ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e implementación de un plan de transición de IPv4 a IPv6 en una red implementada por equipos Mikrotik.

EXAMEN COMPLEXIVO

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Telecomunicaciones

Presentado por:

Marco Andrés Espinoza Iñiguez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

Declaración Expresa

Yo Marco Andres Espinoza Iñiguez acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 24 de enero del 2025.

Firmado electrónicamente por:
MARCO ANDRES
ESPINOZA INIGUEZ

Ing, Marco Andres Espinoza Iñiguez

EVALUADORES

Firmado electrónicamente por:
MARIA ANTONIETA ALVAREZ VILLANUEVA

Ph.D.Maria Antonieta Alvarez

EVALUADOR

Firmado electrónicamente por:
EDUARDO LUIS CHANCAY ROJAS

Mgtr. Eduardo Chancay

EVALUADOR

RESUMEN

La escasez global de direcciones IPv4 ha impulsado la adopción del protocolo IPv6 como una solución tecnológica que garantiza la escalabilidad y sostenibilidad de las redes en el futuro. En Ecuador, la transición a IPv6 ha sido lenta debido a limitaciones en infraestructura, falta de capacitación técnica y costos asociados. Este proyecto propone un plan de transición de IPv4 a IPv6 en redes implementadas con equipos Mikrotik, utilizando un entorno dual-stack para garantizar la coexistencia de ambos protocolos durante la migración.

El estudio incluyó una evaluación detallada de la infraestructura actual, la configuración de direccionamiento IPv6, la actualización de firmware, la implementación de un entorno dual-stack y la capacitación técnica del personal. Los resultados demostraron que la red configurada opera eficientemente en IPv6, con métricas de rendimiento satisfactorias en términos de latencia, ancho de banda y uso de recursos.

La implementación de IPv6 en redes Mikrotik no solo resuelve el problema de la escasez de direcciones IP, sino que también mejora la conectividad y prepara a los proveedores de servicios para el crecimiento futuro de la demanda en el ámbito digital. Este proyecto puede servir como modelo para otros ISP y organizaciones interesadas en migrar a IPv6 de manera eficiente.

Palabras Clave: Protocolo IPv6, Dual-stack, Redes Mikrotik, Migración de IPv4 a IPv6, Escalabilidad de redes

ABSTRACT

The global shortage of IPv4 addresses has driven the adoption of the IPv6 protocol as a technological solution that ensures the scalability and sustainability of networks in the future. In Ecuador, the transition to IPv6 has been slow due to infrastructure limitations, lack of technical training, and associated costs. This project proposes a transition plan from IPv4 to IPv6 in networks implemented with Mikrotik equipment, using a dual-stack environment to ensure the coexistence of both protocols during migration.

The study included a detailed assessment of the current infrastructure, IPv6 addressing configuration, firmware updates, dual-stack environment implementation, and technical staff training. The results demonstrated that the configured network operates efficiently in IPv6, with satisfactory performance metrics in terms of latency, bandwidth, and resource utilization.

The implementation of IPv6 in Mikrotik networks not only addresses the issue of IP address scarcity but also enhances connectivity and prepares service providers for the future growth of digital demand. This project can act as a reference framework for other ISPs and organizations aiming to transition to IPv6 in an efficient manner.

Keywords: IPv6 Protocol, Dual-stack, Mikrotik Networks, IPv4 to IPv6 Migration, Network Scalability

ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

IPv4 Protocolo de Internet versión 4

IPv6 Protocolo de Internet versión 6

ISP Proveedor de Servicios de Internet

LACNIC Registro de Direcciones de Internet para América Latina y el Caribe

RIPE Centro de Coordinación de Redes IP Europeas

APNIC Registro de Direcciones de Internet de Asia-Pacífico

ARCOTEL Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones

DHCPv6: Protocolo de Configuración Dinámica de Hosts versión 6

SLAAC Configuración Automática de Direcciones Sin Estado

OSPFv3 Protocolo de Enrutamiento de Estado de Enlace versión 3

BGP Protocolo de Puerta de Enlace Fronteriza

NAT Traducción de Direcciones de Red

QoS Calidad de Servicio

CPU Unidad Central de Procesamiento

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del Problema

A nivel internacional se adoptó hace unos 5 años la estrategia de migrar a IPv6 en todas las operaciones de comunicaciones en el continente, las razones principales fueron en primer lugar para afrontar tempranamente la situación de escasez de direcciones IPv4 con altas tasas de crecimiento de la banda ancha, y adicionalmente razones institucionales. (1)

Brasil y México lideran la asignación de direcciones IPv6 dentro de la región LACNIC, con un 39.5% y 34.3%, respectivamente. En contraste, nuestro país posee apenas el 1.5% de estas asignaciones. En adición LACNIC cuenta solamente con el 1% de direcciones IPv6 que han sido asignadas a nivel mundial, se podría afirmar que dicha región se encuentra retrasada con respecto a las otras regiones como lo son RIPE que se encarga de asignar direcciones IP a los países europeos, debido a que cuenta con un 45.9% y le precede APNIC que asigna direcciones a países asiáticos con un 34.5%. (2)

De acuerdo con los resultados en (2), las redes de los ISP registrados en ARCOTEL están listados para poder proporcionar IPV6 o que cuentan con los equipos con capacidad de operar en IPv6, sin embargo, los equipos no están configurados o actualizados, por lo que el 73.3% de los ISP requieren configurar los equipos que forman parte de la red, por otra parte, es interesante ver que el 66.7% de los ISP consideran que es necesario capacitar a sus empleados y actualizar los sistemas operativos del equipamiento disponible. En Ecuador, la transición hacia la implementación del protocolo IPv6 ha sido más lenta en comparación con otros países, principalmente debido a la falta de iniciativas y difusión, así como a la ausencia de políticas completamente establecidas. (3) , El Gobierno de Ecuador, a través del Plan Nacional de Desarrollo de Banda Ancha, busca impulsar el crecimiento y la modernización de la infraestructura digital en el país. dice “*la transición y coexistencia de IPv4 & IPv6, por lo que las empresas proveedoras de servicios del Ecuador se han visto en la obligación de realizar varios análisis de sus diferentes plataformas (Backbone IP/MPLS, servidores, equipos de virtualización, equipos de transmisión, sistemas de gestión/Monitoreo entre otros, para poder efectuar*

la coexistencia y migración a IPv4 & IPv6, Los proveedores de servicios quieren presentar servicios IPv6 a sus clientes, pero los cambios en su infraestructura IPv4 existente pueden ser costosos y el costo beneficio para una pequeña cantidad de tráfico IPv6 no tiene sentido desde el punto de vista económico". (4)

1.2 Justificación del Problema

La adopción de IPv6 en Ecuador es esencial para el desarrollo tecnológico y económico, ya que permite abordar la creciente escasez de direcciones IPv4 en un escenario de expansión constante de los servicios de internet. Esta transición es especialmente relevante en sectores tanto urbanos como rurales, donde la implementación de IPv6 mejorará la conectividad y facilitará el acceso a servicios digitales críticos, como la educación en línea, la telemedicina y la gestión de infraestructuras urbanas inteligentes. Sin embargo, a pesar de los beneficios evidentes, Ecuador enfrenta barreras significativas para lograr esta transición de manera eficiente.

Entre estas barreras se encuentran limitaciones relacionadas con la infraestructura tecnológica existente, la falta de compatibilidad de algunos equipos de red y la necesidad de actualizar las capacidades técnicas del personal encargado de la gestión de las redes. Estas características específicas del entorno ecuatoriano dificultan la resolución del problema utilizando métodos tradicionales, como la simple ampliación de direcciones IPv4 mediante NAT (Traducción de Direcciones de Red), que, aunque funcional en el corto plazo, no es una solución sostenible ni escalable para el crecimiento futuro ni para las demandas de conectividad global.

En este contexto, las redes basadas en equipos Mikrotik representan un caso de estudio importante debido a su amplio uso por parte de los ISP en Ecuador. Mikrotik es una empresa letona reconocida a nivel mundial por la fabricación de hardware y software de redes, en particular routers y switches, que se destacan por ofrecer una excelente relación costo-beneficio. Su sistema operativo, RouterOS, es altamente personalizable y proporciona funciones avanzadas como enrutamiento, firewall, VPN, balanceo de carga, calidad de servicio (QoS) y soporte completo para IPv6. Estas características hacen que Mikrotik sea una opción atractiva para pequeños y medianos ISP que buscan soluciones económicas y eficientes para la gestión de redes.

Para justificar la elección de Mikrotik en este proyecto, es importante compararlo con otras marcas populares, como Ubiquiti. Ubiquiti es conocida por ofrecer soluciones de red de alta calidad, especialmente en entornos empresariales y residenciales, y destaca por su facilidad de uso. Sin embargo, en comparación con Mikrotik, los dispositivos de Ubiquiti suelen ser más costosos y menos flexibles en términos de personalización para entornos complejos de ISP. Por otro lado, Mikrotik permite configuraciones más avanzadas y adaptadas a las necesidades específicas de los proveedores de servicios, lo que resulta especialmente útil en contextos como el ecuatoriano, donde la optimización de costos y la versatilidad son factores clave. Además, Mikrotik cuenta con una comunidad técnica global muy activa que facilita el acceso a soluciones y soporte técnico, lo que es fundamental durante el proceso de migración a IPv6.

A pesar de estas ventajas, la transición de IPv4 a IPv6 en redes basadas en Mikrotik plantea un desafío técnico significativo: cómo migrar de manera eficiente sin interrumpir los servicios existentes. Este proceso requiere una planificación minuciosa para garantizar la compatibilidad de los equipos, el rendimiento de la red y una coexistencia adecuada de ambos protocolos durante la fase de transición. Para abordar este desafío, se utiliza el enfoque conocido como dual stack, o pila dual, que permite La operación simultánea de los protocolos IPv4 e IPv6 dentro de una misma red. Este método asegura que los dispositivos y servicios puedan operar con ambos protocolos de manera paralela, lo que facilita la migración gradual y asegura la continuidad del servicio durante el proceso de implementación.

El enfoque dual stack es crucial porque permite que las redes manejen tanto tráfico IPv4 como IPv6 sin necesidad de realizar una transición abrupta. Esto es especialmente importante en entornos donde muchos dispositivos y servicios aún dependen de IPv4, pero donde es necesario comenzar la adopción de IPv6 para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. En la práctica, el entorno dual stack implica configurar los dispositivos de red, como los routers Mikrotik, para que puedan procesar y enrutar ambos tipos de tráfico de manera eficiente, lo que minimiza las interrupciones y maximiza la compatibilidad.

En este análisis, se consideran varias variables clave que influyen en la efectividad de la migración de IPv4 a IPv6. Una de las principales variables es la compatibilidad de los equipos. Es necesario identificar qué dispositivos dentro de la red son compatibles con IPv6 y cuáles requerirán actualizaciones de firmware o, en algunos casos, reemplazos.

Otra variable importante es la capacitación del personal técnico, ya que la correcta configuración y manejo de IPv6 en dispositivos Mikrotik dependerá de que el equipo encargado esté debidamente formado. También se deben considerar métricas de rendimiento de la red, como la latencia, el ancho de banda disponible, la tasa de pérdida de paquetes y el uso de recursos como CPU y memoria en los equipos, para garantizar que la migración no afecte negativamente el nivel de calidad del servicio brindado a los usuarios finales. Finalmente, una variable crítica son los costos asociados al proceso, ya que tanto la actualización de los equipos como la capacitación técnica pueden generar gastos que deben ser planificados adecuadamente para evitar sobrecargar a los proveedores de servicios.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseño un plan de transición efectivo de un direccionamiento IPv4 a IPv6 en redes implementadas con equipos Mikrotik, garantizando la continuidad del servicio y mejorando el uso de los recursos de ips públicas a través de la implementación de dual stack (pila dual).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el estado actual de las infraestructuras basadas en Mikrotik en términos de compatibilidad con IPv6 de los equipos en Software y Hardware.
- Verificar la funcionalidad de la red tras la implementación de IPv6, mediante pruebas de latencia, ancho de banda, tasa de pérdida de paquetes y uso de CPU y memoria en equipo con estándares para garantizar una operación eficiente en un entorno dual-stack.
- Desarrollo del plan de capacitación al personal técnico en la configuración y manejo de IPv6 en dispositivos Mikrotik.

1.4 Propuesta de la Solución

La propuesta de transición a IPv6 comienza con una evaluación exhaustiva de la infraestructura actual, que incluye un inventario detallado de los equipos Mikrotik y un

análisis completo de la topología de red. A partir de esta evaluación, se diseña una arquitectura IPv6, incorporando un esquema de direccionamiento eficiente y la configuración de un entorno de funcionalidad dual-stack, además de implementar mecanismos de transición adecuados. Posteriormente, se actualizan y configuran los routers Mikrotik, asegurando la conectividad IPv6 mediante pruebas de latencia, ancho de banda, tasa de pérdida de paquetes y uso de CPU y memoria en equipo. La migración de los servicios se realiza gradualmente, utilizando herramientas de monitoreo para verificar el rendimiento y la estabilidad, con un enfoque en la mejora continua para garantizar que la transición a IPv6 sea efectiva.

1.5 Alcance y Consideraciones

El proyecto abarca desde la evaluación de la infraestructura actual hasta la implementación y monitoreo de IPv6 en la red. Se considerará la capacitación del personal. Se espera mejorar la eficiencia operativa y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la transición a IPv6. Las consideraciones incluyen posibles costos de actualización.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Introducción

El propósito de esta metodología es establecer un plan de transición efectivo de IPv4 a IPv6 en redes implementadas con equipos Mikrotik. Esta transición busca garantizar la continuidad del servicio y optimizar el uso de los recursos de red mediante la implementación de un entorno de pila dual. Se proporcionará una guía detallada que cubre diversos aspectos esenciales para asegurar una transición eficiente y sin contratiempos. (5)

2.2 Verificación de Contar con Ip Pública de IPv6 en el ISP

2.2.1 Verificar Bloques IPv6 Disponibles

El primer paso fundamental para la implementación de IPv6 en una red es confirmar si el proveedor ISP ya cuenta con bloques de direcciones IPv6 asignados. Esto se puede realizar mediante una solicitud formal al ISP, en la que se debe especificar el propósito de la implementación de IPv6 y el alcance del proyecto. En caso de que el ISP no disponga de bloques IPv6, será necesario realizar una solicitud directa a LACNIC, que es la entidad encargada de la asignación de direcciones IP en la región. (6)

Este paso es crucial, ya que garantiza que el acceso a direcciones IPv6 esté disponible para su implementación en la red del cliente. La falta de bloques IPv6 impediría cualquier avance en la transición y limitaría la capacidad de la red para operar en un entorno dual-stack. Además, se debe verificar que el ISP esté dispuesto a realizar el enrutamiento correspondiente hacia el equipo de borde de la red del cliente, ya que esto será esencial para garantizar la funcionalidad de la nueva configuración.

2.2.2 Solicitud a LACNIC

Cuando el ISP no dispone de bloques de direcciones IPv6, es necesario realizar una solicitud directa a LACNIC. LACNIC .El proceso de solicitud de IPv6 a LACNIC implica

cumplir con ciertos requisitos formales y técnicos, los cuales deben ser preparados cuidadosamente para garantizar la aprobación. (6)

Entre los principales requisitos se encuentran:

- Justificación técnica: Se debe presentar una explicación detallada del uso que se le dará a las direcciones IPv6 solicitadas, incluyendo proyecciones de crecimiento de la red, cantidad de usuarios o dispositivos, y servicios que se planean implementar.
- Documentación de la red: Es necesario proporcionar información sobre la infraestructura de red existente, como esquemas de topología, equipos utilizados y configuraciones actuales.
- Cumplimiento de políticas: LACNIC tiene políticas específicas sobre la asignación de direcciones IPv6, las cuales deben ser revisadas y cumplidas antes de enviar la solicitud.
- Información del solicitante: Los datos del titular de la red (empresa o persona) deben ser precisos y estar actualizados.

Una vez que se ha reunido toda esta información, la solicitud se presenta a través del portal web de LACNIC, donde será revisada por el equipo técnico. Si todo está en orden, LACNIC asignará un bloque IPv6 al solicitante, que podrá ser implementado en la red.

2.2.3 Enrutamiento al Equipo de Borde

Una vez obtenido el bloque de direcciones IPv6, el siguiente paso es coordinar con el proveedor del ISP para el enrutamiento de estas direcciones hacia el equipo de borde de la red del cliente. Este paso es crítico, ya que asegura que las direcciones IPv6 asignadas puedan ser utilizadas dentro de la red del cliente y que el tráfico entre la red interna y el exterior se gestione correctamente.

La coordinación con el ISP debe incluir los siguientes puntos:

- Configuración del enrutamiento: El ISP debe configurar su infraestructura para enrutar el tráfico IPv6 hacia la dirección IP del equipo de borde (generalmente un router).

- Pruebas de conectividad: Es importante realizar pruebas de conectividad como se observa en la Figura 1 para asegurarse de que las direcciones IPv6 están operativas y que el tráfico puede fluir correctamente entre la red del cliente y el resto de la internet.

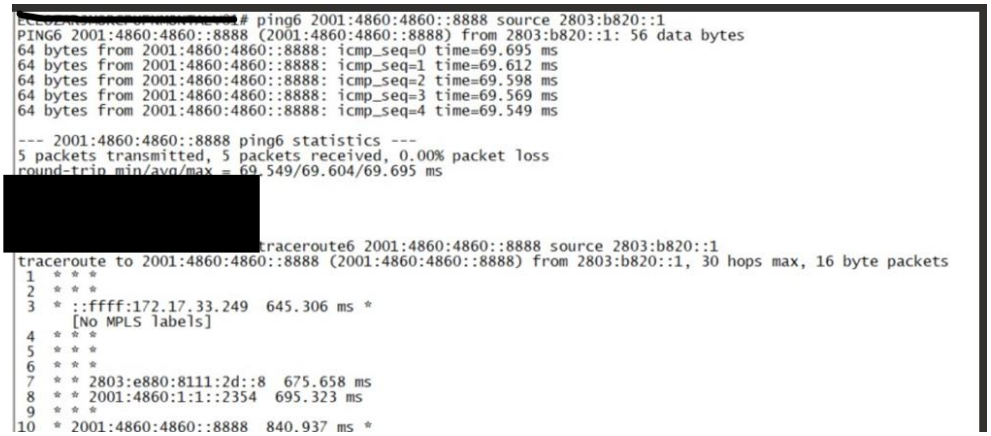

Figura 1 Prueba de salida desde el equipo de Borde

Actualización de configuraciones: Si el ISP utiliza sistemas específicos de filtrado o control de tráfico, se debe garantizar que estas configuraciones sean compatibles con IPv6.

Además, este paso debe coordinarse estrechamente con la revisión de la infraestructura interna del cliente para garantizar que los equipos de borde sean compatibles con IPv6 y estén correctamente configurados. Cualquier incompatibilidad en este nivel podría generar problemas de conectividad o rendimiento.

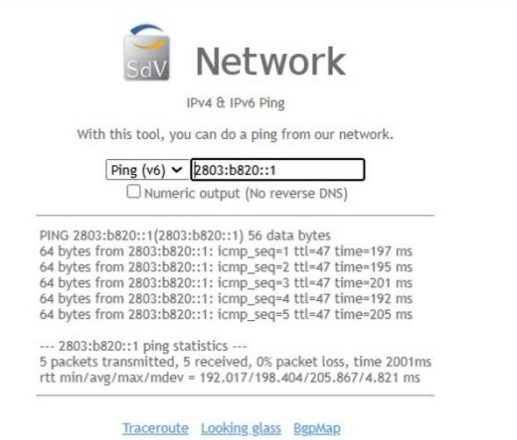

Figura 2 Respuesta desde el Mundo

En la Figura 2 podemos observar que tenemos una respuesta desde el mundo exterior a nuestra Ip configurada en un equipo Mikrotik.

2.3 Análisis de la Estructura de Red del Cliente

2.3.1 Revisión de Infraestructura

El análisis de la infraestructura de red del cliente es un paso clave para garantizar una transición exitosa hacia IPv6. Este proceso implica realizar un mapeo detallado de todos los dispositivos que componen la red, con especial énfasis en identificar los equipos principales, como routers, switches, servidores y puntos de acceso, para determinar su compatibilidad con IPv6. Durante este mapeo, se evalúan las especificaciones técnicas de cada dispositivo, verificando si cumplen con los requisitos necesarios para soportar IPv6, como el soporte para dual-stack o el manejo de protocolos de enrutamiento modernos.

Este análisis no solo busca identificar las capacidades de los equipos existentes, sino también detectar las necesidades de actualización o sustitución de dispositivos que no sean compatibles con IPv6. Por ejemplo, es posible que algunos routers más antiguos no soporten la activación de IPv6 debido a limitaciones de hardware o firmware, en cuyo caso deberán ser reemplazados o actualizados. La evaluación exhaustiva de la infraestructura permite garantizar que la transición a IPv6 se realice sin interrupciones, asegurando la continuidad y estabilidad de los servicios de red del cliente.

2.3.2 Actualización de Firmware Mikrotik

La actualización del firmware de los dispositivos Mikrotik es un paso crítico en la preparación de la infraestructura para soportar IPv6. Mikrotik, mediante su sistema operativo RouterOS, proporciona una serie de funcionalidades avanzadas relacionadas con IPv6. Entre estas funcionalidades se incluyen el enrutamiento de paquetes IPv6, la asignación de direcciones mediante SLAAC (Autoconfiguración de Direcciones Sin Estado), soporte para protocolos de enrutamiento dinámico como OSPFv3 y BGP, y la implementación de firewalls específicos para IPv6. (7)

Actualizar el firmware de los dispositivos Mikrotik asegura que estas funcionalidades estén disponibles y operen de manera eficiente. La última versión estable del firmware en el momento de este análisis es la 7.16.1, que incluye mejoras significativas en el manejo de IPv6, como mayor estabilidad en entornos dual-stack y compatibilidad con prácticas modernas de seguridad en redes IPv6. Es importante verificar que todos los dispositivos sean compatibles con esta versión y proceder con la instalación para garantizar que las redes puedan beneficiarse de estas capacidades avanzadas.

2.3.3 Proceso de Actualización

El proceso de actualización del firmware en dispositivos Mikrotik debe seguir una metodología estructurada para asegurar la integridad de la red y un rendimiento óptimo. La integridad de la red se refiere a la capacidad de mantener todos los servicios y configuraciones funcionales antes, durante y después del proceso de actualización, evitando interrupciones o fallos que puedan afectar la conectividad. Por otro lado, el rendimiento óptimo implica que los dispositivos operen De forma eficiente, optimizando el uso de recursos como CPU y memoria, y reduciendo al mínimo la latencia y la pérdida de paquetes en la red.

El proceso de actualización incluye los siguientes pasos:

1. **Respaldo de configuración:** Antes de implementar cualquier cambio, es fundamental generar una copia de seguridad de las configuraciones actuales del dispositivo. Esto asegura la posibilidad de restaurar el sistema en caso de que surjan inconvenientes durante el proceso de actualización.

2. **Descarga del nuevo firmware:** Se debe obtener la última versión estable desde la página oficial de Mikrotik, asegurándose de que sea compatible con el modelo específico del dispositivo.

3. **Instalación del firmware:** A través de la interfaz de administración de Mikrotik (como WinBox o CLI), se carga e instala la nueva versión del firmware.

4. **Reinicio del equipo:** Una vez instalado el firmware, es necesario reiniciar el dispositivo para que los cambios surtan efecto.

5. **Pruebas post-actualización:** Finalmente, se realizan pruebas para verificar que todas las funcionalidades estén operativas. Esto incluye la validación de configuraciones de IPv4 e IPv6, protocolos de enrutamiento, y servicios como NAT o VPN.

Seguir este procedimiento asegura que los dispositivos Mikrotik estén actualizados y preparados para operar de forma eficiente en un entorno dual-stack.

2.4 Configuración y Pruebas

2.4.1 Configuración de Dual-Stack

La configuración de un entorno dual-stack en los equipos Mikrotik permite la coexistencia de los protocolos IPv4 e IPv6 en la misma red. Este enfoque es esencial para garantizar una transición gradual hacia IPv6 sin interrumpir los servicios existentes que todavía dependen de IPv4 (8) . El proceso incluye los siguientes pasos:

1. **Habilitación de IPv6:** Activar el soporte para IPv6 en los dispositivos Mikrotik desde la configuración del sistema.

2. **Asignación de direcciones IPv6:** Configurar direcciones IPv6 a las interfaces de red, ya sea de forma manual o mediante métodos automáticos como SLAAC o DHCPv6.

3. **Configuración de enrutamiento:** Establecer rutas estáticas o dinámicas para el tráfico IPv6, garantizando la conectividad dentro y fuera de la red local.

4. **Firewall IPv6:** Implementar reglas de firewall específicas para IPv6, asegurando que el tráfico esté protegido y cumpla con las políticas de seguridad de la red.

5. **Pruebas de conectividad inicial:** Verificar que los dispositivos en la red puedan comunicarse utilizando IPv6 y que el entorno dual-stack esté funcionando correctamente.

Cada uno de estos pasos debe ser ejecutado con precisión para garantizar que tanto IPv4 como IPv6 puedan operar simultáneamente en la red sin problemas.

2.4.2 Pruebas de Funcionamiento

Tras completar la configuración, es necesario realizar pruebas exhaustivas para garantizar que la red funcione correctamente en un entorno dual-stack. Estas pruebas tienen como objetivo identificar cualquier problema de conectividad o rendimiento que pueda afectar la experiencia del usuario. (9)

El proceso de pruebas incluye la medición de variables clave, como la latencia, el ancho de banda, la tasa de pérdida de paquetes y el uso de CPU y memoria en los dispositivos de red. La latencia se evalúa enviando paquetes ICMP (ping) hacia destinos tanto en IPv4 como en IPv6, verificando si los tiempos de respuesta son óptimos. El ancho de banda se mide mediante herramientas de prueba como NPerf, que permiten analizar la capacidad de transmisión de datos en ambos protocolos. La tasa de pérdida de paquetes se controla a través de pruebas continuas de conectividad, mientras que el uso de CPU y memoria se monitorea directamente desde los dispositivos Mikrotik para asegurar que no se produzcan sobrecargas.

Estas pruebas son fundamentales para validar que la red dual-stack no solo es funcional, sino también eficiente y confiable, garantizando una experiencia de calidad para los usuarios.

2.5 Desarrollo del Plan de Capacitación

El desarrollo del plan de capacitación busca preparar al personal técnico para gestionar de manera eficiente la transición a IPv6 en dispositivos Mikrotik. Este plan se enfoca en brindar conocimientos prácticos sobre configuración, mantenimiento y solución de problemas en un entorno dual-stack.

Etapas del plan

2.5.1 Diagnóstico de Conocimientos

Identificar el nivel actual del personal técnico en IPv6 y definir áreas de mejora específicas.

2.5.2 Definición de Objetivos

Establecer metas claras, como configurar IPv6 en Mikrotik, implementar dual-stack y resolver problemas básicos.

2.5.3 Contenidos Clave

a. Introducción a IPv6: diferencias con IPv4, tipos de direcciones y conceptos básicos.
b. Configuración en Mikrotik: asignación de direcciones, rutas y firewall IPv6.
c. Solución de problemas: herramientas de diagnóstico y monitoreo.

2.5.4 Evaluación

Realizar pruebas prácticas y teóricas para medir el aprendizaje y reforzar conocimientos según sea necesario.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo expone los resultados obtenidos tras llevar a cabo la implementación de la metodología detallada en el Capítulo 2. Los resultados abarcan desde la asignación del bloque IPv6 por parte de LACNIC, la configuración del direccionamiento en colaboración con el ISP y las configuraciones realizadas en la red interna del cliente, hasta la validación de la funcionalidad y conectividad en un entorno dual-stack. Además, se detalla el plan de capacitación del personal técnico, esencial para garantizar la sostenibilidad del entorno implementado.

3.1 Asignación del Bloque IPv6 por LACNIC

Como primer resultado del proceso, se obtuvo exitosamente el bloque IPv6 **2803:b820::/32**, tras cumplir con los requisitos establecidos por LACNIC. Este bloque representa un rango significativo de direcciones IPv6, suficiente para cubrir las necesidades actuales y futuras de la red del cliente.

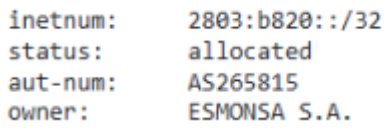

Figura 3. Bloque de Ipv6 de Esmonsa S.A.

El bloque **2803:b820::/32** fue registrado bajo el titular correspondiente como se observa en la Figura 3, garantizando al cliente control total sobre su asignación y la flexibilidad para realizar futuras configuraciones o subdivisiones según sea necesario.

3.2 Redireccionamiento del Segmento IPv6 al Equipo de Borde

En colaboración con el proveedor de servicios de internet (ISP), se logró redirigir el segmento **2803:b820::/33**, que corresponde a la primera mitad del bloque asignado, hacia el equipo de borde del cliente. Este paso fue crítico para habilitar la conectividad IPv6 entre la red interna del cliente y el resto de la Internet.

Tareas realizadas:

1. **Configuración del enrutamiento por parte del ISP:** El ISP configuró el enrutamiento necesario para garantizar que el tráfico dirigido al segmento `**2803:b820::/33**` fuera entregado al equipo de borde del cliente.

2. **Pruebas de conectividad**: Se enviaron paquetes ICMPv6 desde el equipo de borde del cliente hacia destinos externos (por ejemplo, servidores públicos como Google DNS en IPv6: `2001:4860:4860::8888`) y se verificaron respuestas exitosas.

3. **Validación del prefijo IPv6**: Se comprobó que el tráfico IPv6 fluía correctamente hacia y desde el segmento asignado.

Resultado obtenido:

La red del cliente quedó habilitada para operar en IPv6, con el segmento `**2803:b820::/33**` completamente funcional y redirigido hacia su infraestructura.

3.3 Configuración de Dual-Stack en la Red Interna

Con el direccionamiento IPv6 disponible, se procedió a la configuración de un entorno **dual-stack**, habilitando la coexistencia de IPv4 e IPv6 en la red interna. Este proceso incluyó varios pasos detallados para garantizar una implementación estructurada, segura y funcional.

3.3.1 Habilitación de IPv6 en Dispositivos Mikrotik

1. Activación del IPv6:

- En los routers Mikrotik principales, se habilitó el paquete IPv6 desde la configuración del sistema.

En la figura 4 podemos observar como nuestro equipos de pruebas modelo CCR1009 se encuentra actualizado en la versión 7.16.1.

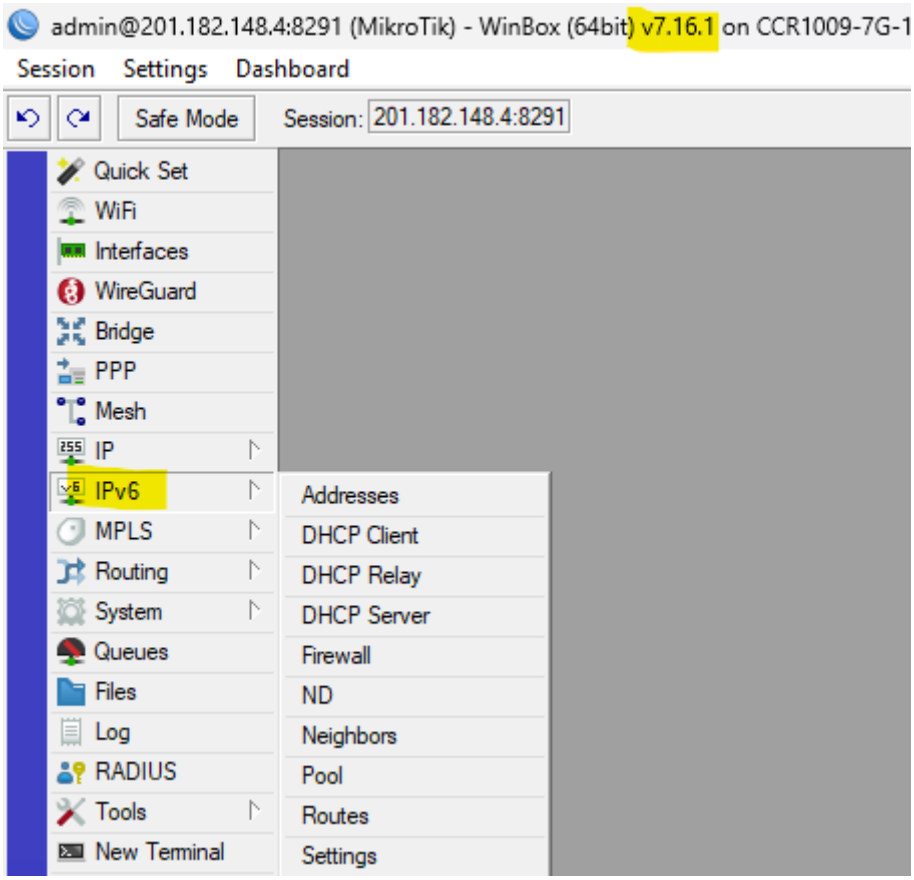

Figura 4 Activación de Modulo Ipv6.

3.3.2 Asignación de Subredes /64

Se crearon subredes /64 dentro del rango asignado, con una estructura ordenada que permite escalabilidad futura se pueden crear un total de 18,446,744,073,709,551,616 addresses.

- Subred para la red principal: **2803:b820::/64**.

- Subred para servidores específicos:**2803:b820:0:1::/64**.

- Subred para pruebas internas: **2803:b820:0:2::/64**.

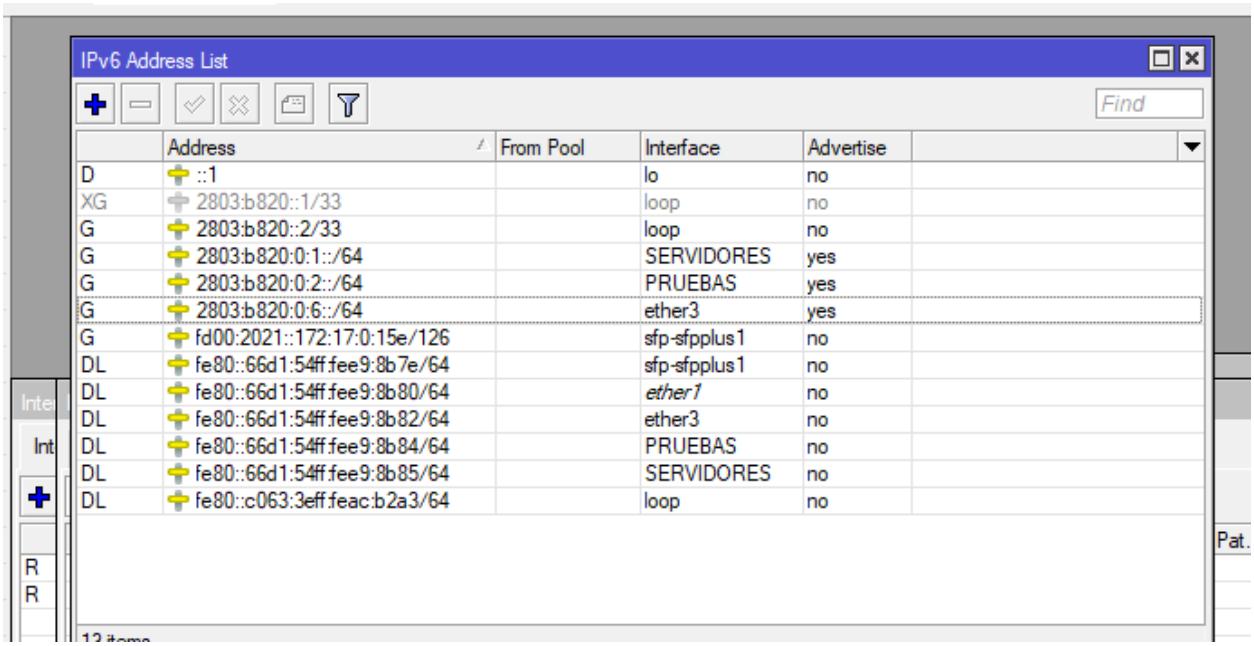

Figura 5 Captura de pantalla del plan de direccionamiento IPv6, mostrando las subredes asignadas.

3.3.3 Configuración de Servidor DHCP

- Creación del Pool de Direcciones IPv6

El pool define el rango de direcciones IPv6 que serán asignadas dinámicamente a los clientes de la red.

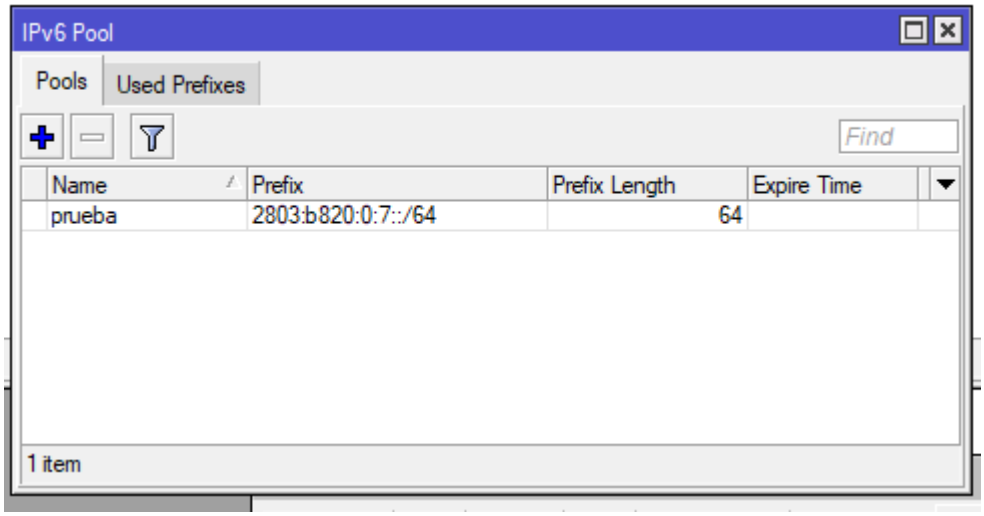

Figura 6 *Configuración del pool de direcciones IPv6 en la interfaz Mikrotik.*

- Configuración del Servidor DHCPv6

Una vez creado el pool, el siguiente paso fue configurar el servidor DHCPv6 para distribuir las direcciones a los dispositivos clientes.

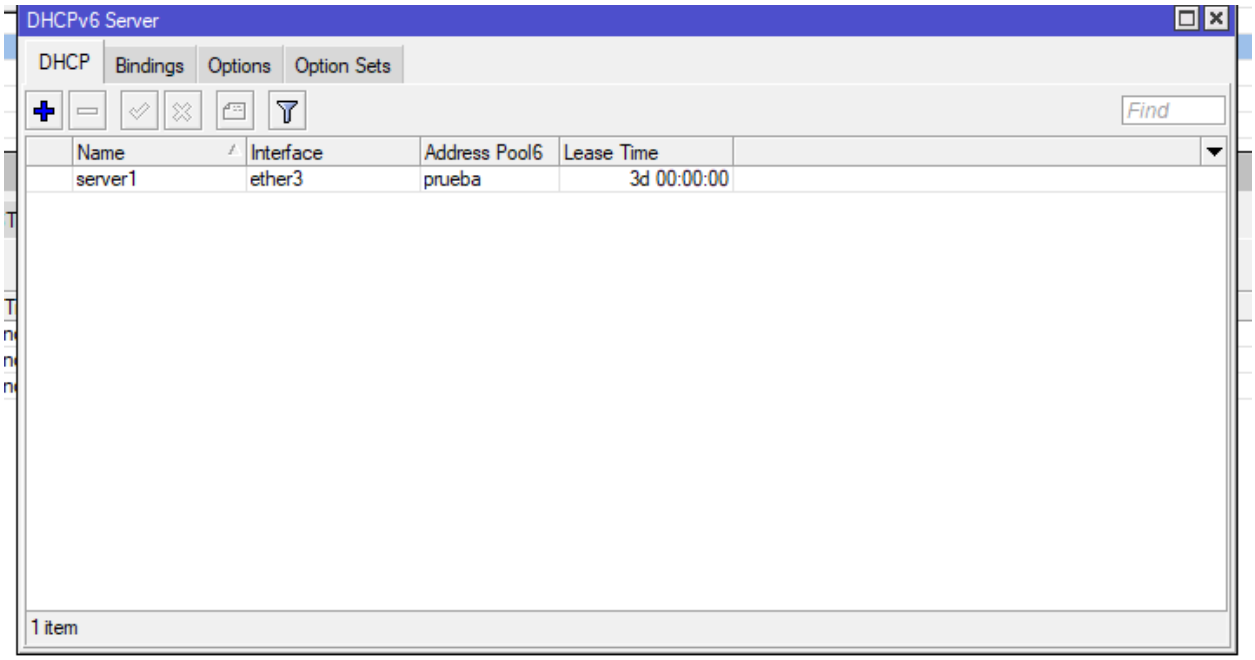

Figura 7 ***Configuración del servidor DHCPv6 en Mikrotik.***

3.3.4 Pruebas de Funcionamiento del DHCPv6

- Verificar que los clientes reciban direcciones IPv6:

Conecto un dispositivo cliente a la red.

- Validar la conectividad IPv6:

Desde el cliente, realizo una prueba de conectividad enviando paquetes ICMPv6 a un servidor externo.

- Verificar las concesiones en el Mikrotik:

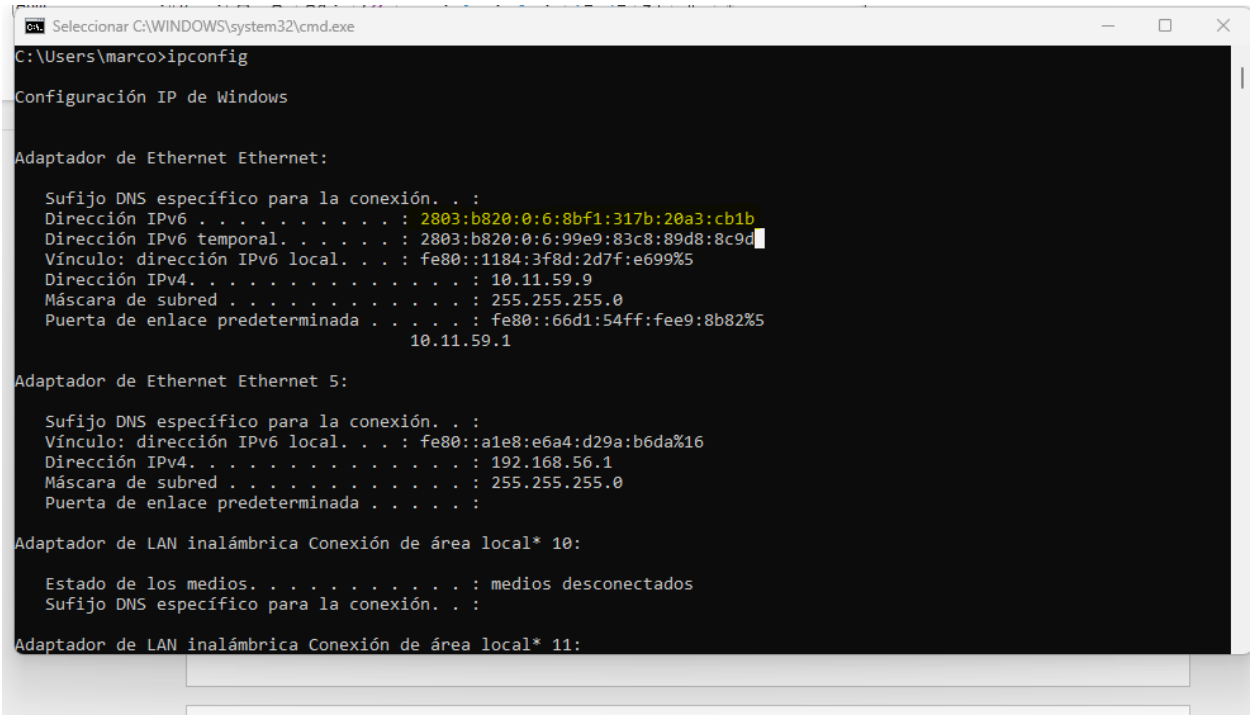

Figura 8 Vista de las concesiones activas en el servidor DHCPv6 de Mikrotik.

En la Figura 8 observamos que tenemos una dirección asignada por DHCPv6 del Mikrotik del segmento que fue asignado al ISP.

3.4 Pruebas de Funcionamiento y Validación

Se realizaron pruebas exhaustivas para garantizar el correcto funcionamiento del entorno dual-stack, incluyendo:

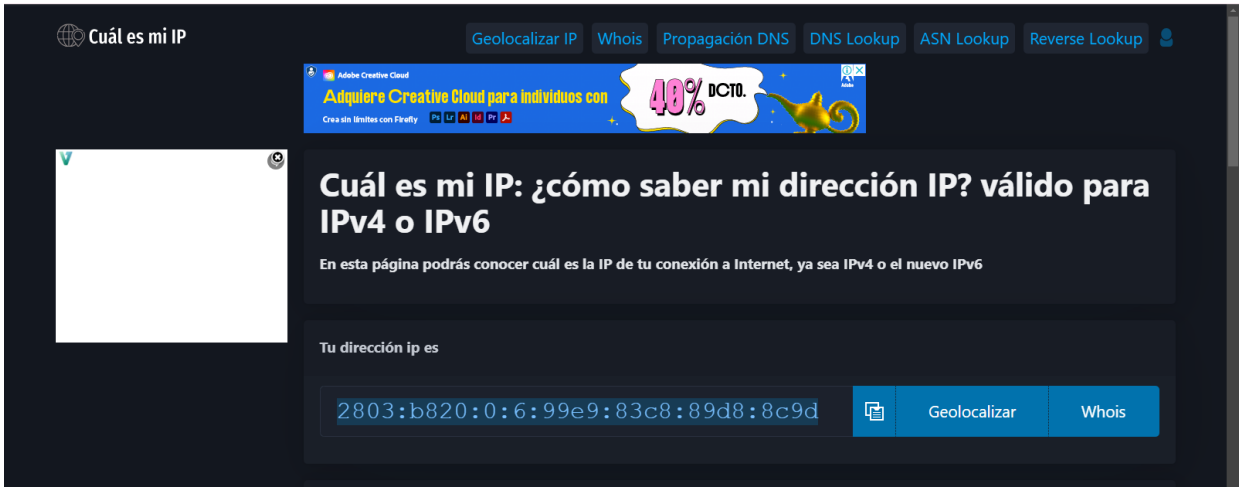

Figura 9. Ip publica ipv6 asignada a la computadora.

3.4.1 Pruebas de Conectividad Externa

- Envío de paquetes ICMPv6 hacia servidores públicos.

- Verificación de resolución de nombres dual-stack mediante consultas DNS.

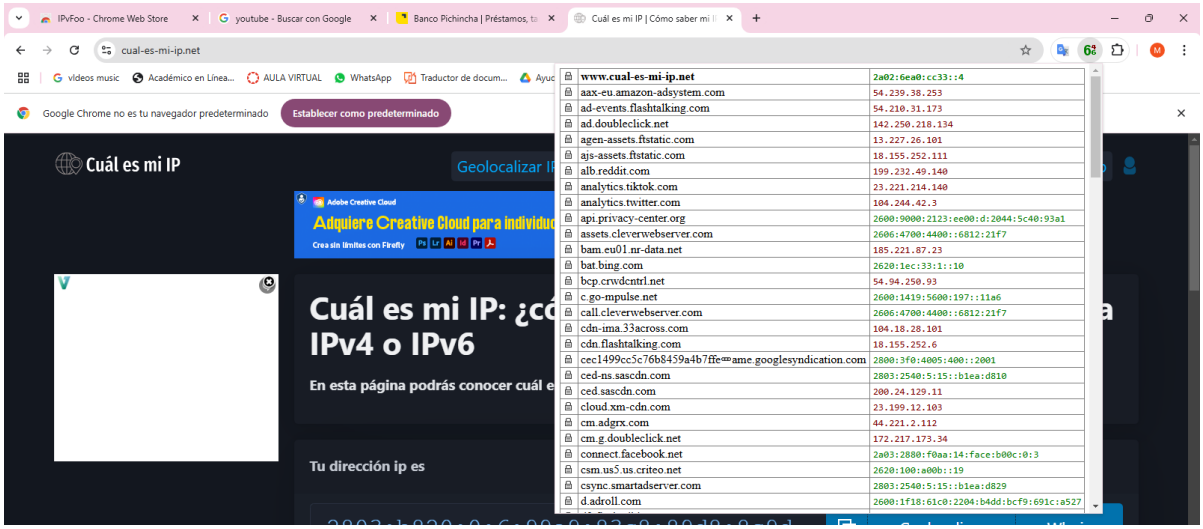

Figura 10. Verificación de que está resolviendo en Ipv6 como en ipv4.

En la Figura 10 se puede confirmar que estamos operando en un entorno dual-stack, ya que se observa la resolución de los sitios tanto en IPv4 como en IPv6.

3.4.2 Medición de Desempeño

Figura 11. Prueba de conectividad de Dual Stack.

En esta Figura 11 se verifica la conectividad simultánea en Dual-Stack, evidenciando que los dispositivos pueden acceder correctamente a los servicios mediante IPv4 e IPv6 de forma concurrente.

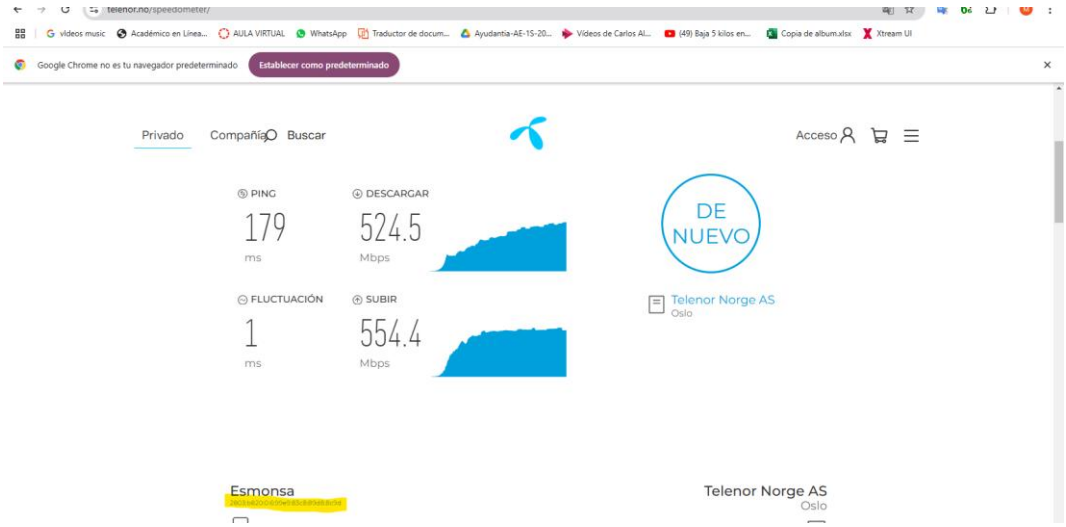

Figura 12.Test de Velocidad en Ipv6.

En esta Figura 12 se presenta el resultado del test de velocidad realizado utilizando exclusivamente IPv6, evidenciando las capacidades de ancho de banda y la latencia en este protocolo.

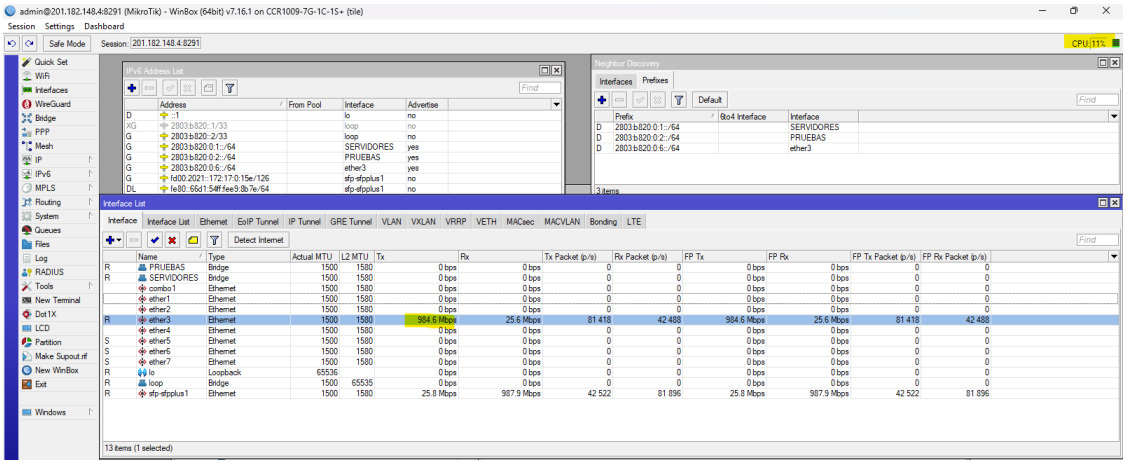

Figura 13. Prueba de Carga del CPU con ipv4.

La Figura 13 muestra el comportamiento del CPU durante la transmisión de datos en un entorno con IPv4, analizando el impacto de las operaciones en el rendimiento del dispositivo.

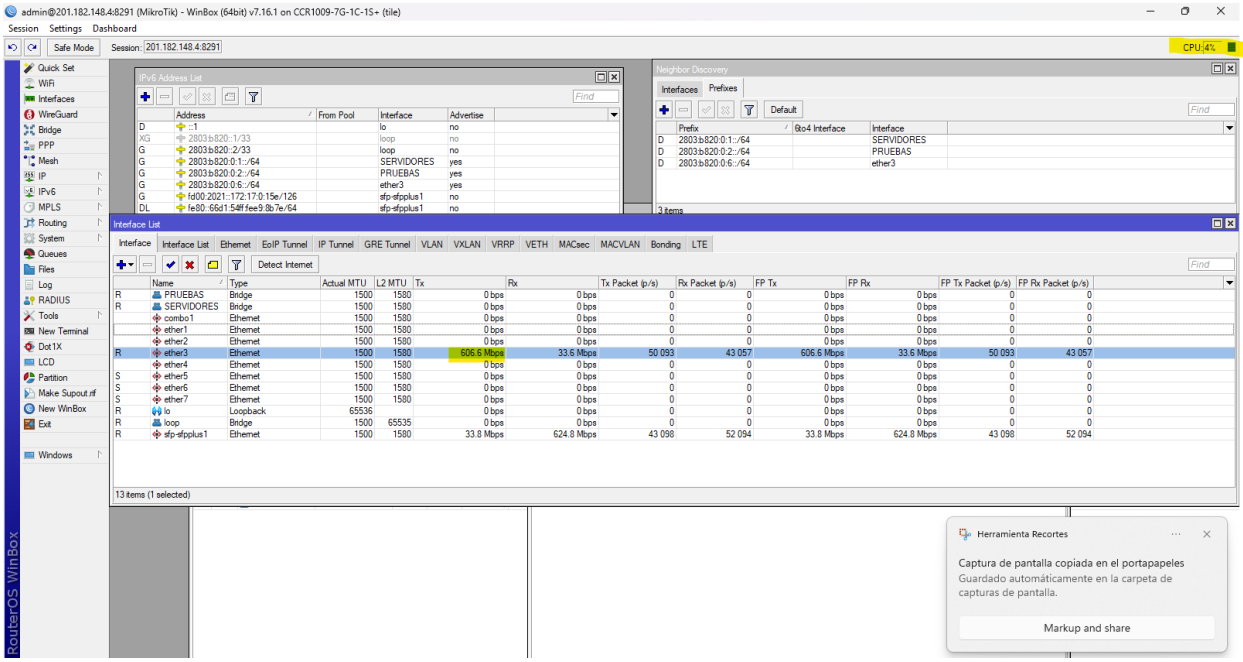

Figura 14 Prueba de Carga del CPU con ipv6.

En esta Figura 12 se detalla el análisis del uso del CPU al operar bajo el protocolo IPv6, permitiendo comparar su desempeño en relación con IPv4.

Podemos observar que la comparación de la Figura 13 e Figura 14 tenemos una menor carga al CPU con Ipv6.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. El proyecto logró cumplir con el objetivo general de diseñar un plan de transición de IPv4 a IPv6 en redes implementadas con equipos Mikrotik, garantizando la continuidad del servicio mediante la configuración de un entorno dual-stack. Esto se evidenció en las pruebas de conectividad y rendimiento realizadas tras la implementación.

2. La evaluación inicial de los equipos Mikrotik mostró que, aunque la mayoría son compatibles con IPv6, algunos dispositivos requerían actualizaciones de firmware para soportar completamente el protocolo. Este hallazgo confirmó la importancia de realizar una revisión detallada de la infraestructura antes de iniciar la migración.

3. La implementación dual-stack permitió la coexistencia de IPv4 e IPv6, garantizando una transición gradual sin interrupción de los servicios existentes. Las métricas obtenidas, como la baja latencia, el buen ancho de banda y el uso eficiente de recursos, respaldaron la funcionalidad del entorno configurado.

4. Las pruebas realizadas demostraron que las redes configuradas para IPv6 no solo son funcionales, sino que también ofrecen un rendimiento comparable al de IPv4. Esto confirma que la transición a IPv6 no afecta negativamente la calidad del servicio, sino que prepara la red para futuros crecimientos.

4.2 Recomendaciones

1. Se recomienda continuar con la formación del personal técnico en temas avanzados de IPv6, como la implementación de protocolos de enrutamiento dinámico (OSPFv3, BGP) y configuraciones de seguridad específicas para IPv6.

Esto asegurará que los equipos de trabajo mantengan un conocimiento actualizado en tecnología de redes.

2. Es importante promover iniciativas gubernamentales y privadas que incentiven la migración a IPv6, ofreciendo beneficios económicos, capacitaciones y soporte técnico a los ISP y organizaciones que aún no han realizado la transición.

3. Es crucial implementar herramientas de monitoreo que permitan evaluar continuamente el desempeño de la red en entornos dual-stack, identificando posibles áreas de mejora y asegurando una experiencia de calidad para los usuarios finales.

BIBLIOGRAFÍA

(1) Jefferson Joselo GARRIDO CARRERA, Carlos Alberto VÁSQUEZ AYALA, “TRANSICIÓN DE PROTOCOLO IPV4 A PROTOCOLO IPV6 PARA LA RED INALÁMBRICA EDUROAM DENTRO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, 2018.

(2) LACNIC, “Análisis de casos de éxito en la región de LACNIC”

(3) VANESSA TATIANA AGUIRRE VILLARROEL, “DIAGNÓSTICO Y PERSPECTIVAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE IPV6 EN EL ECUADOR”, Escuela Politécnica Nacional, 2023.

(4) Xiomara Rodríguez A., Cindy Tejada Z., Freddy Villao Q., “ELABORAR UN PLAN DE ACCION PARA LA IMPLEMENTACION DE IPv6 EN EL ECUADOR Y FOMENTAR SU USO” Facultad de ingeniería Eléctrica y Computación,2015.

(5) Cisco Systems. (2016). IPv6 Fundamentals: A Straightforward Approach to Understanding IPv6. Cisco Press.

(6) LACNIC. (2023). *Políticas de asignación y administración de direcciones IPv6*.

(7) Mikrotik. (2023). RouterOS Documentation: IPv6. Recuperado de https://help.mikrotik.com/

(8) Hogg, S., & Vyncke, E. (2014). *IPv6 Security*. Cisco Press.

(9) Internet Engineering Task Force (IETF). (2017). *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification* (RFC 8200). Recuperado de https://www.rfc-editor.org/

APÉNDICES

APÉNDICE A

Capacitación del Personal Técnico

Se diseñó un plan de capacitación para el personal técnico del cliente, con el objetivo de proporcionar las habilidades necesarias para operar y mantener la red dual-stack.

Plan de Capacitación

1. Introducción a IPv6:
   - Conceptos básicos de IPv6.
   - Diferencias clave entre IPv4 e IPv6.
2. Configuración de IPv6 en Mikrotik:
   - Activación del soporte IPv6.
   - Asignación de direcciones y subredes.
   - Configuración de rutas estáticas y dinámicas.
3. Diagnóstico y solución de problemas:
   - Uso de herramientas como `ping6` y `traceroute6`.
   - Identificación de problemas de enrutamiento y conectividad.
4. Seguridad en IPv6:
   - Configuración de reglas de firewall.
   - Mitigación de ataques específicos de IPv6.

Evaluaciones

1. Pruebas prácticas:
   - Configuración de subredes IPv6.
   - Pruebas de conectividad interna y externa.
2. Simulación de problemas reales:
   - Resolución de problemas ficticios en un entorno de prueba.