consumidores accedan a los diferentes servicios como la nube, internet, multimedia y demás a través de una experiencia fluida y sin interrupciones.
- **Fibra Óptica Pasiva:** 50G-PON, es una tecnología basada en una arquitectura óptico pasiva, lo que quiere decir que la señal óptica se transmite sin necesidad de componentes activos en la red, lo que permite reducir la complejidad de la red y el consumo de energía en la infraestructura.
- **Compatibilidad con Tecnología GPON:** Una de las grandes ventajas de esta tecnología al ser tan avanzada, es su gran diseño, al ser este compatible con las redes existentes basadas en GPON, lo que permite una migración gradual y sencilla con redes anteriores a esta.
- **Pensada para el Futuro:** Como se indicó, las ventajas más características como lo es el ancho de banda, y su capacidad de velocidades más altas, convierte a esta tecnología en una opción dimensionada para el futuro, de manera que sea capaz de

satisfacer las crecientes demandas de conectividad y servicios digitales a medida que la tecnología continúa evolucionando.

- **Seguridad en la red:** En términos de seguridad, 50G-PON cuenta con características de cifrado y autenticación que permiten en conjunto con las medidas y prácticas de implementación que se propongan, una red más segura y eficiente. Dentro de estos aspectos se puede encontrar:
 - **Cifrado de datos:** Admite el cifrado de modo seguro que, mediante el cifrado de datos entre la OLT y la ONU, de manera que los datos transmitidos no sean legibles por terceros.
 - **Autenticación de dispositivos:** Implementa la autenticación de modo que solo los dispositivos autorizados puedan acceder a la red, asegurando que los dispositivos conectados sean confiables.
 - **Segregación de tráfico:** Agrega una capa de seguridad y privacidad adicional de modo que, se separe el tráfico de los diferentes clientes para que los datos transmitidos no interfieran entre sí, de esta manera, se previene la mezcla de información de usuarios y exposición de la misma a otros clientes en la red.

Las prácticas de seguridad mencionadas con anterioridad pueden variar en dependencia del proveedor de servicios y de la implementación de la red.

PUNTOS CLAVE



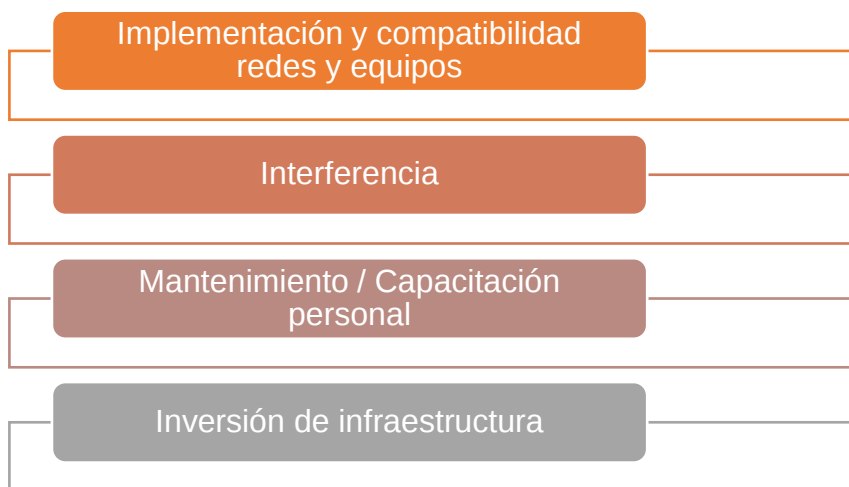
Gráfica 15. Ventajas de las Redes 50G-PON

3.1.3 DESVENTAJAS 50G-PON

A continuación, se van a desplegar las desventajas más características e imponentes de la tecnología de 50G-PON:

- **Costo implementación:** Al ser una red que se basa en altas velocidades, la infraestructura y/o equipos que se van a necesitar para esta tecnología puede llegar a ser un gran desafío para poder soportar esta tecnología a comparación de otras, afectando su despliegue a gran escala o en áreas con recursos limitados.
- **Compatibilidad con estándares:** A nivel que se actualizan los diferentes estándares de las tecnologías, como GPON y sus derivados, se puede llegar a requerir nuevos estándares, y/o protocolos, de manera que la compatibilidad con equipos o dispositivos más antiguos se puede ver afectada.
- **Interferencias:** Con el aumento en la tasa de velocidades, hay riesgo de una alta sensibilidad a interferencias externas, afectando la calidad de servicios e interrupción en los mismos.
- **Mantenimiento:** Aunque en la actualidad se tienen desarrollos en lo que es el mantenimiento y gestión de una red pasiva, a medida que aumenta en características como la velocidad, se pueden presentar diferentes retos ya que podrían aumentar los costos operativos, visitas más frecuentes en mantenimiento e inclusive personal más capacitado.
- **Alcance:** Con tan altas tasas de velocidad, se podría disminuir el alcance de transmisión, lo que supondría implementar redes más densas con más puntos de acceso que permitan llenar la cobertura requerida.
- **Complejidad técnica:** Con las características claves de esta tecnología, se podría intensificar también la necesidad de mejores características en los equipos que a lo mejor sean difíciles de estructurar además del requerimiento de personal altamente capacitado para implementación y mantenimiento de la infraestructura.
- **Inversión a largo plazo:** Las redes de alta velocidad pueden requerir a su vez actualizaciones constantes y competitivas teniendo en cuenta la evolución exponencial de estas mismas, por lo cual, podría requerir una inversión a largo plazo para estas alternativas.

PUNTOS CLAVE



Gráfica 16. Desventajas de las Redes 50G-PON

3.1.4 COMPARATIVA CON TECNOLOGÍAS XG(S)-PON

Como se ha abordado en el documento, las razones específicas por las cuales se pensó en una tecnología de adaptación que conllevara más velocidad que la actual de XG(S)-PON, es debido, a los servicios que en la actualidad demandan los usuarios, como lo es por ejemplo el video, siendo este un servicio básico transportado por las redes de banda ancha, además de no solo proveer servicios en entornos domésticos sino cubriendo aspectos a nivel empresarial, por lo cual, los retos entorno a la red vienen creciendo de manera exponencial y rápida, consumiendo necesidades que abarcan la métrica de la red, mejora de ancho de banda, latencia, pérdida de paquetes, calidad de servicio y experiencia del usuario.

Una vez, las redes basadas en 10G-PON se estandarizaron y se puso en comercialización de equipos y demás, entidades como IEEE y la ITU, comenzaron desarrollos e investigaciones en el plano de encontrar una tecnología que permitiera suplir en un futuro demandas de requisitos distintos a los que se tenía con la tecnología de 10 Gbps, es por ello, que se llegó al consenso que el mejor paso se diera a través de 50G-PON ya que multiplicaba por más de cuatro el ancho de banda, además de mejorar el soporte de servicios y reforzar la seguridad de la red en comparación de XG(S)-PON, considerando a su vez una integración sencilla y eficaz a la hora de implementar una migración que además sea compatible con la red de distribución ya existente.

A continuación, se destacan las diferencias principales entre tecnologías XG(S)-PON y 50G-PON.

- **Velocidad:** La principal diferencia radica en la capacidad de velocidad, ya que mientras XG(S)-PON transmite 10 Gbps, 50G-PON transmite 50 Gbps, lo que básicamente representa mejoras en rendimiento y transferencia de datos.
- **Ancho de banda:** Con 50G-PON, se suplirá un ancho de banda de inclusive cinco veces mayor a 10G-PON, lo que permitirá soportar más usuarios simultáneos de manera que no se comprometa el rendimiento.
- **Latencia:** El aproximado en tecnologías 50G-PON es de 10 microsegundos, mientras que en 10G-PON es de aproximadamente 1 milisegundo, lo cual influye en la experiencia de usuario más fluida y receptiva como juegos en línea, conferencias y demás.
- **Aplicaciones y Servicios:** En consecuencia, de las capacidades que puede alcanzar 50G-PON, se va a permitir la funcionalidad de aplicaciones y servicios más exigentes como juegos en línea, realidad virtual, video en ultra alta definición y demás servicios que requieren gran cantidad de transmisión de datos.
- **Escalabilidad:** 50G-PON, dadas sus capacidades permitiría en un futuro ofrecer bases más sólidas para actualizaciones posteriores y mejores adaptaciones frente a la exigente demanda tecnológica creciente a diferencia de XG(S)-PON.

TABLA COMPARATIVA TECNOLOGÍAS XG(S)-PON VS 50G-PON

A continuación, un despliegue de las diferencias comparativas entre las tecnologías de XG(S)-PON y 50G-PON, mencionadas a lo largo del documento:

CARACTERÍSTICAS	10G-PON	50G-PON
Velocidad Máxima	Hasta 10Gbps	Hasta 50Gbps
Ancho de banda	Menor que 10G-PON	Mayor que 10G-PON
Latencia	1 milisegundo	Aprox. 10 microsegundos
Infraestructura y costos	Infraestructura avanzada	Mayor complejidad y costos
Compatibilidad	Estándares establecidos	Dependencia de tipo de selección de onda
Aplicaciones y servicios	Soporte de aplicaciones de alta demanda	Permite servicios más exigentes
Escalabilidad	Buena escalabilidad futura	Más bases para actualizaciones futuras
Alcance	Dependencia de infraestructura y topología	Posible menor alcance debido a altas tasas de velocidad
Uplink/Downlink	Única Longitud de onda	Única Longitud de onda
Compatibilidad ODN	Si	Si

Tabla 7. Comparativa 10G-PON vs 50G-PON

3.1.5 ANALISIS DE MIGRACIÓN A 50G-PON

En la actualidad, es muy importante velar por experiencia y calidad que tienen los clientes a la hora de probar un nuevo servicio, es por ello, que en caso de migración se debe prosperar por tener un cambio de tecnología lo menos corrosivo, de manera que las interrupciones de servicio sean mínimas y el despliegue de infraestructuras desplegadas aprovechado. Según lo anterior, sería ideal analizar un panorama en el cual los estándares permitan la coexistencia de las nuevas tecnologías en infraestructuras ya existentes en una misma ODN, lo cual no generaría interrupciones, fallas y/o caída de varios servicios ya establecidos.

50G-PON, como bien se ha abordado es la siguiente tendencia de tecnología de despliegue de acceso a banda ancha por cable, por lo cual para llevar a cabo una migración lo más fluida posible y cumplir con las diferentes demandas de servicio es necesario comprender el tipo de infraestructura sobre el que se va a trabajar y finalmente, en que escenarios podría coexistir esta tecnología.

3.1.5.1 TIPOS DE INFRAESTRUCTURA ACTUAL

Dentro del estándar de las redes y con ánimo de comprender el tipo de migración necesaria de tecnología en un entorno específico, se pueden contextualizar dos enfoques:

- **Greenfield:** Es un tipo de infraestructura que se basa en el diseño y/o implementación de una *nueva* infraestructura de red desde el inicio, es decir, desde el momento cero de creación, sin equipos heredados, restricciones o limitaciones preexistentes. Este tipo de enfoque, no tiene en mente tecnologías, soluciones o sistemas ya establecidos, por lo cual permite una mayor flexibilidad en el diseño y elección de tecnologías a decisión. Dentro de sus características principales podemos destacar:
 - No se hace uso de equipos y/o dispositivos heredados, cada uno de los sistemas a implementar se planifican y diseñan desde el momento cero.
 - Al ser un entorno que no se enfoca en tecnologías ya existentes, es más sencillo considerar que soluciones y tecnologías se desean implementar sin tener en cuenta la compatibilidad y coexistencia con cada una.
 - Hay menos limitaciones, dado que, al no haber una infraestructura ya existente, no hay riesgos de contar con restricciones o limitaciones impuestas por tecnologías anteriores, de modo que, es más fluido adaptar una nueva tecnología de implementación a las necesidades del proyecto.
 - Más eficiencia a la hora de integrar y configurar una nueva tecnología, dado que no hay que lidiar con sistemas heredados.
 - Al construir un proyecto de infraestructura de una red desde cero, implica que la inversión y el retorno de la misma sea mayor que si se compara el desarrollo dentro de una red ya heredada.
- **Brownfield:** Es un tipo de infraestructura que se basa en ubicaciones que ya comprenden un desarrollo estructural, es decir, que ya se han ejecutado

proyectos y/o implementaciones que permiten mejorar, actualizar o ampliar una red ya existente. Por tanto, se refiere a un contexto en que los proyectos pueden involucrar algún tipo de desarrollo en redes ya existentes y funcionales, que cuenten con equipos y una tecnología ya definida. Dentro de sus características principales podemos destacar:

- Es una infraestructura ya existente y en uso, en donde ya se pueden incluir dispositivos de red como enrutadores, cables de red, conmutadores y demás.
- De manera que se aumente el rendimiento, seguridad y capacidad de la red, este enfoque permite implementar nuevas tecnologías de mejora con los componentes ya existentes.
- En caso de querer integrar sistemas existentes a esta nueva red, se ha de tomar en cuenta los equipos y sistemas ya establecidos, de manera que se ejecute una integración adecuada a la red.
- Los proyectos con este tipo de enfoque deben involucrar un cuidado especial frente a los riesgos adicionales que se pueden presentar frente a la interacción con los sistemas ya existentes, además de que exigen en algunos casos cambio de tecnologías obsoletas a unas más modernas y eficientes.

En conclusión, los dos panoramas implican unos riesgos, características e inversión diferente, teniendo cada uno, ventajas dependientes del tipo de proyecto que se vaya a requerir, claramente para beneficio de proveedores y demás una mejor opción y recomendada, va a ser tener una estructura basada en Brownfield, dado que se puede reutilizar dispositivos, sistemas y demás, y la inversión puede llegar a ser mínima en comparativa con un entorno Greenfield, sin embargo, si llegan a haber problemáticas con coexistencia y/o compatibilidad es un inconveniente que se tendría que poner bajo estudio.

3.1.5.2 PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS DE COEXISTENCIA

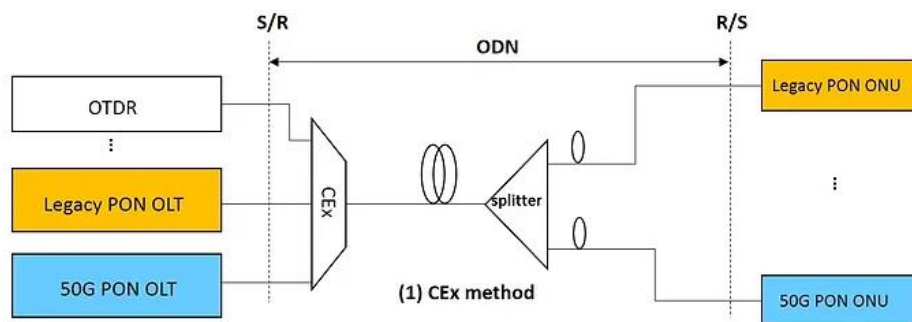
En la actualidad, las telecomunicaciones han jugado un papel muy importante en la interconexión de dispositivos y personas a nivel global. Sin embargo, eso implica que a medida que hay demandas exigentes de evolución de tecnología y servicios de exigencia por parte de los usuarios, es necesario considerar casos de coexistencia entre redes, dado que se han convertido en una necesidad y que implican un desarrollo en dispositivos, sistemas, migración gradual, compatibilidad de estándares, flexibilidad y adaptabilidad. Por ende, la coexistencia de una o más

tecnologías es crucial para permitir la interoperabilidad, adaptabilidad y crecimiento progresivo de las comunicaciones, aprovechando ventajas de ambas soluciones.

Según la ITU-T G.9804.1, existen dos modos en los cuales es posible lograr la evolución y actualización de los actuales sistemas PON:

- **Elementos de Coexistencia Externos (CEx):**

En este método, se necesita que los operadores de servicio desplieguen los dispositivos de CEx con anticipación, además de añadir una tarjeta de línea nueva OLT. En la gráfica 17 se puede observar el funcionamiento y estructura cuando se opta por el despliegue de esta técnica.

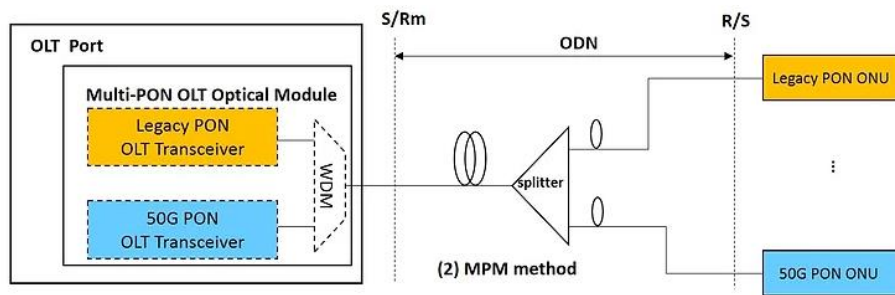


Gráfica 17. Método CEx (Elementos de Coexistencia Externos) (ITU, 2021)

- **Módulo Multi PON (MPM) / Tarjeta Combo PON/ Tarjeta PON Universal:**

Este método, permite que, en los despliegues a gran escala, los operadores puedan reducir costes a nivel de espacio, consumo de energía y demás. Permite simplificar procesos de ingeniería dedicados a la actualización de redes a gran escala, tasas de fallos y demás requisitos técnicos.

Es una técnica que solo deriva que los operadores retiren y cambien la tarjeta de línea OLT PON por la actualizada, haciendo uso de la misma ranura en el chasis, sin necesidad de agregar otra OLT. Así mismo, no hay necesidad de organizar una nueva tendida de fibra ya que se puede reutilizar, la única “problemática” que se tendría es la pausa de actividad del servicio por un promedio de cinco minutos, interrupción no cometida en el método de CEx. En la gráfica 18 se puede observar el funcionamiento y estructura cuando se opta por el despliegue de esta técnica.



Gráfica 18. Método MPM (Módulo Multi PON) (ITU, 2021)

Ahora bien, estos dos modos se diferencian en que el método MPM incluye ventajas a nivel técnico y de inversión en comparativa con los elementos de coexistencia externos, ya que su funcionalidad radica en el cambio de la tarjeta de línea OLT PON anterior por una de nueva generación, de manera que no se deba hacer un despliegue de fibra diferente, o reordenación, inclusive que no se deba reemplazar o añadir chasis existentes, lo cual permite reducir tiempos de planificación y costes asociados a equipos de despliegue de CEx. En la actualidad, para cambios de tecnología de actualización GPON a XG(S)-GPON, se hace uso de la técnica MPM por varios operadores.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE DESPLIEGUE 50G-PON

De acuerdo a los capítulos anteriores en los que se recoge la información necesaria para comprender a nivel técnico cada una de las tecnologías innovadoras existentes y el porqué de su evolución, en el siguiente capítulo se abordará el correspondiente estudio y análisis determinante para el despliegue de la tecnología 50G-PON, considerando puntos clave de migración, equipos, alcance y por supuesto, presupuesto tentativo a la hora de implementar esta solución.

50G-PON es una tecnología innovadora para varias matrices de seguridad, velocidad y dimensión de servicios demandados, por lo cual, a nivel técnico se puede establecer una viabilidad positiva no solo por parte de los operadores, sino también de los usuarios, sin embargo, se sabe que su modo de migración puede estar sujeta a modificaciones en la red, dispositivos ópticos y demás que necesiten adaptación a la nueva actualización de tecnología, teniendo en cuenta que en la actualidad muchos de los dispositivos disponibles se encuentra bajo desarrollo, o no incluyen las características necesarias para facilitar esta migración.

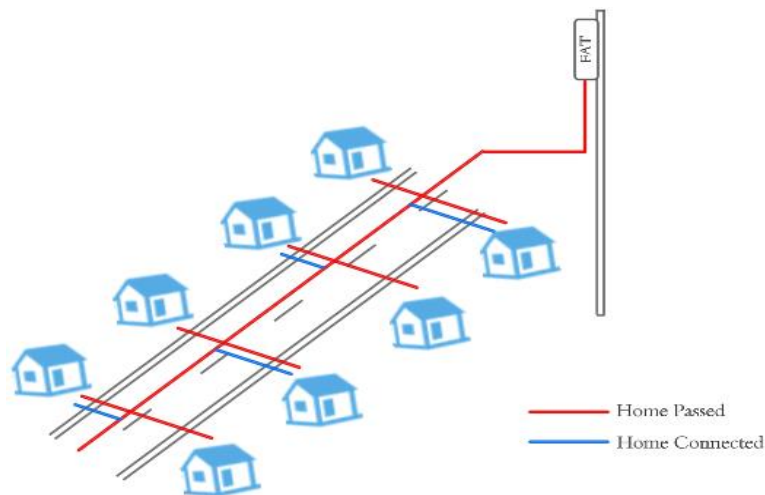
Por tanto, para la validación de las diferentes técnicas de migración de tecnología y con base a pregunta problema inicial de este proyecto, se hará particular un caso de estudio tentativo que permita comprender paso a paso las características de escenario necesarias para hacer una migración de tecnología, lo ideal, sería contar con un caso de estudio real que permita no solo corroborar la información estimada, sino de igual forma concretarse para un futuro no lejano, sin embargo, se sabe lo clasificada que llega a ser esta información para los consumidores. Por ende, solo se planteará la problemática en un caso hipotético.

4.1 CASO DE ESTUDIO PROPUESTO (BOGOTÁ, MEDELLÍN Y CALI)

Dado que en el capítulo dos, en los apartados correspondientes se hizo énfasis en el sector de Colombia, específicamente en las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali, al ser las más urbanizadas y grandes de Colombia, se ha propuesto un entorno de un **Operador xyz**, el cual ha distribuido servicios de fibra hasta el hogar únicamente en una zona urbanizada de cada ciudad y de los estratos que de acuerdo al MinTIC contratan más capacidades a medida que crece el impacto de los servicios. Con el fin de probar la última tecnología de XG(S)-GPON dadas sus altas capacidades y la demanda de los usuarios por obtener más servicios, el operador xyz ha definido una

fase inicial de Home Passed * y Home Connected * distribuidos de la siguiente manera en cada zona de las ciudades Correspondientes:

* **Nota:** Home Passed hace referencia a el correspondiente despliegue físico en una red hacia las diferentes ONTs sin contar con servicio, es decir, cuando un operador dispone de un despliegue general sin considerar que todas esas conexiones van a tener servicio. Por tanto, Home Connected, es la cantidad de ONTs que en el despliegue de Home Passed poseen servicio. Esta ejemplificación se puede observar en figura siguiente:



Gráfica 19. Concepto Home Passed y Home Connected

Bogotá: Se acordaron 2000 Home Passed, sin embargo, la propuesta y validación final solo generó un porcentaje de penetración del 50%, lo que quiere decir que solo se tiene existencia de 1000 Home Connected.

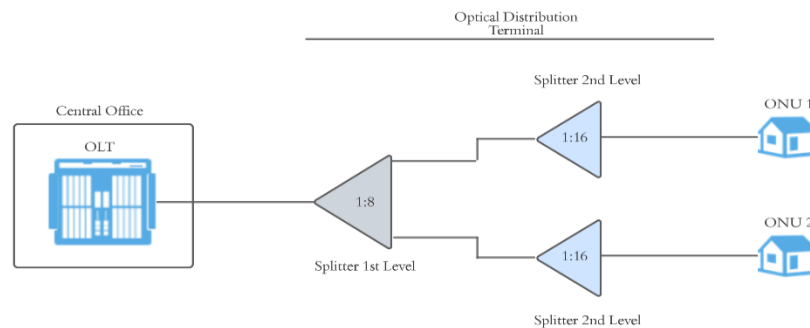
Medellín: Se acordaron 1500 Home Passed, sin embargo, la propuesta y validación final solo generó un porcentaje de penetración del 40%, lo que quiere decir que solo se tiene existencia de 600 Home Connected.

Cali: Se acordaron 1000 Home Passed, sin embargo, la propuesta y validación final solo generó un porcentaje de penetración del 30%, lo que quiere decir que solo se tiene existencia de 300 Home Connected.

Ahora bien, de acuerdo a los tipos de escenarios planteados y con el fin de proyectar la solución a la pregunta problema de la eficacia, sencillez y flexibilidad de migrar a la tecnología 50G-PON, se tendrá en cuenta un panorama de Brownfield en las tres

ciudades, en donde la idea es proponer una solución que maneje la infraestructura ya montada, es decir, que aproveche los recursos de la red a modo de no tener que montar todo desde cero y tener un factor mayor de inversión como sería en un escenario Greenfield. Además, se puede identificar que la tecnología de XG(S)-PON puede coexistir con 50G-PON en la banda US1, lo que quiere decir que, la mejor decisión es reutilizar la infraestructura ya puesta en marcha.

Al margen del tipo de escenario seleccionado, se especifica a continuación el tipo de red de acceso respectiva a nivel de cómo está compuesta por sus diferentes elementos pasivos y activos, y de manera que permite la cobertura correspondiente de los usuarios conectados en cada ciudad específica.



Gráfica 20. Topología de Acceso para caso de estudio

De acuerdo a la gráfica 19, se puede entender como una estructura de acceso compuesta por dos niveles de splitter, la idea es que de principio se provea un Split de 1:8 y posteriormente su división óptica se entienda por la relación 1:16, de manera que se complete la ratio de división de 1:128 por cada ODN.

Características de la problemática

- **Bogotá:**
 - 2000 HP
 - Tasa de porcentaje de penetración del 50%
 - 1000 HC
 - ODN con Splitter de 1:128 → $1000/128 \rightarrow 8$ ODNs en Total para cobertura
 - Se requiere coexistencia entre XG(S)-GPON y 50G-PON
- **Medellín:**
 - 1500 HP

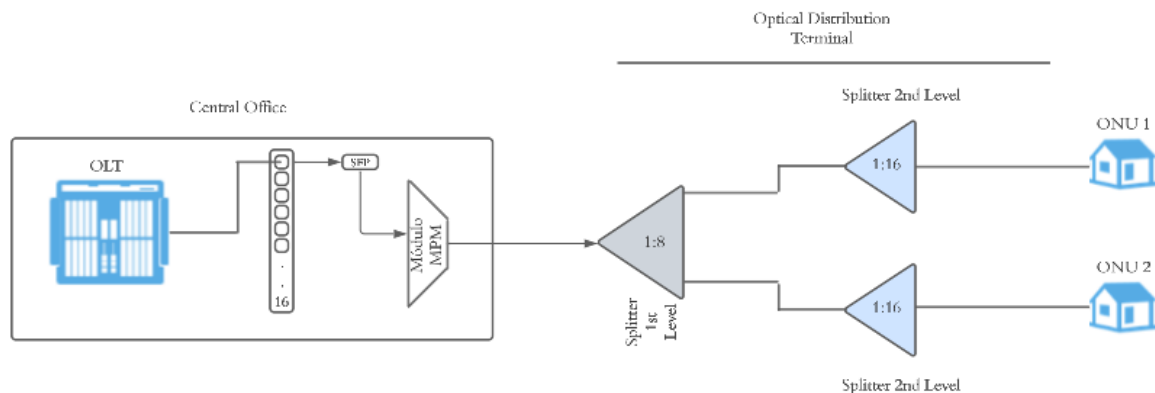
- Tasa de porcentaje de penetración del 40%
- 600 HC
- ODN con Splitter de 1:128 $\rightarrow 600/128 \rightarrow 5$ ODNs en Total para cobertura
- Se requiere coexistencia entre XG(S)-GPON y 50G-PON

- **Cali:**

- 1000 HP
- Tasa de porcentaje de penetración del 30%
- 300 HC
- ODN con Splitter de 1:128 $\rightarrow 300/128 \rightarrow 3$ ODNs en Total para cobertura
- Se requiere coexistencia entre XG(S)-GPON y 50G-PON

4.2 SOLUCIÓN PROBLEMÁTICA

Teniendo en cuenta los tipos de métodos asociados a una migración visto en el apartado 3.1.5.2, el ideal en dependencia de usar la misma estructura es a través de MPM como se observa en la gráfica 21.



Gráfica 21. Topología de Acceso final para caso de estudio

Para ello los pasos a seguir son los siguientes para cada una de las ciudades correspondientes:

1. Una vez analizada la estructura de dispositivos y de red establecida, lo primero que hay que hacer es reemplazar acorde a la información planteada la tarjeta de línea en la OLT, por una que permita integrar la tecnología de 50G-PON, y que a su vez mantenga la tecnología de XG(S)-PON. Esta facilidad de cambio de tarjeta de línea también debe tener consideración de

la OLT puesta en marcha, pero dado que se está utilizando una OLT adaptable para la última tecnología de vanguardia conocida como lo es XG(S)-PON, hay una alta tasa de viabilidad de que involucre características necesarias para una tarjeta con capacidad para 50G-PON, como lo es la OLT de Huawei SmartAX MA5800 que soporta tecnologías como GPON, XG-PON, XGS-PON y 10GE/GE, en donde esta última, solo se encuentra en equipos Huawei en comparativa con otros vendedores, lo que lo hace un plus en redes de acceso.

Para este caso, se va a simular el uso ya funcional de una OLT Huawei MA5800-X7, dado que el operador xyz planean expandir su red y llevar nuevas capacidades a muchas más partes de cada ciudad. Se ha de tener en cuenta que, según la capacidad ya planteada en el problema, solo se tendría en principio la puesta de una tarjeta de línea OLT con ocho puertos de ocupación para suplir una demanda de 1024 Hogares Conectados en el caso específico de Bogotá. Por ende, hay dos opciones en este apartado, la primera es reemplazar toda la tarjeta por una que si cumpla con las características de 50G-PON y XG(S)-PON, y la otra es simplemente usar un espacio de los seis slots desocupados para interponer una tarjeta de línea que cumpla con las características deseadas, de esta manera, sí se desconectaría al usuario, pero se podría proponer una solución para administrar los puertos XG(S)-PON en otra área de la zona.



Figura 12. OLT Huawei MA5800 X7 (Huawei Technologies Co., s.f.)

En la figura 12, se puede encontrar el correspondiente equipo OLT que se encuentra en la red actual del operador xyz, este dispositivo cuenta con características como se muestra en la tabla 8:

Specification	SmartAX MA5800-X7
Switching Capacity of the Control Board(load sharing mode)	MPLA: 3.6 Tbit/s MPLB: 7 Tbit/s
Maximum Bandwidth per Service Slot(load sharing mode) ²	MPLA: 100 Gbit/s MPLB: 200 Gbit/s
Maximum Number of MAC Address	262143
IGMP Concurrent Processing Capability	8000 pps
Maximum Number of Upstream Ports on the Control Boards in a Subrack (load sharing mode)	8 x 10GE/GE
GPON Ports ³	16
Flex-PON ³	16
XG(S)-PON Ports ³	16
P2P GE/FE ³	48
P2P 10GE ³	24

1. This content is applicable only to regions outside the Chinese mainland. Huawei reserves the right to interpret this content.

2. The value before the slash (/) refers to the device's switching capability, while the value after the slash (/) means the system's switching capability.

3. Capacity of single board.

Tabla 8. Especificaciones MA5800 – X7 (Huawei Technologies Co., s.f.)

Teniendo en cuenta la información planteada, a modo de ejemplo, si se abordara un caso de la vida real, se plantearían dimensiones de grandes escalas de usuarios, lo que quiere decir que, no se tendrían slots desocupados, por ende, se realizará el ejercicio reemplazando la tarjeta por una que permita la coexistencia de ambos estándares y tecnología, ya que esto demostraría la validación de una migración y no solo de una estructuración desde cero.

En la actualidad o por lo menos a nivel comercial, aún no se encuentran tarjetas planteadas para la tecnología 50G-PON directamente, sin embargo, es de conocimiento el desarrollo que se ha estado teniendo para estos equipos. Dada esta información, se propone una tarjeta Flex-PON, que incluye la coexistencia de tecnologías como GPON, XG-PON, XGS-PON, GPON&XG-PON, y GPON&XGS-PON, además en sus características técnicas se conoce que el HW está listo para TWDM-PON en el futuro. Normalmente en esta tarjeta, para hacer una migración de GPON y XGS-PON, es necesario activar licencias a nivel de RTU, módulos ópticos y las ONUs respectivas y compatibles con la tecnología como se muestra en la tabla 9, lo que quiere decir, que es uno de los pasos que se debe seguir en cuanto se tenga comercialmente tecnología dimensionada para 50G-PON.

Port Mode	RTU Type	Optical Module Type	ONU Type
GPON	No need	GPON	GPON ONU
XG-PON	XG(S)PON RTU	XG-PON	XG-PON ONU
XGS-PON	XG(S)PON RTU	XGS-PON	• XG-PON ONU • XGS-PON ONU
XG-PON Combo	XG(S)PON RTU	XG-PON Combo	• GPON ONU • XG-PON ONU
XGS-PON Combo	XG(S)PON RTU	XGS-PON Combo	• GPON ONU • XG-PON ONU • XGS-PON ONU

Tabla 9. Especificaciones Licencias RTU, módulos ópticos y ONUs (Huawei Technologies Co., s.f.)

En la figura 13, se encuentra la correspondiente tarjeta de línea OLT FlexPON por la que vamos a reemplazar la tarjeta ya existente de servicios XG(S)-PON, compatible con la OLT.



Figura 13. Tarjeta de línea OLT FlexPON H902FLHF (Huawei Technologies Co., s.f.)

La tarjeta de línea propuesta cumple con las siguientes características necesarias, las cuales podemos observar en la figura 14:

H902FLHF Board

The H902FLHF board is an 16-port Flex-PON OLT Interface board. It can support GPON, XG(S)-PON, and XG(S)-PON&GPON Combo access now. It works together with the optical network unit (ONU) to provide XG(S)-PON and GPON access services. Hardware is ready for TWDM-PON in future.



Benefits

- High density and energy saving
 - High density and low power consumption, supporting 2048 access users
- High reliability
 - Chip-level type B protection (single-homing and dual-homing) and type C protection (single-homing and dual-homing) switching
 - Real-time rogue ONT detection and isolation, ensuring stable service running
- High-value services
 - 4-level HQoS, improving user experience
 - 9216 jumbo frames, greatly improving transmission efficiency
- Intelligent management channel
 - Smart processing of XG(S)-PON and GPON services, meeting hybrid service requirements and reducing board and spare part types
- Efficient OAM
 - Variable-length of OMCI, improving upgrade efficiency and reducing break off time
 - A maximum distance difference of 40 km between two ONUs under the same PON port (board capability), simplifying network planning
 - VMOS, improving video troubleshooting efficiency

External Interfaces

16* XG(S)-PON&GPON ports (SFP/SFP+)

- Max. split ratio: 1: 256

Specifications

Function	
Forwarding capability	200 Gbit/s
Rate mode	Asymmetric rate Symmetric rate
T-CONTs per PON port	GPON: 1024 XG(S)-PON: 2048
Service flows per PON board	16352
Maximum frame size	2052 bytes 9216 bytes (jumbo frame enabled)
Maximum number of MAC addresses	131072
Maximum distance difference between two ONUs under the same PON port (board capability)	40 km
FEC	Bidirection
CAR group	Supported
HQoS	Supported
Variable-length OMCI	Supported
ONU based shaping or queue-based shaping	Supported
Type B protection (single-homing)	Supported
Type B protection (dual-homing)	Supported
Type C protection (single-homing)	Supported (applicable to GPON channels)
Type C protection (dual-homing)	Supported (applicable to GPON channels)
1588v2	Supported
Rogue ONT detection and isolation	Supported
Automatic shutdown at high temperature	Supported
Energy saving for service boards	Supported

Environment

Operating temperature	-40° C to +55° C
Power consumption	Static: 51 W Maximum: 107 W

Figura 14. Tarjeta de línea OLT FlexPON H902FLHF Datasheet (Fernandes, 2021)

Cumpliendo con las características de la tarjeta, es necesario adaptar módulos ópticos que satisfagan las conexiones necesarias de las tecnologías a migrar, por lo cual se va a hacer uso de los siguientes módulos SFP XGS-PON&GPON OLT Class C+, que como su propia descripción lo indica funciona para las necesidades dadas y equivalentes al comercio actual, ya que estos dispositivos siguen en desarrollo. El módulo propuesto se puede observar en la figura 15.



Figura 15. Módulo Óptico SFP XGS-PON&GPON OLT Class C+ (Huawei Technologies Co., s.f.)

2. Una vez se haya definido la tarjeta de línea OLT y los módulos ópticos a reemplazar, lo siguiente es proponer el dispositivo MPM acorde a la migración que se está llevando a cabo, de manera que la conexión que se adapta a los transceiver vaya directamente al dispositivo Multi-PON OLT Module (Módulo WDM) y este simplemente simplifique el proceso y vaya directo al splitter con las señales de las tecnologías que llegan y por consiguiente a las diferentes ONUs establecidas que soporten las tecnologías de vanguardia, de esta forma, se ahorra el proceso de integración de un equipo de coexistencia. El equipo equivalente a proponer lleva tecnologías GPON, XGS-PON y NGPON2, por el momento a nivel comercial no hay existencia de dispositivos que manejen la coexistencia con 50G-PON, es por ello que se hará énfasis en este dispositivo planteado en la figura 16.



Figura 16. Módulo Multi PON MPM WDM X PON (wdm3pon), WDM module, combine (split): GPON 2.5G / XGSPON 10G / NGPON2 40G (LightOptics, s.f.)

El módulo propuesto en la figura 16, va en la C.O en disposición del rack existente, de manera que se pueda hacer una fácil y sencilla asociación con cada uno de los puertos dispuestos para las ONTs establecidas. Las características influyentes para la selección de este dispositivo están establecidas en la tabla 10.

Networks/Services	Wavelengths (nm)
GPON/25G	1290 – 1500nm
XGS-PON	1260 – 1280nm & 1575 – 1581nm
NG-PON2	1524-1544nm & 1596-1603nm
RF Video Band	1550 – 1560nm
Point to Point (PTP) WDM-PON Band	1610-1625nm
OTDR Monitor Band	1625-1675nm
OSC	C-band
UPG	1550-1560nm & 1613-1650nm

Tabla 10. Especificaciones dispositivo MPM WDM integrado (LightOptics, s.f.)

- Finalmente, se ha de reemplazar las ONTs localizadas en el extremo del cliente, de manera que dentro de sus especificaciones soporte las nuevas

tecnologías de vanguardia y no genere problema al establecer conexión. Para propósitos requeridos del trabajo, se seleccionó la ONT de Huawei OptiXstar HN8010Ts, como equivalente a la tecnología 50G-PON, ya que, en la actualidad, estos dispositivos se encuentran en desarrollo, por ello, se seleccionó uno de los dispositivos más nuevos que soporta tecnología XG(S)-PON como se puede observar en la figura 17.



Figura 17. Huawei HN8010Ts, an XGS-PON bridging-type ONT (Huawei Technologies Co., s.f.)

Dentro de las características que cumple este dispositivo se encuentra el uso de tecnología XG(S)-PON de manera que se implemente el acceso de banda ultra ancha para los usuarios y demás características contempladas en la tabla 15. Ahora bien, en dependencia del caso de estudio para cada ciudad, es necesario considerar a cuantos usuarios se les debe proveer conexión, y esa será la cantidad de ONTs necesarias a instalar.

4.2.1 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Normalmente, cuando se realizan las pruebas correspondientes del funcionamiento de una red, se inicia comprobando en las específicas ONTs, de manera que se pueda dar la información pertinente de velocidad a nivel de carga y descarga, de este modo se puede comprobar si está llegando la capacidad correspondiente teórica de 50G-PON.

Una manera de no solo probar si está llegando la señal correspondiente, sino también comparar con la tecnología anterior es hacer pruebas antes y después de la conexión de servicio.

A nivel del operador, se puede tomar un simulador de OLT, que en la actualidad son cada vez más automatizados y permiten controlar diferentes alarmas y demás, de manera que se pueda hacer una conexión simple y rápida de prueba antes de ir a sitio e instalar los equipos requeridos. De igual forma, si no se puede tener este dispositivo, se puede probar directamente con la OLT en servicio. Las pruebas que hay que manejar a nivel de red son las siguientes:

- Probar la correcta adaptación de las tarjetas actualizadas (En este caso FlexPON), incluyendo los SFPs, de manera que sean el tamaño indicado y las distancias necesarias para el diseño de la red.
- Identificar el correcto funcionamiento del módulo MPM con integración WDM, ya que es un nuevo dispositivo que se integra en la red y puede presentar fallas de acondicionamiento o simplemente de soporte con las tecnologías necesarias.
- Verificar que, al momento de hacer las conexiones pertinentes hacia los splitters de primer y segundo nivel, no se haya caído la señal y los cables y tendidos de fibra se encuentren en buen estado, además de verificar la calidad de las conexiones ópticas entre terminales y equipos de red, para ello se puede hacer uso de un medidor de potencia óptica, de modo que se establezca la transmisión de extremo a extremo correctamente.
- Establecer pruebas de velocidad en la conexión de la red, esto ya de lado de la ONT, se puede hacer mediante un software de velocidad especializado o en la web, de manera que se pueda analizar la capacidad que llega en dependencia de lo que se espera, es decir, a modo simétrico o asimétrico, considerando la tecnología de 50G-PON.
- Conforme a las mejoras que ofrece esta tecnología es importante poner a prueba la latencia baja que se considera, a nivel del envío y recepción de paquetes de datos, dado que es ideal para varios servicios de aplicación que requiere latencias bajas.
- En cuanto a las conexiones simultáneas, es claro que los equipos inciden mucho en ello, pero el estándar seleccionado también, y es por eso idea, someter la red a varias cargas de tráfico de manera que se ponga a prueba esta información teórica.
- Realizar pruebas de interoperabilidad si la idea es que coexistan las dos tecnologías de XGS-PON y 50G-PON, es por ello que hay que realizar pruebas de interoperabilidad que confirme que las dos tecnologías funcionan adecuadamente.

Tabla 12. Diagrama de Gantt segunda parte

Las actividades respectivas a realizar son:

- Diseño infraestructura y arquitectura de red
 - Analizar que equipos hay que cambiar y cuales, en necesidad de la arquitectura ya planteada
- Dimensión de inversión y Compra de equipos
 - Establecer los equipos a cambiar en conjunto con el presupuesto que se tenga, y con base a ello pedir los dispositivos y contemplar los tiempos de llegada
- Sobre Aviso Clientes corte de Servicio
 - En dependencia de la cantidad de usuarios proveer la información requerida de los cambios y la demora y corte de servicio
- Puesta en marcha de instalación en Central Office
 - Hacer los cambios pertinentes de tarjetas, la integración de los módulos SFPs y la instalación del nuevo módulo MPM WDM
- Pruebas de Funcionalidad
 - Prueba de Adaptación del reemplazo de tarjetas FlexPON, incluyendo pruebas de módulos SFPs
 - Prueba de Funcionalidad módulo WDM MPM a nivel funcional y acondicionamiento de conexiones
 - Prueba de calidad de conexiones ópticas entre terminales y equipos de red
 - Prueba de velocidad en la red, a nivel de carga y descarga
 - Prueba de latencia, envío y recepción de paquetes de datos
 - Prueba de envío masivo de tráfico de paquetes para verificar conexiones simultaneas
 - Pruebas de interoperabilidad confirmando correcta coexistencia de ambas tecnologías
 - Prueba de análisis de seguridad de red y de los paquetes a nivel de una red integral y funcional
- Puesta en marcha de instalación en Sitio
 - Reemplazo de ONTs en sitio, por las que si soportan los estándares correspondientes de 50G-PON, y posteriormente puesta en marcha del servicio

4.3 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Teniendo en cuenta el proceso llevado a cabo para la migración y coexistencia de las tecnologías de vanguardia y futuras, se ha de establecer un censo económico en donde se provea una idea de los costos totales que esto implicaría al operador xyz, es por ello que se estableció esta información en la tabla 16, en donde se estima el valor neto de la inversión por las tres ciudades.

BOGOTÁ				
EQUIPO NECESARIO PARA DESPLIEGUE	CANTIDADES REQUERIDAS POR ODN	CANTIDADES REQUERIDAS POR 8 ODNs	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tarjeta de Línea OLT FlexPON H902FLHF	N/A	1	696,08 USD	696,08 USD
Módulo Óptico SFP XGS-PON&GPON OLT Class C+	1	8	38,35 USD	306,8 USD
Módulo Multi PON MPM WDM X PON	N/A	1	74,00 USD	74,00 USD
Huawei OptiXstar HN8010Ts ONT	128	1024	120,45 USD	123340,8 USD
				124417,68 USD

Tabla 13. Especificaciones económicas de costos de inversión para la ciudad de Bogotá

MEDELLÍN				
EQUIPO NECESARIO PARA DESPLIEGUE	CANTIDADES REQUERIDAS POR ODN	CANTIDADES REQUERIDAS POR 8 ODNs	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tarjeta de Línea OLT FlexPON H902FLHF	N/A	1	696,08 USD	696,08 USD
Módulo Óptico SFP XGS-PON&GPON OLT Class C+	1	5	38,35 USD	191,75 USD
Módulo Multi PON MPM WDM X PON	N/A	1	74,00 USD	74,00 USD
Huawei OptiXstar HN8010Ts ONT	128	640	120,45 USD	77088,00 USD
				77353,75 USD

Tabla 14. Especificaciones económicas de costos de inversión para la ciudad de Medellín

CALI				
EQUIPO NECESARIO PARA DESPLIEGUE	CANTIDADES REQUERIDAS POR ODN	CANTIDADES REQUERIDAS POR 8 ODNs	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tarjeta de Línea OLT FlexPON H902FLHF	N/A	1	696,08 USD	696,08 USD
Módulo Óptico SFP XGS-PON&GPON OLT Class C+	1	3	38,35 USD	115,05 USD
Módulo Multi PON MPM WDM X PON	N/A	1	74,00 USD	74,00 USD
Huawei OptiXstar HN8010Ts ONT	128	384	120,45 USD	46252,8 USD
				47137,93 USD

Tabla 15. Especificaciones económicas de costos de inversión para la ciudad de Cali

En las tablas 13, 14 y 15 respectivamente, podemos visualizar los costos respectivos por ciudad en dependencia de la demanda de usuarios y de la cantidad de ODNs necesarias respecto al diseño evaluado.

GASTOS OPERADOR XYZ BOGOTÁ, MEDELLÍN Y CALI	
CIUDAD	GASTO TOTAL
Bogotá	124417,68 USD
Medellín	77353,75 USD
Cali	47137,93 USD
	248909,36 USD

Tabla 16. Especificaciones económicas de costos totales de inversión para Bogotá, Medellín y Cali

En la tabla 16 se puede observar los costos totales de aproximadamente 248909,36 USD, de manera que en dado caso el operador xyz quisiera migrar a 50G-PON sería necesario tener en cuenta este monto de inversión para analizar qué tan viable es

la solución y si generaría un retorno a la inversión favorable, el cual podría ser remunerado a partir de los planes que se propongan al usuario con las tasas de velocidad necesarias y demás ajustes que se deban incluir.

4.4 CONSIDERACIONES FINALES

En el presente capítulo, se analiza una propuesta que se destaca por su viabilidad técnica, económica y temporal, resumiendo así la transición de una red XGPON a 50GPON como un avance trascendental. Este proceso de modernización tecnológica conlleva una serie de ventajas cruciales para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad en el ámbito de las redes de comunicación. Dentro de los principales datos obtenidos se encuentra que:

- La transición de una red XGPON a 50GPON representa un salto significativo en términos de capacidad y rendimiento tecnológico. La capacidad de ofrecer un mayor ancho de banda es esencial en un mundo cada vez más digitalizado, donde la demanda de datos se dispara. Esto se traduce en una mejora sustancial en la velocidad de conexión y el rendimiento de la red, lo que a su vez permite a los usuarios acceder y compartir información de manera más eficiente. Además, la menor latencia proporcionada por la tecnología 50GPON es crucial para aplicaciones sensibles al tiempo, como videoconferencias y juegos en línea. La capacidad de reducir los tiempos de respuesta a milisegundos mejora significativamente la experiencia del usuario, lo que se traduce en una mayor satisfacción y fidelidad de los clientes. La flexibilidad de escalabilidad es otro aspecto destacado, ya que permite a las empresas adaptarse a las cambiantes necesidades de capacidad sin una inversión masiva en infraestructura nueva.
- Desde un punto de vista económico, la migración a 50GPON puede implicar una inversión inicial (equivalente a aproximadamente 248,000 USD en total para tres ciudades), sin embargo, sus beneficios a largo plazo resultan significativos. La reducción de costos operativos es una de las ventajas más significativas. La eficiencia mejorada de la red, junto con la capacidad de ofrecer servicios de mayor valor, contribuye a la reducción de gastos operativos. Esto, a su vez, aumenta la rentabilidad de la empresa a medida que se disminuyen los costos a lo largo del tiempo. Además, la migración a 50GPON puede ser una fuente de ingresos adicionales. La capacidad de ofrecer servicios de mayor velocidad y calidad no solo atrae a nuevos clientes, sino que también retiene a los existentes. Esto se traduce

directamente en una generación adicional de ingresos, lo que contribuye a la sostenibilidad financiera de la empresa. Además, al invertir en tecnología de vanguardia como 50GPON, se garantiza la durabilidad de la infraestructura a largo plazo, evitando costosos reemplazos prematuros.

- Además de las ventajas técnicas y económicas, la migración a 50GPON también conlleva beneficios significativos en términos de tiempo. La transición se destaca por su rápida implementación y simplicidad en comparación con alternativas de actualización más complejas, completando todo el proceso en aproximadamente diecinueve meses, lo que incluye no solo la instalación sino también las pruebas de funcionalidad. Esto implica que las empresas pueden aprovechar las ventajas de la tecnología 50GPON de manera prácticamente inmediata, lo que se traduce en la prestación de un servicio de mayor calidad a los clientes y en la capacidad de mantener una posición sólida en el mercado.

En resumen, el caso de estudio, demuestra que la migración de una red XGPON a 50GPON no solo implica mejoras técnicas y económicas sustanciales para un operador, sino que también ahorra tiempo en la adaptación a las cambiantes demandas del mercado. La combinación de un mayor ancho de banda, menor latencia, reducción de costos operativos y generación de ingresos adicionales hace que esta transición sea esencial para mantener la competitividad en el sector de las comunicaciones. Al mismo tiempo, la capacidad de respuesta más rápida a las demandas del mercado permite a las empresas aprovechar las oportunidades de negocio de manera más eficaz y eficiente.

CONCLUSIÓN

Se concluye que la mejor opción para migrar a una red 50G-PON que coexista con otra tecnología de vanguardia es reutilizar infraestructura heredada, de manera que se opte por utilizar los elementos ya estructurados en la red, sin invertir en nuevos elementos y en un nuevo tendido de fibra, lo cual implicaría mayores costes y un espacio de tiempo más amplio.

Considerando los aspectos técnicos evaluados, la tecnología objeto de estudio presenta notables implicaciones al compararla con las redes existentes en la actualidad. Introduce mejoras significativas en áreas como la velocidad, la latencia, la capacidad de funcionamiento, las conexiones simultáneas y, por supuesto, los servicios demandados por los usuarios, que continúan en aumento. No obstante, es relevante destacar que la información disponible sobre 50G-PON aún es limitada en comparación con otras tecnologías. La documentación provista por la ITU y las empresas involucradas en el desarrollo de redes de acceso de mayor velocidad, como Huawei, ZTE, entre otras, ofrece una visión parcial de este avance tecnológico.

Finalmente, de acuerdo al contexto económico y guiado por tiempo, es considerable decir, que influyen mucho las condiciones que en la red actual se tengan, ya que, en este caso, se manejó un proyecto hipotético y con dispositivos “equivalentes”, dado que aún no hay mayor desarrollo en estos. Por lo tanto, se trata de un caso que se abordó con escasas similitudes con la situación real. Por ello, se plantea la consideración del caso de estudio, siendo interesante tener en cuenta todos los aspectos que se pueden llegar a evaluar en condiciones reales y hacer una comparativa a nivel teórico, de manera que, se pueda establecer un punto de comparación importante a la hora de evolucionar en esta tecnología. No obstante, los tiempos e inversión requerida son acordes quizá a una red no tan amplia y que dadas sus condiciones es fácil de migrar, validando así el objetivo principal del presente documento.

BIBLIOGRAFÍA

- FOCC. (22 de Abril de 2019). Obtenido de <https://www.fibresplitter.com/news/introduction-to-pon-technologies-24255482.html>
- IVONNE, V. S. (2016). *Elaboración de una guía procedimental para las pruebas de aceptación de fibra óptica instalada en una red de acceso GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) FTTH*. Quito. Obtenido de <https://1library.co/document/q7w4p9nz-elaboracion-procedimental-aceptacion-instalada-ethernet-passive-optical-network.html>
- Jorge Pierri. (Abril de 2010). *Info@CITEL*. Obtenido de https://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp https://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp
- Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*. USA: Wiley & Sons. Obtenido de [\[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=F9QVc-YfZk8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=fttx&ots=ZxVqW0wObp&sig=L4jaxTGrvPgX1trpGeJLESCBYBw#v=onepage&q&f=false\]](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=F9QVc-YfZk8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=fttx&ots=ZxVqW0wObp&sig=L4jaxTGrvPgX1trpGeJLESCBYBw#v=onepage&q&f=false)
- MinTIC. (30 de Diciembre de 2022). Obtenido de <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-273772.html>
- MinTIC. (s.f.). *MinTIC*. Obtenido de <https://mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html> <https://mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html>
- Sheldon. (14 de Marzo de 2023). *FS Community*. Obtenido de <https://community.fs.com/blog/abc-of-pon-understanding-olt-onu-ont-and-odn.html>
- Sonia Groff. (Abril de 2014). *TechTarget Network*. Obtenido de <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/Optical-line-terminal-OLT>
- Telefónica. (s.f.). *Telefónica*. Obtenido de <https://www.telefonica.com/es/servicios/tecnologias/>
- VIVAI. (s.f.). Obtenido de <https://www.viavisolutions.com/es-es/que-es-la-fttx>
- VIAVI. (s.f.). Obtenido de <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>
- Wikipedia. (1 de Marzo de 2020). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Red_%C3%B3ptica_pasiva
- Lorenzo, J. A. (13 de Abril de 2022). *Redes Zone*. Obtenido de <https://www.redeszone.net/noticias/redes/por-que-importante-ancho-banda-subida/>

- República, L. L. (8 de Junio de 2023). Obtenido de <https://www.larepublica.co/empresas/asi-es-la-penetracion-de-fibra-optica-en-colombia-en-2023-3631877#:~:text=Seg%C3%BAAn%20datos%20del%20Mintic%2C%20entre,y%20Dialnet%2C%20con%2058.212%20usuarios.>
- Sharma, R., Pathak, M., Gupta, A.K. (2022). Performance Analysis of TDM-PON and WDM-PON. In: Marriwala, N., Tripathi, C., Jain, S., Kumar, D. (eds) Mobile Radio Communications and 5G Networks. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 339. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7018-3_19
- Gregory, M. A., & Abbas, H. (2016). *The Next Generation of Passive Optical Networks: A Review*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/296692922_The_next_generation_of_passive_optical_networks_A_review
- Wong, E. (s.f.). *Towards 6G: The Evolution of Passive Optical Networks*. Australia. Obtenido de <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9975774>
- DeSanti, C., Du, L., Guarín, J., Bone, J., & Lam, C. F. (2020). *Super-PON: an evolution for access networks*. USA. Obtenido de <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9119728>
- Henao, J. S. (s.f.). *TECNOLOGÍAS DE REDES PON*. Obtenido de https://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APON_BPON_GPON_GPON_EPON.pdf
- ZTE. (s.f.). *White Paper on 50G-PON Technology*. Obtenido de https://res-www.zte.com.cn/mediares/zte/Files/PDF/white_book/White_Paper_on_50G-PON_Technology_20201210_EN.pdf?la=en
- Kunstler, J., & Analyst, C. (2022). *50G PON's major role in Supporting Society*. Obtenido de <file:///C:/Users/mariapula/OneDrive/Escritorio/XI%20SEMESTRE%20PAU/MONOGRAF%C3%8DA/GENERAL%20INFORMATION%20ACCESS/GENERAL%20INFORMATION%20ACCESS/50G%20%20PON/50G%20PONs%20major%20role%20in%20supporting%20society.pdf>
- Zhang, D., Liu, D., Wu, X., & Nasset, D. (2020). *Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization*. Obtenido de <https://opg.optica.org/directpdfaccess/f67d856f-7185-44bd->

- bb4a175a183debbb_432860/jocn-12-10-d99.pdf?da=1&id=432860&seq=0&mobile=no
- BOURGART, F. (2010). *Optical Access Transmission: XG-PON System Access*. Lisbon. Obtenido de: https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com15/Documents/tutorials/Optical_access_transmission.pdf#:~:text=Splitratio%201%3A64%281%3A256intheological%20layer%29,Fiber distance%2020km%2860kmintheological%20layer%29
- Huawei. (s.f.). *SmartAX MA5800*. Obtenido de <https://carrier.huawei.com/~media/cnbgv2/download/products/networks/ma5800-en.pdf>
- Emir Halilovic. (30 de Noviembre de 2022). *Huawei*. Obtenido de <https://blog.huawei.com/2022/11/30/50g-pon-next-generation-universal-broadband/>
- Admin. (30 de Septiembre de 2022). *STL*. Obtenido de <https://stl.tech/blog/a-quick-guide-to-ont-optical-network-terminal/>
- Alea. (s.f.). *Alea*. Obtenido de <https://www.aleshop.es/ont-xgspon-huawei-hn8010ts.html#:~:text=La%20ONT%20XGS-PON%20Huawei%20HN8010Ts%20es%20un%20terminal,HN8010Ts%20proporciona%20un%20puerto%20de%2010%20GE%20ethernet>
- Alibaba. (s.f.). *Alibaba*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/HUAWEI-FLHF-H901FLHF-16-port-Flex-62160989552.html>
- Alibaba. (s.f.). *Alibaba*. Obtenido de https://www.alibaba.com/product-detail/huawei-gpon-olt-sfp-pon-port_1600444070209.html
- BBC News Mundo. (29 de Noviembre de 2019). *BBC News Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50604735>
- Bonk, R., Geng, D., Khotimsky, D., Liu, D., Liu, X., Luo, Y., . . . Wey, J. S. (2022). *50G-PON: The First ITU-T Higher-Speed PON System*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9743347>
- CAD&LAN. (s.f.). *CAD&LAN*. Obtenido de <https://www.cadlan.com/noticias/gpon-principales-claves-y-ventajas/>
- Camara, M. (1 de Marzo de 2023). *Fibra Óptica Hoy*. Obtenido de <https://www.fibraoptica hoy.com/solucion-combo-pon-de-tres-modos-pon-50g-gpon-10g-y-gpon/>
- Concepto. (s.f.). *Concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/tecnologia/>
- Fernandes, J. G. (19 de Agosto de 2021). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/520872549/H902FLHF-Board-Datasheet-undccap#>

FERNÁNDEZ, S. (12 de Junio de 2022). *Xataka Móvil*. Obtenido de <https://www.xatakamovil.com/conectividad/que-redes-50g-pon-asi-tecnologia-que-nos-permitira-volar-a-50gbps>

Fiber Mall. (s.f.). *Fiber Mall*. Obtenido de <https://www.fibermall.com/es/blog/50g-pon-technology-in-2021.htm>

Froehlich, A. (Julio de 2021). *TechTarget*. Obtenido de <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/passive-optical-network-PON>

Huawei. (s.f.). Obtenido de <https://www.aleshop.es/documentacion/HN8010Ts.pdf>

Huawei. (Noviembre de 2022). *Swisscom and Huawei Jointly Completed the World's First 50G PON Live Network Verification*. Obtenido de <https://www.huawei.com/en/news/2022/11/50g-pon>

ITU. (6 de Septiembre de 2021). *ITU International Telecommunications Union*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9804.3-202109-l#:~:text=G.9804.3%20%3A50-Gigabit-capable%20passive,%28PMD%29%20layer%20specification>

LightOptics. (s.f.). *LightOptics*. Obtenido de <https://lightoptics.co.uk/products/coexistence-element-cex-wdm-for-gpon-xgs-pon-ng-pon?variant=42529865302274>

Luz, S. d. (30 de Julio de 2023). *Redes Zone*. Obtenido de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/topologia-redes-fibra-optica-fttx/>

Mastrangelo, T. (3 de Mayo de 2021). *Broadband and trends*. Obtenido de <https://www.broadbandtrends.com/post/50g-pon-takes-a-step-closer-to-reality-as-itu-t-standard-achieves-consent>

Queenton. (13 de Marzo de 2018). *Queenton*. Obtenido de <http://www.qftth.net/news/huawei-ma5800-fully-supports-gpon-to-100g-pon-21920339.html>

Silva, Diego. (26 de Octubre de 2021). *Huawei*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/en/flex-pon-solution-xg-s-pon/thread/667250141331079168-667213871523442688>

Wang Xinsheng. (26 de Julio de 2021). *ZTE*. Obtenido de <https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2021/4-en/Expert-Views/1.html>