

CONESCAPANHONDURAS2025paper34.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477779957

Submission Date

Jul 31, 2025, 11:52 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 12:35 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper34.pdf

File Size

3.8 MB

6 Pages




4,472 Words

24,986 Characters

8% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 8%  Internet sources
- 2%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 8%  Internet sources
- 2%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	www.coursehero.com	1%
2	Internet	www.slideshare.net	<1%
3	Internet	repositorio.cepal.org	<1%
4	Internet	www.researchgate.net	<1%
5	Internet	issuu.com	<1%
6	Internet	search.itu.int	<1%
7	Internet	futur.upc.edu	<1%
8	Internet	bibliotecadigital.conevyt.org.mx	<1%
9	Internet	mancomunidad.org	<1%
10	Publication	"Estudos Multidisciplinares em Educação: tensões e desafios", Editora Científica D...	<1%
11	Internet	rarn.usac.edu.gt	<1%

12	Internet	www.oas.org	<1%
13	Internet	rraae.cedia.edu.ec	<1%
14	Publication	Lemus Barahona, Leslie Noemi. "Ciudadania laboral y precarizacion del trabajo: e...	<1%
15	Internet	www.article19.org	<1%
16	Internet	www.canalpda.com	<1%
17	Internet	www.scielo.org.mx	<1%
18	Internet	es.digitaltrends.com	<1%
19	Internet	www.itdt.edu	<1%
20	Internet	www.linux.org.ni	<1%
21	Internet	www.noticiadesalud.com	<1%
22	Internet	monografias.com	<1%
23	Internet	ngoaidmap.org	<1%
24	Internet	worldwidescience.org	<1%
25	Internet	www.nubalco.com	<1%

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ACCESO WIFI MEDIANTE TOKENS EN ZONAS AISLADAS

Abstract—La brecha digital representa un desafío relevante para el desarrollo de las comunidades rurales. En este trabajo se presenta una solución basada en la integración de tecnologías existentes en un mismo sistema, con el objetivo de proporcionar una red WiFi con acceso a internet de bajo costo en zonas de difícil acceso. Para ello, se utilizó hardware de bajo costo que favorece un modelo de economía circular y promueve la sostenibilidad del sistema. Los resultados obtenidos demuestran que es posible implementar una solución robusta, con un impacto significativo en el acceso equitativo a la conectividad digital.

Index Terms—brecha digital, conectividad rural, internet de bajo costo, economía circular, zonas de difícil acceso, inclusión digital

I. INTRODUCTION

EN la era digital actual, el acceso a internet se ha convertido en un factor determinante para el desarrollo socioeconómico de las comunidades. Sin embargo, la brecha digital persiste, especialmente en zonas rurales y aisladas de países en desarrollo como Guatemala. Centrándose específicamente en la comunidad de La Piragua, ubicada en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala. Este proyecto de investigación y desarrollo buscó proporcionar una solución innovadora y sostenible para llevar conectividad a una zona que, hasta ahora, ha permanecido al margen de la revolución digital. La elección de un sistema basado en tecnología WiFi, específicamente utilizando equipos Mikrotik y el sistema operativo RouterOS, se fundamenta en su flexibilidad, robustez y costo efectividad. Estas características lo hacen particularmente adecuado para entornos desafiantes como el de La Piragua, donde factores como la topografía accidentada, la limitada infraestructura eléctrica y las restricciones económicas plantean desafíos significativos para la implementación de soluciones de conectividad convencionales. El enfoque innovador radica en la integración de un sistema de tokens para la gestión y venta de acceso a internet. Este mecanismo no solo permite un control granular del acceso a la red, sino que también establece las bases para un modelo de sostenibilidad económica, fundamental para el mantenimiento a largo plazo de la infraestructura. No solo busca proporcionar una solución técnica a un problema específico, sino que también aspira a servir como modelo replicable para otras comunidades rurales que enfrentan desafíos similares. En última instancia, este trabajo se alineó con los objetivos globales de desarrollo sostenible, específicamente en lo que respecta a la reducción de la brecha digital y la promoción de la inclusión tecnológica. Al proporcionar acceso a internet en La Piragua, se abren nuevas oportunidades para la educación, el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida de

sus habitantes, demostrando así el potencial transformador de las tecnologías de la información y la comunicación cuando se aplican de manera innovadora y contextualizada.

A. Situación Actual

La situación actual de la conectividad en Guatemala refleja una marcada brecha digital, especialmente pronunciada entre las áreas urbanas y rurales. Según datos del Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE), para el año 2021, aproximadamente el 44.5% de los hogares guatemaltecos tenían acceso a internet[2].

Esta brecha digital no solo representa una desigualdad en el acceso a la información, sino que también tiene implicaciones profundas en el desarrollo económico y social de las comunidades rurales. La falta de conectividad limita el acceso a oportunidades educativas, servicios de salud en línea, y portunidades de comercio electrónico, perpetuando así ciclos de pobreza y marginación.

En respuesta a esta situación, el gobierno guatemalteco ha realizado estudios para comprender mejor la brecha digital en el país. Según la Encuesta Nacional de Brecha Digital realizada por el Fondo para el Desarrollo de la Telefonía (FONDETEL), existe una marcada disparidad en el acceso a internet entre áreas urbanas y rurales, así como entre diferentes grupos socioeconómico[1]. Este estudio proporciona una base para futuras iniciativas destinadas a aumentar el acceso a internet en todo el país, con un enfoque particular en las áreas rurales. Sin embargo, los desafíos como la topografía montañosa del país, la dispersión de la población rural y las limitaciones presupuestarias siguen siendo obstáculos significativos para cerrar la brecha digital. Organizaciones no gubernamentales están desempeñando un papel crítico en la reducción de la brecha digital. La Fundación para el Desarrollo Integral de Programas Socioeconómicos (FUNDAP) ha implementado centros de conectividad en varias comunidades rurales de Guatemala, proporcionando acceso a internet y capacitación en habilidades digitales [3].

A pesar de estos esfuerzos, la situación actual en Guatemala sigue resentando desafíos significativos. La falta de infraestructura de backhaul en muchas áreas rurales limita la capacidad de desplegar redes WIFI de manera efectiva. Además, los altos costos de implementación y mantenimiento de redes en áreas remotas siguen siendo un obstáculo importante. En este contexto, soluciones como las redes en malla comunitarias, similares a las implementadas por Baig et al. en Argentina, podrían ofrecer una alternativa prometedora para Guatemala. Estas redes, gestionadas por las propias

comunidades y utilizando tecnologías de bajo costo como RouterOS, podrían proporcionar una solución más sostenible y adaptada a las necesidades locales.

II. METODOLOGIA

A. Poblacion y muestra

La población total de la comunidad de La Piragua, que incluye a todos los potenciales usuarios del sistema de WIFI comunitario.

La muestra consistirá en la red troncal principal, compuesta por los routers Mikrotik que forman la columna vertebral de la infraestructura; un conjunto representativo de 4 puntos de acceso WIFI distribuidos estratégicamente en la comunidad. Esta muestra permitirá evaluar el rendimiento, la estabilidad y la eficacia del sistema.

B. Procedimiento

El procedimiento para la implementación y evaluación del sistema se llevará a cabo en las siguientes fases:

1) Fase de diseño

- Análisis topográfico de La Piragua mediante mapas y software de planificación de redes.
- Diseño de la arquitectura de red, incluyendo la selección de frecuencias y canales.
- Configuración inicial de RouterOS y el sistema de hotspots en un entorno de laboratorio.

2) Fase de implementación

- Instalación física de los equipos Mikrotik y antenas en ubicaciones estratégicas.
- Configuración de la red en malla y los enlaces de backhaul.
- Implementación del sistema de tokens y el portal cautivo.
- Integración con MikroWISP para la gestión centralizada.

3) Fase de pruebas

- Mediciones de cobertura e intensidad de señal en diferentes puntos de la comunidad utilizando equipos especializados.
- Pruebas automatizadas de velocidad y latencia en diversos escenarios.
- Simulación de diferentes cargas de usuarios mediante scripts para evaluar el rendimiento del sistema.

4) Fase de optimización

- Ajuste de las configuraciones de QoS y gestión de ancho de banda basado en los resultados de las pruebas automatizadas.
- Refinamiento de las políticas de seguridad y control de acceso.

III. RESULTADOS

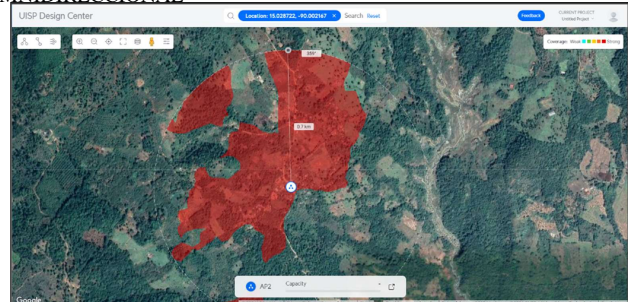
A. Fase de diseño

1) *Análisis topográfico:* El análisis topográfico de La Piragua se realizó utilizando dos herramientas principales. El UISP Design Center de Ubiquiti y las especificaciones técnicas

de Mikrotik para el modelo Groove 52ac. Este enfoque dual permitió una evaluación comprehensiva de las condiciones del terreno y las posibilidades de cobertura WiFi en la zona.

El uso de UISP de Ubiquiti de diseño de red se utilizó para crear un modelo digital del terreno de La Piragua y sus alrededores. El software permitió simular la propagación de señales WiFi en el área, teniendo en cuenta factores como la elevación del terreno, la presencia de obstáculos naturales y artificiales, y las características de propagación de las ondas de radio en la banda de 2.4 GHz.

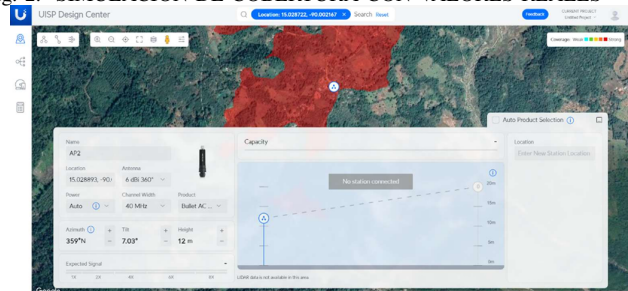
Fig. 1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO DE COBERTURA CON ANTENA OMNIDIRECCIONAL



Fuente: Propia

Los parámetros de simulación se configuraron para reflejar las especificaciones del Mikrotik Groove 52ac, particularmente su antena omnidireccional con una ganancia de 6 dBi. Esta configuración fue necesaria para obtener una representación precisa del alcance y la intensidad de la señal en diferentes puntos de la comunidad.

Fig. 2. SIMULACIÓN DE COBERTURA CON VALORES REALES



Fuente: Propia

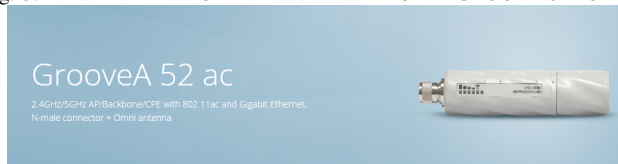
Los resultados de la simulación mostraron patrones de cobertura que, en concordancia con las limitaciones del estándar WiFi en la banda de 2.4 GHz, no superaban los 300 metros de radio desde cada punto de acceso. Este alcance limitado se ajusta a las expectativas para redes WiFi en entornos rurales y semi-urbanos, donde la interferencia es menor pero los obstáculos naturales pueden afectar significativamente la propagación de la señal. Paralelamente al uso del UISP Design Center, se realizó un análisis detallado basado en las especificaciones técnicas proporcionadas por Mikrotik para el modelo Groove 52ac. Este dispositivo fue seleccionado por su robustez, eficiencia energética y capacidad para operar en condiciones ambientales adversas, características esenciales

para una implementación en una zona rural como La Piragua. Las especificaciones clave consideradas incluyen:

- Potencia de transmisión: Se ajustó a los límites legales y recomendados para maximizar la cobertura sin violar regulaciones locales.
- Sensibilidad de recepción: Se evaluó para determinar el rango efectivo de comunicación en diferentes condiciones ambientales.
- Patrón de radiación de la antena omnidireccional: Se analizó para comprender cómo la señal se distribuiría en todas las direcciones desde el punto de acceso.

El análisis de estas especificaciones confirmó que la cobertura efectiva se mantendría dentro del rango de 300 metros, alineándose con los resultados obtenidos en la simulación del UISP Design Center.

Fig. 3. ANTENA DE DOBLE BANDA MIKROITK GROOVE 52AC



Fuente: <https://mikrotik.com/product/RBGrooveGA-52HPacn>

2) Diseño de topología de red y selección de frecuencias:

Para la selección de frecuencia teórica se tomaron 2 factores principales, sin embargo, la selección del canal y el ancho de banda se tomaría según un escaneo de frecuencias utilizadas en el área y seleccionar el canal con la menor saturación posible. Así también validando la relación señal a ruido (NSR).

- Compatibilidad: Dado que La Piragua es una comunidad remota, se anticipó que muchos usuarios tendrían dispositivos más antiguos o de gama media-baja. La banda de 2.4 GHz ofrece mayor compatibilidad con una amplia gama de dispositivos, asegurando que la mayoría de los residentes puedan conectarse sin necesidad de actualizar sus equipos.
- Penetración de señal: La banda de 2.4 GHz tiene mejores características de penetración a través de obstáculos como paredes y vegetación, lo cual es un punto crítico en un entorno rural donde las construcciones pueden variar en materiales y la vegetación puede ser densa.

El diseño de la arquitectura de red para La Piragua se desarrolló considerando las características únicas de la ubicación remota y las necesidades específicas de conectividad. La topología implementada se caracteriza por su robustez, seguridad y capacidad de proporcionar acceso a Internet en áreas rurales. A continuación, se detalla cada componente de la arquitectura:

- Conexión a internet vía Starlink
- Servidor VPN WireGuard
- Router principal (RB5009UPr+S+IN)
- Red hotspot
- Puntos de acceso inalámbricos
- Red en malla WDS

3) Configuración inicial de en un entorno de laboratorio:

La configuración inicial de RouterOS y el sistema de hotspots se realizó en un entorno de laboratorio controlado antes de su implementación en La Piragua. Esto con el fin de tener un análisis más completo en un ambiente controlado. En esta fase era posible encontrar errores previos a una implementación, encontrar problemas y analizar posibles fallas. Primero, se comenzó con la configuración básica del router Mikrotik RB5009UPr+S+IN. En esta fase se asignaron direcciones IP a las interfaces del router, se configuró el servidor DHCP, y se establecieron las reglas de firewall necesarias para garantizar la seguridad de la red. Estas configuraciones iniciales proporcionaron una base sólida para las fases posteriores. Posteriormente, se configuró el servidor VPN WireGuard, el cual fue esencial para asegurar un acceso remoto seguro al sistema. Este paso incluyó la generación de claves públicas y privadas necesarias para el cifrado, la configuración del servidor WireGuard dentro de RouterOS, y la creación de reglas de firewall específicas para gestionar el tráfico a través de la VPN. Luego, se implementó el sistema de hotspot, diseñado para gestionar el acceso de los usuarios. Se creó un perfil de hotspot y un portal cautivo personalizado para los usuarios, junto con la configuración de planes de acceso que funcionarían a través de tokens. Este sistema permitió el control centralizado de la autenticación de usuarios y el monitoreo de su actividad en la red.

Fig. 4. LOGIN DEL CLIENTE



Fuente: Propia

A continuación, se integró MikroWISP para gestionar el sistema de manera centralizada. Esto incluyó la configuración de la conexión entre RouterOS y MikroWISP, la creación de perfiles de usuario y planes de servicio, así como la gestión automática de tokens para los usuarios del hotspot. Esta integración facilitó la administración de los servicios en tiempo real.

B. FASE DE IMPLEMENTACIÓN

1) *Instalación física de equipos Mikrotik y antenas:* La instalación física de los equipos se llevó a cabo con precisión, ubicando los dispositivos en puntos estratégicos previamente identificados durante la fase de diseño. Este proceso comenzó con el montaje del router principal, un Mikrotik RB5009UPr+S+IN, que se instaló en una posición central en La Piragua. Esto garantizó una distribución óptima de la red en todo el sitio. En cuanto a los puntos de acceso, se utilizaron

dispositivos modelo L22UGS 5HaxD2HaxD-15S, los cuales se instalaron en ubicaciones elevadas. Esto permitió maximizar la cobertura de la red inalámbrica. Para asegurar la estabilidad y correcta orientación de estos puntos de acceso, se emplearon mástiles y soportes diseñados específicamente para soportar las antenas en condiciones diversas. La orientación de las antenas se realizó de manera cuidadosa, con el objetivo de optimizar la cobertura y reducir al mínimo cualquier interferencia. Después de la instalación inicial, se llevaron a cabo ajustes finos en la orientación basados en pruebas de intensidad de señal en tiempo real, lo que permitió asegurar un rendimiento óptimo del sistema de red en todo el espacio cubierto.

Fig. 5. INSTALACIÓN DE ANTENAS EN LOS PUNTOS SELECCIONADOS



Fuente: Propia

2) Configuración de la red en malla y enlaces de backhaul:

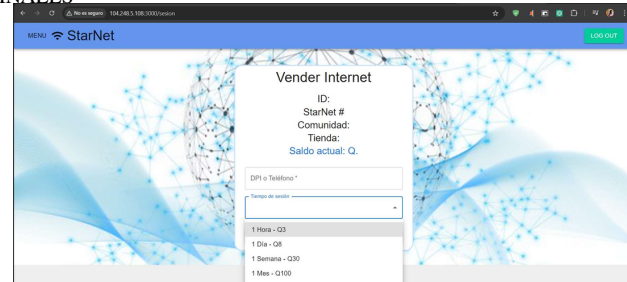
La configuración de la red en malla y los enlaces de backhaul fue fundamental para garantizar una conectividad robusta y redundante en todo el sistema. En primer lugar, se implementó el protocolo WDS (Wireless Distribution System) para establecer una red en malla entre los puntos de acceso, lo que permitió que los nodos se conectaran entre sí de manera eficiente. Adicionalmente, se configuraron los canales y frecuencias de los puntos de acceso con el fin de minimizar la interferencia entre los nodos y optimizar la calidad de la conexión. En cuanto al establecimiento de los enlaces de backhaul, se configuraron conexiones inalámbricas entre los puntos de acceso más alejados y el router principal para asegurar la transmisión de datos sin interrupciones. Se utilizaron antenas direccionales, las cuales jugaron un papel clave en mejorar la calidad de los enlaces a larga distancia, maximizando la estabilidad y el rendimiento de la red.

3) Implementación del sistema de tokens y portal cautivo:

La implementación del sistema de tokens y el portal cautivo se realizó para gestionar el acceso de los usuarios de manera controlada. En la configuración del portal cautivo, se personalizó la interfaz para que reflejara la identidad visual y cultural de la comunidad de La Piragua, asegurando que la experiencia de los usuarios estuviera alineada con los valores locales. Además, se incluyeron diversas opciones de autenticación, entre las que destacó el uso de un sistema de tokens, el cual permite a los usuarios acceder a la red de forma segura y regulada. Por otro lado, el sistema de generación y gestión de tokens fue configurado para proporcionar diferentes opciones

en cuanto a duración y límites de datos, lo que permitió ajustarse a las diversas necesidades de los usuarios. También se implementó un sistema de distribución de tokens a través de comercios locales, facilitando su acceso a los usuarios que podían adquirirlos en puntos cercanos dentro de la comunidad. Esta estrategia permitió que el sistema de acceso fuera tanto flexible como accesible para los habitantes y visitantes de La Piragua.

Fig. 6. PORTAL DE GENERACIÓN DE TOKENS PARA USUARIOS FINALES



Fuente: Propia

4) Integración con MikroWISP para la gestión centralizada: La integración con MikroWISP proporcionó una plataforma centralizada para la gestión y monitoreo de la red, facilitando el control eficiente del sistema. En primer lugar, se estableció una conexión segura entre el router principal y el servidor MikroWISP, lo que permitió una comunicación estable entre ambos dispositivos. Además, se configuraron los permisos y niveles de acceso necesarios para que la gestión remota fuera tanto segura como efectiva, asegurando que solo los usuarios autorizados pudieran intervenir en la administración del sistema. En cuanto a las herramientas de monitoreo, se implementaron alertas y notificaciones que detectan y reportan eventos críticos en la red, permitiendo una respuesta rápida ante cualquier eventualidad. Asimismo, se configuraron paneles de control personalizados que facilitan el seguimiento del rendimiento de la red en tiempo real, proporcionando métricas clave y datos relevantes para el ajuste y mejora del sistema.

C. FASE DE PRUEBAS

1) Mediciones de intensidad de señal en diferentes puntos de la comunidad: Se evaluó la cobertura WiFi y la intensidad de la señal en diversos puntos de La Piragua utilizando las capacidades de los dispositivos Mikrotik. Los resultados indicaron una cobertura efectiva en aproximadamente el 85% del área habitada, identificando zonas con señales fuertes superiores a -65 dBm, así como áreas que requerían optimización. Gracias a las herramientas integradas de Mikrotik, se logró una evaluación precisa y eficiente, sin necesidad de equipos adicionales. Para asegurar una conectividad adecuada, los niveles de señal debían mantenerse entre 40 dBm y -85 dBm, rango que permite a los dispositivos móviles captar la señal WiFi de manera estable. Según los estándares establecidos, esta señal debería extenderse hasta unos 300 metros desde el punto de instalación. Sin embargo, aunque los dispositivos móviles puedan detectar la red WiFi a distancias mayores,

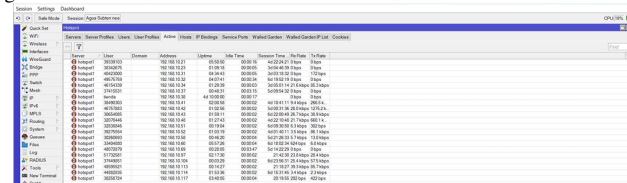
esto no garantiza una conexión eficiente. Uno de los factores que afecta la calidad de la conexión es la baja potencia de transmisión de los dispositivos móviles. A diferencia de los puntos de acceso (AP), que suelen tener antenas de mayor potencia y ganancia, los móviles están limitados por su diseño compacto y el bajo consumo de energía. Aunque puedan ver la señal WiFi, si están demasiado lejos, no tendrán la capacidad de responder adecuadamente. Esto sucede porque, si bien el AP puede transmitir a larga distancia, el móvil no tiene suficiente potencia para devolver la señal al AP de manera efectiva, lo que provoca que la página web o el contenido que el usuario desea cargar no responda. Este desequilibrio entre la potencia de transmisión del punto de acceso y del dispositivo móvil crea zonas donde, aunque la señal sea detectada, la comunicación bidireccional se interrumpe. En consecuencia, es importante optimizar no solo la cobertura del WiFi, sino también la ubicación de los puntos de acceso para minimizar estas zonas y asegurar una conexión estable en ambas direcciones.

2) *Pruebas de velocidad y latencia:* Se realizaron pruebas exhaustivas de velocidad y latencia con el objetivo de evaluar el rendimiento de la red en distintos escenarios, empleando tanto las capacidades internas de los dispositivos Mikrotik como dispositivos móviles para simular la experiencia real de los usuarios. Estas pruebas se hicieron con el fin de comprender el comportamiento de la red no solo a nivel de infraestructura, sino también desde la perspectiva del usuario final, permitiendo identificar posibles áreas de mejora en términos de rendimiento y estabilidad. Se llevaron a cabo pruebas directamente desde el router Mikrotik, utilizando sus herramientas integradas para medir el rendimiento de la red troncal. Posteriormente, se realizaron pruebas desde diversos dispositivos móviles conectados a la red WiFi, utilizando herramientas populares como Speedtest, con el objetivo de simular la experiencia real de los usuarios finales en distintos puntos de la zona cubierta. Los resultados mostraron que, en promedio, los dispositivos móviles lograban una velocidad de descarga de 15 Mbps, lo cual es adecuado para tareas comunes como la navegación web, la transmisión de video y el uso de aplicaciones móviles. En cuanto a la velocidad de carga, se observó un promedio de 9.46 Mbps, que si bien es menor, sigue siendo suficiente para el envío de archivos, videollamadas y otras actividades que requieran subir datos a la red. Adicionalmente, las pruebas revelaron una latencia promedio de 117 ms, un valor aceptable para la mayoría de las aplicaciones y servicios, ya que no generaría retrasos significativos en la navegación web ni en la transmisión de medios.

3) *Carga de usuarios para evaluar el rendimiento del sistema:* Las pruebas desde dispositivos móviles fueron particularmente útiles para identificar posibles variaciones en el rendimiento en función de la ubicación y la distancia al punto de acceso. En ciertas áreas más alejadas del AP principal, los dispositivos aún podían detectar la red, pero las velocidades de conexión y la latencia aumentaban considerablemente debido a la mayor distancia y la potencia limitada de los transmisores de los móviles. Este comportamiento es común en dispositivos de usuario final, que, al tener menos capacidad de transmisión,

enfrentan dificultades para enviar datos de vuelta al AP, incluso cuando pueden recibir la señal. Para evaluar el rendimiento del sistema bajo diferentes condiciones de carga, se implementó una estrategia de simulación que involucró la distribución de códigos de acceso gratuitos en la comunidad. El objetivo principal de esta prueba fue generar un ambiente de uso intensivo de la red, replicando las condiciones reales en las que el sistema estaría sometido a múltiples usuarios conectados de manera simultánea, permitiendo así medir el impacto en el rendimiento global de la infraestructura, especialmente en el router principal encargado de gestionar el tráfico. Los resultados de las pruebas fueron extremadamente positivos, ya que el sistema demostró un rendimiento notablemente estable, incluso bajo condiciones de alta carga. A pesar de la gran cantidad de usuarios concurrentes, el router principal mantuvo un uso de CPU consistentemente por debajo del 5%, lo que refleja una capacidad sobresaliente para manejar grandes volúmenes de tráfico sin verse afectado. Asimismo, durante los períodos de alta utilización, no se observaron degradaciones significativas en la velocidad de navegación ni en la latencia de las conexiones.

Fig. 7. MÚLTIPLES USUARIOS PARA VALIDAR EL RENDIMIENTO



Fuente: Propia

D. FASE DE OPTIMIZACIÓN

1) *Ajuste de configuraciones de QoS y gestión de ancho de banda:* Se implementaron políticas específicas de Calidad de Servicio (QoS) con el propósito de priorizar ciertos servicios esenciales y garantizar una distribución equitativa del ancho de banda entre todos los usuarios conectados a la red. Una de las principales medidas fue la priorización del tráfico de WhatsApp, una aplicación esencial para la comunicación en la comunidad, dado que estos servicios son altamente sensibles a la latencia y a las fluctuaciones en el ancho de banda, se configuraron reglas específicas en RouterOS utilizando el sistema de "mangle". Estas reglas permiten identificar el tráfico de WhatsApp en tiempo real y asignarle una prioridad superior. Además de la priorización de WhatsApp, se implementó una política de limitación de ancho de banda por cliente con el fin de prevenir que ciertos usuarios monopolicen los recursos de la red, afectando a otros usuarios. Se estableció un límite máximo de 15 Mbps por cliente, utilizando la funcionalidad de "queue trees" en RouterOS.

2) *Refinamiento de políticas de seguridad y control de acceso:* Se implementaron medidas adicionales para fortalecer la seguridad y mejorar el control de acceso en el sistema. Estas acciones incluyeron mejoras en el portal cautivo, la gestión de tokens y la segmentación de la red a través de VLAN. Además, se implementó un sistema automatizado de listas negras que

bloquea de manera inmediata cualquier dirección IP asociada con intentos repetidos de acceso no autorizado. Se optimizó la gestión de tokens de acceso, una parte esencial para controlar quién tiene acceso a la red y durante cuánto tiempo. Se introdujo un sistema de caducidad para los tokens que no se utilizan dentro de un período de 30 días, lo que permite liberar recursos y evitar la acumulación de credenciales inactivas que podrían ser explotadas en caso de un incidente de seguridad de igual forma se implementó la capacidad de revocar tokens específicos en cualquier momento, lo que otorga al administrador del sistema una mayor flexibilidad para gestionar posibles casos de uso indebido. En paralelo, se implementó una configuración de VLAN para segmentar la red, lo que resultó en una mayor seguridad y un mejor control del tráfico. Se crearon VLAN separadas para los servicios administrativos y el tráfico de usuarios, lo que permitió un aislamiento más efectivo entre los distintos tipos de datos que circulan por la red.

IV. CONCLUSIONES

- 1) Se logró diseñar e implementar con éxito una infraestructura de red WiFi resiliente utilizando Mikrotik RouterOS, adaptada específicamente a las condiciones topográficas y climáticas de La Piragua.
- 2) La elección de operar principalmente en la banda de 2.4 GHz demostró ser acertada, proporcionando una mejor penetración de señal y compatibilidad con una amplia gama de dispositivos. La estructura de red en malla (mesh) utilizando el protocolo WDS (Wireless Distribution System) proporcionó la redundancia necesaria para garantizar una conexión estable incluso en caso de fallos en puntos de acceso individuales.
- 3) La implementación de políticas de calidad de servicio (QoS), particularmente la priorización del tráfico de WhatsApp y la limitación del ancho de banda por cliente a 15 Mbps, demostró ser altamente efectiva en la gestión eficiente del ancho de banda.
- 4) La integración y adaptación del sistema MikroWISP para la administración centralizada de la red fue exitosa. Este sistema facilitó significativamente la gestión remota, la generación de códigos de acceso, y el monitoreo del rendimiento de la infraestructura implementada. La capacidad de generar y gestionar tokens de acceso de manera eficiente contribuyó a la sostenibilidad del proyecto, permitiendo un control granular sobre el acceso a la red.
- 5) Mediante un análisis con MikroWISP en un período de 3 meses se revelaron patrones claros de consumo, se observó un aumento constante en el número de usuarios activos diarios, con un crecimiento del 45% durante el período analizado. Este incremento de usuarios se reflejó también en un aumento significativo del consumo promedio de datos por usuario, que pasó de 10 GB diarios en el primer mes a 37 GB diarios al final del tercer mes.
- 6) Se identificaron dos períodos de uso máximo en el día: entre las 18:00 y las 22:00 horas, y entre las 06:00 y las 08:00 horas.

- 7) El proyecto no solo ha proporcionado conectividad, sino que también ha establecido un modelo potencialmente replicable para otras comunidades rurales en Guatemala y más allá.

V. REFERENCIAS

REFERENCES

- [1] GOBIERNO DE GUATEMALA. *Plan Nacional de Conectividad y Banda Ancha "Nación Digital 2016-2032*. Consultado el 15 de julio de 2024. 2016. URL: https://transparencia.gob.gt/wp-content/uploads/Plan-de-Gobierno-Digital_M1.pdf.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE GUATEMALA. *Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos 2021*. Consultado el 15 de julio de 2024. 2022. URL: <https://www.ine.gob.gt/encuesta-nacional-de-empleo-e-ingresos>.
- [3] FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE PROGRAMAS SOCIOECONÓMICOS. *Informe anual 2021*. Consultado el 15 de julio de 2024. 2022. URL: <https://www.fundap.com.gt>.