



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**Optimización del rendimiento y la convergencia de velocidades
entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6
(802.11ax), como acceso de última milla.**

AUTOR:

Ing. Pizarro Lindao, Israel Josué

**Trabajo previo a la obtención del grado académico de MAGÍSTER
EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Ing Ubilla González, Ricardo Xavier, Mgs.

**Guayaquil, Ecuador
13 de marzo de 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Ingeniero **Pizarro Lindao, Israel Josué** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Ing Ubilla González, Ricardo Xavier, Mgs.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD

Guayaquil, 13 de marzo del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pizarro Lindao, Israel Josué**

DECLARÓ QUE:

El trabajo **Optimización del rendimiento y la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax), como acceso de última milla**, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo previo a la obtención del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 13 de marzo del 2025

EL AUTOR

f.

Pizarro Lindao, Israel Josué



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Pizarro Lindao, Israel Josué**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo titulado: **Optimización del rendimiento y la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax), como acceso de última milla**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 13 de marzo del 2025

EL AUTOR

f.

Pizarro Lindao, Israel Josué



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
REPORTE DE COMPLILATIO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS PIZARRO ISRAEL 2024 CAP 1_2_3_CORRECCIÓN_final

2%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos
30% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: TESIS PIZARRO ISRAEL 2024 CAP 1_2_3_CORRECCIÓN_final.docx
ID del documento: 368bef302fa3f90684dca28d44a5fde815438afc
Tamaño del documento original: 2,24 MB
Autores: []

Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez
Fecha de depósito: 16/1/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 16/1/2025

Número de palabras: 17.958
Número de caracteres: 110.699

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/17678/3/T-UCSG-POS-MTEL-211.pdf.txt 51 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (169 palabras)
2	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11147/3/T-UCSG-POS-MTEL-112.pdf.txt 47 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (164 palabras)
3	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13364/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-350.pdf 32 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (76 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14300/3/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-375.pdf.txt 20 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (61 palabras)
5	repositorio.ucsg.edu.ec Repositorio Digital UCSG: Estudio y análisis de las nuevas L... http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13364	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (44 palabras)

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación **Optimización del rendimiento y la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax)**, como acceso de última milla, presentado por el estudiante **Pizarro Lindao Israel Josue**, fue enviado al Sistema Anti plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

f. _____
Ing Ubilla González, Ricardo Xavier, Mgs.

Dedicatoria

A mi esposa, compañera de vida y fuente de fortaleza inagotable, cuyo amor y comprensión me han sostenido en cada paso de este desafío. Este logro no habría sido posible sin tu fe en mis capacidades y tu infinita paciencia.

A mis infantes, motivo de mi energía y alegría día a día. Que esta tesis sea un modelo del precio del esfuerzo y la dedicación para alcanzar más metas.

A mis padres, quienes con su ejemplo de trabajo y perseverancia sembraron en mí los valores que hoy me permiten alcanzar esta meta. Su apoyo constante y sus palabras de aliento han sido mi guía en este camino.

A todos mis familiares, quienes siempre respaldaron lo que hacía y me demostraron cariño incondicional y me proporcionaron fuerza para brincar cada muro que se interponía. Su interés y atención en mi vida es un regalo que reconozco profundamente.

Este esfuerzo y resultado se los dedico con todo mi amor y gratitud, pues en cada paso que he dado, ustedes han sido mi mayor motivación.

Pizarro Israel

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi esposa, por ser mi mayor apoyo y sostén en cada etapa de este proyecto, y a mis hijos, quienes con su amor y alegría me inspiran a ser mejor cada día.

A mis padres, por inculcarme los valores de la perseverancia y el esfuerzo, y a mi familia, por su respaldo constante y palabras de aliento que me han dado fuerza en los momentos difíciles.

A todos ustedes, mi gratitud eterna por acompañarme en este camino.

Pizarro Israel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing Ubilla González, Ricardo Xavier, Mgs.
TUTOR

Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc
REVISOR

Ing. Peñafiel Olivo, Kety Jenny, MSc
REVISOR

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Definición del problema	4
1.4. Justificación del problema a investigar.	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Metodología y métodos de investigación.	6
Capítulo 2: Fundamentación Teórica	8
2.1. Transformación de redes de acceso: la fibra óptica como solución futura para banda ancha	8
2.2. Crecimiento y Aplicación de FTTx en Redes de Telecomunicaciones Modernas.....	8
2.3. Arquitectura FTTH basada en PON: Capacidades y limitaciones en el acceso a banda ancha.	9
2.4. Conectividad y Rendimiento en Redes GPON: Especificaciones Técnicas y Métodos de Transmisión	10
2.5. Avances en redes WDM-PON: Eficiencia y capacidad en las futuras redes de acceso.....	10
2.6. Elementos de una red GPON.....	11
2.6.1. Terminal de Línea Óptica (OLT).....	11
2.6.2. Divisores ópticos o Splitter	12
2.6.3. Terminal de Red Óptica (ONT).....	12
2.7. Consideraciones claves en el Diseño de Enlaces OFC para Redes de Acceso GPON.	13
2.8. Evaluación del Presupuesto de Pérdida en Redes de Fibra Óptica	15
2.9. Protocolo independiente MIB (Management Information Base) para el OMCI. ...	16
2.10. Transmisión Segura y Eficiente de Datos ascendentes y descendentes en Redes GPON	16
2.11. Método de Encapsulación GPON: Compatibilidad y Optimización para Servicios Múltiples	17
2.12. Análisis de las Capacidades y Ventajas de Wi-Fi 6 en Comunicaciones Inalámbricas.....	17
2.13. Avances en la Tecnología Wi-Fi con la Introducción de Wi-Fi 6E.....	18
2.14. Optimización de la Conectividad Wi-Fi en Entornos Complejos	19
2.15. Desafíos de Privacidad y Seguridad en Redes Wi-Fi	19
2.16. Marco de Referencia para la Medición de Distancia y Evaluación de Señal Wi-Fi en Entornos Domésticos.....	20
2.17. Integración de la Tecnología GPON con Estándares WiFi 6 en Conectividad de Alta Velocidad.....	22
Capítulo 3: Análisis de la estructura de la Red, Desempeño, Factores Críticos y Estrategias de Mejora	22
3.1. Estructura y análisis de red en estudio	22
3.2. Componentes principales de una red FTTH/GPON	24

3.3.	<i>Análisis de Red con la Plataforma Unified Management Platform (UMP)</i>	25
3.4.	<i>Descripción de la Recogida de Información</i>	28
3.4.1.	<i>Selección de la Muestra</i>	28
3.4.2.	<i>Medición de Parámetros</i>	28
3.4.3.	<i>Recolección en Diferentes Escenarios</i>	28
3.4.4.	<i>Instrumentos y Métodos</i>	29
3.5.	<i>Recogida y análisis de Información de la red WiFi</i>	29
3.5.1.	<i>Características del Equipamiento</i>	36
3.5.2.	<i>Desempeño en Velocidades Contratadas y Medidas</i>	36
3.5.3.	<i>Métricas de Rendimiento: Latencia y Convergencia</i>	37
3.5.4.	<i>Configuración de calidad de servicio</i>	37
3.5.5.	<i>Conclusión</i>	37
3.6.	<i>Análisis de la pérdida en dB de la fibra óptica en un esquema de red GPON típico para aplicaciones masivas en el ISP</i>	38
3.7.	<i>Análisis estadísticos</i>	46
3.7.1.	<i>Prueba t-Student para una muestra.</i>	46
3.8.	<i>Resultados esperados</i>	49
3.9.	<i>Estrategias de Mejora para Optimizar la Convergencia entre la Red GPON y el Router Wi-Fi 6</i>	50
3.10.	<i>Conclusiones y Recomendaciones con Evaluación y Control mediante KPIs.</i>	54
3.10.1.	<i>Conclusiones</i>	54
3.10.2.	<i>Recomendaciones</i>	56

Índice de Tablas

Tabla 2. 1: Cálculo teórico del presupuesto de pérdidas de un enlace	15
Tabla 2. 2: Mesa de prueba experimental	22
Tabla 3. 1: Matriz de recogida de información.....	31
Tabla 3. 2: Primera parte del cálculo total de la pérdida en dB de la fibra óptica en un esquema GPON típico para masivos del ISP estudiado	39
Tabla 3. 3 : pérdida del enlace de fibra en la red GPON.....	42

Índice de Figuras

Figura 2. 1: Crecimiento de las velocidades en telecomunicaciones.....	9
Figura 2. 2: Arquitectura y elementos de acceso a las redes GPON.....	13
Figura 2. 3: Pasos de diseño para la red de acceso GPON	14
Figura 2. 4: Vista web de speedtest	21
Figura 3. 1: Estructura de la red FTTH/GPON estudiada.	24
Figura 3. 2 : Red de distribución óptica	24
Figura 3. 3: Análisis de la red utilizando UMP	27
Figura 3. 4: Diseño Típico de RED GPON en ISP	39

Resumen

Esta investigación se centra en optimizar la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y routers Wi-Fi 6 (802.11ax) para mejorar el rendimiento del acceso de última milla y lograr una experiencia de usuario más consistente y eficiente. Con la creciente demanda de internet de alta velocidad debido a aplicaciones como el streaming en HD y el teletrabajo, las redes FTTH que utilizan el estándar GPON proporcionan hasta 2.5 Gbps en bajada y 1.25 Gbps en subida.

Sin embargo, persisten desafíos para optimizar la integración entre GPON y routers Wi-Fi 6, especialmente en cuanto a latencia y estabilidad de la señal. Wi-Fi 6, conocido por sus mejoras en capacidad de transmisión, eficiencia espectral y reducción de latencia, se posiciona como una solución complementaria para aplicaciones de alta demanda en entornos de usuarios densos.

La investigación se desarrolló utilizando un enfoque de investigación mixto, combinando simulación y experimentos de campo para investigar el desempeño de las redes GPON y Wi-Fi 6 en diferentes escenarios.

El hallazgo principal se manifiesta principalmente en la gran pérdida de señal en la red GPON, con una pérdida promedio de 52 dB en comparación con el nivel de presupuesto óptimo de 28 dB, lo que puede afectar directamente la velocidad, la convergencia y la experiencia del usuario.

La latencia de 44 ms está más allá del estándar ideal, lo que afectará a las aplicaciones que requieren una latencia más baja. El enrutador Wi-Fi 6 considerado (ZXHN H3601P V9) muestra buenos resultados en algunas áreas de configuración y funcionalidad, como calidad de servicio y configuración de la banda de 5GHz, sin embargo, requiere la integración de canal EasyMesh y presencia para funcionar para una cobertura óptima y mejor.

Las recomendaciones propuestas, incluida la habilitación de EasyMesh y el monitoreo continuo, apuntan a reducir la atenuación y la latencia de la señal, con el objetivo de garantizar enlaces de última milla más fuertes, más resistentes y adaptables.

Estas tácticas ayudarán a respaldar la creciente demanda digital y sentarán una base sólida para futuras mejoras en el rendimiento de la red.

Palabras claves: Convergencia de velocidades, Redes GPON FTTH, Wi-Fi 6 (802.11ax)

Abstract

This research focuses on optimizing the convergence of speeds between GPON FTTH networks and Wi-Fi 6 (802.11ax) routers to enhance the performance of last-mile access for a more consistent and efficient user experience. With the growing demand for high-speed internet due to applications like HD streaming and teleworking, FTTH networks utilizing the GPON standard provide up to 2.5 Gbps downlink and 1.25 Gbps uplink. However, challenges remain in optimizing the integration between GPON and Wi-Fi 6 routers, especially concerning latency and signal stability. Wi-Fi 6, known for its improvements in transmission capacity, spectral efficiency, and reduced latency, is positioned as a complementary solution for high-demand applications in dense user environments.

The research developed uses a mixed research methodology, combining simulations and field trials to study the performance of GPON and Wi-Fi 6 networks in different contexts. The essential findings are mainly reflected in a significant signal loss in GPON networks, with an average loss of 52 dB against the optimal budget of 28 dB, which can directly impact speed convergence as well as user experience. The latency of 44 ms exceeds ideal standards, which would affect applications that require lower latency. The Wi-Fi 6 router studied (ZXHN H3601P V9) shows good results in several areas of its configuration and features, such as QoS and 5 GHz band configuration, however it requires channel analysis and the active presence of EasyMesh for better optimal coverage. The proposed recommendations, which include enabling EasyMesh and continuous observation, seek to reduce signal degeneration and latency, with the aim of ensuring a stronger, more resilient and adaptable last mile link. These tactics will help reinforce the increasing digital demands and provide a strong foundation for future improvements in network performance.

Keywords: Speed convergence, Redes GPON FTTH, Wi-Fi 6 (802.11a)

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Las redes de fibra óptica hasta la residencia de cada usuario (FTTH) han nacido con el objetivo de entregar una solución eficiente que garantice velocidades transmisiones elevadas y constantes en la conectividad de banda ancha. El estándar GPON, que ofrece hasta 2.5 Gbps de bajada y 1.25 Gbps de subida, son extensamente acogidas para satisfacer la creciente demanda de servicios de internet de alta velocidad, impulsada por aplicaciones como la transmisión en alta definición, la realidad aumentada y el teletrabajo. Sin embargo, a pesar de las mejoras en la distribución de ancho de banda mediante técnicas como la asignación dinámica (DBA), persiste el desafío de optimizar la integración entre GPON y las tecnologías de red local, particularmente con la introducción de routers Wi-Fi 6.

La tecnología Wi-Fi 6 (802.11ax) constituye una evolución notable en comparación con sus predecesoras, al incorporar mejoras sustanciales en términos de capacidad de transmisión, eficiencia espectral y reducción de la latencia. Estas características la posicionan como una opción idónea para complementar las redes FTTH en la distribución de la conectividad en la última milla, ofreciendo un mejor rendimiento en entornos de alta densidad de usuarios y aplicaciones de alta demanda.

Esta investigación busca analizar y proponer soluciones para aprovechar de una mejor forma la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y Wi-Fi 6, con el fin de optimizar el rendimiento en el acceso de última milla y ofrecer una experiencia de usuario más homogénea y eficiente.

1.2. Antecedentes.

Los elevados aumentos del mercado por conexiones de internet más rápidos y seguros impulsan los avances de mejores redes, sobresaliendo la integración de las tecnologías GPON (Gigabit Passive Optical Network) y WiFi 6. Estas nuevas mejoras están estableciendo nuevos estándares de beneficios tanto alrededor del contexto doméstico o de hogar como también empresariales, gracias a la simbiosis entre las redes ópticas y los sistemas WiFi de última creación.

Las tecnologías GPON son importantes en la concesión de poseer internet de alta velocidad mediante fibra óptica, aumentando los límites tecnológicos de los antiguos sistemas de cable con cobre. Las mejoras hacia tecnologías XGS-PON permiten aumentos significativos en velocidad y eficiencia. Al fusionarse con WiFi 6, o estándar 802.11ax, se maximizan las capacidades de transmitir datos, mejorando el beneficio en contextos con variados dispositivos instalados.

(Portero 2013) En su proyecto de fin de grado llamado: Hogar digital para servicios FTTH : dispositivos, tecnologías y QoE, explica que la tecnología FTTH (Fiber to the Home), junto con la banda ancha móvil, representa una de las principales innovaciones en el campo de las redes y servicios de telecomunicaciones. Prevé que en los próximos años el despliegue de redes FTTH aumente de manera considerable, impulsado tanto por el interés de las empresas de telecomunicaciones como por iniciativas gubernamentales. Esta expansión permitirá proporcionar a los hogares servicios de altísima velocidad, superando los 100 Mbps y llegando incluso a 1 Gbps, lo que generará nuevas demandas en las redes domésticas.

El crecimiento de las redes FTTH plantea un escenario en el que las redes del hogar juegan un rol crítico para el éxito de esta tecnología. Es fundamental que estas redes no solo cumplan con las expectativas de los operadores, quienes buscan controlar costos de inversión y operación , sino

también con las expectativas de los usuarios, que prefieren soluciones de fácil instalación, con el menor número de dispositivos posibles y sin la necesidad de cableado visible.

Para enfrentar estos nuevos retos , se han realizado diversos cambios tecnológicos clasificadas en tecnologías cableadas, inalámbricas e híbridas. Entre los nuevos recursos de cableadas, tecnologías como Ethernet o POF destacan por su fiabilidad y confianza. Por otro lado las soluciones inalámbricas, tecnologías como Wi-Fi 11n y sus versiones consecutivas 11ac y 11ad son eco de recomendaciones cuando no es viable la utilización de cableado. Si bien PLC no es lo mejor para un uso en masa, el estándar G.hn puede convertirse en una opción viable en el futuro.

Además, se ha desarrollado sistemas que miden en tiempo real la calidad del servicio del usuario (QoE) en los servicios de IPTV (televisión por protocolo de internet), que son particularmente exigentes en cuanto a rendimiento de la red. Estas herramientas no solo posibilitan la captura y evaluación de señales IPTV, sino que además graba datos y alarmas en archivos de registros log facilitando el análisis técnico y la optimización constante del servicio.

Por otro lado (Mosquera Chica 2019) en el estudio y análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax y 5G para el desarrollo del internet de las cosas, hace referencia en que el Internet de las Cosas (IoT), también conocido como Internet de los Objetos, se proyecta como la siguiente gran evolución en el ámbito de las telecomunicaciones. Este avance revolucionará el sector por su capacidad de recopilar, analizar y distribuir datos, transformándolos en información útil para una amplia gama de aplicaciones.

Actualmente, tecnologías como Long-Term Evolution (LTE) para redes celulares y Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) han contribuido al desarrollo parcial del IoT, brindando buena conectividad. Sin embargo, estas no han logrado satisfacer plenamente las exigencias de un ecosistema de dispositivos inteligentes y heterogéneos en su totalidad, por lo que estas para responder a

las demandas, ambas tecnologías están experimentando importantes mejoras.

El estándar Wi-Fi 6 (802.11ax) y la quinta generación de redes móviles (5G) representan soluciones emergentes que poseen el potencial de transformar la industria, proporcionando un entorno más propicio para el expandir las innovaciones múltiples que tienen las IoT. Este estudio se centra en examinar las innovaciones que estos nuevos estándares aportan al ecosistema IoT, junto a sus tecnologías asociadas

1.3. Definición del problema

Las diferencias entre las velocidades de transmisión teóricas de las dos tecnologías y las velocidades reales experimentadas por el cliente de hogar final es un problema que ocurre todo el tiempo. Los cuellos de botella que emergen en el tiempo de la conversión de la red cableada (GPON) a la red inalámbrica (Wi-Fi 6) generan pérdidas importantes de rendimiento. Este fenómeno afecta tanto la velocidad como la estabilidad de la interacción de la red, impactando negativamente en la calidad del servicio (QoS). En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo analizar y desarrollar estrategias para mejorar la convergencia entre estas dos tecnologías, superando su rendimiento individual y mejorando notablemente la experiencia del usuario final.

1.4. Justificación del problema a investigar.

Justificación empresarial

En el ámbito empresarial, la optimización de la convergencia entre tecnologías de red cableada como GPON y la inalámbrica Wi-Fi 6 es esencial para garantizar un servicio de alta calidad y eficiencia operativa. Las empresas dependen cada vez más de conexiones rápidas y estables para el funcionamiento de aplicaciones críticas, como sistemas de gestión en la nube,

videoconferencias y plataformas de trabajo colaborativo. Las pérdidas de desempeño debido a la discrepancia entre las velocidades teóricas y las reales pueden traducirse en disminución de la productividad, aumento de costos operativos y, en última instancia, una insatisfacción de los clientes. Por ello, realizar esta investigación permitirá desarrollar estrategias que optimicen la calidad de servicio (QoS), aumentando la eficiencia tecnológica, mejorando la competitividad empresarial y garantizando una infraestructura sólida que responda a las crecientes demandas del mercado.

Justificación social

Desde una perspectiva social, la investigación sobre la optimización de la convergencia entre GPON y Wi-Fi 6 es crucial para cerrar la brecha digital y mejorar la calidad de vida en entornos conectados. En una sociedad donde la conectividad es fundamental para acceder a la educación, la salud, el trabajo remoto y los servicios públicos, las interrupciones en la velocidad y estabilidad de la conexión pueden generar desigualdades en el acceso a recursos esenciales. Minimizar las pérdidas de rendimiento y mejorar la experiencia del usuario final contribuye a crear una infraestructura de red más inclusiva y confiable, permitiendo que comunidades, tanto urbanas como rurales, accedan a servicios críticos de manera eficiente. Esto es especialmente importante en zonas con alta densidad de dispositivos conectados, donde la estabilidad de la red impacta directamente en la vida cotidiana.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

Estudiar, contrastar y plantear alternativas de mejoras en el funcionamiento y la convergencia de velocidad entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax).

1.5.2. Objetivos específicos

- Examinar el desenvolvimiento de la convergencia entre redes GPON FTTH y routers Wi-Fi 6 (802.11ax) en entornos cambiantes de uso, a través de la parámetros cuantificables tales como la tasa de transferencia de datos, latencia o retardo y pérdida de paquetes informativos, para definir los más importantes factores que minimizan el rendimiento de la red.
- Determinar y estudiar los factores técnicos que están creando errores o inconvenientes en el tiempo de la integración de las redes GPON FTTH y routers Wi-Fi 6, con la finalidad de precisar los puntos críticos que afectan la velocidad y estabilidad de la conexión en diferentes condiciones de uso.
- Elaborar estrategias de mejora para optimizar la convergencia entre las redes GPON FTTH y routers Wi-Fi 6, recomendando la optimización de las pérdidas de rendimiento y la experiencia del usuario,

1.6. Hipótesis

La fusión entre la red GPON FTTH y routers Wi-Fi 6 (802.11ax) puede mejorar su funcionamiento a través de estrategias que permitan precisar y reajustar la configuración de la red inalámbrica y la concesión de recursos, lo que facilitará la disminución significativa en las diferencias de las velocidades teóricas y reales de transmisión, favoreciendo las mejoras y la experiencia del cliente final en términos de estabilidad, latencia y eficiencia en la red de datos de última milla.

1.7. Metodología y métodos de investigación.

Para el abordaje del tema de investigación sobre la convergencia entre redes GPON FTTH y routers Wi-Fi 6 (802.11ax), y el mejoramiento de su rendimiento, se desarrollará una metodología de investigación mixta que combine enfoques cuantitativos y cualitativos. Esta metodología permitirá lograr entender de forma integral el inconveniente, valorando tanto las

métricas técnicas como la experiencia del usuario o cliente final.

Como métodos de investigación se emplearán simulaciones para predecir y analizar el comportamiento de las redes GPON y Wi-Fi 6 bajo diversas condiciones de carga y uso. Se usarán herramientas que permitirán simular escenarios complejos y optimizar las configuraciones de red, también se realizarán pruebas de campo en entornos reales (hogares y oficinas) para recopilar datos empíricos sobre el rendimiento de las redes GPON y Wi-Fi 6, evaluando cómo los resultados obtenidos en simulación se reflejan en escenarios prácticos, además se utilizará el método comparativo para evaluar el rendimiento de las soluciones actuales frente a las propuestas optimizadas. Se compararán las configuraciones estándar con las mejoradas, cuantificando las mejoras en términos de latencia, velocidad y estabilidad, finalmente se utilizará el método descriptivo, este método se usará para describir el comportamiento de las redes bajo diferentes condiciones y documentar los hallazgos de las pruebas cualitativas y cuantitativas.

Se aplicarán pruebas estadísticas para validar los resultados obtenidos y determinar si las diferencias observadas son significativas en términos de rendimiento y calidad del servicio, estas pueden ser pruebas de hipótesis T-Student o ANOVA: para comparar el rendimiento entre varios escenarios,

En resumen, esta metodología mixta permitirá no solo medir objetivamente el rendimiento de las redes, sino también comprender cómo las mejoras propuestas pueden impactar la experiencia del usuario final, logrando un enfoque integral y aplicable.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Transformación de redes de acceso: la fibra óptica como solución futura para banda ancha

(Al-Quzwini 2014) La creciente demanda por un acceso a Internet de alta velocidad está impulsando el desarrollo de nuevas tecnologías de telecomunicaciones orientadas a ofrecer una experiencia de banda ancha real. Este contexto está obligando a los operadores de telecomunicaciones a modernizar sus redes, ya que las infraestructuras actuales, particularmente las basadas en cobre, se han convertido en un cuello de botella en términos de capacidad de ancho de banda.

En respuesta, muchas empresas están reemplazando sus antiguas redes de cobre por redes de fibra óptica, acercando progresivamente esta tecnología a los usuarios finales. Entre las opciones, Fiber to the Home (FTTH) surge como la solución más prometedora y sostenible a largo plazo, permitiendo no solo satisfacer las demandas actuales de ancho de banda, sino también facilitar futuras expansiones. Esta tecnología es ideal para soportar servicios avanzados como video bajo demanda, videojuegos en línea, televisión de alta definición y VoIP, posicionándose como una solución preparada para las exigencias del futuro en conectividad de banda ancha.

Este resumen refleja el avance de la tecnología en la transformación de redes hacia infraestructuras de fibra óptica, vital en el contexto de la evolución hacia una mayor capacidad de servicios multimedia y comunicación en las telecomunicaciones.

2.2. Crecimiento y Aplicación de FTTx en Redes de Telecomunicaciones Modernas.

El avance de las redes de telecomunicaciones ha impulsado la creación de diferentes estándares dirigidos en satisfacer la elevada demanda de ancho de banda. Es así que en la última década, las velocidades de transmisión de

datos se han elevado de manera exponencial, consolidando a la fibra óptica como el medio de transmisión preferido y confiable. Entre las tecnologías emergentes destaca FTTx (Fibra Hasta La X), que permite impulsar la fibra óptica desde una oficina central hasta un punto intermedio cercano a los usuarios finales. Desde ese punto, la conexión se expande mediante tecnologías como VDSL2 (sobre par trenzado) o Wi-Fi, permitiendo una implementación gradual y a menor costo. Keiser, G. (2015)

En la siguiente gráfica se puede observar el notable incremento en las velocidades de transmisión de datos durante los últimos diez años.

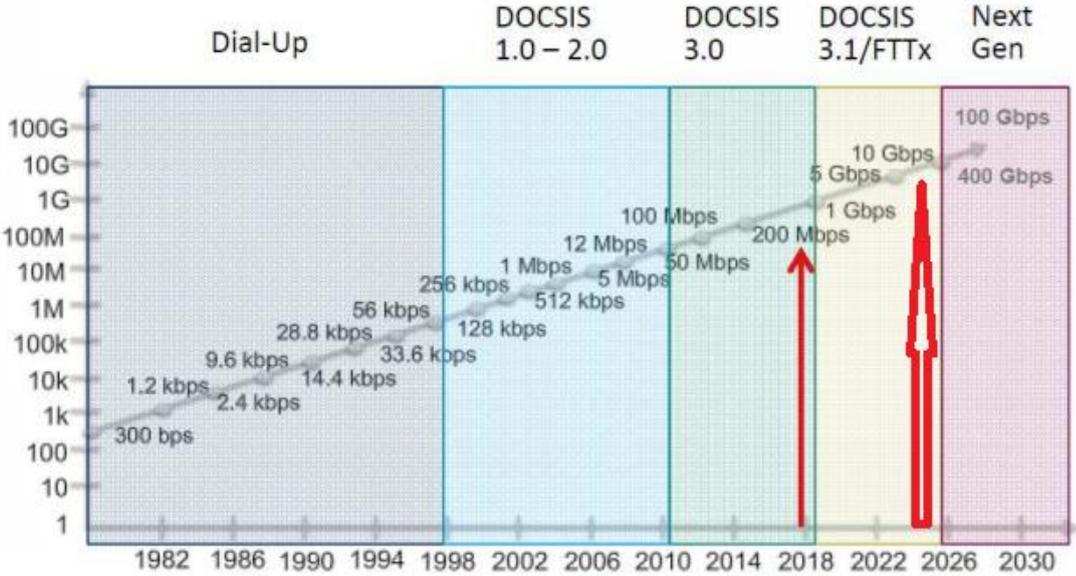


Figura 2. 1: Crecimiento de las velocidades en telecomunicaciones

Autor: (Velasco y Melo 2018)

2.3. Arquitectura FTTH basada en PON: Capacidades y limitaciones en el acceso a banda ancha.

La red de acceso FTTH, que se basa en una red óptica pasiva (PON), es una arquitectura de red punto a multipunto que utiliza divisores ópticos sin necesitar energía eléctrica, posibilitando que una única fibra óptica se la utilice a varios usuarios, por lo general entre 32 y 128 conexiones. Esta tecnología obtiene ventajas de la fibra ópticas monomodo, como baja atenuación o

interferencia, que oscila entre 0,2 y 0,6 dB/km, y su gran ancho de banda, superior a 30.000 GHz, entregando una capacidad de transmisión significativamente amplia en comparación con las tecnologías de banda ancha tradicionales. También, las redes FTTH están en capacidad de soportar una variedad completa de servicios de comunicación, como voz, datos y vídeo, a través de una sólo infraestructura. Existen algunas tecnologías estandarizadas de multiplexación por división de tiempo (TDM PON) que se usan en implementaciones de FTTH, estas sobresalen en parámetros específicos. Pero poseen limitaciones claves de TDM PON es que no facilitan la compartición física de la misma fibra entre distintos operadores, lo que necesita de una infraestructura de fibra múltiple para permitir dicho uso compartido. (Rendon y Xiong 2014).

2.4. Conexión y ventajas en Redes GPON: Especificaciones Técnicas y Métodos de Transmisión

En las redes enmarcadas en GPON, se tiene la posibilidad de conectar hasta 128 ONT (Terminales de Red Óptica) con una capacidad máxima de recorrido de 60 km y una distancia máxima entre dos ONT de forma consecutiva de 20 km, de acuerdo a las especificaciones de la norma G.984.6 de la ITU-T. El sistema GPON funciona con una velocidad de 2,44 Gbps en el enlace descendente y 1,24 Gbps en el ascendente. La transmisión de bajada se realiza mediante radiodifusión continua, mientras que el enlace de subida emplea la técnica TDM (Hussain, Md y Sharma 2020)

2.5. Avances en redes WDM-PON: Eficiencia y capacidad en las futuras redes de acceso.

Las redes ópticas pasivas con multiplexación por división de longitud de onda (WDM-PON) representan la evolución tecnológica hacia la próxima generación de redes de acceso de alta capacidad. Estas redes son objeto de investigación por parte del Grupo de Estudio del UIT-T, que analiza dos variantes principales. La primera es la multiplexación por división de tiempo y longitud de onda (TWDM PON), que utiliza entre 4 y 16 longitudes de onda en

una misma fibra para soportar un mayor número de usuarios y, además, permitir la compartición de la misma fibra entre múltiples operadores, cada uno utilizando diferentes longitudes de onda. La segunda variante es un WDM-PON basado en una rejilla de guía de ondas en matriz (AWG), donde cada usuario recibe una longitud de onda dedicada, lo que simula un enlace punto a punto (P2P) con una capacidad de transmisión de 1,25 Gbps en ambas direcciones. Estas innovaciones mejoran tanto la eficiencia como la flexibilidad de las redes ópticas, lo que resulta fundamental para afrontar el creciente tráfico de datos. (Rendon y Xiong 2014)

2.6. Elementos de una red GPON

Una red óptica pasiva Gigabit (GPON) se caracteriza por su topología de punto a multipunto (P2M), que integra tanto elementos activos como pasivos. En la sección de transmisión que se encuentra fuera de la planta, los divisores o acopladores ópticos actúan como componentes pasivos, mientras que los componentes activos están presentes únicamente en las ubicaciones del Central Office (CO) y las Terminales de Red Óptica (ONTs). La arquitectura de la red de acceso GPON incluye estos elementos, que desempeñan funciones cruciales para el funcionamiento del sistema. (Hussain, Md y Sharma 2020)

Esta descripción de la arquitectura y sus componentes puede encontrarse en diversas fuentes, como investigaciones académicas y documentos técnicos sobre redes ópticas pasivas. (Hussain, Md y Sharma 2020)

2.6.1. Terminal de Línea Óptica (OLT)

(Hussain, Md y Sharma 2020) Se considera el componente central de una red GPON y se sitúa típicamente en la central local, donde existe una infraestructura de fibra óptica. Este dispositivo es responsable de funciones críticas como la gestión del tráfico, el control de los búferes y la asignación dinámica de ancho de banda. Los OLT operan con una fuente de alimentación

de corriente continua redundante (-48 VCC) y están equipados con al menos una tarjeta de línea para enlazar la red de acceso con la red troncal, además de una tarjeta de sistema para la configuración interna y una o más tarjetas GPON que disponen de múltiples puertos para conectar a los divisores en la topología punto a multipunto (P2M). La transmisión de datos desde el OLT hacia las terminales de red óptica (ONT) se realiza mediante un método de difusión.

Lo escrito anteriormente destaca lo significativo del OLT en la arquitectura GPON, además de sus funciones y especificaciones técnicas importantes.

2.6.2. Divisores ópticos o Splitter

Los divisores ópticos, o splitters, son importantes al momento de expandir las redes de acceso, esto permitiría dividir una o dos fibras en algunas fibras salientes, abriendo la facilidad de la conexión a un alto número de usuarios en la red. Así mismo, estos dispositivos pueden mezclar la luz de múltiples fibras en una o dos, abarcando un espectro más amplio. A pesar de ello, el uso conlleva una pérdida grande de potencia óptica, lo que obliga a realizar diseños meticoloso de la red que balancee los factores como la ramificación de fibras, las distancias a los clientes y las potencias que los equipos que pueden manejar, confirmando el cumplimiento de las especificaciones requeridas. Las características ideales para los splitters suman un amplio rango espectral, disminución en la pérdida de inserción y uniformidad, de igual forma a dimensionar, compactar y dar más seguridad. (Hussain, Md y Sharma 2020)

2.6.3. Terminal de Red Óptica (ONT)

El Terminal de Red Óptica (ONT) comprende el último componente en una red GPON, tiene la obligación de la conversión de señales ópticas en eléctricas para que los clientes puedan ingresar a los servicios deseados. Este

elemento se instala en el domicilio del usuario y se conecta al OLT a través de un cable de fibra óptica, sin componentes activos mediadores en la conexión. A pesar que la ONT generalmente debe ser del mismo fabricante que el OLT, se están realizando esfuerzos para conseguir la interoperabilidad entre diferentes marcas, lo que ayudaría a diversificar el mercado y bajar costos.

El ONT actúa como un convertidor de señal, proporcionando diversas interfaces como RJ11, RJ45 y puertos tipo F, que permiten la conexión a múltiples dispositivos y se ofrecen en configuraciones que pueden incluir hasta 24 puertos. Además, está equipado con funcionalidades como cifrado AES y baterías para garantizar su funcionamiento durante cortes de energía. En términos de gestión de tráfico, el ONT utiliza un controlador de acceso de medios (MAC) que regula el tráfico ascendente, permitiendo un funcionamiento eficiente sin colisiones en la transmisión de datos. El sistema de asignación dinámica de ancho de banda en GPON permite que el OLT distribuya el ancho de banda según las demandas de tráfico de cada ONT, optimizando así el uso de los recursos de red. (Hussain, Md y Sharma 2020)

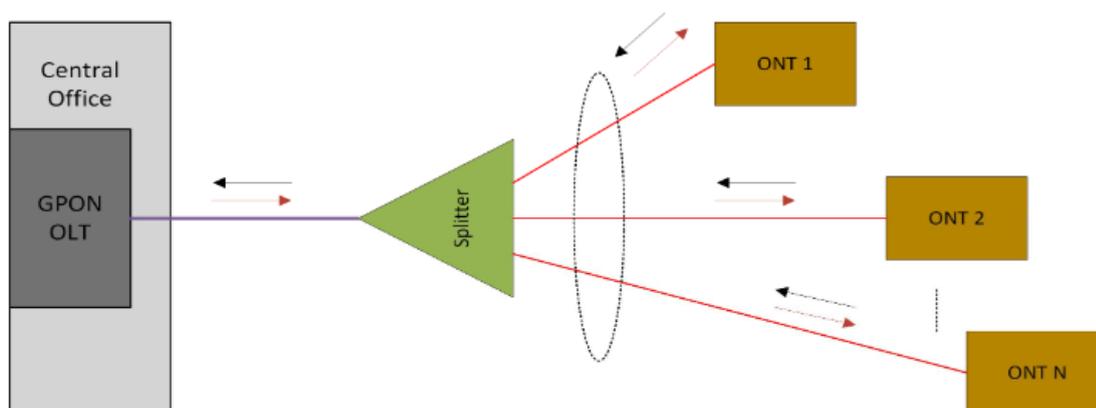


Figura 2. 2: Arquitectura y elementos de acceso a las redes GPON

Autor: International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) SSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 7.429 Volume 8 Issue X Oct 2020- Available at www.ijraset.com

2.7. Consideraciones claves en el Diseño de Enlaces OFC para Redes de

Acceso GPON.

Para estructurar un enlace de fibra óptica (OFC) en una red GPON, es insuficiente hacer sólo la planificación desde un software o sistema en una oficina, ya que es importante realizar las observaciones físicas de las ubicaciones de las raíces y los terminales ópticos (ONT). En el procedimiento, se reúnen datos puntuales de las vías factibles y se realiza la planificación basada en la experiencia del terreno. Dado que las características del suelo cambian entre países, no se pueden aplicar estándares universales. El diseño de GPON emplea algunas etapas importantes, esto es desde el análisis de la ruta, la preparación de diagramas de conexión, la designación de tipos de divisores, además de calcular la pérdida de enlace, y pruebas con un reflectómetro óptico de dominio temporal (OTDR), como también la utilización de medidor de potencia. Dos análisis cruciales en el diseño son la elección de la ruta menos extensa y la optimización del presupuesto de potencia óptica. (Hussain, Md y Sharma 2020).

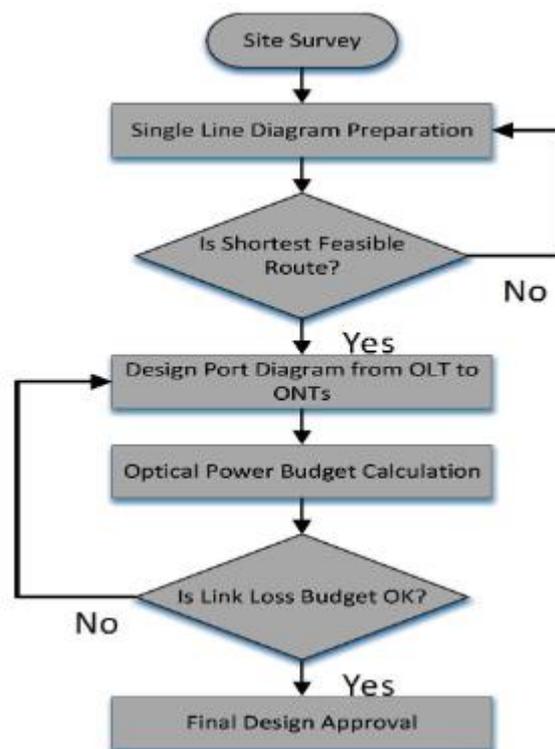


Figura 2. 3: Pasos de diseño para la red de acceso GPON

Autor: International Journal for Research in Applied Science & Engineering

2.8. Evaluación del Presupuesto de Pérdida en Redes de Fibra Óptica

El cálculo del presupuesto de pérdida de enlace es crucial para garantizar una comunicación confiable en sistemas de fibra óptica. Este cálculo evalúa la cantidad de pérdida permitida en la red para asegurar un enlace óptico. La ecuación que lo define toma en cuenta diversos factores: la longitud del cable de fibra óptica multiplicada por la atenuación por kilómetro, las pérdidas por empalmes y conectores, la pérdida introducida por los divisores ópticos, y un margen de seguridad adicional. Estos elementos permiten obtener una estimación precisa de la pérdida total del enlace, que luego puede aplicarse en el diseño de diferentes rutas y conexiones entre ONTs.

Tabla 2. 1: Evaluación del presupuesto de reducción de pérdida de señal en un enlace

ONT Name	Cable length from OLT to ONT	No. of splices	Splice loss	Splitter loss	Cable attenuation	Total cable loss	PLD connector loss	Total Route Loss	Margin at OLT PON	Receiver Level
ONT1	603	2	-0.2	-7.4	-0.22	-7.82	-1	-8.82	1.5	-7.3
ONT2	3267	3	-0.3	-7.4	-1.19	-8.89	-1	-9.89	1.5	-8.4
ONT3	8679	6	-0.6	-7.4	-3.17	-11.17	-1	-12.17	1.5	-10.7
ONT4	11418	7	-0.7	-7.4	-4.17	-12.27	-1	-13.27	1.5	-11.8
ONT5	11428	3	-0.3	-7.4	-4.17	-11.87	-1	-12.87	1.5	-11.4
ONT6	13562	4	-0.4	-7.4	-4.95	-12.75	-1	-13.75	1.5	-12.3
ONT7	14866	5	-0.5	-7.4	-5.43	-13.33	-1	-14.33	1.5	-12.8
ONT8	17348	6	-0.6	-7.4	-6.33	-14.33	-1	-15.33	1.5	-13.8
ONT9	27175	11	-1.1	-3.7	-9.92	-14.72	-1	-15.72	1.5	-14.2

Autor: (Hussain, Md y Sharma 2020)

El análisis de la Tabla 1 presenta la pérdida óptica de una señal en un enlace para el ONT más cercano, en este caso de -8,82 dB, mientras que el ONT más lejano presenta una pérdida de -15,72 dB. Este intervalo de disminución de la señal en el enlace se enmarca dentro de los límites óptimos y seguros, lo que se concluye que el diseño es viable para implementarlo en una red de acceso.

2.9. Protocolo independiente MIB (Management Information Base) para el OMCI.

La Interfaz de Gestión y Control para ONU (OMCI), indica en la recomendación [ITU-T G.984.4], es importante para garantizar la interoperabilidad en redes GPON. OMCI se respalda en una base de información de gestión (MIB) independiente del protocolo, lo que permite decidir modelos de protocolo específicos y ofrecer soluciones modulares más satisfactorias de diversas demandas de los usuarios. Así mismo, la transmisión de datos en GPON se reparte en dos: el tráfico descendente se distribuye a través de una transmisión óptica por broadcast, encapsulada por cifrado AES para asegurar que cada ONT solo acceda a su información, en tanto que el tráfico de subida utiliza TDMA para eludir colisiones y potenciar la eficiencia al transmitir cuando sea necesario. (Velasco y Melo 2018)

2.10. Transferencia Segura y Eficiente de Datos de subida y bajada en Redes GPON

En redes GPON, la transferencia de datos de bajada se realiza mediante un broadcast óptico, el cual permite que cada terminal de red óptica (ONT) desarrolle solo los datos de destino a él, asegurado por el cifrado mediante el Estándar de Encriptación Avanzada (AES). Para el tráfico de subida, se ejecuta el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), lo que asegura una transmisión con cero colisiones desde el ONT hasta el terminal de línea óptica (OLT). Esta visión optimiza la eficiencia de la utilización del canal, ya que la TDMA la información se envía únicamente cuando se la requiere, evitando la ineficiencia de las tecnologías TDM tradicionales, donde las fracciones de

transmisión son estables independientemente del tráfico disponible. (Velasco y Melo 2018)

2.11. Método de Encapsulación GPON: Compatibilidad y Optimización para Servicios Múltiples

El Método de Encapsulación GPON (GEM) es un esquema utilizado en sistemas GPON para transportar tramas de datos, permitiendo fragmentar los datos del usuario en tamaños variables y orientados a la conexión. Dado que la red de acceso es la parte más cercana al usuario final, se caracteriza por manejar múltiples protocolos y servicios. GEM facilita la compatibilidad con diversos servicios como Ethernet, TDM y ATM, utilizando un protocolo síncrono de transporte basado en tramas periódicas de 125 μ s. Este método está basado en el Proceso de Entramado Genérico (GFP) de la recomendación ITU-T G.7041, optimizado para redes PON.

La interfaz GEM es una representación conceptual de la capa de integración intermedia de la capa de convergencia en la red GPON (GTC), que define un enlace virtual lógico para una frecuencia de paquetes determinado del cliente. Los bloques GEM son el elemento fundamental de la, empaquetando y enviando todas las prestaciones a través de las conexiones GPON. Cada puerto GEM tiene un código único asignado por el OLT, evitando la repetición de identificación entre los dispositivos ONUs conectadas al mismo OLT. Los puertos GEM actúan de manera similar a los códigos VPI y VCI en los enlaces ATM, al identificar vías de servicios virtuales. (Velasco y Melo 2018)

2.12. Análisis de las Capacidades y Ventajas de Wi-Fi 6 en Comunicaciones Inalámbricas.

Wi-Fi 6, conocido anteriormente como 802.11ax, representa un avance significativo en las tecnologías de comunicación inalámbrica. Esta norma incorpora técnicas como OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal) y MU-MIMO (Multiusuario, Multientrada y Multisalida), que permiten

la conexión simultánea de hasta ocho usuarios a través de una antena 8T8R, mejorando considerablemente la capacidad de la red. Con velocidades de descarga que pueden alcanzar hasta 9,6 Gbps, Wi-Fi 6 también ofrece mejoras en la latencia de red y la eficiencia de la comunicación, con retardos de aproximadamente 10 ms. (Min y Jinhao 2021)

Además, esta tecnología implementa un sistema de formación que optimiza aún más el rendimiento de la red. Los routers diseñados para Wi-Fi 6 operan con un consumo de energía reducido, entre 9 y 12 W, lo que los hace adecuados para entornos donde se requiere un suministro eléctrico seguro, como en minas de carbón. Wi-Fi 6 emplea frecuencias duales de 2.4 GHz y 5 GHz; aunque la señal de 5 GHz ofrece mayor potencia, su cobertura es más limitada, mientras que la frecuencia de 2.4 GHz presenta mejor penetración y resistencia a interferencias, a pesar de su menor velocidad. (Min y Jinhao 2021)

Finalmente, la estación base de Wi-Fi 6 ajusta automáticamente la banda de frecuencia del usuario mediante un circuito de control interno, garantizando así la calidad y fiabilidad de la comunicación.

Este enfoque integral de Wi-Fi 6 permite una experiencia de conexión más robusta y eficiente, adaptándose a las demandas de los usuarios modernos en entornos diversos.

2.13. Avances en la Tecnología Wi-Fi con la Introducción de Wi-Fi 6E

Wi-Fi es una serie de protocolos para redes inalámbricas locales (WLAN), y ha evolucionado desde Wi-Fi 5, lanzado en 2014, hasta Wi-Fi 6 en 2019 y más recientemente Wi-Fi 6E en 2020. La principal diferencia entre estos estándares radica en las bandas de frecuencia que utilizan. Wi-Fi 6E extiende el espectro de 2.4 GHz y 5 GHz al incluir la banda de 6 GHz, lo que permite 14 canales adicionales de 80 MHz y siete más de 160 MHz. Esto reduce la interferencia, un problema común en áreas urbanas densas. Mientras que Wi-Fi 5 permitía la utilización de hasta 19 canales en la banda de 5 GHz, Wi-Fi 6E puede operar con 24 canales, facilitando un rendimiento

de varios Gbps. Este avance mejora significativamente el ancho de banda disponible y la capacidad de usuarios conectados, impulsando el potencial de las redes Wi-Fi. (Theissen, y otros 2023)

2.14. Optimización de la Conectividad Wi-Fi en Entornos Complejos

El desarrollo de redes inalámbricas ha permitido a las personas comunicarse sin limitaciones de tiempo y espacio. Sin embargo, la calidad de la señal Wi-Fi sigue siendo un desafío, especialmente en entornos con barreras físicas o cuando la distancia desde la fuente es grande. Factores como la interferencia de otros dispositivos domésticos y la ubicación incorrecta del enrutador pueden degradar la conexión. Para solucionar esto, se sugiere optimizar la colocación del router, usar software especializado para analizar la red y emplear extensores o redes en malla para mejorar la cobertura. (Eka, y otros 2024)

Además, enrutadores que operan tanto en las bandas de 2,4 GHz como de 5 y 6 GHz, o aquellos equipados con antenas externas, pueden mejorar significativamente la conectividad. Es esencial considerar las características físicas del entorno, como el tamaño de la vivienda y los materiales de construcción, para optimizar el rendimiento de la red Wi-Fi.

2.15. Desafíos de Privacidad y Seguridad en Redes Wi-Fi

Las redes inalámbricas enfrentan desafíos particulares en términos de privacidad y seguridad. Dado que las señales Wi-Fi son susceptibles a la interceptación por parte de individuos no autorizados, es fundamental implementar medidas de seguridad adecuadas. Aspectos como el cifrado de datos, el uso de contraseñas robustas y la actualización regular del firmware y software son esenciales para salvaguardar la integridad de las redes Wi-Fi y proteger la información de los usuarios. (Eka, y otros 2024).

2.16. Marco de Referencia para la Medición de Distancia y Evaluación de Señal Wi-Fi en Entornos Domésticos.

El estudio, titulado Evaluación de la calidad de la señal Wi-Fi basada en la distancia en un entorno doméstico de (Eka, et al. 2024), presenta el enfoque y los objetivos del análisis, y examina cómo la distancia afecta la calidad de la señal.

Se realizó un análisis de brechas en diferentes lugares de la vivienda teniendo en cuenta el entorno y los dispositivos utilizados, lo que incluyó la identificación de puntos de medición, la selección de dispositivos adecuados y la determinación de estrategias de muestreo.

Se utilizan dispositivos digitales para la medición, lo que garantiza la precisión de la recopilación de datos.

Los puntos de medición se identificaron y seleccionaron para reflejar diferentes áreas de la casa, como la sala de estar, el dormitorio y la cocina, cada una de las cuales tiene diferentes características físicas que pueden afectar la señal.

Efectos, como la textura de la pared y las condiciones de interferencia.

Las mediciones se tomaron a tres distancias diferentes del enrutador: 1, 3 y 5 metros.

Se han identificado puntos de medición que cubren las áreas más visitadas por el usuario, proporcionando una visión realista de la calidad de la señal Wi-Fi durante el uso diario.

El proceso de medición implica varios pasos importantes, comenzando con la medición de la distancia entre el enrutador y el receptor, utilizando herramientas de precisión láser para confirmar la precisión.

Cada ubicación se describe en detalle, teniendo en cuenta factores ambientales como la ubicación de las paredes, los muebles y otros dispositivos electrónicos.

Las mediciones se repitieron tres veces en cada sitio para garantizar la consistencia y confiabilidad de los datos, que se registraron diariamente durante una semana para reducir las fluctuaciones de la señal.

Además, también se tiene en cuenta la influencia de factores externos como las condiciones climáticas y el uso de la red WiFi cercana.

La información reunida abarcó la potencia de la señal (dBm) y las velocidades de carga y descarga (Mbps) a las distancias especificadas. Para un análisis más exhaustivo, se efectuaron mediciones en diversas ubicaciones dentro de cada distancia, como en el suelo, en mesas y a diferentes niveles que pudieran ser utilizadas por los habitantes del hogar. Esta estrategia tiene como fin generar información representativa que evidencia el efecto de la distancia y la ubicación de la calidad de la señal Wi-Fi.

En la siguiente figura 2.4 se observa la medición de la velocidad de Internet que se efectuó utilizando la plataforma *speedtest.net*, donde se evaluaron tanto las velocidades de bajada como la de subida en cada acceso de la red de medición. Para asegurar la fiabilidad y exactitud de los resultados, se realizaron múltiples pruebas en cada ubicación. Posteriormente, los datos recolectados se promediaron para facilitar un análisis más detallado.

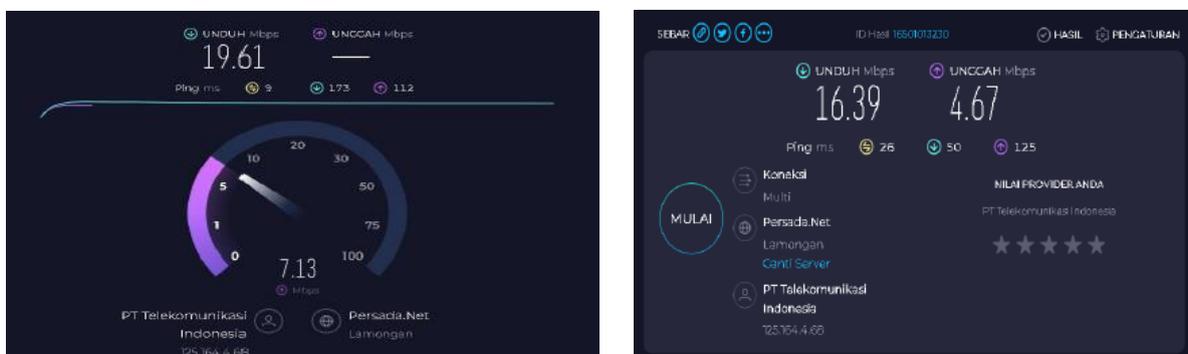


Figura 2. 4: Vista web de speedtest

Autor: (Eka, y otros 2024)

La siguiente tabla indica que la calidad de la señal Wi-Fi tiende a disminuir a medida que la distancia al enrutador aumenta. Este hallazgo resalta la relevancia de evaluar la ubicación de los enrutadores y otros dispositivos dentro del hogar para optimizar la eficacia y la calidad de la

conexión a Internet.

Tabla 2. 2: Mesa de prueba experimental

Location	Distance from the router	Mbps (Download)	Mbps (Upload)	Barrier
Living Room	4 m	46 mbps	17 mbps	Concrete wall
Living Room	6 m	45 mbps	19 mbps	Concrete wall
Bedroom	10 m	44 mbps	15 mbps	Concrete wall, Wooden cabinet
Bedroom	13 m	45 mbps	14 mbps	Concrete wall, Wooden cabinet
Kitchen	15 m	43 mbps	12 mbps	Concrete wall
Kitchen	17 m	43 mbps	15 mbps	Concrete wall
kitchen	19 m	42 mbps	11 mbps	Concrete wall
Bathroom	20 m	40 mbps	10 mbps	Concrete wall, door
Bathroom	20 m	34 mbps	7 mbps	Concrete wall, door (close)
WC	20 m	42 mbps	11 mbps	Concrete wall, door
WC	20 m	32 mbps	9 mbps	Concrete wall, door (close)

Autor: (Eka, y otros 2024).

2.17. Integración de la Tecnología GPON con Estándares WiFi 6 en Conectividad de Alta Velocidad

La tecnología GPON (Red Óptica Pasiva de Capacidad Gigabit) se ha consolidado como un componente clave en la provisión de acceso a Internet de alta velocidad mediante el uso de cables de fibra óptica. Su diseño sólido facilita una transmisión de datos eficiente, lo que se traduce en conexiones estables y de amplio ancho de banda para los usuarios. Además, la integración de GPON con los estándares de Wi-Fi 6 representa un avance notable, permitiendo a los usuarios aprovechar al máximo las ventajas de la tecnología inalámbrica más reciente. (SHENZHEN 2024)

Capítulo 3: Análisis de la estructura de la Red, Desempeño, Factores Críticos y Estrategias de Mejora

3.1. Estructura y análisis de red en estudio

El análisis de redes de telecomunicaciones es fundamental para garantizar la implementación de infraestructuras modernas capaces de satisfacer la creciente demanda de servicios digitales. Dentro de este marco, las redes de Fibra hasta el Hogar (FTTH) que emplean tecnología GPON (Red

Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit) se han convertido en una solución preferida para proporcionar servicios de internet de alta velocidad, telefonía y televisión directamente al usuario final mediante fibra óptica.

La red FTTH/GPON analizada sigue una topología en árbol, donde una única fibra óptica desde el OLT se divide mediante splitters para atender a múltiples usuarios. Esta configuración permite ratios de división que suelen ser de 1:32 o 1:64, es decir, una sola fibra puede servir a 32 o 64 usuarios, respectivamente.

Este estudio refleja una red FTTH/GPON, cuya infraestructura se caracteriza por la utilización de dispositivos pasivos como divisores ópticos, los cuales permiten distribuir una sola fibra desde el punto central (OLT) hacia múltiples clientes conectados a través de terminales ópticas (ONT). Este diseño es capaz de proporcionar velocidades de hasta 2.5 Gbps en bajada y 1.25 Gbps en subida, garantizando un rendimiento excelente en contexto de hogares y comerciales.

En el estudio, se toman en cuenta consideraciones técnicas importantes, como la capacidad de transmisión, la latencia, las pérdidas en el enlace óptico y la fuerza de escalabilidad de la red. Así mismo, se examina la infraestructura tecnológica de los lugares donde opera la red, identificando aspectos que influyen en su desempeño y plantean estrategias de mejora con el fin de optimizar la experiencia del usuario final.

Este análisis no solo pretende entender el funcionamiento y las características de una red FTTH/GPON, sino que además brinda lineamientos para futuras optimizaciones e implementaciones, considerando la evolución tecnológica y las necesidades crecientes de conectividad.

En la figura 3.1 se muestra la estructura de la red estudiada y en la figura 3.2 la distribución de los diferentes componentes ópticos.

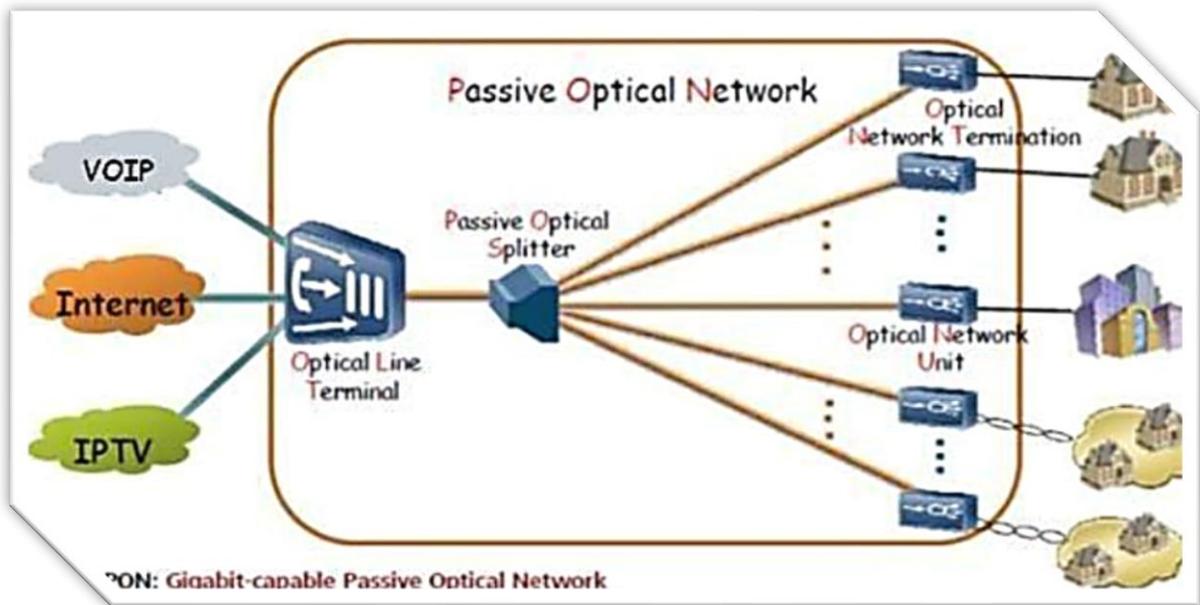


Figura 3. 1: Estructura de la red FTTH/GPON estudiada.
Autor: Empresa de servicio de internet

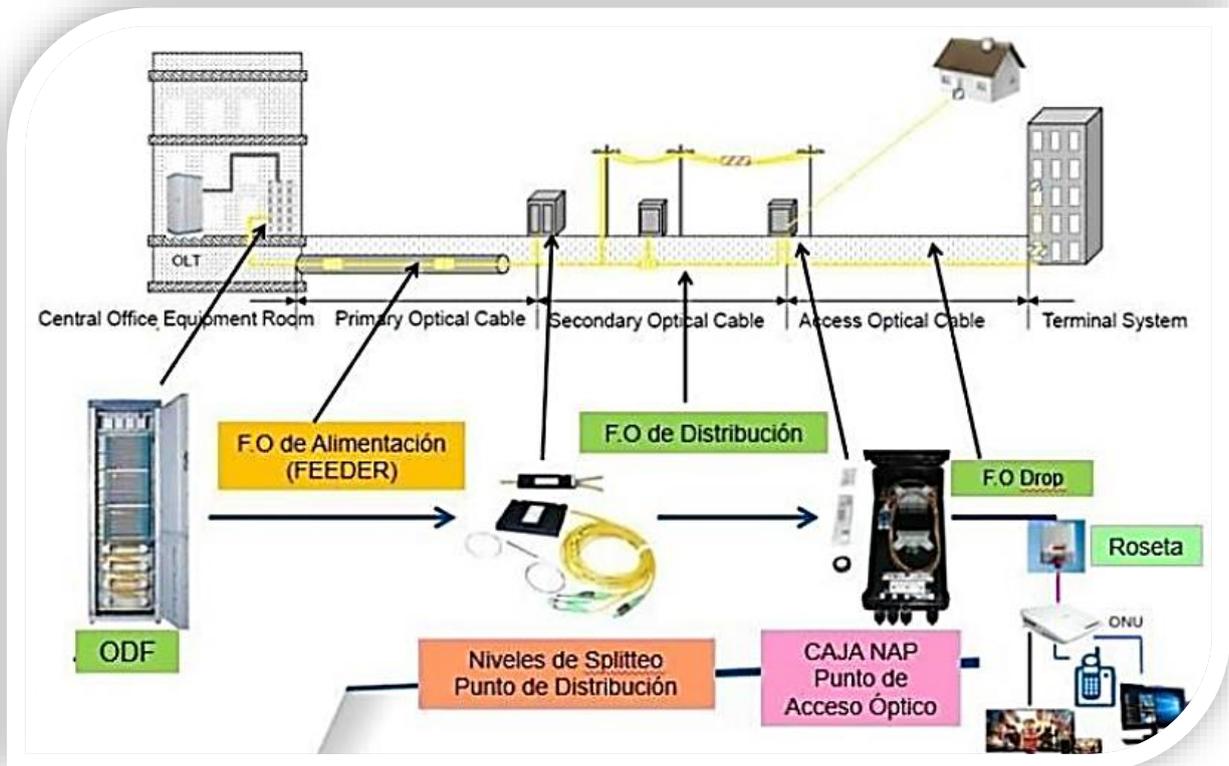


Figura 3. 2 : Red de distribución óptica
Autor: Empresa de servicio de internet

3.2. Componentes principales de una red FTTH/GPON

Terminal de Línea Óptica (OLT): Ubicado en las instalaciones del proveedor, el OLT gestiona el tráfico de datos hacia y desde los usuarios, actuando como interfaz entre la red troncal y la red de distribución óptica. Redalyc. (2018).

Red de Distribución Óptica (ODN): se forma por fibras ópticas y divisores pasivos (splitters), la ODN asigna la señal óptica desde el OLT a algunos usuarios sin existencia de elementos activos, lo que baja costos y complejidad. Rodríguez Yaguache, F. A. (2014)

Terminal de Red Óptica (ONT/ONU): ubicado en el hogar del usuario, el ONT (u ONU) transforma la señal óptica en señales eléctricas usables por los dispositivos del cliente, suministrando interfaces para servicios como internet, telefonía y televisión. Huawei. (2019)

3.3. Análisis de Red con la Plataforma Unified Management Platform (UMP)

El análisis del rendimiento y la convergencia de velocidad entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax) es importante para entender los impedimentos actuales y recomendar mejoras que maximicen la experiencia del usuario. La Unified Management Platform (UMP) de AVSystem se ubica como un recurso total que facilite este estudio al suministrar capacidades avanzadas de monitoreo, gestión y diagnóstico de dispositivos y redes.

La UMP facilita capturar datos importantes de eficacia tanto en la infraestructura de red fija (GPON FTTH) como también en las redes (Wi-Fi 6). Entre sus características funcionales más relevantes se encuentran:

1. Monitoreo Multitecnología: La UMP soporta tecnologías de acceso como GPON, LTE, y Wi-Fi, proporcionando una visión centralizada del rendimiento y las interacciones entre ellas. AVSystem. (s.f.).

2. Indicadores de Rendimiento: Ofrece métricas clave, como latencia, pérdida de paquetes y velocidad de enlace, que son esenciales para comparar el rendimiento entre GPON y Wi-Fi 6. AVSystem. (s.f.).
3. Diagnósticos Automatizados: Facilita la identificación y resolución de problemas de red, permitiendo detectar cuellos de botella o inconsistencias en la convergencia de velocidad. AVSystem. (s.f.).
4. Análisis Histórico y en Tiempo Real: La plataforma registra datos históricos y en tiempo real, lo que permite evaluar la evolución del desempeño y analizar el impacto de factores como la congestión o la interferencia. AVSystem. (s.f.).

El uso de la UMP en este estudio no solo mejora el análisis técnico, sino que también posibilita una administración efectiva de los dispositivos conectados, garantizando una integración sin interrupciones entre las redes GPON FTTH y Wi-Fi 6. Este enfoque facilita la evaluación de métricas clave y ayuda en la elaboración de estrategias orientadas a optimizar la calidad del servicio y la experiencia del usuario final.

Con estas capacidades, la UMP cambia como un aliado importante para el estudio integral y generar propuestas de mejora implicadas en datos precisos y accionables.

En las siguientes figuras 3.3 se identifican los patrones, tendencias o información esencial que puedan aportar al análisis de las redes con la herramienta UMP.

Usuario CTA: 106445125

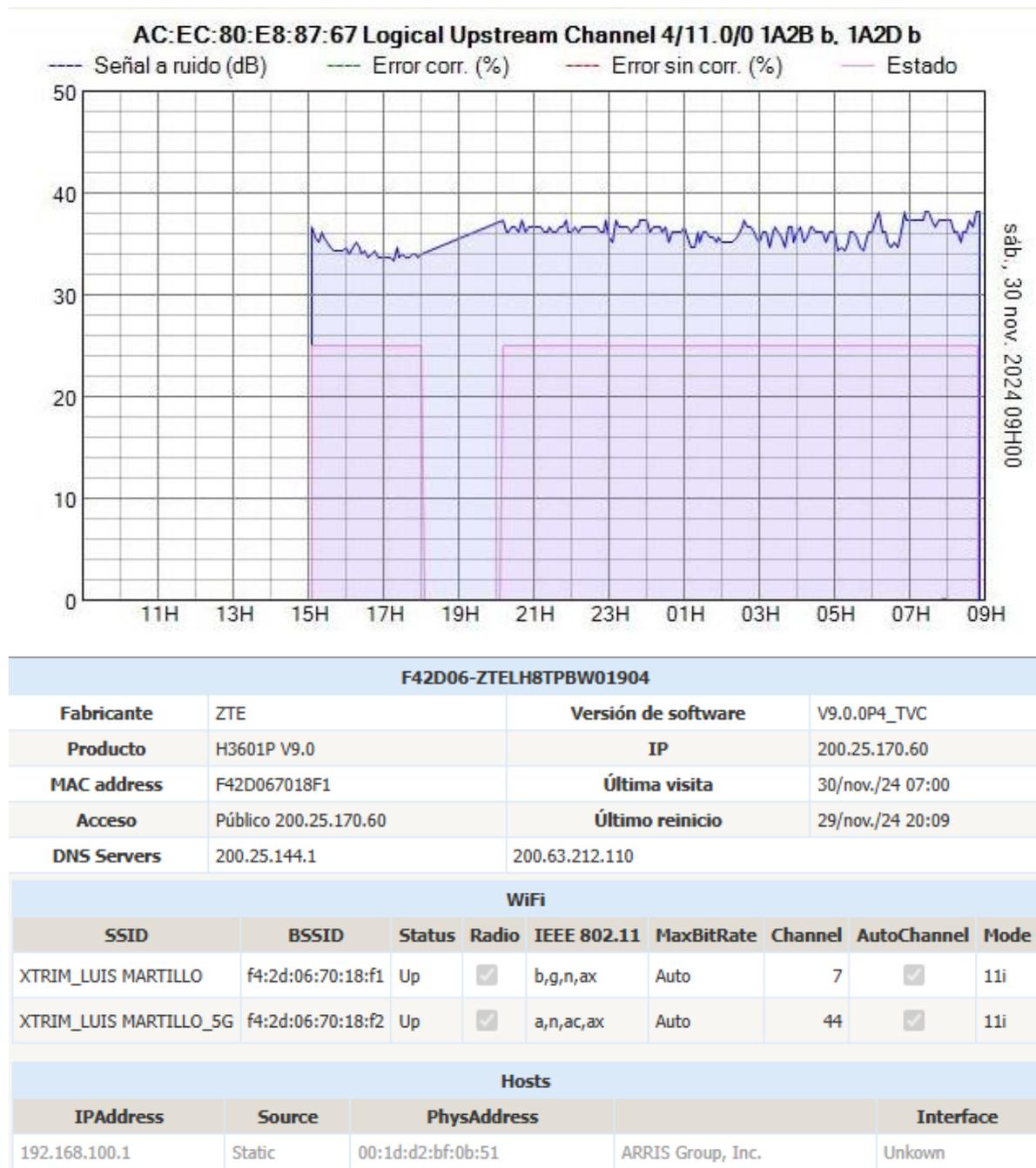


Figura 3. 3: Análisis de la red utilizando UMP

Autor: Plataforma UMP

3.4. Descripción de la Recogida de Información

En esta investigación, se empleará una muestra de 100 usuarios de la red distribuidos en diferentes sectores del norte de la ciudad de Guayaquil. Esta selección busca representar diversas condiciones geográficas, sociales y de uso de la red para garantizar un análisis integral de la convergencia entre GPON FTTH y routers Wi-Fi 6 (802.11ax). La recogida de información se llevará a cabo de la siguiente manera:

3.4.1. Selección de la Muestra

Los usuarios serán seleccionados mediante un muestreo por conveniencia y aleatorio, considerando criterios como el tipo de entorno (en este caso, sólo residencial), la densidad poblacional (sectores urbanos), y las características de infraestructura tecnológica. Las áreas seleccionadas incluyen las parroquias Tarqui (Urdesa, Urdenor, Alborada, Sauces, Kennedy, Guayacanes y Samanes), Pascuales (Mucho Lote, Ciudad Santiago, Bastión Popular), Ximena (Vergeles, Orquídeas, Mucho Lote y Montebello) y Febres Cordero (Mapasingue). Estas zonas se caracterizan por contar con redes de fibra óptica extensas, especialmente en áreas urbanas como Tarqui, lo que facilita el acceso a servicios de banda ancha y tecnologías avanzadas como GPON.

3.4.2. Medición de Parámetros

A cada usuario se le realizarán mediciones específicas, incluyendo tasa de transferencia, latencia, y pérdida de paquetes, tanto en la red GPON FTTH como a través del router Wi-Fi 6, bajo diferentes condiciones de uso.

3.4.3. Recolección en Diferentes Escenarios

Las pruebas se llevarán a cabo en horarios variados para capturar cómo varían los resultados en diferentes escenarios de carga.

3.4.4. Instrumentos y Métodos

Se utilizarán herramientas de diagnóstico y monitoreo de redes que permitan registrar datos de manera precisa y consistente como la plataforma UMP y Speedtest

3.5. Recogida y análisis de Información de la red WiFi

La información de la matriz 3.1 presenta datos Generales: Identificación de usuarios y zonas/sectores como (e.g., Coop. 26 de Febrero, Bastión Popular).

Especificaciones Técnicas: Modelo del router, fecha, velocidad contratada (en Mbps), y velocidades medidas de subida y bajada.

Métricas de Red como:

- Latencia de convergencia entre GPON y Wi-Fi (RTT en ms).
- Pérdidas de paquete en GPON FTTH y Wi-Fi 6.
- Interferencia y congestión en Wi-Fi 6.
- Calidad de servicio (QoS) evaluada.

La integración de redes GPON (Gigabit Passive Optical Network) con tecnologías avanzadas como Wi-Fi 6 (802.11ax) ha permitido mejorar significativamente la calidad del acceso a internet en áreas urbanas y residenciales. Este estudio recopila y analiza datos clave sobre el desempeño de estas redes, utilizando métricas técnicas como la latencia de convergencia entre GPON y Wi-Fi, las velocidades de subida y bajada, las pérdidas de paquetes evaluadas mediante el comando ping, y las condiciones de interferencia y congestión.

La muestra se seleccionó mediante un muestreo por conveniencia y aleatorio, abarcando usuarios en zonas residenciales norte de Guayaquil, incluyendo sectores como la Cooperativa 26 de Febrero, Bastión Popular, Gallegos Lara, Colinas de la Florida, Guayacanes, Urdenor2, Saucos 8, riveras del salado, cooperativa 4 de marzo, El fortin, florida norte, Prosperina,

cooperativa el Madrigal entre otras áreas densamente pobladas con infraestructura tecnológica avanzada. La información recogida incluyen modelos de routers, velocidades contratadas y medidas, y la calidad de servicio (QoS), lo que facilita valorar el desempeño y la estabilidad de estas redes híbridas.

Este análisis contribuye a identificar posibles limitaciones y oportunidades de mejora en la convergencia entre redes GPON y Wi-Fi, asegurando un servicio más eficiente y confiable para los usuarios finales.

Tabla 3. 1: Matriz de recogida de información

#	DATOS GENERALES				CARACTERÍSTICAS Y CONFIGURACIÓN DEL ROUTER MÁS IMPORTANTES				VELOCIDAD			METRICAS				
					SOPORTA OFDMA Y MU-MIMO.	Configuran la calidad de servicio en router Qos	Configuran el sistema EasyMesh estándar	Canal de banda				Latencia de convergencia entre GPON Y WiFi (RTT)	Pérdidas de paquete		Interferencia y congestión	Calidad de Servicio (QoS)
	Cta. De Usuario	Zona o Sector	Router modelo	Fecha	NO	SI	NO	5 ghz	Megas Contratados	Subida	Bajada	Media de tiempo ida y vuelta en ms	GPON FTTH	Wi-Fi 6 (802.11ax)	Wi-Fi 6 (802.11ax)	GPON FTTH y Wi-Fi 6
1	103788728	COOP. 26 DE FEBRERO	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	27/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	212	212	34.00	0%	0%	NO	100%
2	103473279	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	19/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	211	161	36.00	0%	0%	NO	100%
3	96999075	GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	2/09/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	266	257	34.00	0%	0%	NO	100%
4	103864032	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	211	161	38.00	0%	0%	NO	100%
5	101938620	GUAYACANES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	21/07/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	26	30	32.00	0%	0%	NO	100%
6	106445125	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	1/07/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	18	19	37.00	0%	0%	NO	100%
7	69029582	COOP. 26 DE FEBRERO	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	27/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	300	320	249	54.00	0%	4%	NO	100%
8	4647291	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	29/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	300	268	260	33.00	0%	0%	NO	100%
9	101605691	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	29/06/2023	NO	SI	NO	5 ghz	300	299	310	25.00	0%	0%	NO	100%
10	105688788	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	1/05/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	211	212	37.00	0%	0%	NO	100%
11	103711059	ALBORADA 12	AX3 DUAL CORE WIFI 6	6/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	400	407	426	36.00	0%	0%	NO	100%
12	106069539	COOP. MADRIGAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/05/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	212	215	37.00	0%	0%	NO	100%
13	98271161	VERGELES	AX3 DUAL CORE WIFI 6	3/12/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	211	222	36.00	0%	0%	NO	100%
14	44799775	VERGELES	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	168	212	32.00	0%	0%	NO	100%
15	82947374	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/09/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	172	211	33.00	0%	0%	NO	100%
16	64238119	VERGELES	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	212	182	29.00	0%	0%	NO	100%

17	61000438	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	16/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	22	20	32.00	0%	0%	NO	100%
18	104573475	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	9/02/2024	NO	SI	NO	5 ghz	300	287	238	44.00	0%	0%	NO	100%
19	103640055	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	193	200	45.00	0%	0%	NO	100%
20	93748525	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	400	349	330	32.00	0%	0%	NO	100%
21	104796949	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	211	220	37.00	0%	0%	NO	100%
22	30046484	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	30	35	37.00	0%	0%	NO	100%
23	101230763	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	5/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	203	220	40.00	0%	0%	NO	100%
24	103878741	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	209	212	44.00	0%	0%	NO	100%
25	95725995	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	24/10/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	36.00	0%	4%	NO	100%
26	108157581	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	21/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	42.00	0%	0%	NO	100%
27	93310408	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	21/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	200	67.00	0%	0%	NO	100%
28	64623822	GUAYACANES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	21/07/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	83.00	0%	0%	NO	100%
29	100291572	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	1/07/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	130.00	0%	0%	NO	100%
30	98676738	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	27/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	214	210	58.00	0%	0%	NO	100%
31	104161873	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	212	210	107.00	0%	0%	NO	100%
32	105099198	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	214	220	110.00	0%	0%	NO	100%
33	85854208	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	214	220	67.00	0%	0%	NO	100%
34	101605691	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	210	48.00	0%	0%	NO	100%
35	66980888	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	210	59.00	0%	0%	NO	100%
36	100241113	UDENOR 2	AX3 DUAL CORE WIFI 6	24/10/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	213	220	100.00	0%	0%	NO	100%
37	108052565	COOP. CARTAGENA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	16/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	214	220	32.00	0%	0%	NO	100%
38	16318702	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	9/02/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	220	28.00	0%	0%	NO	100%
39	98919570	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	33.00	0%	0%	NO	100%

40	88098225	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	214	220	32.00	0%	0%	NO	100%
41	73992898	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	31.00	0%	0%	NO	100%
42	57293035	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	210	32.00	0%	0%	NO	100%
43	107981645	COOP. LUCHADORES DEL NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	5/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	214	220	30.00	0%	0%	NO	100%
44	107979594	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	213	220	40.00	0%	0%	NO	100%
45	91725029	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	213	220	34.00	0%	0%	NO	100%
46	94251568	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	35.00	0%	0%	NO	100%
47	103255688	GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	2/09/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	200	32.00	0%	0%	NO	100%
48	103740402	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	200	40.00	0%	0%	NO	100%
49	102179562	GUAYACANES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	21/07/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	40.00	0%	0%	NO	100%
50	97574555	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	1/07/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	40.00	0%	0%	NO	100%
51	105315410	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	9/02/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	225	220	30.00	0%	0%	NO	100%
52	105882223	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	39.00	0%	0%	NO	100%
53	64854812	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	32.00	0%	0%	NO	100%
54	45547828	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	225	220	36.00	0%	0%	NO	100%
55	97464640	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	224	210	35.00	0%	0%	NO	100%
56	73784394	COOP. LUCHADORES DEL NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	5/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	37.00	0%	0%	NO	100%
57	35726231	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	42.00	0%	0%	NO	100%
58	97130480	COOP. 4 DE MARZO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	24/10/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	34.00	0%	0%	NO	100%
59	98940236	BASTION POPULAR	AX3 DUAL CORE WIFI 6	21/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	62.00	0%	0%	NO	100%
60	64830648	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	210	29.00	0%	0%	NO	100%

61	88583262	COOP. CARTAGENA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	16/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	30.00	0%	0%	NO	100%
62	87789447	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	9/02/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	32.00	0%	0%	NO	100%
63	75527828	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	29.00	0%	0%	NO	100%
64	100735390	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	220	36.00	0%	0%	NO	100%
65	102264515	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	225	220	30.00	0%	0%	NO	100%
66	107276288	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	30.00	0%	0%	NO	100%
67	102280218	COOP. LUCHADORES DEL NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	5/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	224	220	32.00	0%	0%	NO	100%
68	107516128	PARAISO DE LA FLOR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	45555	NO	SI	NO	5 ghz	200	223	220	39.00	0%	0%	NO	100%
69	80977050	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	44021	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	32.00	0%	0%	NO	100%
70	106363715	SAUCES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	45467	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	27.00	0%	0%	NO	100%
71	29632606	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	210	30.00	0%	0%	NO	100%
72	85371021	SAMANES 1	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	44169	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	32.00	0%	0%	NO	100%
73	45988694	SAMANES 5	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	42163	NO	SI	NO	5 ghz	200	170	165	30.00	0%	0%	NO	100%
74	83959243	COOP. CARTAGENA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	45597	NO	SI	NO	5 ghz	200	225	220	110.00	0%	0%	NO	100%
75	16359251	ALBORADA 5	AX3 DUAL CORE WIFI 6	41401	NO	SI	NO	5 ghz	200	67	66	124.00	0%	0%	NO	100%
76	34621990	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	215	210	67.00	0%	0%	NO	100%
77	74835868	VERGELES	AX3 DUAL CORE WIFI 6	22/10/2019	NO	SI	NO	5 ghz	200	68	66	32.00	0%	0%	NO	100%
78	90893216	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	17/08/2021	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	40.00	0%	0%	NO	100%
79	62780651	EL FORTIN	AX3 DUAL CORE WIFI 6	23/04/2018	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	45.00	0%	0%	NO	100%
80	105078680	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	45370	NO	SI	NO	5 ghz	200	225	220	36.00	0%	0%	NO	100%
81	102062146	FLORIDA NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/07/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	224	220	58.00	0%	0%	NO	100%
82	107964686	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	45370	NO	SI	NO	5 ghz	200	225	220	107.00	0%	3%	NO	100%

83	107505425	FLORIDA NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	19/09/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	110.00	0%	0%	NO	100%
84	64479222	JUAN MONTALVO	TOTOLINK	24/07/2018	NO	SI	NO	5 ghz	200	68	66	67.00	0%	0%	NO	100%
85	22599662	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	18/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	212	210	48.00	0%	0%	NO	100%
86	96762864	COND. RIBERAS DEL SALADO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	22/10/2019	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	59.00	0%	0%	NO	100%
87	93405167	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	9/02/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	25.00	0%	0%	NO	100%
88	94007811	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	26/11/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	37.00	0%	0%	NO	100%
89	29071068	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	31/01/2022	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	36.00	0%	0%	NO	100%
90	70768186	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	1/03/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	37.00	0%	0%	NO	100%
91	34581300	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	9/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	210	40.00	0%	0%	NO	100%
92	98129498	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	29/06/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	115	100	25.00	0%	0%	NO	100%
93	45821768	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	29/06/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	115	100	37.00	0%	0%	NO	100%
94	59641445	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	1/05/2024	NO	SI	NO	5 ghz	200	216	220	36.00	0%	0%	NO	100%
95	104653901	ALBORADA 12	AX3 DUAL CORE WIFI 6	6/12/2023	NO	SI	NO	5 ghz	200	226	220	37.00	0%	0%	NO	100%

Autor: información propia

En la Tabla 3.1 se detalla el análisis de los datos recopilados, correspondientes a 95 cuentas de usuarios con contratos de servicios de internet domiciliario en diversos sectores del norte de la ciudad de Guayaquil. Los resultados obtenidos permiten identificar tendencias clave en la infraestructura de red y el desempeño de los dispositivos instalados.

3.5.1. Características del Equipamiento

El 80% de los puntos de red analizados utilizan el router ZXHN H3601P V9 WiFi 6 como el router WiFi más instalado en sus redes domésticas. Este equipo presenta algunas características técnicas y configuraciones destacadas, entre las que se encuentran:

- **Soporte para OFDMA y MU-MIMO:** Este dispositivo al ser clasificado como WiFi 6, utiliza tecnologías fundamentales para el mejoramiento del ancho de banda y la eficiencia en redes con múltiples equipos conectados.
- **Calidad de Servicio (QoS) habilitada:** Posee activada la calidad de servicio QoS permitiendo la resaltando el tráfico de datos, aunque no se observa una utilización extendido de esta funcionalidad para mejorar aplicaciones específicas.
- **Sin configuración EasyMesh estándar:** Este router tiene la capacidad compatible con esta tecnología, que ayuda a la integración de sistemas de malla para una cobertura homogénea, esta característica funcional no se encuentra habilitada en las redes analizadas.
- **Configuración de canal en la banda de 5 GHz:** la utilización de esta banda es predominante, lo que podría mejorar el rendimiento en términos de velocidad y baja interferencia en contraste con la banda de 2.4 GHz.

3.5.2. Rendimiento en Velocidades Contratadas y Medidas

En el estudio de velocidades de subida y bajada, los datos indican que los usuarios con contratos de **200 Mbps** (representando el **99%** de los casos) vivencia un funcionamiento consistente con los valores de datos contratados. La media medidas son:

- **Velocidad de subida:** 208 Mbps
- **Velocidad de bajada:** 205 Mbps

Esto indica que, en general, las conexiones se encuentran dentro de los intervalos esperados para este tipo de servicio, destacando una relación favorable entre la velocidad medida y la contratada.

3.5.3. indicadores de Rendimiento: Latencia y Convergencia

En el estudio del tiempo de ida y vuelta (RTT) de paquetes de información estándar enviados entre la red GPON y el router WiFi, se alcanza una media de latencia de 44 ms. Este valor excede significativamente los estándares óptimos para aplicaciones en tiempo real, donde se considera una latencia de acuerdo a la norma esta entre 1 y 5ms sería la ideal para garantizar una experiencia de usuario satisfactoria.

Aunque no se registraron pérdidas de paquetes, lo que indica estabilidad en la transmisión de datos, la latencia medida podría afectar negativamente aplicaciones sensibles al retardo, como video llamadas o juegos en línea

3.5.4. Configuración de calidad de servicio

Aunque la funcionalidad QoS está habilitada en el router, no se ha evaluado de manera exhaustiva su impacto en escenarios de tráfico más complejos, ya que mantiene restricciones de envíos de paquetes más grandes como videos, juegos y audio, a través de la consola utilizando el comando ping.

3.5.5. Conclusión

El análisis realizado evidencia que, aunque el hardware instalado en los domicilios cuenta con capacidades avanzadas como WiFi 6, funcionalidades críticas como OFDMA, MU-MIMO y EasyMesh, esta última no está activa. Esta limitación restringe el desempeño óptimo de las redes domésticas en escenarios de alta demanda o con múltiples dispositivos conectados.

Por otro lado, las velocidades medidas (promedios de 208 Mbps de subida y 205 Mbps de bajada) y la ausencia de pérdida de paquetes reflejan

un desempeño positivo bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, el tiempo de ida y vuelta (RTT) promedio de 44 ms supera los valores ideales establecidos por estándares normativos, que recomiendan una latencia entre 1 ms y 5 ms para aplicaciones sensibles al retardo. Este nivel de latencia podría afectar significativamente la experiencia en servicios en tiempo real, como video llamadas, juegos en línea y transmisiones multimedia.

3.6. Análisis de la pérdida en dB de la fibra óptica en un esquema de red GPON típico para aplicaciones masivas en el ISP

Hoy en día, las redes de fibra óptica, especialmente aquellas basadas en tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network), son una solución eficaz para proporcionar servicios de acceso a Internet, TV y telefonía en entornos colectivos. Estas redes se caracterizan por su capacidad de proporcionar altas velocidades de transmisión con bajos costes de mantenimiento.

Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrentan es la pérdida de señal, medida en decibeles (dB), que se produce debido a factores como la absorción, la dispersión y las propiedades físicas de las fibras ópticas.

Esta pérdida afecta la calidad de la comunicación y el rendimiento, y es un factor importante a considerar al diseñar y administrar una infraestructura de red GPON para usuarios masivos.

El análisis de pérdida de señal en redes GPON es esencial para garantizar la calidad del servicio en implementaciones a gran escala. A medida que la señal se propaga a lo largo de una fibra óptica, la potencia se reduce debido a la atenuación, que depende de factores como la distancia, las características del cable, el acoplamiento y el divisor óptico.

Identificar y medir estas pérdidas nos permite identificar potenciales cuellos de botella en la red y tomar medidas para mejorar la eficiencia de la transmisión, garantizando así que los usuarios finales tengan una conexión estable y de alta calidad.

En la figura 3.4 se muestra la red de acceso GPON que consiste principalmente en un terminal de línea óptica (OLT) situado en una oficina central (CO) Interconectado por una red de distribución óptica (ODN) a un nodo o un terminal de red óptico (ONT)

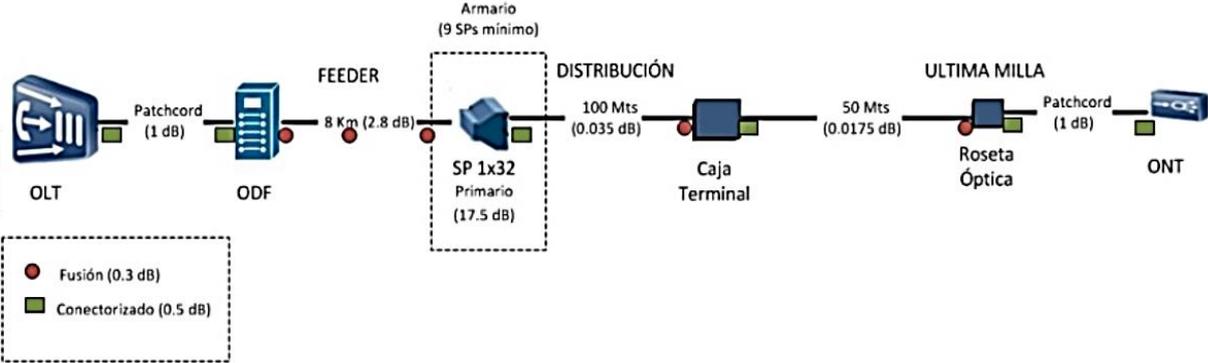


Figura 3. 4: Diseño Típico de RED GPON en ISP

Autor: ISP estudiado

En el siguiente cuadro se estima una primera parte del valor aproximado de perdida en Db que tiene la fibra óptica en su recorrido desde la OLT hasta llegar a la ONT de cada usuario que contrata con el ISP en estudio.

Tabla 3. 2: Primera parte del cálculo total de la pérdida en dB de la fibra óptica en un esquema GPON típico para masivos del ISP estudiado

PERDIDA EN DB DE LA FIBRA OPTICA DE UN ESQUEMA DE RED GPON TÍPICO PARA MASIVOS					
Desde	Hasta	Elemento Utilizado	Cant. De conectorizaciones	DB de pérdida	Total en Db de pérdida
OLT	ODF	Patch Cord	2	0.5	1
ODF	Armario	Fusiones en F.O	3	0.3	0.9
Armario	SP	Conectorizado	1	0.5	0.5
SP	Caja Terminal	Fusiones en F.O	1	0.3	0.3
Caja Terminal	Roseta Óptica	Un conector, una fusión	2	0.8	1.6

Roseta Óptica	ONT	Patch Cord	2	0.5	1
				TOTAL	5.3

Autor: Información propia

En la Tabla 3.2 se detalla la primera sección de datos referentes a la atenuación de la señal óptica durante su propagación a través de la fibra en un entorno de red GPON. En este análisis, se identifica que la pérdida promedio del enlace de fibra óptica se sitúa en 5.3 dB, un valor que refleja la suma de las contribuciones de dispersión, absorción y pérdidas por acoplamiento propias de este tipo de infraestructura.

En este aspecto se calcula cada componente de los parámetros básicos del enlace estos son:

Pérdida por conectores= N conectores x Pérdida conector

Pérdida por empalmes= N empalmes x Perdida empalme

Pérdida por divisor óptico= P splitter= $10 \times \log_{10}(N \text{ split})$ (16)

En la Tabla 3.3 se presenta el cálculo correspondiente a la segunda etapa de la reducción de la señal óptica durante su propagación a través de la fibra. Este fenómeno, conocido como atenuación, es inherente a cualquier medio de transmisión óptica y se mide en decibeles (dB). En este estudio se considera la pérdida intrínseca de la fibra óptica previamente calculada, así como la distancia en kilómetros que recorre la señal desde la OLT hasta la ONT de cada usuario, dependiendo de la ubicación de su domicilio. Adicionalmente, se incluye un margen de seguridad constante de 3 dB, conforme a las especificaciones técnicas de fabricación de la fibra óptica. En conjunto, estos factores permiten calcular una pérdida total promedio de 52 dB, representativa del rendimiento típico en un entorno de red GPON.

También se calcula el presupuesto óptico del enlace proporcionado por el fabricante del equipo OLT Huawei de 16 puertos que es de +3.5db a 5 db y del ONT - ZTE ZXHN F6600 WIFI 6, donde su máxima sensibilidad es de – 24db

Presupuesto óptico del enlace: $= (+ 4.25) - (- 24) = 28.5\text{db}$

Esto significa que la cantidad de pérdida que experimenta la señal promedio de 52db a lo largo de la fibra es mayor que la cantidad que el sistema está diseñado para soportar, que es de 28.5db, lo cual puede generar problemas en la calidad de la transmisión de datos

Tabla 3. 3 : pérdida del enlace de fibra en la red GPON.

#	Datos Generales				Parámetros básicos del enlace con cada componente				
					Perdida específica F.O(db/km)	Longitud de la F.O (km)	Atenuación de la fibra	Margen de seguridad	Total de Pérdidas
	Cta. De Usuario	Zona o Sector	Router modelo	Ubicación del nodo principal de la Red Gpon	α fibra (db/km)	KM	α fibra (db/km) x L (km)	Constante (dB)	Suma de todas las pérdidas
1	103788728	COOP. 26 DE FEBRERO	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
2	103473279	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
3	96999075	GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
4	103864032	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
5	101938620	GUAYACANES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
6	106445125	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.5	34.45	3	37.45
7	69029582	COOP. 26 DE FEBRERO	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
8	4647291	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
9	101605691	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
10	105688788	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
11	103711059	ALBORADA 12	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	7.5	39.75	3	42.75
12	106069539	COOP. MADRIGAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.7	35.51	3	38.51
13	98271161	VERGELES	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
14	44799775	VERGELES	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
15	82947374	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
16	64238119	VERGELES	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
17	61000438	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
18	104573475	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
19	103640055	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
20	93748525	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
21	104796949	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	3.6	19.08	3	22.08
22	30046484	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
23	101230763	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17

24	103878741	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
25	95725995	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
26	108157581	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
27	93310408	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
28	64623822	GUAYACANES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
29	100291572	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.5	34.45	3	37.45
30	98676738	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.5	34.45	3	37.45
31	104161873	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.5	34.45	3	37.45
32	105099198	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	15	79.5	3	82.50
33	85854208	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
34	101605691	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
35	66980888	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
36	100241113	UDENOR 2	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.5	34.45	3	37.45
37	108052565	COOP. CARTAGENA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.1	48.23	3	51.23
38	16318702	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
39	98919570	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.9	36.57	3	39.57
40	88098225	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	15	79.5	3	82.50
41	73992898	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
42	57293035	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
43	107981645	COOP. LUCHADORES DEL NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.4	49.82	3	52.82
44	107979594	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	15	79.5	3	82.50
45	91725029	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
46	94251568	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
47	103255688	GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
48	103740402	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
49	102179562	GUAYACANES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
50	97574555	UDENOR 2	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.5	34.45	3	37.45
51	105315410	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
52	105882223	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.9	36.57	3	39.57
53	64854812	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	15	79.5	3	82.50

54	45547828	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
55	97464640	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
56	73784394	COOP. LUCHADORES DEL NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.4	49.82	3	52.82
57	35726231	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
58	97130480	COOP. 4 DE MARZO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	17	90.1	3	93.10
59	98940236	BASTION POPULAR	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
60	64830648	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
61	88583262	COOP. CARTAGENA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.1	48.23	3	51.23
62	87789447	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
63	75527828	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.9	36.57	3	39.57
64	100735390	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	15	79.5	3	82.50
65	102264515	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
66	107276288	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
67	102280218	COOP. LUCHADORES DEL NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.4	49.82	3	52.82
68	107516128	PARAISO DE LA FLOR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	14	74.2	3	77.20
69	80977050	SAUCES 8	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
70	106363715	SAUCES 4	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
71	29632606	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
72	85371021	SAMANES 1	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	10	53	3	56.00
73	45988694	SAMANES 5	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	14	74.2	3	77.20
74	83959243	COOP. CARTAGENA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.1	48.23	3	51.23
75	16359251	ALBORADA 5	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.4	49.82	3	52.82
76	34621990	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
77	74835868	VERGELES	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
78	90893216	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
79	62780651	EL FORTIN	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
80	105078680	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
81	102062146	FLORIDA NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.3	43.99	3	46.99
82	107964686	COLINAS DE LA FLORIDA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	11	58.3	3	61.30
83	107505425	FLORIDA NORTE	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.3	43.99	3	46.99

84	64479222	JUAN MONTALVO	TOTOLINK	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
85	22599662	COOP. FRANCISCO JACOME	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9	47.7	3	50.70
86	96762864	COND. RIBERAS DEL SALADO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3		0	3	3.00
87	93405167	COOP. GALLEGOS LARA	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
88	94007811	COOP. PROSPERINA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	6.9	36.57	3	39.57
89	29071068	COOP. UNIDAD NACIONAL	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	15	79.5	3	82.50
90	70768186	JUAN MONTALVO	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	9.6	50.88	3	53.88
91	34581300	COOP. GALLEGOS LARA	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	5.6	29.68	3	32.68
92	98129498	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
93	45821768	BASTION POPULAR	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	13	68.9	3	71.90
94	59641445	SAUCES 8	ZXHN H3601P V9 WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	8.9	47.17	3	50.17
95	104653901	ALBORADA 12	AX3 DUAL CORE WIFI 6	Av. J. T. Camarengo	5.3	7.5	39.75	3	42.75

Autor: información propia

3.7. Análisis estadísticos

3.7.1. Prueba t-Student para una muestra.

La prueba t de Student es un método estadístico importante para determinar si las diferencias entre dos conjuntos de datos son estadísticamente significativas, especialmente cuando se trabaja con muestras pequeñas y distribuciones casi normales.

Como parte de este estudio sobre la optimización de redes FTTH GPON y la integración de enrutadores Wi-Fi 6 (802.11ax), t-Student permite realizar comparaciones de rendimiento entre estos dos sistemas en términos de variables como latencia, pérdida de convergencia de señal y velocidad. Kisby Huaman, Los Ángeles.(2019).

El propósito principal de aplicar la prueba t de Student en este análisis es determinar si la diferencia observada en el rendimiento de los enlaces de fibra y las conexiones Wi-Fi 6 es estadísticamente significativa. Esto es necesario para verificar la eficacia de las mejoras de red propuestas, como una mayor velocidad de convergencia y una mejor calidad del servicio a lo largo de la última milla de la red.

Al comparar patrones de resultados, la prueba t proporciona una perspectiva cuantitativa para la toma de decisiones basada en evidencia.

Esta investigación ayuda a confirmar si los cambios realizados en la infraestructura de la red, como la incorporación de tecnologías avanzadas en los enrutadores Wi-Fi 6, tienen un impacto tangible en la experiencia del usuario o mejoran el rendimiento general de la red.

Sistema de fibra óptica GPON FTTH.

En este caso se comparará la pérdida promedio contra un valor de referencia: Se evaluará si la pérdida promedio medida (52 dB) es significativamente diferente del presupuesto óptimo del enlace (28 dB), se usará una prueba de hipótesis de una muestra (t-Student).

Hipótesis:

- H_0 : La pérdida promedio de la red es igual al presupuesto óptimo del enlace ($\mu = 28$ dB).
- H_1 : La pérdida promedio de la red es diferente al presupuesto óptimo del enlace ($\mu \neq 28$ dB).

Datos:

- Media muestral $\bar{x} = 52$ dB.
- Valor de referencia $\mu_0 = 28$ dB.
- Tamaño de la muestra (n) = 95 puntos de red.

Desviación estándar

Valores individuales de la pérdida de señal de 95 puntos de red

32.7	71.9	32.7	61.3	61.3	37.5	32.7	50.2	50.2	50.2	42.8	38.5	71.9	71.9	50.2	71.9	50.2	32.7	50.2	50.2
22.1	32.7	50.2	50.7	50.2	50.2	50.2	61.3	37.5	37.5	37.5	82.5	53.9	32.7	50.7	37.5	51.2	32.7	39.6	82.5
53.9	32.7	52.8	82.5	53.9	32.7	32.7	61.3	61.3	37.5	32.7	39.6	82.5	53.9	32.7	52.8	50.7	93.1	71.9	50.7
51.2	32.7	39.6	82.5	53.9	32.7	52.8	77.2	50.2	61.3	50.7	56	77.2	51.2	52.8	50.7	71.9	71.9	71.9	61.3
47	61.3	47	53.9	50.7	3	32.7	39.6	82.5	53.9	32.7	71.9	71.9	50.2	42.8					

- Desviación estándar (s) = 16.26

Fórmula para la prueba t

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

Estadístico t: 14.18

Un valor t tan alto indica que existe una diferencia significativa entre la pérdida promedio observada (52 dB) y el presupuesto óptimo del enlace (28 dB). Para confirmar, se comparará este valor con el valor crítico de t en una tabla de distribución t-Student para $n-1 = 94$ grados de libertad y un nivel de significancia (alpha α) típico, como 0.05.

Se utiliza el programa Python

```
from scipy.stats import t
# Definir grados de libertad y nivel de significancia
n = 95 # Tamaño de la muestra
alpha = 0.05 # Nivel de significancia
df = n - 1 # Grados de libertad
# Calcular el valor crítico para una prueba bilateral
t_critical = t.ppf(1 - alpha / 2, df)
t_critical
```

Resultado = 1.98

Con base en los resultados obtenidos en la prueba t de Student, podemos interpretarlo de la siguiente manera:

1. Valor t calculado:

El valor t calculado es 14,18, que es significativamente mayor que el valor crítico de 1,98 (con un nivel de significancia del 5 % y 94 grados de libertad). Esto indica que la diferencia observada entre la media de la muestra y la población es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa.

2. Valor crítico:

El valor crítico 1,98 es el límite que determina si el valor t calculado es lo suficientemente extremo como para rechazar la hipótesis nula.

En este caso, dado que 14,18 supera claramente a 1,98, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

3. Interpretación de los resultados:

Dado que el valor t calculado (14,18) es mucho mayor que el valor crítico (1,98), podemos concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores observados en la muestra y los valores esperados.

Sin ninguna suposición. Esto significa que los datos analizados, en el contexto de una red GPON FTTH y un enrutador Wi-Fi 6, muestran un comportamiento notable que no se puede explicar solo por la aleatoriedad, lo que puede significar que los factores que afectan el rendimiento y la velocidad de convergencia son significativamente diferentes.

en comparación con lo que se esperaría según la hipótesis nula.

En resumen, los resultados muestran que las condiciones de la red en términos de rendimiento y velocidad de convergencia varían enormemente, lo que resalta la necesidad de más investigaciones o mejoras para mejorar este aspecto de la red.

3.8. Resultados esperados

Entre los resultados más importantes esperados del estudio se tiene la siguiente información:

El router más utilizado en la red es el ZXHN H3601P V9 WIFI 6, el cual entre sus características más relevante es el soporte EasyMesh estándar que faculta incorporar sistemas de malla para un alcance homogénea, no obstante esta funcionalidad no está habilitada en los routers analizados.

Además de comprobó que tienen habilitado la calidad de servicio (QoS) y configurado adecuadamente la banda de 5ghz, por otro lado se requiere realizar análisis de canales para verificar el de menor congestionamiento en el espectro.

Las velocidades de subida y bajada de datos, cumplen con las contratadas por el usuario, se encuentran en los rangos esperados.

Con respecto al análisis del tiempo de ida y vuelta RTT de paquetes enviados en condiciones estándar entre la red GPON y el router WiFi, se obtuvo una latencia promedio de 44ms, el cual excede los estándares óptimos

ideales que se encuentran de acuerdo a la norma entre 1ms y 5ms. No se registraron pérdidas de paquetes lo que refiere estabilidad en la transmisión de datos, pero podría afectar negativamente a aplicaciones sensibles al retardo como videos llamadas, juegos en línea y transmisiones multimedia.

Como resultado al análisis de la red GPON específicamente en la reducción de la señal óptica de propagación del recorrido a través de la fibra óptica se pudo verificar que tiene una pérdida total promedio de 52dB.

El presupuesto óptico del enlace de acuerdo a las características de los fabricantes tanto del OLT y el ONT es de 28.5dB.

3.9. Estrategias de Mejora para Optimizar la Convergencia entre la Red GPON y el Router Wi-Fi 6

Con base en los datos y análisis obtenidos durante la investigación, se proponen las siguientes estrategias para mejorar la convergencia entre las redes GPON y los enrutadores Wi-Fi 6, y resolver problemas como el rendimiento de pérdida de señal, la alta latencia y la utilización insuficiente de las tecnologías existentes.

1.Reducción de la pérdida de señal en la red GPON

Problema identificado: La pérdida de señal promedio es de 52 dB, lo que está muy por encima del presupuesto óptico de 28,5 dB.

Estrategia:

1.Auditoría periódica de la infraestructura física:

- Verificar el estado de cables, conectores, conexiones y splitters.
- Utilice un OTDR (reflectómetro óptico de dominio de tiempo) para localizar puntos de alta atenuación.

2.Mejorar el diseño de la red:

- Rediseñar la trayectoria de la fibra óptica para reducir la distancia y los componentes negativos que contribuyen a la pérdida de señal.
- Utilizar componentes de mayor calidad, como divisores de baja pérdida.

3.Programa de mantenimiento predictivo:

- Implementar sensores de monitoreo continuo en nodos críticos para predecir fallas.

Indicador de desempeño (KPI):

- Pérdida de señal promedio de menos de 30 dB durante un período de 6 meses.

2. Optimización de la Latencia

Problema identificado: la latencia promedio es de 44 ms, lo que está por encima del rango ideal (1-5 ms).

Estrategia:

2. Priorización del tráfico mediante QoS:

- Configurar la Calidad de Servicio (QoS) para priorizar los paquetes de datos sensibles a la latencia, como videollamadas y juegos en línea.
- Reservar un ancho de banda mínimo para aplicaciones críticas.

3. Optimización de rutas de tráfico:

- Reducir los saltos de red innecesarios mediante un diseño eficiente de la red troncal y de los nodos intermedios.
- Implementar protocolos como IGMP Snooping para mejorar la transmisión de multidifusión

4. Configuración de routers Wi-Fi 6:

- Ajustar los parámetros del router, como el DTIM (Delivery Traffic Indication Message) y el intervalo de beacon, para así disminuir los retrasos.
- Asegurar y comprobar que los dispositivos conectados utilicen la banda de 5 GHz siempre que sea posible.

Indicador de desempeño (KPI):

- Latencia promedio de paquetes RTT por debajo de 10 ms en un lapso de 90 días es decir 3 meses.

3. Mejoras en la Convergencia de Velocidades

Problema identificado:

Las velocidades medidas cumplen con las contratadas, pero no aprovechan completamente el potencial de Wi-Fi 6 debido a congestión de canales y falta de malla.

Estrategia:

1. Habilitación de EasyMesh:

- Activar la funcionalidad EasyMesh en los routers para de esta manera garantizar una cobertura homogénea y una transición fluida entre puntos de acceso.
- Instruir y educar a los usuarios sobre cómo configurar esta funcionalidad.

2. Selección automática de canales óptimos:

- Implementar un análisis dinámico del espectro Wi-Fi para de esta manera evitar congestión en los canales de 5 GHz.
- Configurar el router para que gestione cambios automáticos de canal basados en el tráfico en tiempo real.

3. Uso de beamforming y MU-MIMO:

- Se deberá configurar el router para utilizar beamforming activo, esto me permite enfocar la señal hacia dispositivos específicos.

- Optimizar la funcionalidad de MU-MIMO (Multi-User, Multiple-Input, Multiple-Output) para cambiar y mejorar la capacidad de atender múltiples usuarios simultáneamente.

Indicador de desempeño (KPI):

Velocidad promedio de descarga y carga superior al 95% de la contratada en un plazo de 2 meses.

4. Monitoreo y Gestión Activa de la Red

Problema identificado: Ausencia de un sistema continuo para identificar y resolver problemas en tiempo real.

Estrategia:

1. Implementación de un sistema de monitoreo centralizado:

- Utilizar herramientas como Zabbix o PRTG para rastrear el rendimiento de la red en tiempo real.
- Configurar alertas automáticas para valores críticos de pérdida de señal, latencia o congestión.

2. Análisis predictivo con inteligencia artificial:

- Se deberá emplear algoritmos de aprendizaje automático para pronosticar posibles fallos en la red con base en patrones históricos.
- A su vez aplicar estas predicciones para realizar ajustes proactivos en la configuración del router y la red GPON.

3. Educación del usuario final:

- Suministrar guías y tutoriales para que los usuarios optimicen la ubicación y configuración de sus routers Wi-Fi 6.

Indicador de desempeño (KPI):

- Tiempo promedio de resolución de incidencias menor a 30 minutos en un lapso de 6 meses.

5. Pruebas y Validación Continua

Problema identificado: Falta de pruebas continuas para validar mejoras implementadas.

Estrategia:

1. Realización de pruebas de carga regulares:

- Simular escenarios de alta demanda para identificar cuellos de botella en la red.
- Realizar pruebas con dispositivos Wi-Fi 6 en diversos rangos de señal.

2. Comparativas antes y después de las mejoras:

- Repetir pruebas de t-Student y análisis de latencia periódicamente para confirmar los beneficios obtenidos.

3. Pilotaje de nuevas tecnologías:

- Implementar nuevos dispositivos con soporte avanzado para Wi-Fi 6E en áreas piloto antes de una implementación completa.

Indicador de desempeño (KPI):

- Incremento del 10% en la satisfacción del usuario final en encuestas trimestrales.

3.10. Conclusiones y Recomendaciones con Evaluación y Control mediante KPIs.

3.10.1. Conclusiones

Desempeño de la red GPON FTTH y Wi-Fi 6:

Los resultados estadísticos muestran una diferencia significativa en el rendimiento de la red GPON FTTH, con una pérdida promedio de señal de 52 dB frente al presupuesto óptimo de 28 dB.

Esta discrepancia impacta directamente en la convergencia de velocidades y en la calidad de la experiencia del usuario, lo que sugiere la necesidad de optimizar la infraestructura de fibra óptica.

Latencia y su impacto en aplicaciones críticas:

La latencia promedio de 44 ms es considerablemente mayor que los valores ideales de 1 ms a 5 ms, lo que podría afectar aplicaciones sensibles al retardo, como video llamadas y juegos en línea.

Aunque no se observaron pérdidas de paquetes, la latencia puede comprometer la experiencia en aplicaciones interactivas en tiempo real.

Rendimiento del router Wi-Fi 6:

El router ZXHN H3601P V9 Wi-Fi 6 cumple con algunas funciones esenciales, como QoS y soporte para la banda de 5 GHz, pero la falta de habilitación de la función EasyMesh y la necesidad de análisis de canales Wi-Fi indican áreas de mejora en la distribución de la señal y en la optimización de la cobertura.

La implementación de estrategias específicas:

Para optimizar la convergencia entre la red GPON FTTH y los routers Wi-Fi 6 permite abordar problemas críticos como la pérdida de señal y la alta latencia, mejorando significativamente el rendimiento y la calidad del servicio.

Acciones como la habilitación de EasyMesh, la priorización del tráfico mediante QoS, y el monitoreo continuo garantizarán una experiencia más estable y eficiente para los usuarios finales, maximizando el potencial de las tecnologías avanzadas disponibles.

Además, la integración de herramientas de análisis predictivo y pruebas regulares de rendimiento proporciona una base sólida para validar las mejoras y realizar ajustes proactivos en la red. Estas medidas no solo optimizan la infraestructura existente, sino que también preparan el camino para satisfacer las crecientes demandas digitales, asegurando una conexión de última milla más robusta, adaptable y orientada a las necesidades actuales y futuras.

3.10.2. Recomendaciones

Optimización de la infraestructura de red GPON FTTH:

Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de la infraestructura de fibra óptica.

Utilizando tecnologías de medición y monitoreo avanzado para identificar y corregir las posibles fuentes de pérdida de señal. Esto incluye la revisión de cables, conexiones y equipos en puntos clave de la red.

Reducción de latencia mediante mejoras en la configuración de la red:

Se sugiere implementar optimizaciones en la configuración de los dispositivos de red, como la priorización de tráfico (QoS mejorado), la mejora de la segmentación de la red y la implementación de tecnologías adicionales para reducir los tiempos de respuesta, especialmente en aplicaciones críticas.

Implementación de EasyMesh en routers Wi-Fi 6:

Se recomienda habilitar la tecnología EasyMesh en los routers para mejorar la cobertura y estabilidad de la red Wi-Fi.

Esta funcionalidad permitirá gestionar de forma eficiente los puntos de acceso y garantizar una experiencia de usuario uniforme en toda la red.

Análisis y selección de canales Wi-Fi menos congestionados:

Se sugiere realizar un análisis de espectro para identificar los canales menos congestionados en la banda de 5 GHz.

Utilizando herramientas de medición de señal, se podrán evitar interferencias y mejorar la capacidad y la calidad de la señal en áreas con alta densidad de usuarios.

Evaluación continua y control mediante KPIs: Implementar un sistema de evaluación continua de la red utilizando KPIs (Indicadores Clave de Desempeño).

Esto permitirá monitorear el rendimiento de la infraestructura de red y tomar decisiones informadas sobre las mejoras necesarias.

Evaluación y Control mediante KPIs

A continuación, se proponen los KPIs más relevantes para la evaluación continua del rendimiento de la red GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6:

1. Pérdida de señal (dB):

- KPI:
Pérdida promedio de señal (dB) comparada con el presupuesto óptimo del enlace (28.5 dB).
- Objetivo:
Consta en mantener la pérdida de señal por debajo de 30 dB.
- Acción correctiva:
Si la pérdida de señal llegase a superar los 30 dB, se deberá realizar una revisión de la infraestructura de fibra óptica.

2. Latencia (RTT):

- KPI:
Tiempo de ida y vuelta (RTT) de los paquetes en condiciones normales.
- Objetivo:
Consta en mantener la latencia por debajo de 10 ms para aplicaciones sensibles y por debajo de 5 ms para aplicaciones críticas.
- Acción correctiva:
Si la latencia llegase a exceder los 10 ms, se deberá investigar y optimizar el enrutamiento y la configuración de la red.

3. Velocidades de subida y bajada:

- KPI:
Las velocidades de carga y descarga en comparación con las contratadas por el usuario.
- Objetivo:

Certificar que las velocidades de carga y descarga estén dentro del 95% del rango contratado.

- **Acción correctiva:**
Si las velocidades llegasen a caer por debajo del 90% de las contratadas, se debe revisar la configuración del router y la infraestructura de la red.

4. Disponibilidad de la red (Uptime):

- **KPI:**
El porcentaje de tiempo en que la red está completamente funcional y disponible.
- **Objetivo:**
Consta en mantener una disponibilidad de red del 99.99% (menos de 1 hora de inactividad por año).
- **Acción correctiva:**
Si la disponibilidad de la red llegase a caer por debajo del 99.99%, se deben implementar soluciones de redundancia y mejorar los sistemas de monitoreo.

5. Satisfacción del usuario final:

- **KPI:**
Este mide el índice de satisfacción del usuario final basado en encuestas y mediciones de la experiencia.
- **Objetivo:**
Consiste en alcanzar un índice de satisfacción superior al 85%.
- **Acción correctiva:**
Si la satisfacción del usuario llegase a caer por debajo del 80%, se deben realizar mejoras en la cobertura, latencia y rendimiento general de la red.

Proceso de Monitoreo Continuo:

- Monitoreo mensual de los KPIs principales:

Informes sobre la calidad de servicio (QoS), latencia, y pérdidas de señal.

- Revisión trimestral de la infraestructura física:
Análisis de cables y equipos para garantizar que la pérdida de señal se mantenga dentro de los parámetros ideales.
- Análisis semestral de la configuración de los routers Wi-Fi 6:
Implementación de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de la red.

Estos KPIs nos darán una visión más clara del estado de la red y permitirán tomar decisiones rápidas y efectivas para mejorar el rendimiento y la experiencia del consumidor final en la red GPON FTTH y Wi-Fi 6.

Bibliografía.

- Al-Quzwini, M. M. (2014). Diseño e implementación de una red de acceso FTTH de fibra hasta el hogar basada en GPON. *International Journal of Computer Applications*, 92(6).
- Eka, F., Ubaidi, O. F., Mu'iz, A., & Ananta, S. (2024). Efecto de la distancia en la calidad de la señal Wi-Fi en el entorno doméstico. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1).
- Eka, F., Ubaidi, O. F., Mu'iz, A., & Ananta, S. (2024). Effect of distance on Wi-Fi signal quality in the home environment. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1).
- Huawei. (2019). ¿Qué es una Red de Distribución Óptica (ODN)?
- Hussain, M. A., Md, Q., & Sharma, G. (2020). Design and implementation of gigabit passive optical network. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 8(X), 1-10.
- Hussain, M. A., Qaiser, M., & Sharma, G. (2020). Design and Implementation of Gigabit Passive Optical Network. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 8(10).
- Keiser, G. (2015). *FTTx Networks: Technology Implementation and Operation*. Morgan Kaufmann
- Kim, J. (2015). T test as a parametric statistic. *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(6), 540-546.
- Min, C., & Jinhao, Z. (2021). The application of WiFi 6 technology in underground mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Min, C., & Zhang, J. (2021). La aplicación de la tecnología WiFi 6 en minas subterráneas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Montréal.
- Mosquera Chica, Á. L. (2019). <http://repositorio.ucsg.edu.ec/> [Repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Recuperado el 13 de septiembre de 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13364>
- NCTA Technical Papers. (2024). Boosting FTTH Network Performance: Key Strategies. Retrieved from https://www.nctatechnicalpapers.com/Paper/2024/WLINE10_Ragel_6594_paper/download
- Pahlavan, K., & Krishnamurthy, P. (2020). *Evolution and impact of Wi-Fi technology and applications: A historical perspective*. Springer Science+Business Media, LLC, 3-19.
- Pahlavan, K., & Krishnamurthy, P. (2020). *Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective*. Springer Science+Business Media, 3–19.
- Portero, A. (2013). Digital home for FTTH services: devices, technologies, and QoE. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from https://oa.upm.es/21629/1/PFC_ALEJANDRO_ALONSO_PORTERO.pdf
- Portero, A. (2013). Hogar digital para servicios FTTH: Dispositivos, tecnologías y QoE [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Recuperado de https://oa.upm.es/21629/1/PFC_ALEJANDRO_ALONSO_PORTERO.pdf
- Quispe Huamán, L. A. (2019). Análisis de la implementación de una red óptica pasiva FTTH en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. https://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4306/1/T026_42743922_T.p

- Redalyc. (2018). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x.
- Rendon, J., & Xiong, Y. (2014). Cost analysis of network sharing in FTTH/PONs. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 126-134.
- Rendon, J., & Xiong, Y. (2014). Cost Analysis of Network Sharing in FTTH/PONs. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 126–134.
- Rodríguez Yaguache, F. A. (2014). Diseño de una red de distribución óptica (ODN) multiservicio con tecnología GPON para servicios triple play en el sector 'La Tolita 1' de la ciudad de Esmeraldas. Universidad Técnica de Esmeraldas.
- Shenzhen, G. (2024). Transforming Internet Connectivity: Advanced GPON WiFi 6 Router Solutions for Homes and Businesses. *Einpresswire*. Retrieved from <https://www.einpresswire.com/article/723285806/transformando-la-conectividad-de-internet-soluciones-avanzadas-de-router-gpon-wifi-6-para-hogares-y-empresas>
- Shenzhen, G. (2024, junio 27). Transformando la conectividad de internet: Soluciones avanzadas de router GPON Wi-Fi 6 para hogares y empresas. *Einpresswire*. Recuperado de <https://www.einpresswire.com/article/723285806/transformando-la-conectividad-de-internet-soluciones-avanzadas-de-router-gpon-wifi-6-para-hogares-y-empresas>
- Theissen, M., Kern, L., Hartmann, T., & Clausen, E. (2023). Evaluación orientada a casos de uso de tecnologías de comunicación inalámbrica para operaciones avanzadas de minería subterránea. *Sensors*, 23(12).
- Theissen, M., Kern, L., Hartmann, T., & Clausen, E. (2023). Use-case-oriented evaluation of wireless communication technologies for advanced underground mining operations. *Sensors*, 23.
- Velasco, I., & Melo, M. (2018). Technical-economic feasibility study for the implementation of FTTH technology in urban areas. *Semantic Scholar*. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-factibilidad-t%C3%A9cnico-econ%C3%B3mico-para-la-L%C3%B3pez-Tovar/6164958aeba0ef4dec21202f8811fcb78e7c172e>
- Velasco, I., & Melo, M. (2018, mayo). Estudio de factibilidad técnico-económico para la implementación de redes FTTH en áreas urbanas. *Semantic Scholar*. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-factibilidad-t%C3%A9cnico-econ%C3%B3mico-para-la-L%C3%B3pez-Tovar/6164958aeba0ef4dec21202f8811fcb78e7c172e>
- Wi-Fi Alliance. (2023). The future of Wi-Fi: Using standardized key performance indicators and evaluation. *The Beacon*. Retrieved from <https://www.wi-fi.org/beacon/the-beacon/the-future-of-wi-fi-using-standardized-key-performance-indicators-and-evaluation>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pizarro Lindao, Israel Josué**, con C.C: # **0924615354** autor del trabajo de titulación: **Optimización del rendimiento y la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax), como acceso de última milla**. Previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de Marzo de 2025

f. 

Nombre: **Pizarro Lindao, Israel Josué**

C.C: **0924773856**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Optimización del rendimiento y la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y la integración de routers Wi-Fi 6 (802.11ax), como acceso de última milla.		
AUTOR(ES)	Pizarro Lindao, Israel Josué		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ubilla González, Ricardo Xavier, Mgs; Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc Peñafoel Olivo, Kety Jenny, MSc		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de marzo de 2025	No. DE PÁGINAS:	60 p.
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estabilidad del servicio, Experiencia del usuario, redes.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Convergencia de velocidades, Redes GPON FTTH, Wi-Fi 6 (802.11ax)		
<p>RESUMEN/ABSTRACT: Esta investigación se centra en optimizar la convergencia de velocidades entre redes GPON FTTH y routers Wi-Fi 6 (802.11ax) para mejorar el rendimiento del acceso de última milla y lograr una experiencia de usuario más consistente y eficiente. Con la creciente demanda de internet de alta velocidad debido a aplicaciones como el streaming en HD y el teletrabajo, las redes FTTH que utilizan el estándar GPON proporcionan hasta 2.5 Gbps en bajada y 1.25 Gbps en subida.</p> <p>Sin embargo, persisten desafíos para optimizar la integración entre GPON y routers Wi-Fi 6, especialmente en cuanto a latencia y estabilidad de la señal. Wi-Fi 6, conocido por sus mejoras en capacidad de transmisión, eficiencia espectral y reducción de latencia, se posiciona como una solución complementaria para aplicaciones de alta demanda en entornos de usuarios densos.</p> <p>La investigación se desarrolló utilizando un enfoque de investigación mixto, combinando simulación y experimentos de campo para investigar el desempeño de las redes GPON y Wi-Fi 6 en diferentes escenarios. El hallazgo principal se manifiesta principalmente en la gran pérdida de señal en la red GPON, con una pérdida promedio de 52 dB en comparación con el nivel de presupuesto óptimo de 28 dB, lo que puede afectar directamente la velocidad, la convergencia y la experiencia del usuario.</p> <p>La latencia de 44 ms está más allá del estándar ideal, lo que afectará a las aplicaciones que requieren una latencia más baja. El enrutador Wi-Fi 6 considerado (ZXHN H3601P V9) muestra buenos resultados en algunas áreas de configuración y funcionalidad, como calidad de servicio y configuración de la banda de 5GHz, sin embargo, requiere la integración de canal EasyMesh y presencia para funcionar para una cobertura óptima y mejor.</p> <p>Las recomendaciones propuestas, incluida la habilitación de EasyMesh y el monitoreo continuo, apuntan a reducir la atenuación y la latencia de la señal, con el objetivo de garantizar enlaces de última milla más fuertes, más resistentes y adaptables.</p> <p>Estas tácticas ayudarán a respaldar la creciente demanda digital y sentarán una base sólida para futuras mejoras en el rendimiento de la red.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9991855830	E-mail: israel.pizarro@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar		
	Teléfono: +593-995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			