

**Optimización de redes inalámbricas mediante migración OSPF con tecnología Mikrotik y
Mimosa**

Jerson Calderón Rondón

Asesor

Juan Carlos Vesga

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias básicas, Tecnología e Ingeniería -ECBTI
Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

Resumen

El presente proyecto tiene como propósito diseñar, implementar y evaluar una solución basada en el protocolo de enrutamiento OSPF (Open Shortest Path First) sobre tecnología Mikrotik, con el fin de optimizar la eficiencia operativa de la red. Se realizó un diagnóstico detallado de la topología actual, identificando problemas de convergencia, administración, saturación de enlaces Mimososa y ausencia de una arquitectura escalable. Posteriormente, se desarrolló la propuesta técnica empleando metodologías de ingeniería de redes, incluyendo la segmentación lógica, redistribución de rutas y construcción de áreas OSPF. La implementación se ejecutó sobre equipos de la infraestructura existente, validando aspectos como estabilidad del enrutamiento, reducción de latencia y mejora en la respuesta ante fallos. Finalmente, se llevó a cabo la verificación operativa mediante pruebas de conectividad, trazas de enrutamiento y análisis de desempeño, confirmando que la solución propuesta fortalece la disponibilidad, escalabilidad y capacidad de gestión de la red.

Palabras clave: OSPF, enrutamiento, ISP, redes, convergencia

Abstract

This project aims to design, implement, and evaluate a solution based on the Open Shortest Path First (OSPF) routing protocol over Mikrotik technology to optimize network operational efficiency. A detailed diagnosis of the current topology was performed, identifying convergence, management, Mimosa link saturation, and the lack of a scalable architecture. Subsequently, the technical proposal was developed using network engineering methodologies, including logical segmentation, route redistribution, and the creation of OSPF areas. Implementation was carried out on existing infrastructure equipment, validating aspects such as routing stability, latency reduction, and improved fault response. Finally, operational verification was performed through connectivity tests, routing traces, and performance analysis, confirming that the proposed solution strengthens network availability, scalability, and manageability.

Keywords: OSPF, routing, ISP, networks, convergence

Tabla de Contenido

Listado de Figuras	8
Listado de Tablas	10
Introducción	11
Planteamiento del Problema	12
Justificación	15
Objetivos.....	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Marco Referencial.....	18
Estado del Arte	18
Marco Teórico.....	21
Infraestructura de Redes en Zonas Rurales	21
Protocolos de Enrutamiento	21
Protocolo OSPF (Open Shortest Path First)	21
Equipos Mikrotik	22
Radios Mimosa	22
Throughput	23
Comisionamiento de Radioenlaces	23
VLSM en el Diseño de Redes	24
Broadcast	25
Solapamiento en Enlaces Inalámbricos	25

Marco Conceptual.....	26
Localización.....	27
Situación Actual.....	28
Instrumentos de Recolección de Información Preliminar	32
Oportunidades y Desafíos	33
Marco Metodológico	34
Tipo de Investigación.....	34
Población y Muestra	34
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	35
Análisis Documental y Topológico	35
Revisión de Configuraciones Estáticas	35
Pruebas de Rendimiento (Throughput).....	35
Comisionamiento de Radioenlaces	36
Simulación en laboratorio virtual	36
Fases del Desarrollo del Proyecto y la Implementación del Piloto	36
Fase 1: Análisis de la Topología de Red Actual.....	36
Fase 2: Diagnóstico de la Red Actual	37
Fase 3. Simulación Preliminar en GNS3.....	38
Fase 4: Diseño de la Nueva Arquitectura con OSPF	38
Fase 5: Implementación del Protocolo OSPF.....	39
Fase 6: Verificación Operativa y Monitoreo de la Red	39
Fase 7: Cambio de Configuración y Evaluación Túneles	40
Fase 8 Recomendaciones y Réplica del Modelo	40

Objetivo:.....	40
Alcance	40
Evaluación Técnica.....	41
Diseño Lógico y Físico	41
Implementación Gradual del Protocolo OSPF	41
Validación del Rediseño.....	41
Evaluación Comparativa	41
Elaboración de una guía técnica	41
Delimitaciones.....	41
Cobertura Geográfica	41
Equipos Utilizados	41
Pruebas Técnicas.....	42
Protocolos Evaluados	42
Tiempo de Implementación.....	42
Cronograma de Actividades.....	42
Presupuesto Estimado del Proyecto	43
Instrumentos de Recolección de Información	43
Herramientas de Administración de MikroTik (Winbox y CLI).....	43
Herramientas de Diagnóstico.....	43
Técnicas de Análisis de Datos y Procesamiento en el Análisis de Datos	44
Técnicas de Análisis de Datos	44
Procesamiento de los Datos.....	45
Resultados y Discusión	45

Análisis de la Información Recolectada.....	46
Cumplimiento de los Objetivos Específicos	50
Discusión.	51
Evidencias del Desarrollo del Proyecto.....	53
Fase 1 Diagnóstico de la Red Actual	53
Fase 2: Protocolo de comisionamiento	60
Fase 3 Diseño de la Arquitectura (Caminos definidos de la Transición a OSPF) ..	64
Fase 4 Simulación en GNS3	67
Fase 5 Implementación OSPF sobre Red Real	70
Fase 6 Verificación Operativa y Monitoreo de Red	74
Fase 7 Cambio de Configuración en Túneles y Evaluación del Desempeño	82
Conclusiones.....	84
Recomendaciones	86
Referencias Bibliográficas.....	88

Listado de Figuras

Figura 1	<i>Secuencia Configuración OSPF Mikrotik.</i>	22
Figura 2	<i>Medición entre Dos Router Mikrotik Utilizando Bandwidth Test.</i>	24
Figura 3	<i>Topología General de la Red M.A.R.A.</i>	28
Figura 4	<i>Topología de Clientes por Nodo al cual Dependen.</i>	29
Figura 5	<i>Listado Cliente Tipo 1 con Enlace Backup y Principal.</i>	29
Figura 6	<i>Clientes Tipo 2 con un Solo Canal.</i>	30
Figura 7	<i>Topología de Entrega de Servicios Configuración de Túnel EOIP.</i>	31
Figura 8	<i>Diagrama ECP Flor Ppal, Caminos para Llegar a CCR-YO.</i>	31
Figura 9	<i>Cronograma.</i>	42
Figura 10	<i>Comparación Bidireccional de Saltos, (Subida y Bajada), Nodo VEN.</i>	53
Figura 11	<i>Saltos Subida y Bajada Nodo CUP.</i>	54
Figura 12	<i>Saltos Subida y Bajada Nodo ALT.</i>	54
Figura 13	<i>Saltos Subida y Bajada Nodo BUEN y MON.</i>	55
Figura 14	<i>Traceroute de Rutas Asimétricas Detectadas.</i>	56
Figura 15	<i>Pruebas Enlace RB-BUI Vs CCR-MO</i>	57
Figura 16	<i>Relación Bandwitch Test entre Troncales.</i>	58
Figura 17	<i>Análisis de Espectro, Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.</i>	61
Figura 18	<i>Comparativo Nivel de Recepción Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.</i>	62
Figura 19	<i>Comparativo Niveles CINR, Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.</i>	62
Figura 20	<i>Comparativa Parámetros (MCS) Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.</i>	63
Figura 21	<i>Comparativa Capacidad Throughput.</i>	63
Figura 22	<i>Listado direcciones Loopback RB Nodos.</i>	65

Figura 23 <i>Gráfica de Costos Cep-Man-Bck.</i>	66
Figura 24 <i>Simulación Software GNS3.</i>	68
Figura 25 <i>Máquina Virtual (Virtual Box).</i>	68
Figura 26 <i>Pantallazo Mikrotik Guardado Backup.</i>	70
Figura 27 <i>Pantallazo Winbox, Address List y Bridge.</i>	71
Figura 28 <i>Pantallazo Configuración OSPF Instance.</i>	72
Figura 29 <i>Pantallazo Configuración Área ID.</i>	72
Figura 30 <i>Pantallazo Mikrotik Interfaces Templetas.</i>	73
Figura 31 <i>Interfaces Template, Asignación Propagación de Red.</i>	74
Figura 32 <i>Pantallazo Diagrama Conexiones a CCR-MO.</i>	75
Figura 33 <i>Pantallazo Winbox Estado OSPF.</i>	76
Figura 34 <i>Pantallazo Aprendizaje por OPSF “DAo”</i>	76
Figura 35 <i>Diagrama y Pantallazo desde Cliente a Interconexión Final.</i>	77
Figura 36 <i>Pantallazo Ping desde Cent-Por-Bck a CCR-GA.</i>	78
Figura 37 <i>Diagrama Ruta Principal y Backup para ECP-FLOR-PPAL.</i>	80
Figura 38 <i>Pantallazo Tracert ECP-FLOR-PPAL, Ruta Principal.</i>	80
Figura 39 <i>Pantallazo Tracert ECP-FLOR-PPAL, Ruta Alternativa.</i>	81
Figura 40 <i>Comparación Remote Address Interfaz Túnel EOIP.</i>	83

Listado de Tablas

Tabla 1 <i>Presupuesto Proyecto</i>	43
Tabla 2 <i>Fases y Resultados del Piloto</i>	48
Tabla 3 <i>Matriz DOFA del rediseño de red M.A.R.A.</i>	49
Tabla 4 <i>Matriz DOFA del rediseño de red M.A.R.A.</i>	49
Tabla 5 <i>Parámetros Métrica Ping</i>	57

Introducción

En la actualidad, los proveedores de Internet o datos que operan en zonas rurales enfrentan el reto de ofrecer servicios confiables y de calidad en entornos donde las condiciones geográficas, la disponibilidad de infraestructura y la demanda de conectividad cambian de forma constante. Para lograrlo, es fundamental contar con redes bien estructuradas, con procesos de enrutamiento capaces de adaptarse a variaciones operativas y a la incorporación progresiva de nuevos usuarios y tecnologías.

En este contexto, la empresa M.A.R.A. ha venido ampliando su cobertura y fortaleciendo su infraestructura con el fin de responder a las necesidades de conectividad de las comunidades que atiende. Este crecimiento exige una revisión técnica que permita orientar la red hacia un modelo más organizado y eficiente, basado en estándares y buenas prácticas de ingeniería de telecomunicaciones.

El presente proyecto se desarrolla con el propósito de analizar la infraestructura existente y proponer el diseño e implementación de una solución de enrutamiento utilizando el protocolo OSPF y la intención es construir una arquitectura más ordenada, escalable y alineada con las necesidades operativas de la compañía. Para ello, se contempla un proceso que incluye la revisión del estado actual de la red, el diseño de una estructura de enrutamiento acorde con los requerimientos de la empresa y la validación del funcionamiento mediante pruebas técnicas.

De esta manera, la introducción establece el punto de partida general del estudio y permite comprender la motivación que orienta este trabajo, cuyo objetivo principal es contribuir al fortalecimiento de la red de M.A.R.A. mediante una solución técnica aplicable y ajustada a su realidad operativa.

Planteamiento del Problema

La empresa M.A.R.A. está involucrada en la provisión de servicios de datos e internet en partes rurales del país de difícil acceso. Para este propósito, cuenta con una red de nodos de comunicación interconectados a través de enlaces de radio microondas y fibra óptica que permiten la interconexión de canales de última milla conectados a sus diferentes clientes.

La infraestructura de la red ha necesitado una actualización para mejorar el mayor ancho de banda, así como la nueva demanda de usuarios. Esto ha resultado en anchos de banda cada vez mayores, conexiones más confiables, la transición de un esquema de direccionamiento estático a uno dinámico, enlaces redundantes para tolerancia a fallos y protocolos de enrutamiento más robustos. Estas demandas también han expuesto algunas deficiencias de la topología actual, como desconexiones entre nodos, altos retrasos, degradación de la calidad de servicio (QoS) y complejidad en la administración de la red.

Aprovechando la tecnología existente ya implementada (en particular, los dispositivos Mikrotik), y basándose en una red híbrida que se apoya en enlaces de radio y medio óptico, se sugiere un diseño de infraestructura de red más confiable, flexible y escalable. Este rediseño considerará y experimentará nuevas pruebas para maximizar el rendimiento entre las radios, que permitan mejorar el rendimiento general de la red.

El objetivo del proyecto en este contexto es rediseñar la red actualmente disponible utilizando un protocolo de enrutamiento dinámico, llamado OSPF (Open Shortest Path First), para gestionar más eficientemente los recursos disponibles y cumplir más de cerca con los requerimientos de la operación. Los resultados esperados son una red más robusta que permita un crecimiento sostenible y que pueda servir como modelo en el futuro para que otros lo adopten en entornos similares. De manera similar, es probable que los pequeños operadores de última

milla aprendan de esta experiencia y se les anime a adoptar las mejores prácticas en el diseño y gestión de redes de telecomunicaciones.

La empresa M.A.R.A. tiene un papel fundamental en términos de servicios de datos e internet en las áreas rurales y remotas donde los grandes operadores están ausentes. Su infraestructura mixta de enlaces de microondas y enlaces de fibra óptica conecta nodos ubicados estratégicamente para facilitar el acceso a poblaciones y clientes más pequeños. Pero el aumento continuo de la demanda en términos de ancho de banda, la digitalización de procesos y la necesidad de una mayor fiabilidad han evidenciado muchas limitaciones con la red actual.

La red hoy en día está configurada de manera estática, sin que se asignen direcciones de manera dinámica, y no hay protocolos de enrutamiento dinámico ni ningún tipo de prácticas de diseño escalables en su lugar. Esto ha llevado a una interdependencia operativa, complejidad administrativa y baja resiliencia a fallos o cambios topológicos. Además, no hay segmentación lógica, configuraciones en modo bridge sin separar dominios de broadcast y todo esto es una topología plana que ralentiza la capa 2.

Como consecuencia, se presentan una serie de fallos operativos comunes: interrupción de la conectividad entre nodos, alto retraso en el camino de nodo a nodo, saturación crítica de enlaces y un problema emergente de gestionar eficientemente los recursos de la red. Estas fallas no solo obstaculizan la calidad del servicio, sino que perjudican a los clientes, lo que genera posibles pérdidas financieras, retrasos en la logística y una amenaza para el funcionamiento continuo de los canales de comunicación.

Bajo este escenario, se requiere una reorganización de la red hacia una arquitectura más sólida, escalable y dinámica. Este cambio se caracteriza por una transición hacia un sistema de enrutamiento dinámico utilizando el protocolo OSPF, haciendo uso de dispositivos Mikrotik y

teniendo en cuenta procesos técnicos, así como la puesta en marcha de enlaces de radio, la automatización de tareas y la estandarización de la configuración. Esto permitirá aumentar el rendimiento y hacer que la red sea más estable.

Justificación

El crecimiento sostenido de la demanda de conectividad en zonas rurales exige infraestructuras de red que garanticen escalabilidad, alta disponibilidad, estabilidad y facilidad de administración. La red actual de la empresa M.A.R.A, concebida bajo un esquema de direccionamiento estático, configuraciones manuales y ausencia de protocolos de enrutamiento dinámico, carece de un diseño jerárquico y del cumplimiento de buenas prácticas en su arquitectura. Esta situación ha generado ineficiencias operativas, limitaciones en la escalabilidad y vulnerabilidades en la gestión del tráfico de datos.

El uso de configuraciones en modo bridge, sin segmentación lógica mediante VLANs, ni control de dominios de broadcast, ha favorecido la congestión de la red, dificultado la detección de fallos y limitado la implementación de políticas de seguridad y calidad de servicio (QoS). Estos factores se han traducido en pérdidas de conectividad, saturación de enlaces, aumento de la latencia y complejidades administrativas, comprometiendo la calidad del servicio entregado tanto a usuarios finales como a clientes corporativos.

Ante este panorama, el proyecto se justifica por la necesidad de realizar un rediseño integral de la red, orientado hacia una arquitectura escalable, jerárquica y resiliente. Este rediseño contempla la migración hacia el protocolo de enrutamiento dinámico OSPF, la reorganización lógica de la red y la optimización de rutas para mejorar la convergencia y redundancia. Un aspecto estratégico de esta propuesta es la reutilización de los equipos Mikrotik ya existentes en la infraestructura de M.A.R.A, aprovechando sus capacidades de routing, a un bajo costo, lo que permite implementar una solución técnica sostenible y económicamente viable.

De forma complementaria, el proyecto incorpora procesos técnicos fundamentales como el comisionamiento de radioenlaces, la evaluación de acuerdos de nivel de servicio (SLA), la organización eficiente de dominios de broadcast y la automatización de tareas de configuración. Todo esto permitirá una administración más eficiente, segura y estandarizada, alineada con los retos actuales de crecimiento en la demanda de ancho de banda.

Desde la perspectiva académica, este trabajo representa una contribución al estudio aplicado de redes de telecomunicaciones, en particular en lo relacionado con protocolos de enrutamiento dinámico, diseño jerárquico de redes, segmentación lógica, control de tráfico y buenas prácticas en redes inalámbricas. La propuesta puede servir como modelo replicable para operadores que prestan servicios de última milla, aportando valor tanto a nivel técnico como metodológico.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar la arquitectura de red existente en la empresa M.A.R.A mediante el rediseño basado en buenas prácticas de red, la migración a OSPF y la reutilización de equipos Mikrotik, para mejorar la estabilidad, escalabilidad y administración.

Objetivos Específicos

Diagnosticar la red actual mediante pruebas de conectividad, análisis de topología y evaluación del rendimiento, identificando fallas estructurales y limitaciones técnicas.

Proponer un rediseño lógico de la red (OSPF), incorporando segmentación, organización jerárquica y control de dominios de broadcast, conforme a buenas prácticas de ingeniería de redes.

Reconfigurar los túneles de interconexión para utilizar direcciones de loopback, garantizando estabilidad ante fallos físicos y compatibilidad con la nueva arquitectura OSPF.

Realizar pruebas de validación operativa, incluyendo simulación de fallos, análisis de rutas, evaluación de latencia, throughput y comportamiento de conmutación.

Documentar los resultados y generar recomendaciones técnicas, con el fin de facilitar la réplica del modelo en redes similares de pequeños operadores en zonas rurales.

Marco Referencial

El marco referencial constituye la base teórica y contextual sobre la cual se sustenta el presente proyecto. Incluye la revisión de antecedentes, desarrollos tecnológicos, conceptos fundamentales y el estado actual de la problemática, con el fin de enmarcar la solución propuesta en un contexto académico y práctico.

Estado del Arte

Las investigaciones han abordado el problema de extender la conectividad eficiente a las áreas rurales, lo cual se lleva a cabo mediante redes híbridas, respaldadas por protocolos de enrutamiento dinámico que mejoran el rendimiento.

A nivel internacional, la literatura especializada consistentemente resalta la efectividad de OSPF en entornos de red complejos y dinámicos. Boyanov et al. (2023), en su estudio de simulación de seguridad en redes académicas, destacan la robustez del protocolo OSPF para garantizar estabilidad y convergencia rápida en topologías de campus universitarios y entornos empresariales. Complementariamente, la experiencia práctica documentada por Mimoso Networks (MN, 2016) sobre el operador Stealth Broadband en Estados Unidos validó el uso de radios inalámbricos de bajo costo en combinación con enlaces de fibra para desplegar servicios de banda ancha en comunidades rurales de Missouri.

Los estudios techno-económicos internacionales respaldan este enfoque. Ioannou et al. (2020) evidencian que los despliegues híbridos resultan significativamente más rentables que las soluciones totalmente cableadas cuando la densidad de usuarios es baja. De igual forma, Prieto-Egido et al. (2018) destacan que los operadores rurales pueden ofrecer servicios sostenibles si utilizan infraestructura de bajo costo y aprovechan espectro no licenciado.

Otras experiencias internacionales refuerzan estos hallazgos. Boyanov et al. (2023), en

su estudio de simulación de seguridad en redes académicas, destacan la robustez del protocolo OSPF para garantizar estabilidad y convergencia rápida en topologías complejas, un aspecto clave para la recuperación ante fallos. De forma complementaria, la investigación de Ioannou et al. (2020) respalda la eficiencia de despliegues híbridos (radio-fibra) en entornos de baja densidad, destacando la rentabilidad de estas soluciones en contextos rurales.

En el contexto latinoamericano y específicamente colombiano, se han desarrollado investigaciones aplicadas que abordan problemáticas similares. Cortés et al. (2021) propusieron el diseño de una red backhaul auto gestionable para el departamento de Sucre, publicado en la Revista UIS Ingenierías, subrayando la necesidad de migrar de configuraciones estáticas a protocolos dinámicos como OSPF para lograr escalabilidad y una gestión más eficiente. Adicionalmente, los lineamientos técnicos de Cisco Systems (2020) y MikroTik (2022) proporcionan mejores prácticas para la implementación de OSPF en redes de proveedores de servicios, validando su aplicabilidad en escenarios reales de conectividad rural.

Las organizaciones internacionales también han documentado experiencias relevantes. La Asociación para el Progreso de las Comunicaciones [APC] (2018) ha impulsado redes comunitarias que integran radioenlaces y fibra óptica, demostrando que la sostenibilidad depende tanto del diseño técnico como de la gobernanza local y la capacitación.

El marco regulatorio nacional sustenta este enfoque. La Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) de Colombia, en su Resolución 6755 de 2022, establece condiciones diferenciales para fomentar la conectividad rural, reconociendo explícitamente el uso de tecnologías inalámbricas y la importancia de redes eficientes.

La documentación técnica oficial aporta el sustento metodológico. MikroTik (2022), en su manual oficial de RouterOS, detalla procedimientos específicos para la implementación de

OSPF, mientras que Cisco Systems (2020), en su OSPF Design Guide, proporciona mejores prácticas para la designación de áreas y cálculo de métricas.

Estas experiencias validadas demuestran que es posible contar con equipos de bajo costo (MikroTik y Mimosa) combinados con protocolos sólidos como OSPF, coincidiendo con el enfoque adoptado en este proyecto. Todas destacan el papel crucial de la puesta en marcha técnica, los protocolos de comisionamiento y la evaluación del rendimiento como medios esenciales para lograr estabilidad y escalabilidad en redes no licenciadas.

Marco Teórico

El marco teórico recoge los fundamentos conceptuales y técnicos necesarios para el entendimiento de la propuesta, abordando desde la infraestructura de redes en zonas rurales hasta los protocolos, tecnologías y herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

Infraestructura de Redes en Zonas Rurales

Existen barreras técnicas y económicas para el acceso a Internet en áreas rurales. Sobre todo, las condiciones geográficas adversas, los altos costos para el despliegue de infraestructura y la baja densidad de población crean problemas para ofrecer servicios de conectividad en estas regiones con la calidad requerida, las redes híbridas que consisten en segmentos inalámbricos de microondas y de fibra óptica han surgido como alternativas potenciales para la cobertura de servicios en áreas de difícil acceso (Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT], 2021; Yang et al., 2014).

Protocolos de Enrutamiento

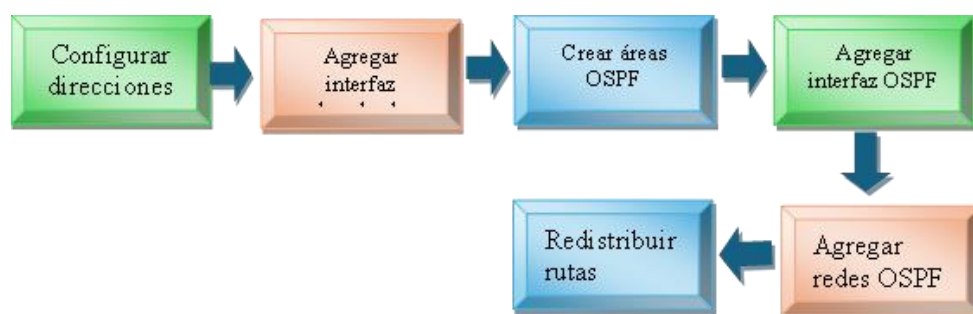
El direccionamiento estático consiste en configurar manualmente las rutas dentro de una red. Aunque resulta funcional en redes pequeñas o con una topología estable, se torna ineficiente a medida que la red crece, ya que requiere intervención constante ante cualquier modificación en la infraestructura (Forouzan, 2017). Los protocolos dinámicos permiten a los router intercambiar información topológica en tiempo real y actualizar su tabla de rutas de forma automática, mejorando la escalabilidad y reduciendo errores humanos. Entre los protocolos más comunes se encuentran RIP, EIGRP y OSPF, siendo este último uno de los más robustos y eficientes para redes de tamaño medio y grande.

Protocolo OSPF (Open Shortest Path First)

Pertenece al grupo de protocolos de enrutamiento de estado de enlace dinámico, que están en la categoría de protocolos IGP (Interior Gateway Protocol). Utiliza el algoritmo de Dijkstra para determinar el camino más corto a cada destino en una red, basado en el costo acumulado (como el ancho de banda o la latencia) (Cisco Systems, 2021). En el caso de redes rurales como las de M.A.R.A, OSPF es el método más efectivo de mantener la conectividad estable incluso en malas condiciones o con enlaces intermitentes, y los caminos se reconectan automáticamente y se favorecen los segmentos más confiables, como se ilustra en la Fig. 1.

Figura 1

Secuencia OSPF Mikrotik.



Nota. Descripción de los pasos a nivel de configuración para OPSF.

Equipos Mikrotik

Es un fabricante que ofrece soluciones de red a bajo costo, ampliamente adoptadas por pequeños y medianos operadores de telecomunicaciones. Sus dispositivos soportan protocolos de enrutamiento avanzados, túneles, VLANs, control de ancho de banda, firewalls y gestión centralizada, lo que los convierte en una herramienta fundamental para el rediseño de la red de la empresa M.A.R.A.

Radios Mimosa

Implementados para tecnologías punto a punto (PTP) o punto a multipunto (PTMP) sobre espectro no licenciado en bandas de 4.9 a 6.4 GHz. Incorporan protocolos propietarios como

Mimosa TDMA o Wifi, dependiendo del modelo. Estas tecnologías permiten el uso de altas modulaciones y anchos de bandas hasta de 80 Mhz con utilización de dos canales.

Throughput

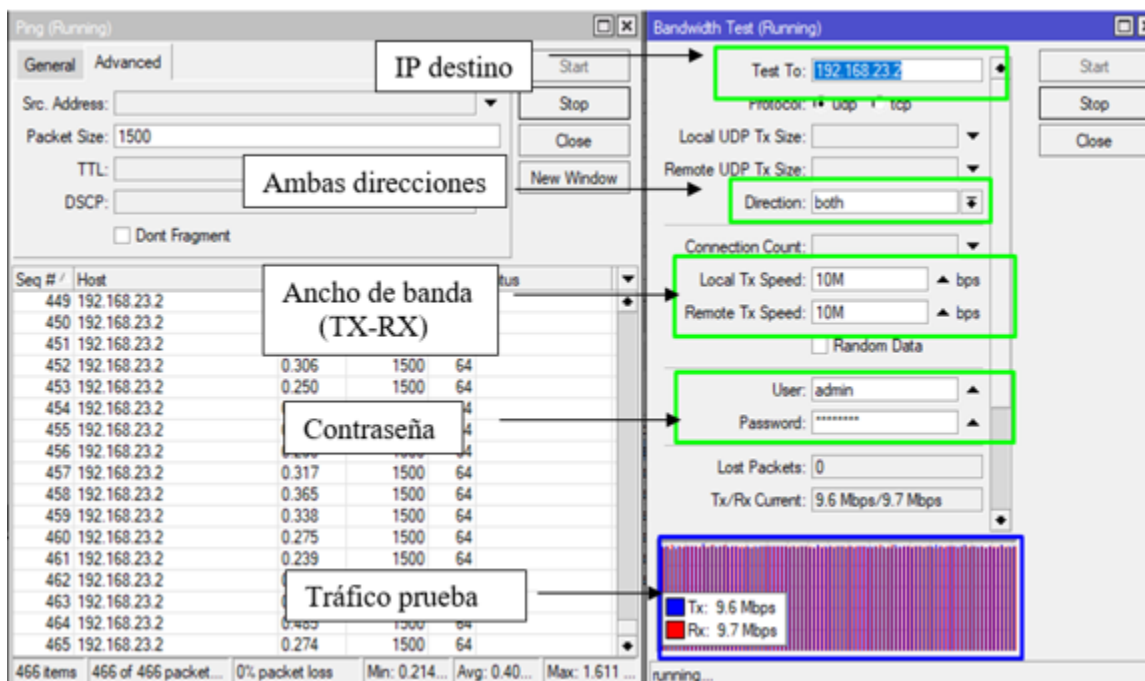
Es la tasa efectiva de transmisión de datos a través de un canal de comunicación, expresada generalmente en Mbps. Representa la velocidad real percibida por el usuario final, e incluye los efectos de latencia, jitter, interferencias y sobrecarga del protocolo (Tanenbaum & Wetherall, 2011). En redes rurales, maximizarlo es esencial debido a la limitación de recursos y la alta demanda. Para medirlo, se utilizan herramientas como bandwidth test de Mikrotik, un bajo throughput impacta directamente en la experiencia del usuario. En la figura 2 se muestra ejemplo visto desde la interfaz Mikrotik explicando los comandos básicos para arrancar una prueba de tráfico.

Comisionamiento de Radioenlaces

Este proceso se utiliza para validar un enlace inalámbrico para determinar si ha cumplido con sus parámetros de diseño antes de iniciar la operación, a través de pruebas de alineación de antenas y nivel de señal (RSSI), relación señal-ruido (SNR), latencia y rendimiento (Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT], 2020). Un fallo en este proceso puede tener un impacto significativo en el rendimiento de la red.

Figura 2

Medición entre Dos Router Mikrotik Utilizando Bandwidth Test.



Nota. Tomado del pantallazo ventana winbox en Mikrotik.

VLSM en el Diseño de Redes

El Variable Length Subnet Mask (VLSM) es una técnica que permite subdividir un bloque de direcciones IP en subredes de diferentes tamaños, asignando a cada segmento únicamente la cantidad de direcciones que necesita. A diferencia del Subneteo clásico, en el que todas las subredes tienen la misma máscara, el VLSM proporciona flexibilidad y optimización del espacio de direccionamiento (Forouzan, 2017). De esta forma, cada subred recibe únicamente el número de direcciones que requiere, evitando desperdicios. El uso de VLSM resulta especialmente relevante en proyectos de migración de redes bajo OSPF, ya que permite un direccionamiento jerárquico y escalable, asimismo, reduce la probabilidad de conflictos por solapamiento de direcciones y facilita la integración de nuevas áreas de red sin afectar la estabilidad del enrutamiento.

Broadcast

El concepto de broadcast hace referencia a la transmisión de un paquete hacia todos los dispositivos que comparten el mismo segmento de red o dominio de broadcast (Tanenbaum & Wetherall, 2011). En el contexto de IPv4, el broadcast se puede clasificar en dos tipos: El uso de broadcast es esencial en protocolos como ARP, DHCP y OSPF, donde es necesario anunciar información a todos los nodos de un segmento. Sin embargo, el exceso de tráfico de broadcast puede provocar congestión y problemas de rendimiento conocidos como tormentas de broadcast, especialmente en redes planas sin segmentación. En entornos empresariales, se emplean técnicas como la segmentación mediante VLANs, la implementación de enrutadores y el uso de protocolos de routing sobre interfaces punto a punto para controlar su propagación. En el marco del presente proyecto, comprender el funcionamiento del broadcast permite diseñar un direccionamiento más eficiente y prever escenarios donde el tráfico de control pueda afectar la convergencia del enrutamiento.

Solapamiento en Enlaces Inalámbricos

En comunicaciones inalámbricas, el solapamiento se produce cuando dos o más transmisiones comparten parcialmente la misma banda de frecuencias, lo que genera interferencia y disminuye el rendimiento del enlace, este fenómeno es común en las bandas no licenciadas de 2.4 GHz y 5 GHz, donde los canales disponibles tienen un ancho de banda definido y no siempre están completamente aislados entre sí (Stallings, 2017). Por ejemplo, en 2.4 GHz solo existen tres canales no solapados (1, 6 y 11 en la mayoría de las regiones). El uso simultáneo de canales adyacentes (ejemplo: 2 y 3) produce un traslape espectral que incrementa la probabilidad de colisiones y pérdidas de paquetes. En 5 GHz, aunque existen más canales,

muchos de ellos se solapan dependiendo del ancho de canal configurado (20, 40, 80 o 160 MHz), lo que puede impactar el rendimiento de enlaces.

Marco Conceptual

El marco conceptual presenta las definiciones de los términos técnicos fundamentales utilizados en este proyecto, con el fin de establecer un lenguaje común y facilitar la comprensión de los resultados y la metodología aplicada.

OSPF (Open Shortest Path First). Protocolo de enrutamiento dinámico interior que utiliza el algoritmo de Dijkstra para calcular las rutas más cortas dentro de una red.

Protocolo de Enrutamiento Dinámico. Conjunto de reglas que permiten a los routers intercambiar información de topología y ajustar las rutas de manera automática según los cambios en la red.

VLAN (Virtual LAN). Red de área local virtual que segmenta lógicamente un dominio de broadcast dentro de una infraestructura física, permitiendo separar el tráfico de distintos servicios o clientes.

Throughput. Tasa efectiva de transmisión de datos a través de un canal de comunicación, expresada en Mbps. Es un parámetro clave para medir la capacidad real de la red.

Latencia. Tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde el origen hasta el destino. Es crítica en aplicaciones sensibles como voz y video.

Traceroute. Herramienta de diagnóstico que muestra la ruta de un paquete a través de la red, indicando cada salto intermedio y los tiempos de respuesta.

EOIP (Ethernet Over IP). Protocolo de Mikrotik que permite crear túneles de capa 2 sobre una red IP, útil para transportar VLANs y extender redes locales como un canal transparente.

QoS (Quality of Service). Conjunto de mecanismos que priorizan o limitan el tráfico de red con el fin de garantizar un servicio estable en aplicaciones críticas.

SLA (Service Level Agreement). Acuerdo de nivel de servicio que define métricas como disponibilidad, latencia, pérdida de paquetes y ancho de banda mínimo garantizado.

Comisionamiento de Radioenlaces. Proceso de validación técnica de un enlace inalámbrico antes de su operación, que incluye pruebas de alineación de antenas, niveles de señal, SNR y throughput.

MikroTik. Fabricante de equipos de red de bajo costo que ofrece soluciones avanzadas de enrutamiento, ampliamente usado por pequeños y medianos operadores.

Mimosa. Fabricante de radios inalámbricos para enlaces de microondas en bandas no licenciadas, caracterizados por alta capacidad.

The Dude. es una aplicación gratuita de monitoreo de red desarrollada por MikroTik, diseñada para descubrir, mapear y supervisar dispositivos y servicios en entornos de red de manera centralizada.

Zabbix. Es una plataforma de código abierto para la supervisión y monitoreo de infraestructuras de red, servidores, servicios y aplicaciones en tiempo real.

Marco Contextual. El marco contextual describe el entorno específico en el que se desarrolla el proyecto, incluyendo la ubicación geográfica, la situación tecnológica actual de la empresa, los instrumentos utilizados para obtener información preliminar y las principales oportunidades y desafíos que justifican el rediseño de la red.

Localización

La empresa M.A.R.A. concentra su operación en los departamentos de Casanare y Meta. Estas sedes funcionan como puntos estratégicos de concentración y distribución del tráfico hacia

diferentes localidades, permitiendo el acceso a servicios de conectividad en áreas apartadas donde los grandes operadores no tienen presencia.

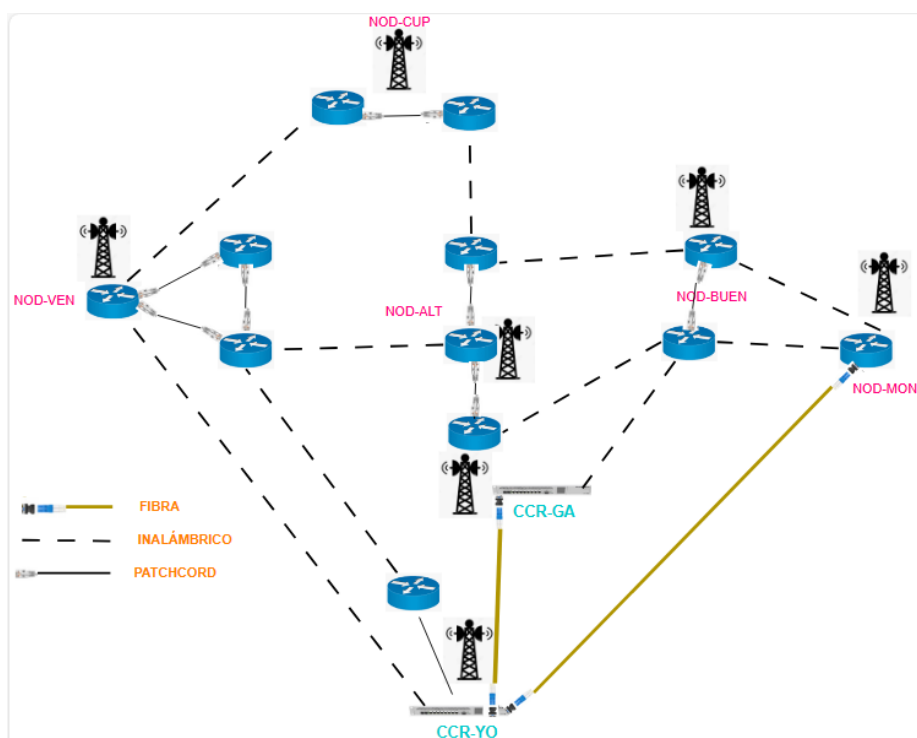
Situación Actual

La red de la empresa M.A.R.A está estructurada alrededor de dos nodos principales, ubicados en Gaitán y Yopal, que concentran y distribuyen el tráfico hacia los diferentes nodos. L

Topología Columna Vertebral. La topología de la red está compuesta por una serie de nodos interconectados mediante radioenlaces y enlaces de fibra óptica

Figura 3

Topología General de la Red M.A.R.A.

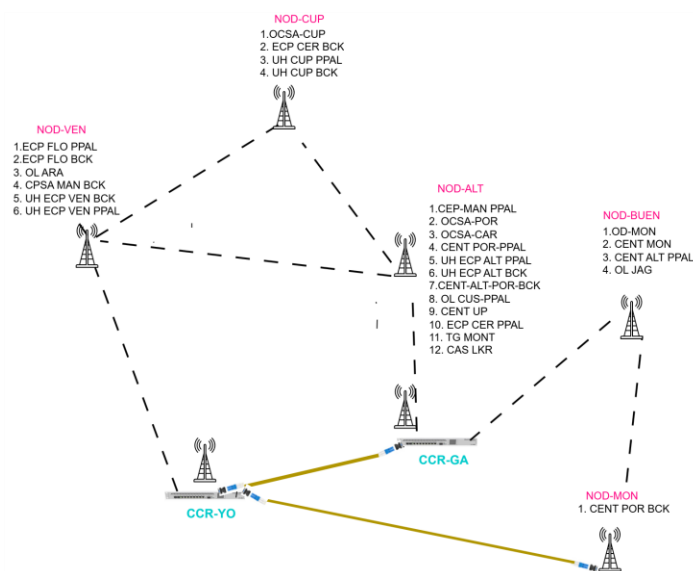


Nota. Se incluyen únicamente los nodos principales y las interconexiones troncales que conforman la estructura principal de la red.

Topología de Clientes por Nodo. En esta sección se detalla la ubicación lógica de los clientes según el nodo al cual están conectados. También se identifican tanto los clientes con enlaces simples como aquellos que cuentan con rutas de respaldo.

Figura 4

Topología de Clientes por Nodo el cual Dependen.



Nota. Listado clientes relacionados con el nombre del nodo.

Clientes con Doble Enlace. Requieren ruta alterna como backup.

Figura 5

Listado Cliente Tipo 1 con Enlace Backup y Principal.

CLIENTE	ANCHO DE BANDA (Mbps)
UH-VEN	2
UH-CUP	2
UH-ALT	2
CENT-ALT-POR	10
CENT-POR	10
ECP-FLOR	2
CPSA-MAN	10
ECP-CER	30

Nota. Listado de clientes tipo 1 con sus respectivos anchos de banda.

Clientes con Único Enlace. No requieren redundancia y no tiene importancia la ruta.

Figura 6

Clientes Tipo 2 con un Solo Canal.

CLIENTE	ANCHO DE BANDA (Mbps)
OL-ARA	50
OCSA-CUP	20
OCSA-POR	20
CPSA-UP	10
OL-MON	40
CENT-MON	10
OL-CUS	30
OL-JAG	30
CAS-LKR	20
TG-MON	2

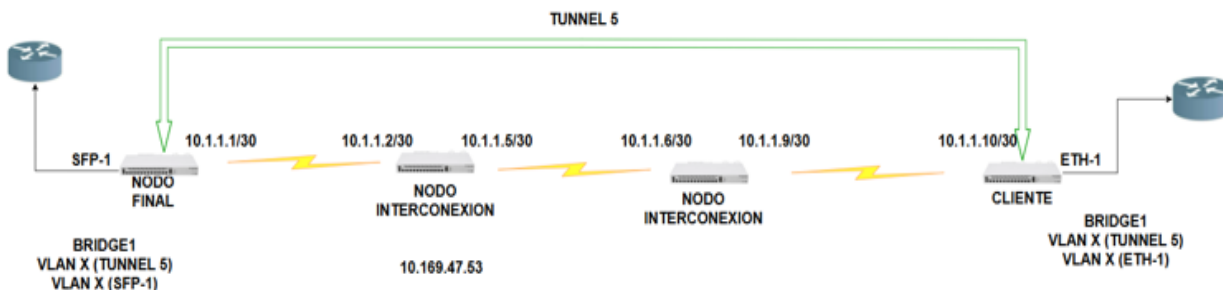
Nota. Listado de clientes tipo 2 con sus respectivos anchos de banda.

Topología de Entrega de Servicios. Se realiza mediante la implementación de túneles EOIP, los cuales transportan el tráfico de red a nivel de capa 2, entre los extremos de red. Esta técnica posibilita mantener configuraciones de red como si los dispositivos estuvieran dentro del mismo segmento Ethernet, el túnel EoIP se establece utilizando las direcciones IP locales y remotas de los extremos, posteriormente, se configura un bridge en el que se agregan las vlan o interfaces correspondientes a cada interfaz (EoIP y ethernet).

En la siguiente figura se representa gráficamente el modelo de entrega de servicios, incluyendo la encapsulación mediante EoIP y la interfaces a través del bridge, se asumen dos nodos de interconexión por donde debe hacer tránsito el paquete.

Figura 7

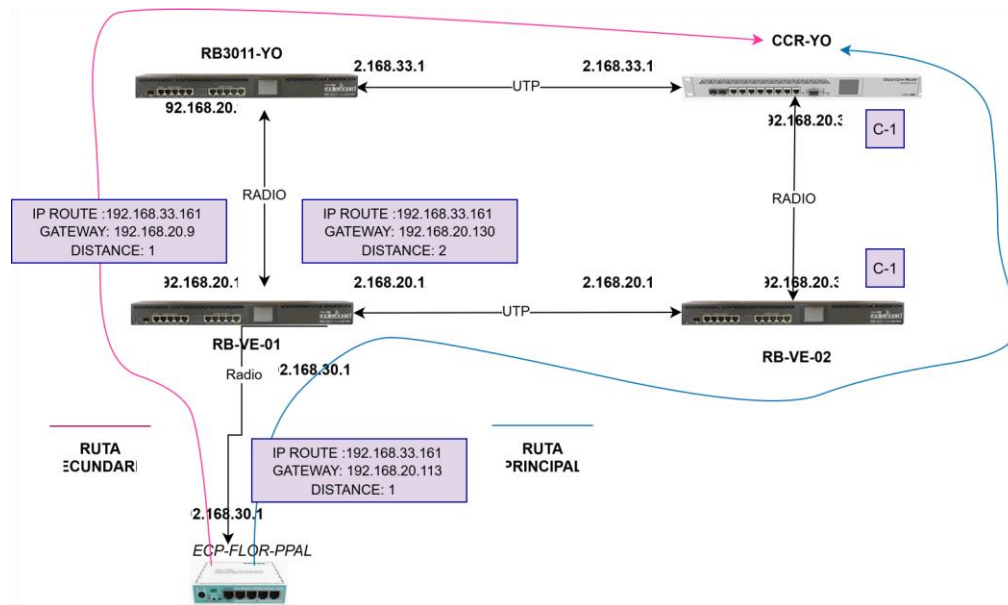
Topología de Entrega de Servicios Configuración de Túnel EOIP.



Nota. Donde existe más de un camino hacia un mismo destino, se emplea redundancia mediante rutas estáticas con distancia administrativa para escoger camino.

Figura 8

Diagrama ECP Flor Ppal, Caminos para Llegar a CCR-YO.



Nota. Se representan la alternativa de caminos para un paquete el cuál tiene mas de una opción para llegar a su destino.

Distribución de Servicios. La red concentra el tráfico en dos nodos principales: CCR-GA y CCR-YO, que actúan como centros de distribución hacia el resto de la red.

Nodos Secundarios. Se identifican seis nodos intermedios antes mencionados que operan como distribuidores locales conectados mayoritariamente mediante radioenlaces de 5 GHz en bandas libres.

Tipos de Enlaces. Se emplean enlaces de fibra óptica y radioenlaces no licenciados punto a punto, dependiendo de las condiciones técnicas de cada zona. Este aspecto será relevante para la configuración del protocolo OSPF, particularmente en la asignación de métricas.

Redundancia Interna en Nodos. Algunos nodos intermedios cuentan con múltiples routers interconectados, lo que añade complejidad a la planeación del enrutamiento dinámico y requiere atención especial al implementar OSPF.

Rutas Múltiples. Existen rutas alternativas entre clientes y nodos principales. Si bien esto permite redundancia y tolerancia a fallos, también implica la necesidad de una correcta configuración del protocolo de enrutamiento para evitar bucles, rutas ineficientes o saturación de enlaces.

Capacidad de Enlaces. No todos los canales de respaldo tienen la misma capacidad que la ruta principal, por lo que es indispensable establecer métricas diferenciadas en OSPF, evitando degradaciones de servicio ante conmutaciones automáticas.

Diseño de Rutas de Respaldo Efectivas. Se recomienda que los enlaces de respaldo conecten con nodos distintos a los de la ruta principal y que no compartan tramos intermedios, para asegurar una verdadera diversificación ante fallos.

Instrumentos de Recolección de Información Preliminar

Para realizar el diagnóstico de la red actual, se emplearon herramientas de gestión y monitoreo disponibles en los equipos MikroTik, tales como Traceroute y Bandwidth Test. Estas pruebas permitieron identificar cuellos de botella, niveles de throughput, tiempos de respuesta y

rutas de tráfico. Adicionalmente, se recopilaron registros de configuración y reportes técnicos de los radioenlaces Mimosa, que aportaron datos sobre el estado de los enlaces inalámbricos, niveles de señal y estabilidad de la comunicación.

Oportunidades y Desafíos

Entre las principales oportunidades, se destaca la posibilidad de reutilizar la infraestructura ya desplegada (MikroTik y radios Mimosa) y adaptarla mediante buenas prácticas de red, protocolos dinámicos y segmentación lógica, lo que permite optimizar recursos y reducir costos de implementación.

Los desafíos más relevantes corresponden el poder garantizar el aumento de ancho de banda que demandan las nuevas tecnologías y al tiempo poder garantizar la estabilidad de la red, también la restricción y limitación a nivel de frecuencias en bandas no licenciados, sumado a las condiciones geográficas adversas donde se encuentran estos nodos de comunicación para responder con rapidez antes los mantenimientos.

Marco Metodológico

El marco metodológico define el enfoque, los métodos y las técnicas que guían la ejecución del proyecto, garantizando la validez y coherencia de los resultados obtenidos. En esta sección se describe el tipo de investigación adoptado, la población objeto de estudio, los instrumentos de recolección de datos, las fases de implementación del piloto, así como el alcance, cronograma y presupuesto estimado.

Tipo de Investigación

La metodología adoptada para este proyecto es de enfoque cuantitativo, aplicada y de tipo experimental. Se orienta a la resolución de un problema técnico real mediante la recopilación de datos objetivos, la simulación controlada de escenarios y la validación de soluciones mediante pruebas de rendimiento.

La naturaleza aplicada responde a la necesidad de rediseñar y optimizar una red de telecomunicaciones operativa en un entorno rural, utilizando tecnologías y equipos existentes, sin requerir inversiones elevadas en nueva infraestructura.

Población y Muestra

La población objeto de este proyecto corresponde a la infraestructura de red de la empresa M.A.R.A., conformada por nodos de comunicación ubicados en las zonas rurales de Gaitán y Yopal, interconectados mediante radioenlaces y enlaces de fibra óptica. Esta red integra tanto los equipos de acceso como los de distribución, que soportan el servicio de conectividad a clientes residenciales y corporativos en áreas de difícil acceso.

La muestra seleccionada para la implementación del piloto incluye un subconjunto representativo de la red, compuesto por los equipos MikroTik empleados como routers

principales en los nodos estratégicos, así como los radioenlaces Mimosa utilizados para la interconexión de dichos nodos.

Este segmento permite validar de manera controlada la funcionalidad del protocolo OSPF y la reorganización lógica de la red, garantizando que los resultados puedan extrapolarse posteriormente al resto de la infraestructura.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el diagnóstico de la red y la validación de la propuesta de rediseño, se aplicaron diversas técnicas apoyadas en instrumentos de análisis y monitoreo, tanto en la infraestructura real como en entornos simulados

Análisis Documental y Topológico

Se realizó un levantamiento de la infraestructura actual de la empresa M.A.R.A., identificando nodos, enlaces de radio y fibra, así como la arquitectura operativa.

Revisión de Configuraciones Estáticas

Se analizaron las tablas de enrutamiento y configuraciones existentes en los equipos MikroTik.

Pruebas de Conectividad

Se llevaron a cabo pruebas de ping extendido (1500 bytes) para medir latencia, pérdida de paquetes y problemas de MTU; y pruebas de traceroute para identificar rutas de tráfico, saltos intermedios y posibles rutas asimétricas en la red.

Pruebas de Rendimiento (Throughput)

Se utilizó la herramienta Bandwidth Test de la capacidad real de transmisión y detectar cuellos de botella en la red, esta herramienta es propietaria de Mikrotik y se encuentra en el software de gestión winbox

Comisionamiento de Radioenlaces

Se verificaron parámetros técnicos de los radios Mimosa, incluyendo niveles de señal (RSSI), relación señal-ruido (SNR), estabilidad de enlace y modulación, complementado con análisis de espectro para garantizar la calidad de los enlaces.

Simulación en laboratorio virtual

Se recreó la topología de la red en GNS3, con el objetivo de probar la implementación del protocolo OSPF en un entorno controlado antes de su despliegue en la infraestructura real, utilizando los siguientes instrumentos:

Herramientas nativas de Mikrotik, ping, Traceroute y Bandwidth Test.

Software de gestión winbox, empleado para administración y monitoreo de las RB

Simulador GNS3, usado para la validación de OSPF.

Radios Mimosa y routers Mikrotik, como equipos principales de campo.

Interfaces de análisis de espectro, medidores internos de los radios inalámbricos.

Estas técnicas e instrumentos garantizaron la recolección de información cuantitativa y cualitativa necesaria para diagnosticar el estado de la red y evaluar de manera objetiva el impacto del rediseño propuesto.

Fases del Desarrollo del Proyecto y la Implementación del Piloto

A continuación, se describen las fases metodológicas involucradas en el desarrollo del proyecto junto con sus objetivos, actividades y herramientas correspondientes.

Fase 1: Análisis de la Topología de Red Actual

Objetivo: Realizar un levantamiento detallado de la infraestructura física y lógica de la red de la empresa M.A.R.A, identificando sus componentes, arquitectura operativa, limitaciones

técnicas y nivel de tráfico, como base para el diagnóstico técnico y el posterior rediseño con enrutamiento dinámico.

Reconocimiento de la Red Instalada. Se identificaron los nodos activos, enlaces troncales y de acceso (radioenlaces y fibra óptica), así como las ubicaciones físicas de los equipos.

Identificación de la Topología y Arquitectura Física. Se generó un esquema actualizado de la topología de red, diferenciando claramente los tramos de distribución y acceso.

Inventario de Clientes Actuales. Resumiendo, para cada uno el ancho de banda contratado, el tipo de conexión (inalámbrica, cableada, fibra óptica), el punto de entrega del servicio, y la existencia de enlaces de respaldo o redundantes.

Fase 2: Diagnóstico de la Red Actual

Objetivo: Detectar problemas operativos y configuraciones ineficientes.

Análisis del Ruteo Estático. Se examinó la tabla de enrutamiento de los routers Mikrotik para identificar rutas estáticas, inconsistencias y configuraciones ineficientes.

Pruebas de Conectividad y Rendimiento. Se realizaron mediciones de latencia, throughput, disponibilidad y congestión de enlaces utilizando herramientas ping, traceroute y bandwidth.

Identificación de Problemas Críticos. Se documentaron fallas recurrentes como pérdida de conectividad, alta latencia, saturación de enlaces y configuraciones incorrectas debido a la ausencia de estandarización en la red.

Nota técnica: En los casos donde un enlace no cumplió con los umbrales definidos de rendimiento (latencia, pérdida de paquetes, throughput mínimo), se aplicó un protocolo técnico de comisionamiento, este protocolo incluyó:

Verificación del nivel de señal (RSL).

Análisis de espectro con la interfaz de los radios Mimosa.

Ajustes inalámbricos como potencia, ancho de canal y MCS.

Actualización de firmware a versiones estables.

Fase 3. Simulación Preliminar en GNS3

Objetivo: Validar de forma controlada el diseño propuesto con OSPF antes de aplicarlo en la red real, garantizando la correcta formación de adyacencias, la propagación de rutas y la conmutación ante fallos.

Replica de la Red Actual. Con en el entorno virtual GNS3, incluyendo routers Mikrotik, topología física y direcciones IP reales.

Implementación del Protocolo OSPF. Con configuración de instancias, áreas, router ID y loopback.

Validación de la Formación de Vecinos OSPF. en enlaces punto a punto y propagación de rutas.

Fase 4: Diseño de la Nueva Arquitectura con OSPF

Objetivo: Diseñar una arquitectura optimizada y escalable.

Propuesta Topológica. Se desarrolló una nueva arquitectura segmentada, jerarquizada y optimizada, priorizando la segmentación lógica y física, la redundancia y la planificación del direccionamiento IP.

Selección de Dispositivos. Se seleccionaron equipos Mikrotik existentes y enlaces adecuados (fibra óptica o radio) conforme a los requerimientos de capacidad y cobertura de la zona.

Fase 5: Implementación del Protocolo OSPF

Objetivo: Aplicar la configuración y despliegue operativo del protocolo OSPF en la red, garantizando una transición ordenada desde el esquema estático hacia el nuevo modelo dinámico.

Configuración de Instancias OSPF. Activación de instancias, definición de Router ID, creación de interfaces loopback.

Declaración de Áreas y Templates. Se crearon áreas OSPF y se configuraron plantillas de interfaces con el tipo adecuado (point-to-point o passive).

Ajuste de Métricas. Se definieron los costos en cada enlace con base en su capacidad para definir rutas preferenciales.

Integración Progresiva. Se migraron zonas específicas de forma gradual, manteniendo temporalmente rutas estáticas para evitar interrupciones.

Fase 6: Verificación Operativa y Monitoreo de la Red

Objetivo: Supervisar y confirmar la correcta operación del protocolo OSPF y la red, asegurando la estabilidad, convergencia y propagación adecuada de rutas.

Verificación De Vecindades OSPF. Se Comprobó El Estado De Los Vecinos (Full, 2-Way, Etc.) Mediante Comandos Y Diagnósticos En Tiempo Real.

Monitoreo de Tráfico y Conmutación. Se utilizaron herramientas como traceroute y ping para observar el comportamiento de los saltos y estabilidad del enrutamiento.

Inspección de la Tabla de Rutas. Se revisaron las rutas aprendidas para confirmar su veracidad con la topología definida.

Observación luego de Cambios. Se realizó un seguimiento durante los primeros días posteriores a la migración para detectar y corregir posibles anomalías.

Fase 7: Cambio de Configuración y Evaluación Túneles

Objetivo: Evaluar el desempeño de la red rediseñada mediante pruebas técnicas, comparándola frente a la red original para verificar las mejoras obtenidas.

Comparación de Desempeño. Se analizaron métricas clave como throughput, latencia, pérdida de paquetes y estabilidad, antes y después de la implementación de OSPF.

Evaluación de QoS y Resiliencia. Se verificaron las mejoras en la calidad del servicio y en los tiempos de recuperación ante fallos de enlaces troncales.

Consolidación Documental. Se organizó toda la evidencia técnica obtenida (capturas de configuraciones, trazas de pruebas, reportes de desempeño) para estructurar una guía técnica aplicable a futuras implementaciones similares.

Fase 8 Recomendaciones y Réplica del Modelo

Objetivo: Proponer lineamientos técnicos que fortalezcan la operación futura de la red y facilitar la reutilización del modelo en otros entornos rurales con características similares.

Elaboración de Recomendaciones. Se redactaron recomendaciones de mantenimiento, monitoreo y actualización de firmware, alineadas con buenas prácticas en redes dinámicas.

Propuesta de Mejoras Escalables. Se sugirió la expansión del modelo mediante nuevas áreas OSPF, mejora del direccionamiento IP.

Modelo Replicable. Se consolidó una guía metodológica y técnica basada en la experiencia obtenida durante el proyecto, orientada a servir como referencia para pequeños y medianos proveedores de servicios de internet (ISPs) en entornos rurales.

Alcance

El presente proyecto contempla el rediseño de la red de la empresa M.A.R.A. bajo un esquema jerárquico y dinámico entre nodos de comunicación, mediante la implementación del

protocolo OSPF en los equipos MikroTik existentes y el comisionamiento de radio enlaces que incluye:

Evaluación Técnica

Levantamiento, diagnóstico y documentación de la infraestructura actual de la red de radios.

Diseño Lógico y Físico

Una nueva arquitectura con segmentación, redundancia y direccionamiento optimizado.

Implementación Gradual del Protocolo OSPF

Asegurando la migración controlada desde el esquema estático.

Validación del Rediseño

Mediante pruebas de conectividad, rendimiento y estabilidad.

Evaluación Comparativa

Del desempeño de la red y sus componentes antes y después del rediseño.

Elaboración de una guía técnica

Replicable para proveedor de última milla o empresas nuevas en zonas apartadas.

Delimitaciones

Este proyecto presenta ciertas restricciones que acotan su alcance o se deben tener en cuenta algunos puntos específicos:

Cobertura Geográfica

El estudio se limita a la infraestructura de la empresa M.A.R.A., ubicada en zonas rurales específicas de operación, en el departamento de Casanare y Meta.

Equipos Utilizados

Se trabaja únicamente con los dispositivos MikroTik y radios Mimosa ya disponibles en la red, sin incluir la adquisición de nuevos equipos de otras marcas.

Pruebas Técnicas

Las validaciones se realizan en condiciones reales de operación y en entornos simulados en GNS3, pero no se contemplan pruebas bajo escenarios de laboratorio con tráfico masivo artificial.

Protocolos Evaluados

El proyecto se centra en la implementación de OSPF como protocolo de enrutamiento.

Tiempo de Implementación

El alcance se limita al diseño, migración y validación inicial del protocolo OSPF, sin cubrir fases posteriores la cuales deben desarrolladas.

Cronograma de Actividades

Permitió organizar y estructurar las tareas desarrolladas durante el proyecto, definiendo los tiempos de ejecución y la secuencia de cada fase.

Figura 9

Cronograma

ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
Levantamiento topología actual de la red	XXX											
Diseño o mejoras de la red con OSPF	XXX	XXX										
Simulación red GNS3			XXX	XXX								
Configuración sobre los equipos actuales					XXX	XXX	XXX	XXX				
Monitoreo y pruebas								XXX	XXX			

Nota. Se genero un estimado de la duración del proyecto con sus fases.

Presupuesto Estimado del Proyecto

Permitió identificar y consolidar los costos asociados a los recursos técnicos, humanos y operativos requeridos para su desarrollo. Este análisis facilitó la correcta planificación financiera y aseguró la viabilidad económica de las actividades ejecutadas.

Tabla 1

Presupuesto Proyecto

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	1 Persona por 9 Meses	\$ 10.000.000
Equipos y Software	PC, Software GNS3	\$ 3.000.000
Materiales y Suministros	Libros Virtuales Mikrotik	\$ 500.000
Total		\$ 13.500.000

Nota. Presupuesto total del proyecto de acuerdo al tiempo de elaboración.

Instrumentos de Recolección de Información

Para garantizar un diagnóstico preciso del estado actual de la red y medir el impacto de la implementación del protocolo OSPF, se utilizaron los siguientes instrumentos:

Herramientas de Administración de MikroTik (Winbox y CLI)

Permitieron acceder a la configuración de los routers, revisar tablas de enrutamiento, generar pruebas y realizar la documentación técnica de levantamiento de información, generando diagramas de topología y registros de inventario de clientes y enlaces.

Herramientas de Diagnóstico

Se utilizaron las siguientes herramientas de diagnóstico propias de MikroTik RouterOS y externas para la verificación del estado de la red.

Ping: para medir latencia y pérdida de paquetes.

Traceroute: para identificar la rutas y analizar posibles rutas asimétricas.

Bandwidth test: para validar el throughput real de los enlaces.

Interfaz de gestión de radios Mimosa: utilizada para evaluar parámetros como potencia, ancho de canal, niveles de señal (RSSI), relación señal-ruido (SNR) y modulación activa.

Simulador GNS3: herramienta empleada para replicar la topología de red, simular escenarios de migración a OSPF y validar la formación de adyacencias antes de la implementación en la red real.

Estos instrumentos aportaron evidencia objetiva sobre el comportamiento de la red y permitieron contrastar los resultados obtenidos en las pruebas de campo con la simulación, garantizando así la validez de la información recopilada.

Técnicas de Análisis de Datos y Procesamiento en el Análisis de Datos

El análisis de datos en este proyecto se enfocó en validar la efectividad del rediseño de la red bajo OSPF, a partir de la comparación entre el estado inicial (configuración estática) y el estado final (implementación dinámica). Para ello se emplearon técnicas de carácter cuantitativo y cualitativo.

Técnicas de Análisis de Datos

Análisis comparativo de métricas de red: Se evaluaron parámetros técnicos como latencia, pérdida de paquetes, throughput y estabilidad de enlaces antes y después de la migración a OSPF.

Análisis documental: Se contrastaron las configuraciones estáticas existentes con los nuevos parámetros definidos en OSPF, verificando la coherencia en el direccionamiento, la jerarquización de áreas y la redundancia.

Pruebas de Simulación: Los resultado obtenidos en GNS3 se compararon con los de la

red real para validar la correspondencia de escenarios.

Observación Directa: Durante la fase de implementación se recopilamos registros de desempeño de la red, detectando patrones de falla o mejoras tras la migración.

Procesamiento de los Datos

Los resultados obtenidos de ping, traceroute y bandwidth test se consolidaron en tablas comparativas y gráficas que permitieron visualizar las diferencias de desempeño.

Se establecieron valores de referencia con la red estática, los cuales fueron contrastados con las mediciones posteriores a la implementación de OSPF.

Los datos cualitativos (percepción de estabilidad, facilidad de administración, evidencia de fallos corregidos) fueron registrados en notas técnicas y comparados con los resultados cuantitativos.

Finalmente, la información se organizó en matrices que facilitaron la identificación de mejoras, deficiencias corregidas y posibles oportunidades de optimización.

Resultados y Discusión

Este capítulo presenta los resultados obtenidos durante la implementación del rediseño de la red de la empresa M.A.R.A., contrastando el estado inicial caracterizado en gran parte por direccionamiento estático, presencia de configuraciones en bridge y un uso limitado de segmentación frente al estado posterior a la migración hacia OSPF.

La propuesta no se limitó a la implementación del protocolo, sino que integró de manera complementaria el comisionamiento adecuado de los radioenlaces y la reorganización lógica de la red mediante subneteo. Estas acciones conjuntas garantizaron no solo la correcta operación de OSPF, sino también la reducción de dominios de broadcast, la mejora en la estabilidad de los enlaces y una administración más organizada de la infraestructura.

Análisis de la Información Recolectada

La información recolectada se agrupó en cuatro categorías principales:

Resultados Cuantitativos. El rediseño de la red de la empresa M.A.R.A. permitió comprobar de manera objetiva los beneficios de migrar desde un esquema estático hacia una arquitectura dinámica basada en OSPF. Sin embargo, este proceso no se abordó de forma aislada, sino como parte de un conjunto de acciones complementarias que aseguraron la efectividad del resultado:

Migración a OSPF. La implementación de OSPF posibilitó una mejor gestión del enrutamiento, al automatizar la propagación de rutas, mejorar la convergencia ante fallos y reducir la dependencia de configuraciones manuales. Esto se tradujo en una administración más eficiente y escalable de los servicios.

Comisionamiento y Mantenimiento de Radioenlaces. Para garantizar la estabilidad de OSPF, se ejecutó un proceso exhaustivo de verificación en la capa física: ajustes de potencia, selección adecuada de canales, actualización de firmware y pruebas de rendimiento en radios Mimosa. Con ello se redujo la variabilidad en latencia y se aseguró la confiabilidad de los enlaces inalámbricos, que constituyen la base del transporte de datos en áreas rurales.

Segmentación de la Red (Subneteo y VLSM). La reorganización lógica de la red eliminó la topología plana basada en bridge, reemplazándola por un diseño jerárquico con dominios de broadcast controlados y direccionamiento escalable. Esto permitió optimizar el uso de direcciones IP, mejorar la detección de fallos.

Resultados Cualitativos. Orientados a la percepción de mejoras en estabilidad, facilidad de administración y organización de la red, se identificaron hallazgos cualitativos que refuerzan la efectividad del rediseño de la red y complementan el análisis técnico.

Facilidad de Gestión y Administración. La migración a OSPF redujo la complejidad operativa asociada a la configuración estática, permitiendo que las rutas se ajusten automáticamente y se disminuyan tanto los tiempos de respuesta ante fallos, como la administración.

Estabilidad Percibida en la Operación. Los ajustes de comisionamiento en los radioenlaces contribuyeron a mejorar la confiabilidad del transporte de datos, reduciendo las interrupciones y manteniendo niveles de servicio más estables.

Estructuración Lógica más Ordenada. La segmentación de la red mediante subredes reemplazó la topología plana, facilitando el control de dominios de broadcast mejorando la calidad de servicio.

Valor Replicable en Contextos Rurales. Este proyecto ofrece una guía valiosa para pequeños emprendedores, demostrando cómo evolucionar de redes básicas a infraestructuras estables y escalables incluso con recursos limitados. La combinación de OSPF, mantenimiento adecuado de radioenlaces y una buena segmentación de red se convierte en una solución replicable para quienes buscan crecer de manera estructurada.

Resultados del Piloto. Obtenidos de la implementación progresiva de OSPF, primero en entornos simulados (GNS3) y luego en la red real.

El piloto del proyecto se ejecutó con el propósito de validar el rediseño propuesto antes de su implementación completa en la red de la empresa M.A.R.A. Este proceso incluyó tres fases: simulación en GNS3, migración progresiva en segmentos de la red real y despliegue total.

Cada fase permitió verificar el levantamiento de vecindades OSPF, la propagación de rutas y la estabilidad operativa de los enlaces.

La Tabla 2 demuestra que el piloto no solo validó el funcionamiento de OSPF, sino que también mostró la importancia de una implementación por etapas.

Gracias a la simulación previa, la migración progresiva y el despliegue final, se logró minimizar riesgos y asegurar la continuidad del servicio.

Tabla 2

Fases y Resultados del Piloto.

Fase	Descripción	Resultados Observados
Simulación en GNS3	Replicación de la topología con routers Mikrotik virtualizados, configuración de áreas y métricas OSPF.	Validación de propagación de rutas, formación de vecinos y reconvergencia automática ante fallos.
Migración progresiva en campo	Implementación gradual en segmentos de la red real, manteniendo rutas estáticas de respaldo.	Estabilidad en la transición, integración controlada de OSPF y rutas estáticas, reducción de riesgos de interrupción.
Despliegue en campo	Integración completa de OSPF en la red de M.A.R.A., con todos los nodos en operación.	Vecindades estables, redistribución correcta de rutas y conmutación ante fallos en pocos segundos, imperceptibles a los usuarios.

Nota. Resumen general de resultados OSPF.

Análisis Estratégico Mediante la Matriz DOFA. Permitió identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del proyecto, en el estado inicial se identificó que la red combinaba segmentos con cierta organización lógica y otros configurados en modo bridge sin separación de dominios de broadcast.

Esta situación, sumada al direccionamiento estático y a la ausencia de protocolos de enrutamiento dinámico, generaba limitaciones en escalabilidad y complejidad en la administración.

El rediseño con OSPF, complementado con un correcto comisionamiento de radioenlaces y una segmentación mediante subneteo, permitió crear una infraestructura más robusta y manejable, estableciendo un modelo replicable para entornos rurales.

En la Tabla 3 se presentan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas identificadas durante el rediseño de la red.

Tabla 3

Matriz DOFA del rediseño de red M.A.R.A.

Fortalezas	Oportunidades
Migración de rutas estáticas a OSPF, reduciendo carga administrativa y errores manuales.	Crecimiento sostenido de la demanda de conectividad en zonas rurales.
Comisionamiento de radioenlaces, mejorando la estabilidad y reduciendo caídas e intermitencias.	Posibilidad de integrar QoS, VPN y gestión centralizada.
Uso eficiente de equipos Mikrotik existentes.	Acceso a programas de financiación y apoyo estatal.
Segmentación lógica con VLSM/subneteo, evitando dominios de broadcast y optimizando rendimiento.	Avances en tecnologías inalámbricas (ej. radios Mimosa con mayor capacidad).
Redundancia y rápida recuperación automática ante fallos de enlaces.	Creciente interés de pequeños ISPs por modelos replicables.

Nota. Matriz de fortalezas y oportunidades.

Tabla 4

Matriz DOFA del rediseño de red M.A.R.A.

Debilidades	Amenazas
Dependencia de personal especializado para administrar OSPF.	Interferencias en radioenlaces por operar en bandas no licenciadas.

Debilidades	Amenazas
Limitaciones de presupuesto para renovar equipos a mediano plazo.	Competencia de grandes operadores con infraestructura más robusta.
Ausencia de un sistema de gestión centralizada para automatizar monitoreo y configuración.	Factores ambientales (lluvias intensas, tormentas eléctricas) que afectan la continuidad de los enlaces.
Migración aún parcial en algunos segmentos de la red, generando inconsistencias temporales.	Cambios regulatorios que limiten la operación en zonas rurales.

Nota. Matriz de debilidades y amenazas.

Cumplimiento de los Objetivos Específicos

El desarrollo del proyecto permitió dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados, de la siguiente manera.

Diagnosticar la red actual mediante pruebas de conectividad, análisis de topología y evaluación del rendimiento, identificando fallas y limitaciones técnicas.

Se realizó un levantamiento detallado de la infraestructura de la empresa M.A.R.A., identificando los nodos principales, enlaces de fibra y radio, así como las configuraciones en uso.

Con pruebas de latencia, throughput, traceroute y bandwidth test se detectaron fallas de conectividad, saturación de enlaces e inconsistencias en las tablas de enrutamiento. Este diagnóstico permitió evidenciar la necesidad de migrar hacia un esquema más escalable.

Proponer un rediseño lógico de la red (OSPF), incorporando segmentación, organización jerárquica y control de dominios de broadcast, conforme a buenas prácticas de ingeniería de redes.

Se diseñó una arquitectura optimizada que incluyó segmentación con VLSM, organización jerárquica de áreas OSPF y control de dominios de broadcast. Estas medidas

redujeron la complejidad administrativa, facilitaron la gestión de tráfico y mejoraron la estabilidad general de la red.

Reconfigurar los túneles de interconexión para utilizar direcciones de loopback, garantizando estabilidad ante fallos físicos y compatibilidad con la nueva arquitectura OSPF: Como parte de la implementación, se actualizaron las configuraciones de los túneles de interconexión entre nodos. Las direcciones de loopback se emplearon como interfaces lógicas, asegurando continuidad en el enrutamiento aún en caso de caídas físicas en los enlaces.

Realizar pruebas de validación operativa, incluyendo simulación de fallos, análisis de rutas, evaluación de latencia, throughput y comportamiento de conmutación:

En el entorno de GNS3 se replicó la topología de red, validando la correcta propagación de rutas OSPF, la formación de adyacencias y la conmutación ante fallos simulados. Posteriormente, en la red real se verificó la estabilidad de vecinos OSPF, la mejora en la latencia y el incremento del throughput luego de los ajustes de comisionamiento de radioenlaces.

Documentar los resultados y generar recomendaciones técnicas, con el fin de facilitar la réplica del modelo en redes similares de pequeños operadores en zonas rurales:

Se consolidó la evidencia documental del proyecto, incluyendo configuraciones, capturas de simulación y pruebas de rendimiento. Además, se elaboraron lineamientos técnicos que pueden servir como guía para otros pequeños operadores que busquen implementar OSPF y buenas prácticas de segmentación en redes híbridas.

Discusión.

Los resultados obtenidos en la migración de la red de la empresa M.A.R.A. confirman la importancia de implementar un protocolo de enrutamiento dinámico como OSPF en entornos rurales. Si comparamos como se encontraba la red al inicio, basado en rutas estáticas y

segmentación limitada en algunas partes, con la red optimizada, se evidenció una reducción significativa en la latencia y la pérdida de paquetes, así como un incremento en el throughput y la confiabilidad de los enlaces.

Estas pruebas coinciden con lo expuesto en el marco teórico, donde OSPF se describe como un protocolo con la robustez y flexibilidad necesarias para responder a los cambios de la topología, asimismo, el comisionamiento de radioenlaces jugó un papel fundamental en la estabilidad general del sistema. permitiendo reducir las intermitencias, lo cual contribuyó el adecuado funcionamiento del protocolo.

Esto confirma la necesidad de integrar el mantenimiento de la capa física y de transporte como parte esencial de cualquier red dinámica. Por otra parte, la reorganización lógica mediante Subneteo y VLSM mejoro la gestión y administración de la red, sumando la reducción del dominio de broadcast.

En términos operativos, la simulación previa en GNS3 resultó estratégica, ya que permitió validar la formación de adyacencias OSPF, la propagación de rutas y la conmutación ante fallos antes de su implementación. Esto minimizó riesgos y facilitó una transición gradual, alineada con buenas prácticas de ingeniería de redes. Finalmente, el análisis DOFA mostró que, aunque la red rediseñada ofrece fortalezas como la escalabilidad, redundancia y opera con mayor eficiencia, persisten retos relacionados con la dependencia de personal capacitado y factores externos como las interferencias o mayores anchos de banda.

Estas consideraciones subrayan la necesidad de acompañar el diseño técnico con estrategias de formación continua y estar a la vanguardia de cualquier actualización tecnológica. En conclusión, la discusión refleja que el proyecto no solo alcanzó sus objetivos técnicos, sino que también aporta un modelo replicable para pequeños operadores en entornos rurales,

integrando el diseño jerárquico, la gestión dinámica con OSPF y el mantenimiento sistemático de radioenlaces como un conjunto de pauta a seguir.

Evidencias del Desarrollo del Proyecto

Esta sección presenta las evidencias técnicas recolectadas, incluyen simulaciones en entornos virtuales, configuraciones implementadas en los dispositivos de red, procesos de comisionamiento de radioenlaces y pruebas de rendimiento. El propósito de este es documentar de manera organizada las acciones realizadas y los resultados técnicos observados.

Fase 1 Diagnóstico de la Red Actual

Con el objetivo de evaluar el comportamiento real de la red en operación, se ejecutaron las siguientes pruebas desde los routers centrales (CCR-YO y CCR-GA).

Traceroute Bidireccional. Se realizaron trazas de rutas hacia clientes y nodos remotos, analizando cada salto en ambos sentidos para confirmar consistencia entre la topología real y la esperada, estas pruebas permitieron validar que el tráfico siguiera los caminos diseñados.

Figura 10

Comparación Bidireccional de Saltos, (Subida y Bajada), Nodo VEN.

NOD VEN							
CLIENTE	RUTA	SALTO 1	SALTO 2	SALTO 3	SALTO 4	SALTO 5	NODO ITX
ECP FLO PPAL	UPSTREAM	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.30.115	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.30.113	192.168.20.9	192.168.33.161	N/A	N/A	
ECP FLO BCK	UPSTREAM	10.169.47.37	192.168.20.35	192.168.30.75	N/A	N/A	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.30.73	192.168.20.35	10.169.47.38	N/A	N/A	
ODL ARA	UPSTREAM	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.31.11	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.9	192.168.20.9	192.168.33.161	N/A	N/A	
CPSA MAN BCK	UPSTREAM	10.169.47.37	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.20.91	N/A	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.20.89	192.168.20.9	192.168.33.161	10.169.47.38		
UH ECP VEN BCK	UPSTREAM	10.169.47.37	192.168.20.35	N/A	N/A	N/A	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.20.33	10.169.47.38				
UH ECP VEN UHF PPAL	UPSTREAM	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.20.182	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.20.181	192.168.20.9	192.168.33.161			

Nota. Comando traceroute para cliente que dependen de nodo VEN.

Figura 11

Saltos Subida y Bajada Nodo CUP.

NOD CUP							
OCSA CUP	UPSTREAM	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.20.59	192.168.30.219	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.30.217	192.168.20.57	192.168.20.9	192.168.33.161		
ECP CER BCK	UPSTREAM	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.20.59	192.168.30.35	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.30.33	192.168.20.57	192.168.20.9	192.168.30.161		
UH CUP PPAL	UPSTREAM	192.168.33.162	192.168.20.11	192.168.20.59	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.20.57	192.168.20.9	192.168.33.161			
UH CUP BCK	UPSTREAM	10.169.47.37	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.20.198	192.168.20.65	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.20.63	192.168.20.197	192.168.20.113	192.168.20.33	10.169.47.38	

Nota. Comando traceroute para cliente que dependen de nodo CUP.**Figura 12**

Saltos Subida y Bajada Nodo ALT.

NOD ALT							
CEP MAN PPAL	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.20.75	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.20.73	192.168.20.113	192.168.20.33			
OCSA POR	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.20.227	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.20.225	192.168.20.113	192.168.20.33			
OCSA CAR	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.30.3	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.30.1	192.168.20.113	192.168.20.33			
CENT POR PPAL	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.30.179	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.30.177	192.168.20.113	192.168.20.33			
UH ALTO PPAL	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	N/A	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.20.113	192.168.20.33				
UH ALTO BCK	UPSTREAM	10.169.47.37	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.89	192.168.20.147	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.20.145	192.168.31.87	192.168.31.33	10.169.47.85	10.169.47.38	
CENT ALTO POR BCK	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.20.198	192.168.31.251	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.249	192.168.20.197	192.168.20.113	192.168.20.33		
OL CUS	UPSTREAM	192.168.20.35	192.168.20.115	192.168.20.198	192.168.31.131	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.129	192.168.20.197	192.168.20.113	192.168.20.33		
CENT UP	UPSTREAM	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.89	192.168.20.187	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.20.185	192.168.31.87	192.168.31.33	10.169.47.85		
ECP CER PPAL	UPSTREAM	10.169.47.37	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.89	N/A	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.31.87	192.168.31.33	10.169.47.85	10.169.47.38		
TG MOMT	UPSTREAM	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.89	192.168.31.83	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.81	192.168.31.87	192.168.31.33	10.169.47.85		
CAS LKR	UPSTREAM	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.89	192.168.31.163	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.161	192.168.31.87	192.168.31.33	10.169.47.85		

Nota. Comando traceroute para clientes que dependen de nodo ALT.

Figura 13

Salto Subida y Bajada Nodo BUEN y MON.

NOD BUEN							
CENT MONT	UPSTREAM	10.169.47.86	192.168.30.43	192.168.31.115	192.168.31.110	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.109	192.168.31.113	192.168.30.41	10.169.47.85		
OD MON	UPSTREAM	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.43	N/A	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.41	192.168.31.33	10.169.47.85			
CENT ALT PPAL	UPSTREAM	10.169.47.37	10.169.47.86	192.168.30.43	192.168.31.123	N/A	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.31.121	192.168.30.41	10.169.47.85	10.169.47.38		
OD JAG	UPSTREAM	10.169.47.37	10.169.47.86	192.168.31.35	192.168.31.27	N/A	YOPAL
	DOWNSTREAM	192.168.31.25	192.168.31.33	10.169.47.85	10.169.47.38		
NOD MON							
CENT-POR- BCK	UPSTREAM	10.169.47.37	10.169.47.86	192.168.30.11	N/A	N/A	GAITAN
	DOWNSTREAM	192.168.30.3	10.169.47.85	10.169.47.38			

Nota. Comando traceroute para clientes de nodo BUEN y MON.

Se encontraron dos casos de comportamiento asimétrico del tráfico de red entre los nodos de origen y destino durante el diagnóstico operativo. Esto se observó al comparar los flujos en la dirección de ida y vuelta, mostrando diferencias en las tablas de enrutamiento en los equipos involucrados, la situación puede llevar a los siguientes efectos técnico.

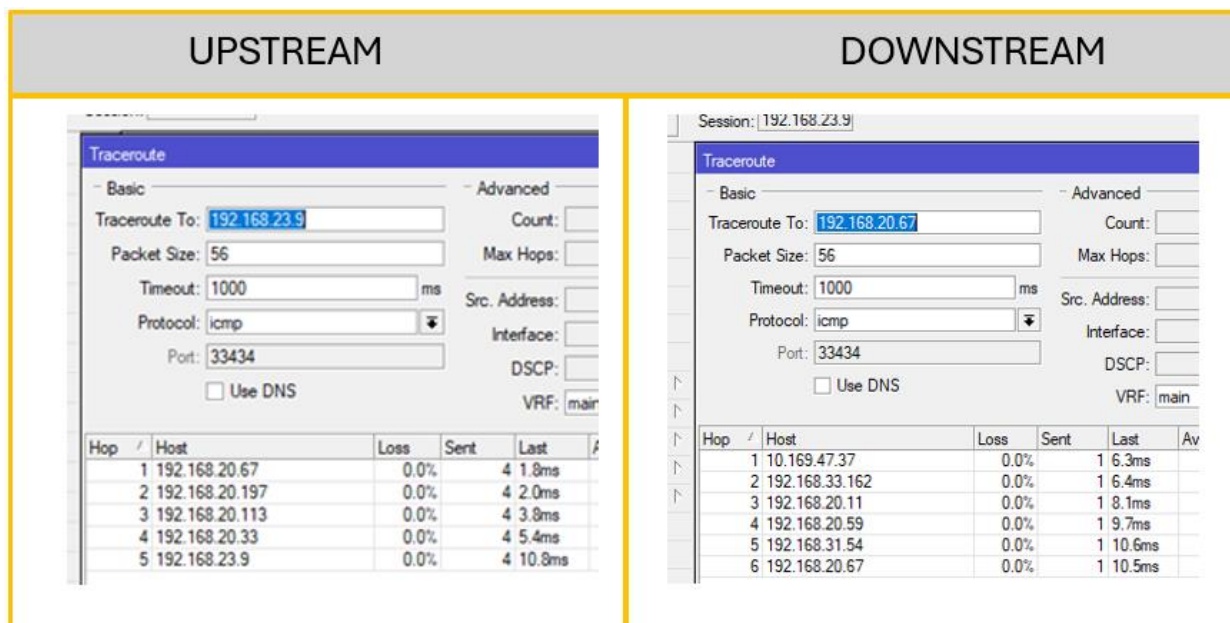
Reducción del Rendimiento. Como los flujos correspondientes a rutas aleatorias no siguen la misma ruta, las rutas pueden tener diferentes latencias y causar pérdida de paquetes.

Limitaciones en los medios de diagnóstico. Las herramientas de monitoreo y diagnóstico (es decir, ping y traceroute) convergen, ya que esta solución no tiene la simetría tradicional (como, por ejemplo, se puede encontrar a nivel de red), y puede ser difícil localizar perfectamente las fallas.

Cuellos de botella: En algunos enlaces una dirección está cerca de saturarse y esta propiedad no se refleja bien en el monitoreo estándar.

Figura 14

Traceroute de Rutas Asimétricas Detectadas.



Nota. Las pruebas fueron efectuadas entre el Origen UH-Cup-Bck – Destino CCR-GA.

Pruebas de Conectividad y Medición de Capacidad. Las pruebas fueron efectuadas con el fin de validar que los enlaces troncales soporten el tráfico agregado en escenarios de alta demanda, identificando posibles cuellos de botella o degradación del servicio, los datos tomados se basaron en pruebas ping con aumento paulatinamente de throughput, mediante la herramienta Bandwidth Test de MikroTik, generando tráfico UDP bidireccional, alienado con los estándares RFC 2544 y se espera que el RTT promedio esté por debajo de 15 ms para enlaces con menos de 2 saltos, en enlace de 3 a 6 saltos puede aumentar hasta 20–30 ms, dependiendo de la interferencia y el número de retransmisiones.

La elección de 1500 bytes también permite detectar enlaces con MTU mal configurado, lo que puede provocar fragmentación o pérdida.

Las pruebas se realizaron en momentos de tráfico medio para evitar falsos positivos por saturación ocasional, esta metodología permitió priorizar la verificación de enlaces cuya utilización se aproximaba al 90% de su capacidad, identificando proactivamente riesgos de congestión.

Tabla 5

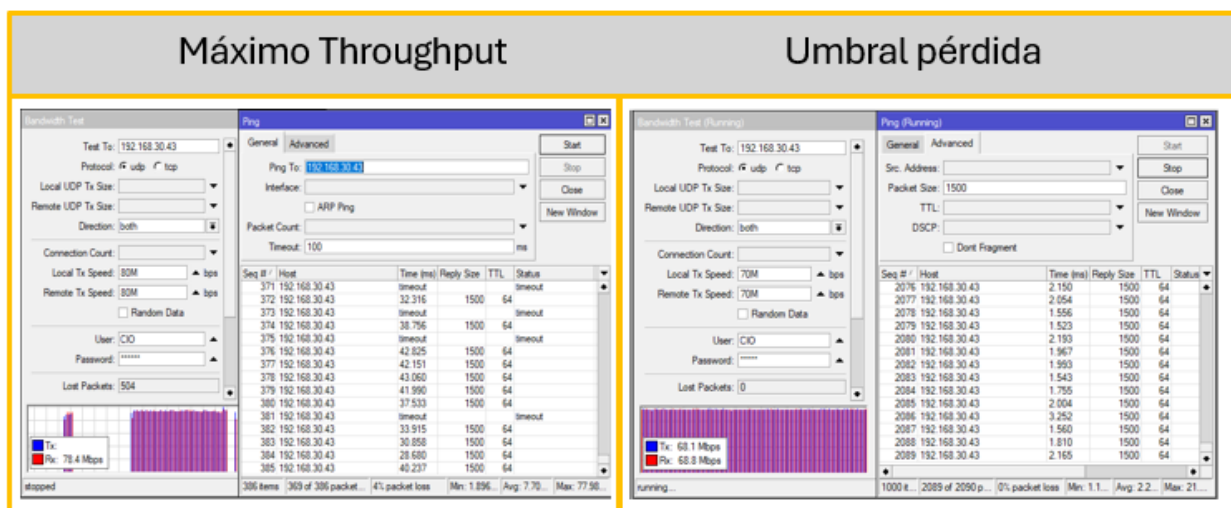
Parámetros Métrica Ping.

Métricas (ping)		Latencia			Pérdidas
Timeout	Packet size	Mínimo	Promedio	Máximo	
100	1500	18 ms	22 ms	≥50	>1%

Nota. Valores tomados como referencia para enlaces microondas no licenciados.

Figura 15

Pruebas Enlace RB-BUI Vs CCR-MO



Nota. El máximo throughput del enlace (70M), antes que inicien las pérdidas del > 1 %.

Resultados Técnicos de Enlaces Troncales. Las pruebas con la herramienta de prueba de ancho de banda de Mikrotik y la utilidad de ping extendido proporcionaron métricas sobre el

rendimiento de los enlaces troncales, para estas mediciones se determinaron aspectos que influyen en la calidad del servicio tales como:

Aumento de la latencia con tiempos de respuesta variables, pero inestables al mismo tiempo, degradando la calidad de los servicios.

Pérdidas durante flujo de tráfico alto afectando la eficiencia de protocolos como TCP, que dependen de obtener datos correctos (Tanenbaum & Wetherall, 2011).

Congestión de rutas críticas donde se observó que los enlaces al límite de capacidad se convertían en enlaces con saturación que comprometían el rendimiento de toda la red, especialmente durante las horas pico de demanda (Bradner & McQuaid, 1999).

Figura 16

Relación Bandwitch Test entre Troncales.

TRONCAL A	VS	TRONCAL B	BW ESPERADO	BW SOPORTADO	ESTATUS
RB-CU-01	VS	RB-VE-01	100	130	PASA
RB-CU-02	VS	RB-AL-03	100	110	PASA
RB-AL-02	VS	RB-BU-02	90	120	PASA
RB-AL-01	VS	RB-VE-02	90	100	PASA
RB-BU-01	VS	CCR-MO	120	70	FALLA
RB-BU-02	VS	CCR-MO	120	150	PASA
RB-BU-01	VS	RB-RIO-01	100	70	PASA
CCR-YO	VS	RB-YO-01	150	160	PASA
RB-YO	VS	RB-VE-01	150	170	PASA

Nota. Al final se agrega el estatus de acuerdo con el resultado obtenido.

Causas técnicas identificadas. Teniendo en cuenta el rendimiento, la latencia y la estabilidad en los enlaces troncales, potenciales para el bajo rendimiento.

La congestión de canales debido a equipos en banda libre (5 Ghz), interferencia por

solapamiento entre canales RF adyacentes, resulta en pérdidas de señal y degradación de la capacidad (Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT-R], 2019).

La mala alineación a nivel inalámbrico causa bloqueo de señal y disminución de la modulación, ambos afectan directamente la eficiencia del enlace (Mimosa Networks, 2020).

La utilización de canales superpuestos, canales demasiado anchos (por ejemplo, 80 MHz en entornos altamente congestionados) o configuraciones incorrectas de niveles de potencia pueden perjudicar el rendimiento del usuario y aumentar las tasas de error (IEEE, 2016).

El uso de versiones obsoletas del sistema de radio puede llevar a inestabilidad, problemas de compatibilidad (MikroTik, 2022).

Daños físicos, por ejemplo, si un conector, cable de red, fuente de alimentación o antena falla, esto puede resultar en errores esporádicos, pérdida de paquetes o desconexiones causadas por un microcorte.

Cuando los puertos de red configurados en modo automático negocian incorrectamente la velocidad, por ejemplo, un puerto Gigabit que se establece en 100 Mbps o incluso 10 Mbps se generan colisiones, retransmisiones de datos y una significativa reducción de velocidad (Cisco, 2020).

Limitación por CPU, los dispositivos que suministran procesamiento pueden verse impedidos de prestar servicios por una alta carga, típicamente experimentada como latencias inconsistentes, pines perdidos o disponibilidad parcial del servicio.

Puede ocurrir un apagado aleatorio cuando se expone a condiciones ambientales severas (sobrecalentamiento) durante la operación.

Esta serie de condiciones justifican una parte significativa de las fallas detectadas en los enlaces disponibles y esto se discutirá en la siguiente sección, utilizando un protocolo de

verificación técnica estructurada.

Fase 2: Protocolo de comisionamiento

Con el fin de mitigar las deficiencias detectadas durante las pruebas de rendimiento y establecer la viabilidad de cada enlace troncal en el rediseño de la red, se implementó un protocolo orientado a radioenlaces inalámbricos.

Este procedimiento, ejecutado de forma remota, permitió verificar las condiciones operativas, aplicar ajustes correctivos y determinar si cada enlace cumplía con los parámetros técnicos requeridos para ser integrado en la nueva arquitectura.

Tabla 6

Parámetros de Medición y de Referencia.

Parámetro	Descripción
RSL	Nivel de señal recibido. Valores óptimos típicos: entre -50 y -65 dBm.
CINR	Relación señal-interferencia-ruido. Mínimo aceptable: > 20 dB.
Modulación	Nivel de modulación. MCS bajos indican mala calidad del enlace.
Ancho canal	Se evalúa si el canal actual es apropiado o genera más ruido.
Retries	Aumento en retransmisiones indica enlaces inestables o mal alineados.
Firmware	Se valida que la versión esté actualizada a la recomendada.

Nota. Parámetros con base en Mimoso networks (2020).

Consideraciones y aclaración de los valores en la tabla presentada:

Verificación de niveles de señal, se prevé contrastar los valores actuales de RSL frente a los umbrales recomendados por el fabricante.

Se utilizó la herramienta spectrum analyzer incluida en el sistema operativo de los radios para identificar interferencias activas en la banda de operación.

Reducción del ancho de canal (por ejemplo, de 80 MHz a 40 o 20 MHz) en función del nivel de ruido detectado.

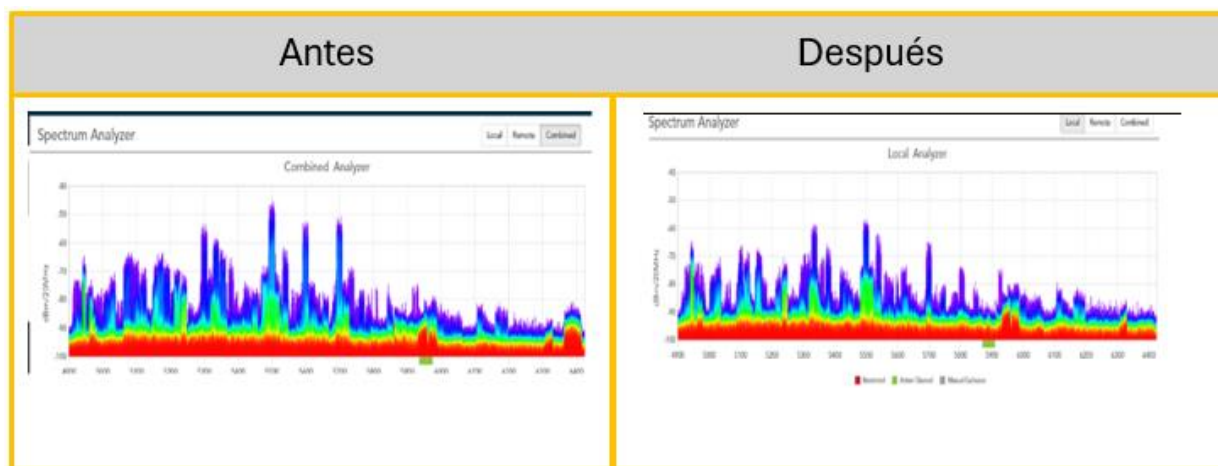
Reconfiguración del Esquema de Modulación (MCS), para lograr un equilibrio entre rendimiento y estabilidad, estos son automáticos y van relacionados con el nivel de RSL y SNR

Se considera necesaria la instalación de versiones estables y actualizadas del firmware, disponibles en el portal oficial de Mimosa.

El protocolo de comisionamiento permitió optimizar enlaces con bajo rendimiento, facilitar su reutilización en la red OSPF mejorando las condiciones inalámbricas, a continuación, se presentan los resultados de ajustes técnicos:

Figura 17

Análisis de Espectro, Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.



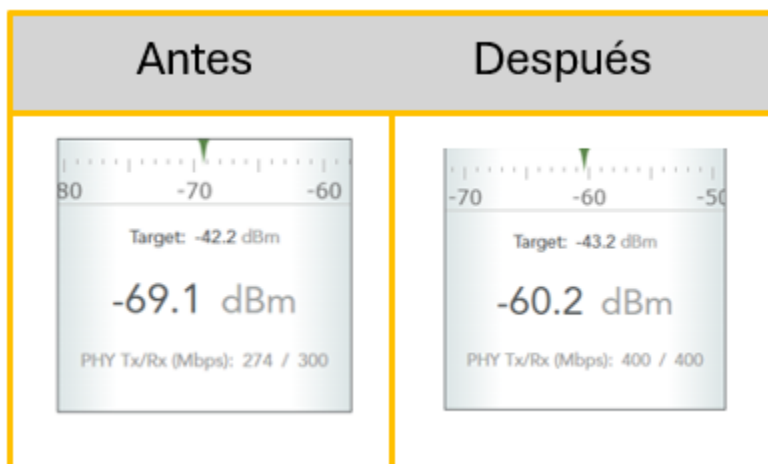
Nota. Se realizó movimiento de portadora a un lugar de menor contaminación (5890MHz).

El movimiento de frecuencia de acuerdo con la herramienta de analizar el espectro propietario del radio permitió identificar más ocupación e interferencia con la frecuencia seteada

actual, posterior a esto se cambia ubicando el centro de portadora en una con menor ruido, esto hizo que se pudiera tener mejor nivel de SNR, MCS y señal , gráficas que veremos más adelante.

Figura 18

Comparativo Nivel de Recepción Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.



Nota. El nivel mejora debido al cambio de frecuencia.

Figura 19

Comparativo Niveles CINR, Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.

Chain	Rx Power (dBm)	Rx Noise (dBm)	Rx Noise Max (dBm)	CINR (dB)	Cent	
1	-69.8	-91.9	-88.7	19		Antes 19-22 dB
2	-66.6	-91.9	-88.7	22		
						Después 25 dB
Chain	Rx Power (dBm)	Rx Noise (dBm)	Rx Noise Max (dBm)	CINR (dB)	Cent	
1	-64.0	-92.3	-89.5	25		
2	-64.6	-92.3	-89.5	25		

Nota. Con los cambios realizados se mejoró la portadora casi 6 dB.

Figura 20

Comparativa Parámetros (MCS) Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.

Stream	Tx Width (MHz)	Rx Width (MHz)	Tx PHY (Mbps)	Rx PHY (Mbps)	Rx SNR
1	7	40	150	6	40
2	7	40	150	6	40

Antes 6 y 7

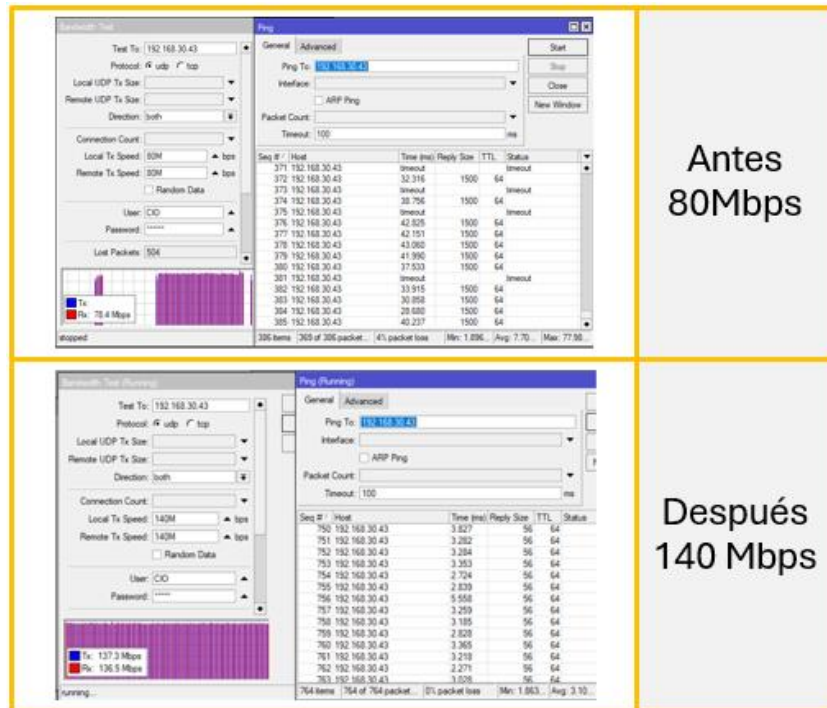
Stream	Tx Width (MHz)	Rx Width (MHz)	Tx PHY (Mbps)	Rx PHY (Mbps)	Rx SNR
1	9	40	199	9	40
2	9	40	199	9	40

Después 9

Nota. Los MCS mejoraron al cambiar la portadora y tener mejores niveles.

Figura 21

Comparativa Capacidad Throughput.



Nota. Mejora casi el doble de la capacidad gracias al comisionamiento.

Tabla 7*Resumen Post Comisionamiento.*

Métrica	Antes	Después
RSSI	-69 dBm	-60 dBm
CINR	19 dB	25 dB
Throughput	70 Mbps	140 Mbps
Interferencia	Media	Baja
MCS alcanzada	MCS6	MCS9

Nota. Enlace RB-BU-1 vs CCR.-MO.

Este diagnóstico servirá como base para la siguiente parte del proyecto, asegurando una comprensión más profunda de la red actual y permitiendo que se solucionen fallos específicos antes de desarrollar la nueva arquitectura basada en OSPF.

Con estos datos, el diseño se puede realizar sobre una base optimizada, confiable y técnicamente respaldada.

Fase 3 Diseño de la Arquitectura (Caminos definidos de la Transición a OSPF)

Se identificaron los enlaces donde se sustituirá el direccionamiento estático por enrutamiento dinámico, priorizando el ancho de banda en cada troncal, redundancia real mediante rutas independientes, evitando compartir tramos, exclusión de router finales del proceso OSPF, se utilizan interfaces pasivas en este caso y el criterio de diseño para la red es:

Definición del Área OSPF. Se definió una única Área 1, basada en una estrategia de crecimiento modular. Esta decisión se sustentó en la dimensión actual de la red (menos de 50 routers) y la localización geográfica concentrada, limitada a una región del departamento.

Está área funcionará como segmento inicial dentro de un esquema jerárquico más amplio, proyectado a futuro. Se prevé que otras áreas regionales se integren progresivamente a una área 0 central, que actuará como backbone del sistema OSPF, conforme al diseño jerárquico recomendado por el protocolo.

Asignación de Router ID (Loopback). Para asegurar estabilidad en la identificación de los routers, se definieron direcciones IP sobre interfaces loopback, únicas por equipo.

Figura 22

Listado direcciones Loopback RB Nodos.

ROUTER	IP	MÁSCARA
CCR-YO	10.1.1.1	255.255.255.255
RB-VE-02	10.1.1.2	255.255.255.255
RB-VE-03	10.1.1.3	255.255.255.255
RB-VE-01	10.1.1.4	255.255.255.255
RB-YO	10.1.1.5	255.255.255.255
RB-CU-02	10.1.1.7	255.255.255.255
RB-AL-01	10.1.1.8	255.255.255.255
RB-CU-01	10.1.1.12	255.255.255.255
RB-AL-02	10.1.1.13	255.255.255.255
RB-BU-01	10.1.1.14	255.255.255.255
RB-BU-02	10.1.1.27	255.255.255.255
CCR-MO	10.1.1.28	255.255.255.255
RB-AL-03	10.1.1.32	255.255.255.255
CCR-GA	10.1.1.81	255.255.255.255
RB-RIO	10.1.1.81	255.255.255.255
RB-GA	10.1.1.111	255.255.255.255

Nota. Se asigna dentro del rango de 10.1.0.0.

Tipo de Red en Interfaces Templates. Se optó por el tipo de red point-to-point (PTP) en las interfaces templates, ya que los enlaces únicamente conectan dos routers directamente, este tipo evita la necesidad de negociación de DR/BDR, lo cual es irrelevante en enlaces uno a uno y reduce el número de mensajes hello y LSAs, optimizando el desempeño del protocolo en enlaces inalámbricos, además, se definieron dos tipos de comportamiento para las interfaces.

Interfaces Pasivas (Passive: Yes). Aplicadas en interfaces hacia clientes (puntos finales), donde se desea anunciar la red conectada sin intercambiar paquetes OSPF.

Interfaces Activas (Passive: No). Usadas en los enlaces entre nodos OSPF, donde sí se establece intercambio de información de enrutamiento.

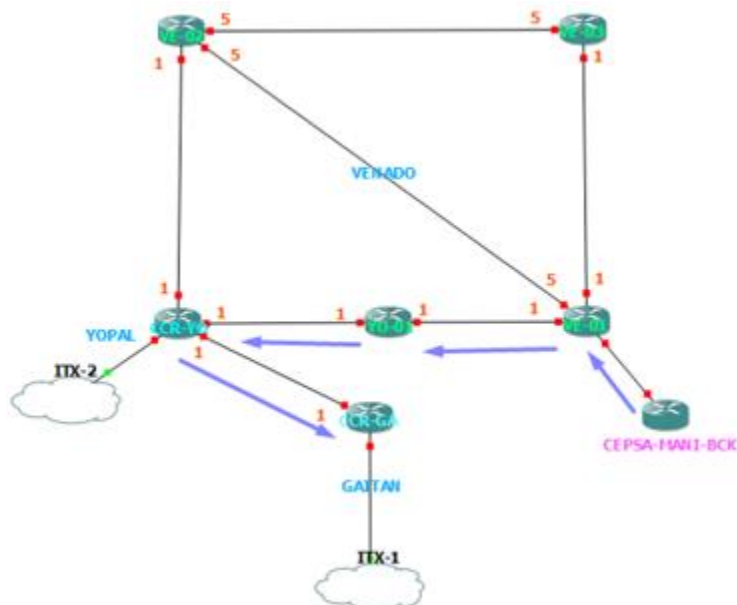
Planeación de Métricas de Costo. Se evaluaron los costos de cada enlace, tomando como referencia el comportamiento por defecto de mikrotik, donde se asigna un costo base de 1 para interfaces con velocidades de 100 Mbps o 1 Gbps.

En interfaces críticas se ajustarán métricas manualmente para forzar rutas preferidas, utilizando el comando `cost=` sobre cada interfaz OSPF, esto permitió visualizar y ajustar los caminos deseados para tráfico primario y secundario, asegurando rutas óptimas y redundancia.

La siguiente gráfica es un ejemplo para el caso de Cep-Man BCK:

Figura 23

Gráfica de Costos Cep-Man-Bck.



Nota: Ruta por el camino que tiene la sumatoria de los costos más bajos

Fase 4 Simulación en GNS3

Para validar el comportamiento del protocolo OSPF antes de su implementación en la red real, se utilizó el simulador de redes GNS3, una herramienta de laboratorio por su capacidad para emular redes mikrotik, utilizando el siguiente entorno de simulación.

Nombre de la VM GNS3 VM.

Sistema operativo Ubuntu (64-bit).

Memoria RAM asignada. 2048 MB.

CPU. 1 vCore.

Aceleración habilitada. AMD-V, PAE/NX, para virtualización KVM.

Controlador gráfico VMSVGA.

Este entorno permitió emular la topología real, configurar routers mikrotik virtualizados con las mismas versiones de routerOS utilizadas en campo, y realizar pruebas controladas de propagación de rutas, detección de vecinos y conmutación automática ante fallas simuladas.

A continuación, relaciono entorno de red simulada en GNS3:

Configuración OSPF, se aplicaron las configuraciones planificadas.

Interfaces loopback, como router ID.

Área OSPF 1 definida como única área activa.

Interfaces tipo point-to-point para evitar elección de DR/BDR.

Interfaces pasivas hacia cliente para reducir tráfico OSPF innecesario.

Asignación de métricas, se ajustaron manualmente los costos por interfaz, simulando enlaces de distintas capacidades para forzar rutas preferenciales.

Pruebas de Conmutación y Convergencia. Se simularon fallas en enlaces principales y se validó la conmutación automática hacia rutas secundarias junto con los tiempos de convergencia con herramientas como `/routing ospf neighbor` y `/ip route print`, esto permitió:

La formación de adyacencias estables entre todos los routers participantes.

Las rutas OSPF se propagaron correctamente.

Las interfaces loopback funcionaron como interface lógica.

La conmutación ante fallos fue inmediata y funcional, validando la lógica de redundancia planificada.

Esta simulación cumple como preparatorio para el siguiente punto donde se documentará la implementación real en campo, incluyendo las capturas de pantalla (winbox, CLI y log de routers) que evidencien la formación de vecinos OSPF, rutas aprendidas y trazas.

La simulación, aunque fundamental, no reemplaza la verificación real en red., por ello, el despliegue en la infraestructura real se documentará con pruebas técnicas y evidencias que consolidan los hallazgos encontrados a lo largo de todo el trabajo sobre los nodos de comunicación de la red.

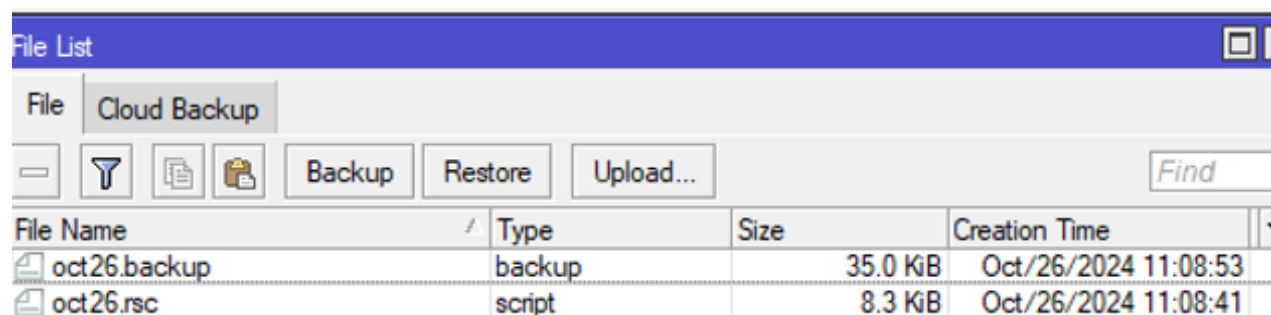
Fase 5 Implementación OSPF sobre Red Real

Respaldo previo de la configuración: antes de aplicar cualquier cambio, se procedió a realizar una copia de seguridad completa de la configuración existente en cada router, Este respaldo permite revertir cambios en caso de errores durante la migración.

Esta acción se ejecutó mediante la herramienta winbox.

Figura 26

Pantallazo Mikrotik Guardado Backup.



The screenshot shows the 'File List' window in Mikrotik WinBox. The window title is 'File List'. Below the title bar, there is a 'File' menu and a 'Cloud Backup' button. A toolbar contains icons for file operations and buttons for 'Backup', 'Restore', and 'Upload...'. A search box labeled 'Find' is on the right. The main area is a table with the following data:

File Name	Type	Size	Creation Time
oct26.backup	backup	35.0 KiB	Oct/26/2024 11:08:53
oct26.rsc	script	8.3 KiB	Oct/26/2024 11:08:41

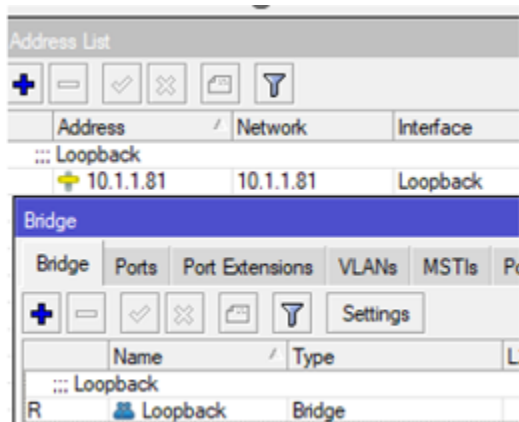
Nota. Ruta en Mikrotik: File list → Backup → Name → [apply].

Activación del Protocolo OSPF. El proceso de configuración se desarrolló en los siguientes pasos estructurados, aplicados de manera similar en todos los equipos involucrados.

Creación de Interfaz Loopback. En cada router, sobre un bridge virtual, y se le asignó una dirección IP previamente definida en el plan de diseño. Esta IP se utilizó como router ID, asegurando estabilidad en la identificación del router dentro del dominio OSPF.

Figura 27

Pantallazo Winbox, Address List y Bridge.

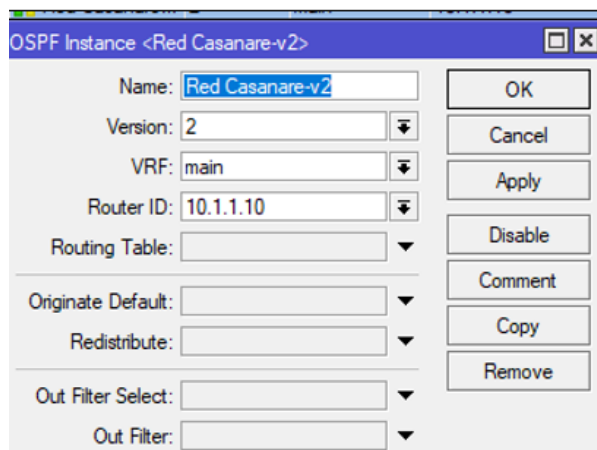


Nota. Ruta en winbox. Interfaces → Bridge → [+] → Crear Bridge Loopback → Apply.

Configuración de la Instance. Se mantuvo la redistribución de rutas en su estado predeterminado, ya que la red únicamente requiere intercambiar rutas OSPF entre los routers. De esta forma se evita anunciar información de enrutamiento innecesaria y se mantiene un esquema más ordenado y fácil de administrar, sin embargo, este punto de la configuración queda disponible para futuras ampliaciones de la red, en caso de que sea necesario redistribuir otros tipos de rutas. Adicionalmente, se asignó la dirección IP de la interfaz loopback como Router ID en la instancia OSPF. Esto permite contar con un identificador lógico estable para el router, evitando que el proceso de enrutamiento dependa del estado de las interfaces físicas.

Figura 28

Pantallazo Configuración OSPF Instance.

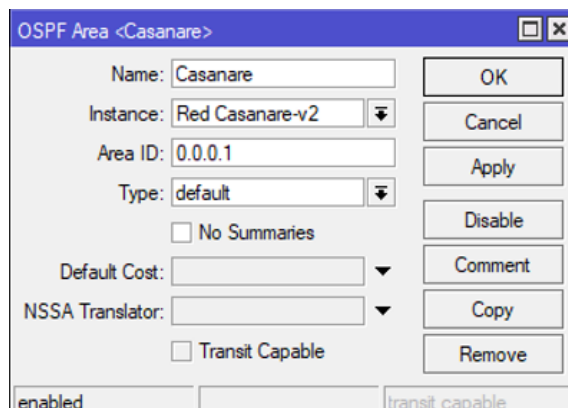


Nota: Elaboración propia. Ruta Mikrotik Routing → OSPF → Instances → [+].

Definición del Área OSPF. Se definió una única área denominada Área 1 (ID 0.0.0.1), como parte de la estrategia de crecimiento modular. Esta área está pensada para integrarse posteriormente a una Área 0 backbone, permitiendo escalar el dominio OSPF de forma jerárquica.

Figura 29

Pantallazo Configuración Área ID.



Nota. Ruta Mikrotik Routing → OSPF → Áreas → [+].

Declaración de Interface Templates. Para cada enlace se declararon las interfaces de red mediante templates y se definió el nombre de área (Casanare) y el tipo de red Point-to-Point (PTP), adecuado para enlaces directos entre dos routers (sin elección de DR/BDR).

Figura 30

Pantallazo Mikrotik Interfaces Templates.

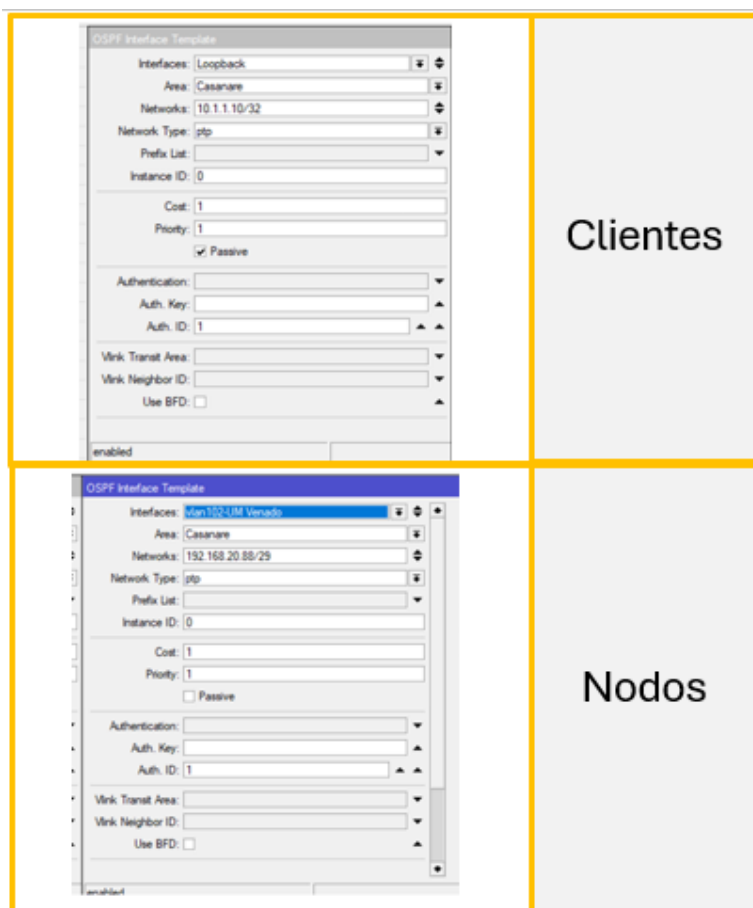
#	Interfaces	Area	Networks	Network Type	Cost	Priority	Auth
0	vlan102-UM Venado	Casanare-v2	192.168.20.88/29	ptp	1	1	1
1	Loopback	Casanare-v2	10.1.1.10/32	ptp	1	1	1

Nota: Ruta Mikrotik Routing → OSPF → Interface Templates → [+].

Además se diferenciaron dos tipos de comportamiento mostrados en la tabla 13, Esto optimiza el tráfico OSPF al evitar el envío de paquetes hello innecesarios y mejora la seguridad en los bordes de la red.

Figura 31

Interfaces Template, Asignación Propagación de Red.



Nota. La interface passive yes solo anuncia la red, sin habilitar es activa en OSPF.

Con la implementación del protocolo OSPF en todos los routers de la red troncal, quedó completada la migración desde esquemas estáticos.

A continuación, se procede a validar la funcionalidad y estabilidad del enrutamiento dinámico mediante herramientas de monitoreo, pruebas de conectividad y verificación de tablas de rutas.

Fase 6 Verificación Operativa y Monitoreo de Red

Tras la implementación del protocolo OSPF en los 13 routers principales de la red troncal se estableció un plan de verificación técnica para asegurar la correcta propagación de rutas, la

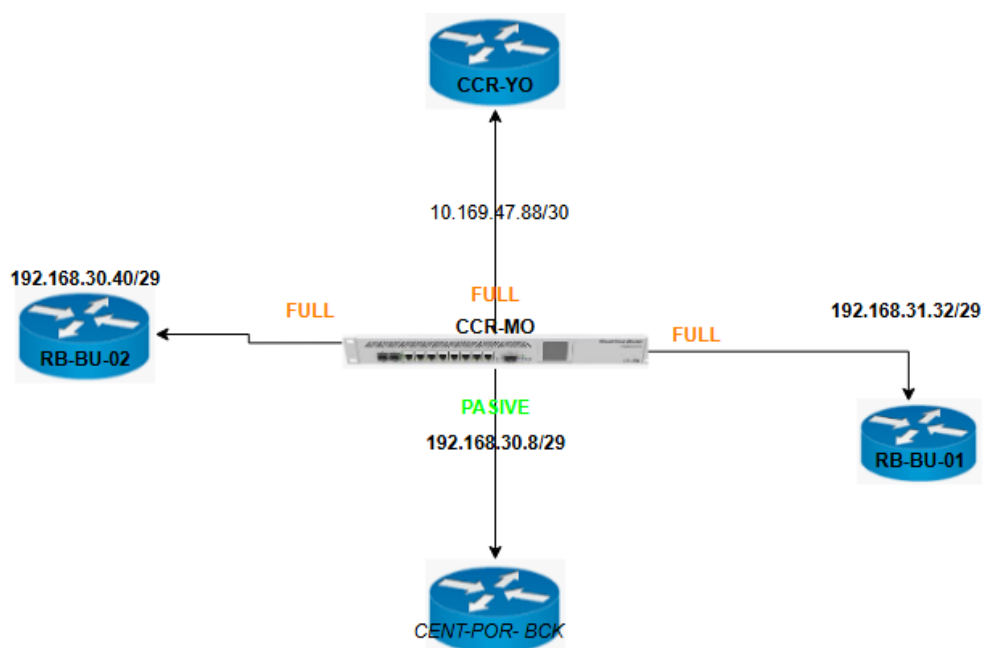
estabilidad de las adyacencias y la operatividad general del nuevo esquema de enrutamiento, las cuales fueron:

Verificación de Vecinos OSPF. Se comprobó que cada router formara adyacencia únicamente con sus vecinos directos, según lo previsto por la topología PTP, Los parámetros verificados fueron dirección IP destino, estado interfaz y ID del router remoto.

La siguiente imagen es del CCR-MO donde se muestra de acuerdo con la topología propuesta, sus adyacencias full con los vecinos a nivel de OSPF.

Figura 32

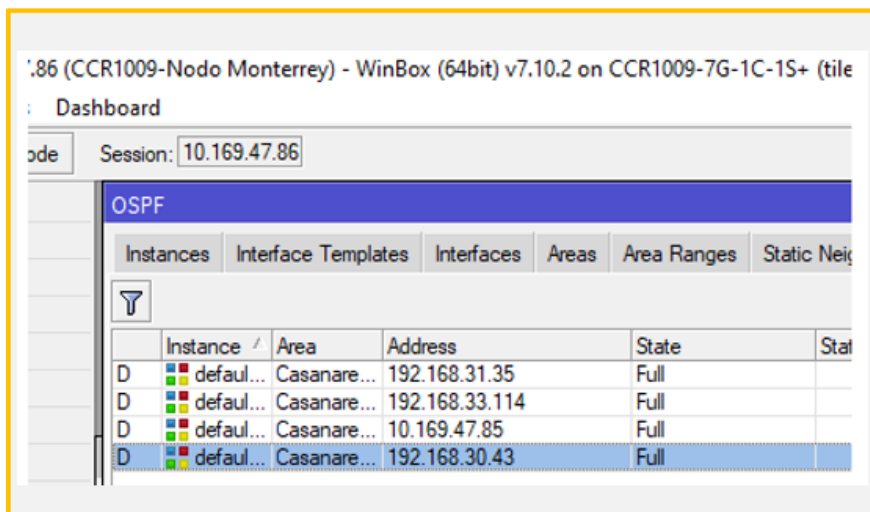
Pantallazo Diagrama Conexiones a CCR-MO.



Nota. Diagrama de un CCR nodo con sus adyacencias a nivel de OSPF.

Figura 33

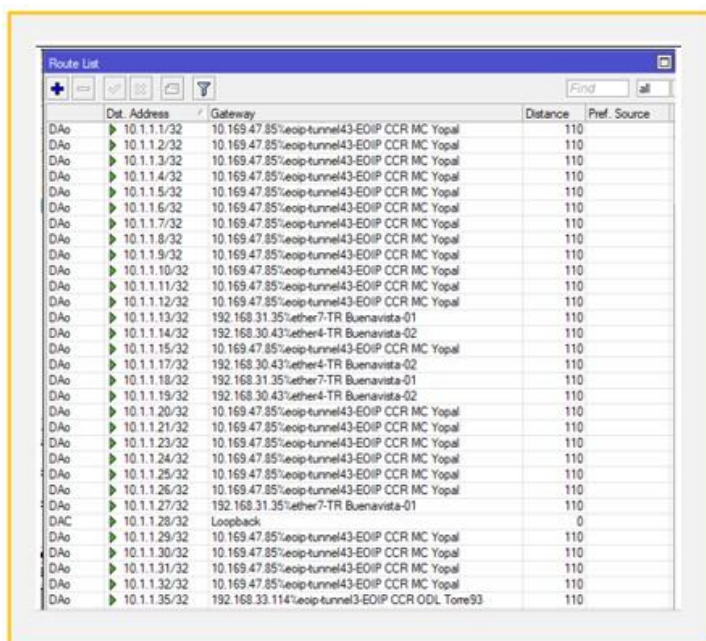
Pantallazo Winbox Estado OSPF.



Nota. Este estado se puede constatar mediante la pestaña OSPF neighbors donde se confirma que OSPF aprende las rutas dinámicamente.

Figura 34

Pantallazo Aprendizaje por OPSF "DAo"



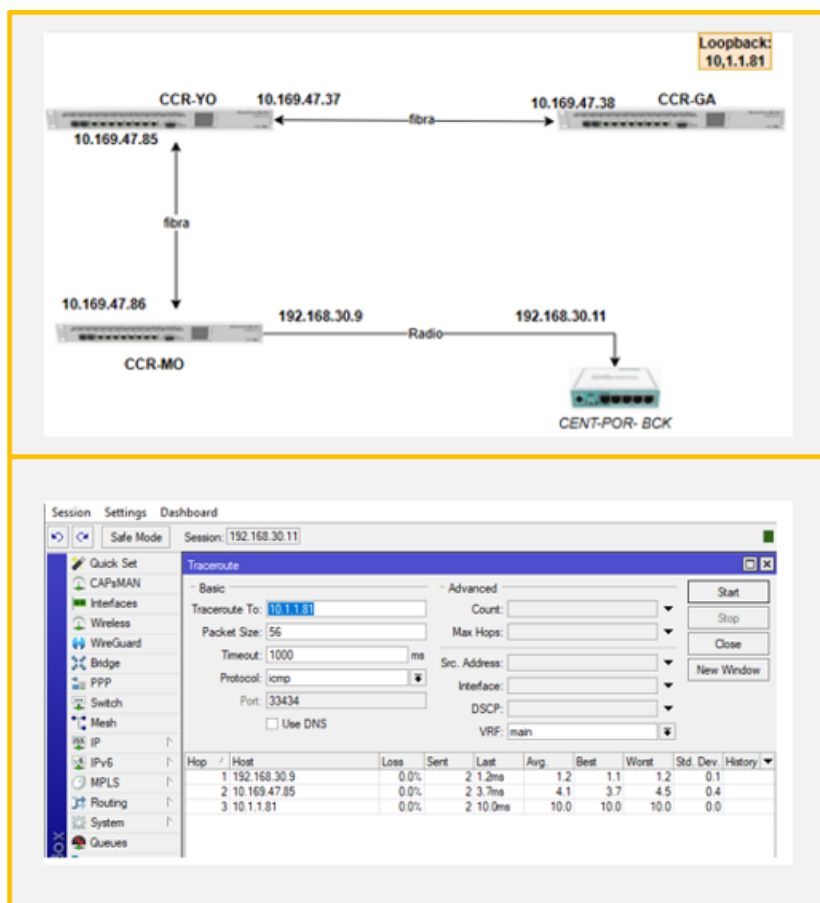
Nota. Pantallazo winbox donde se observa las rutas aprendidas en OSPF.

Verificación del Camino Óptimo con Traceroute. Con el comando traceroute, se certificó que el tráfico proveniente de cada cliente recorre los saltos definidos por el diseño, validando que el camino más corto efectivamente coincide con la menor sumatoria de costos OSPF configurados.

A continuación, se presenta la traza desde CENT-POR-BCK hasta CCR-GA sigue la ruta óptima aprendida dinámicamente por OSPF, adaptándose a cambios en la topología.

Figura 35

Diagrama y Pantallazo desde Cliente a Interconexión Final.



Nota. Cada salto corresponde a un router de la troncal, coincidiendo con el diseño y la métrica de costos.

Pruebas de Conectividad Extremo a Extremo con Ping. Como parte del proceso de

validación técnica posterior a la implementación del protocolo OSPF, se realizaron pruebas de conectividad extremo a extremo utilizando la herramienta ping desde nodos de interconexión hacia múltiples routers en diferentes zonas de la red, estas pruebas tuvieron el siguiente propósito:

El alcance efectivo de la red OSPF, confirmando la propagación de las rutas dinámicas.

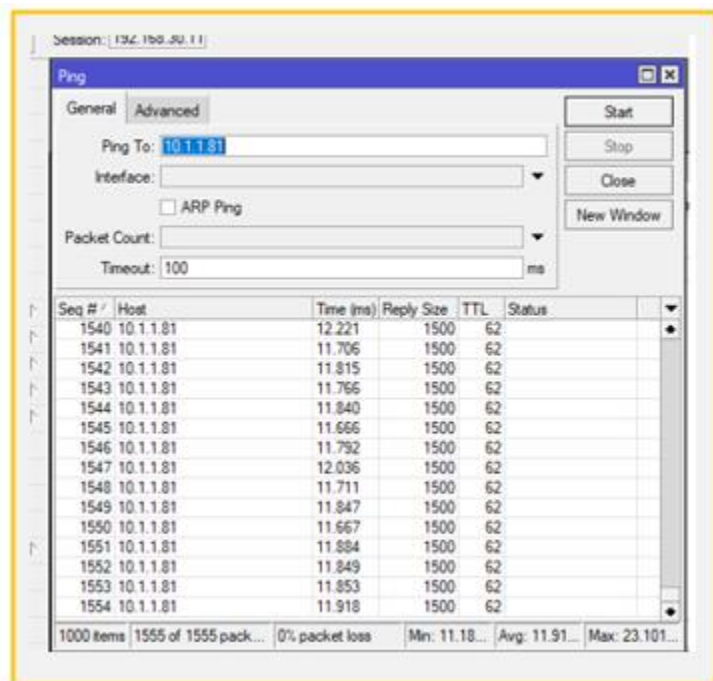
La ausencia de pérdida de paquetes en condiciones normales de operación.

La estabilidad del canal de comunicación, evaluada mediante latencias bajas.

Siguiendo el ejemplo anterior, el pantallazo a continuación refleja el comportamiento del ping desde el cliente hacía la interconexión en CCR-GA

Figura 36

Pantallazo Ping desde Cent-Por-Bck a CCR-GA.



Nota. Pantallazo winbox destino sin packet loss.

La figura 31, es un ejemplo de prueba que se realizó hacia el nodo con IP 10.1.1.81 que muestra los siguientes estados de conectividad para el caso de los tres saltos, combinado entre óptico y radio.

Pérdida de paquetes: 0%. El enlace muestra buena estabilidad; no se observó pérdida de paquetes de los 1000 paquetes enviados, lo cual es indicativo de la calidad de las rutas elegidas y de la modulación del enlace inalámbrico.

RTT promedio (Avg): 11.91 ms. Este valor es aceptable considerando que es un enlace híbrido (radio + fibra) y la cantidad de saltos. Se encuentra por debajo de los límites para redes WAN estables (Cisco, 2020; Bradner & McQuaid, 1999).

El RTT máximo registrado fue de 23.10 ms, mientras que el promedio se mantuvo alrededor de 11.91 ms.

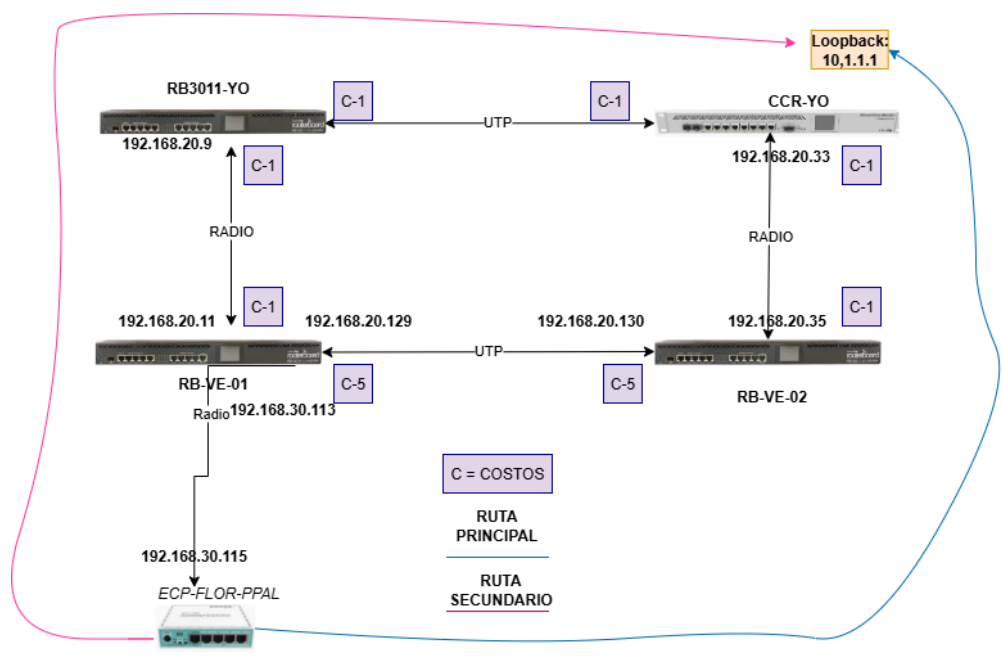
RTT mínimo: 11.18 ms. Demuestra que en condiciones óptimas el canal tiene una latencia muy estable.

Estos resultados confirman que tenemos suficiente rendimiento y latencia, incluso en enlaces mixtos y de múltiples saltos. OSPF ha facilitado la configuración de caminos efectivos para asegurar la estabilidad en segmentos con enlaces de radio sin licencia que típicamente son más propensos a interferencias.

Pruebas de Conmutación Automática. Para validar el funcionamiento del diseño OSPF y su capacidad de recuperación ante fallos, se realizaron pruebas controladas de conmutación. Estas consistieron en la simulación de caídas de enlaces troncales, evaluando el comportamiento dinámico del enrutamiento ante cambios topológicos.

Figura 37

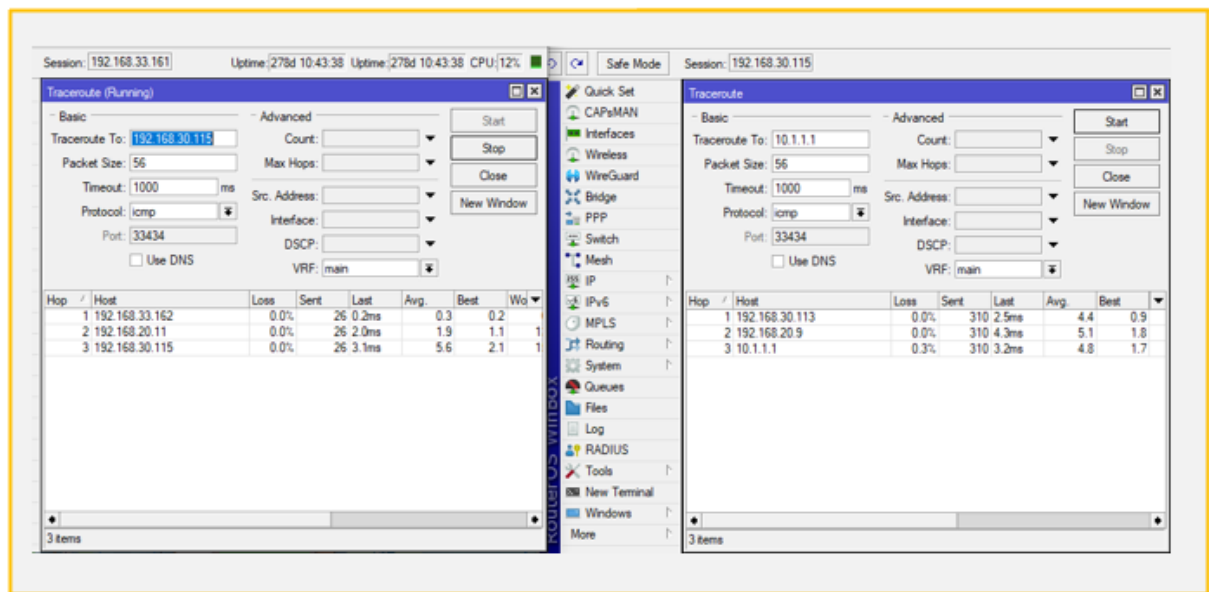
Diagrama Ruta Principal y Backup para ECP-FLOR-PPAL.



Nota. RB ECP-FLOR-PPAL muestra dos posibles caminos a CCR-YO.

Figura 38

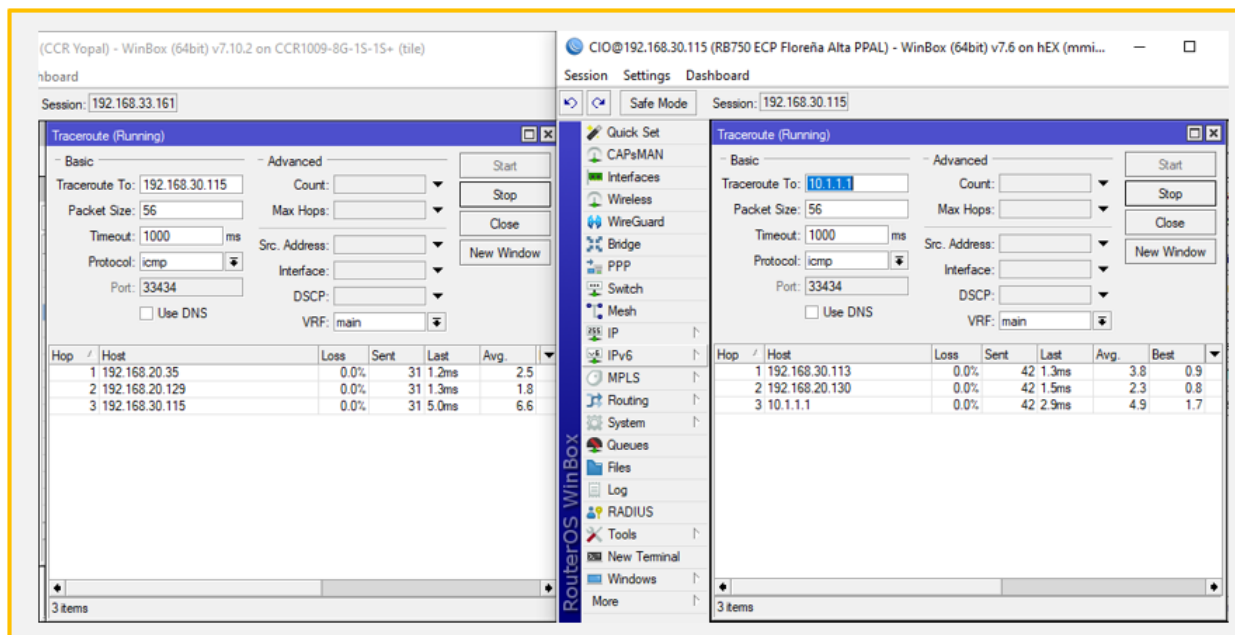
Pantallazo Tracert ECP-FLOR-PPAL, Ruta Principal.



Nota. Pantallazos con tráfico en sentido bidireccional.

Figura 39

Pantallazo Tracert ECP-FLOR-PPAL, Ruta Alterna.



Nota. Tráfico por ruta secundaria de forma automática al perder adyacencia por ruta principal.

La salida del comando traceroute mostró que el orden de los saltos cambió, lo que fue una prueba de que el tráfico se redirigió correctamente según la ruta de respaldo definida.

De cualquier manera, ambos caminos confirman que la red se comportó en respuesta al evento como se esperaba, pasando el tráfico basado en las métricas dispares tal como fueron configuradas con los siguientes resultados esperados.

OSPF percibió la pérdida de enlace, e inmediatamente comienza el proceso de recálculo de la topología interna en los routers afectados.

El router ejecuta el algoritmo SPF y selecciona automáticamente la ruta alternativa con la menor suma de costos disponibles, previamente definida en la planificación de métricas.

La reconvergencia típicamente toma unos pocos segundos, sin que los usuarios finales

noten una interrupción del servicio.

No es necesario el soporte manual, ya que OSPF es capaz de adaptar la topología ante fallos, reduciendo la carga operativa y el tiempo de respuesta ante incidentes.

Fase 7 Cambio de Configuración en Túneles y Evaluación del Desempeño

Cambios Críticos después de la Implementación. Una vez verificada la correcta operación del protocolo OSPF y estabilizados los enlaces principales, se realizaron ajustes orientados a mejorar la estabilidad y continuidad de la red. Inicialmente, los túneles estaban configurados utilizando direcciones IP de interfaces físicas como extremos, lo que provocaba su interrupción cuando alguno de los enlaces presentaba fallas.

Para corregir esta situación, se migraron los extremos de los túneles a direcciones IP estáticas configuradas en interfaces loopback y anunciadas mediante OSPF. Con este cambio, tuvimos las siguientes mejoras.

Flexibilidad en el Enrutamiento. OSPF gestiona de manera automática la conmutación hacia enlaces alternativos disponibles, redirigiendo el tráfico sin necesidad de intervención manual.

Estabilidad operativa. Se reducen las interrupciones y la dependencia de configuraciones estáticas, optimizando la continuidad del servicio, al dejar la dependencia de disponibilidad de los túneles a un único enlace físico,

Mejor Administración. Las interfaces lógicas permiten una mejor administración a nivel de rutas disminuyendo la caída de los túneles.

Figura 40

Comparación Remote Address Interfaz Túnel EOIP.

Antes	Después
<p>General Loop Protect Status Traffic</p> <p>Name: eoip-tunnel12-UMLV0365-ECP Fior PPAL</p> <p>Type: EoIP Tunnel</p> <p>MTU: 1500</p> <p>Actual MTU: 1500</p> <p>L2 MTU: 65535</p> <p>MAC Address: 02:30:2E:65:33:D4</p> <p>ARP: enabled</p> <p>ARP Timeout:</p> <p>Local Address: 192.168.30.115</p> <p>Remote Address: 192.168.33.161</p> <p>Tunnel ID: 12</p> <p>IPsec Secret:</p> <p>Keepalive: 00:00:10 10</p> <p>DSCP: inherit</p> <p>enabled running slave</p>	<p>Interface <eoip-tunnel12-UMLV0365-ECP Floreña alta PPAL></p> <p>General Loop Protect Status Traffic</p> <p>Name: eoip-tunnel12-UMLV0365-ECP Floreña alta PPAL</p> <p>Type: EoIP Tunnel</p> <p>MTU: 1500</p> <p>Actual MTU: 1500</p> <p>L2 MTU: 65535</p> <p>MAC Address: 02:30:2E:65:33:D4</p> <p>ARP: enabled</p> <p>ARP Timeout:</p> <p>Local Address: 192.168.30.115</p> <p>Remote Address: 10.1.1.1</p> <p>Tunnel ID: 12</p> <p>IPsec Secret:</p> <p>Keepalive: 00:00:10 10</p> <p>DSCP: inherit</p> <p>enabled running slave</p>

Nota. Cambia el remote address por la dirección de loopback.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto nos permitió confirmar la necesidad real de migrar la red de la empresa M.A.R.A. de un esquema de direccionamiento estático hacia uno dinámico basado en OSPF, acompañado de un rediseño lógico y técnico que garantizó mayor confiabilidad, estabilidad y preparado para expandirse.

En relación con el diagnóstico de la red, se comprobó que la infraestructura inicial presentaba múltiples limitaciones: configuraciones estáticas, falta de segmentación, enlaces en modo bridge y revisión en el rendimiento de los radioenlaces. Estos hallazgos confirmaron la necesidad del rediseño.

La propuesta de una arquitectura con OSPF permitió implementar segmentación mediante VLSM, y control de dominios de broadcast. Esto redujo la carga administrativa, mejorando la eficiencia en el enrutamiento y fortaleció la red.

La reconfiguración de túneles hacia direcciones loopback contribuyó eficazmente a incrementar la disponibilidad, ya que garantizó la continuidad de la conectividad aun frente a fallas físicas en uno de los enlaces.

Las pruebas realizadas en simulaciones con GNS3 y posteriormente en la red real, confirmaron la importancia de usar las herramientas actuales que nos permiten antes de realizar acciones intrusivas, validar cualquier cambio sobre una red de comunicaciones.

El comisionamiento y establecer un protocolo de comisionamiento, permitió identificar y establecer buenas prácticas para los enlaces que operan en bandas no licenciadas.

Migrar a OSPF prepara para evolucionar hacia una arquitectura MPLS (Multiprotocol Label Switching). Este paso sería recomendable para escenarios que demanden mayor calidad de

servicio (QoS diferenciada), aislamiento de clientes, balanceo avanzado de carga y optimización de tráfico.

Para concluir, este trabajo no solo cumplió con los objetivos de mejorar la red de M.A.R.A., sino que también generó un manual de procedimientos que otros pequeños proveedores rurales pueden usar como referencia para implementar sus propias soluciones.

Logramos demostrar que la migración a OSPF y el rediseño integral fortalecieron la administración de la red, mejoraron su desempeño y nos dejaron las bases para un crecimiento más escalable.

La experiencia nos dejó una lección fundamental: comenzar con un diseño estructurado, invertir en capacitación y aplicar buenas prácticas desde el principio evita problemas futuros y reduce la complejidad operativa.

Recomendaciones

Diseño estructurado desde el inicio, al abordar nuevos proyectos de red, es fundamental aplicar un modelo jerárquico con segmentación lógica, planificación de direccionamiento IP mediante VLSM y control de dominios de broadcast desde el principio. Esto como medida preventiva para optimizar el uso de espacio IP y evitar el crecimiento innecesario de dominios de broadcast.

Capacitación continua del personal técnico: Se recomienda fortalecer las competencias en protocolos de enrutamiento dinámico (especialmente OSPF), enrutamiento avanzado en MikroTik y herramientas de simulación (GNS3). Esto contribuirá a reducir errores de configuración y agilizar la solución de incidencias.

Mantenimiento preventivo y comisionamiento periódico de radioenlaces: La estabilidad de OSPF depende en gran medida de la calidad de los enlaces. Por ello, se aconseja realizar verificaciones periódicas de parámetros como RSL, latencia y throughput, niveles, aplicando protocolos de comisionamiento técnico que incluyan ajuste de potencias, optimización de espectro.

Monitoreo constante y documentación: Implementar sistemas de monitoreo centralizado (The Dude, Zabbix o similares) y rutina periódica de inspección para supervisar rendimiento y detectar fallas tempranamente. Asimismo, mantener documentación técnica actualizada de topologías, configuraciones y cambios.

Actualización Mikrotik: Se recomienda que todos los equipos incorporados a la red ya sean nuevos o existentes, cuenten con las versiones de firmware y sistema operativo más recientes y estables antes de su integración. En el caso de Mikrotik, se sugiere mantener RouterOS actualizado a versiones mayores a la 7 ya que es la más estable y recibe soporte

completo y parches de seguridad, a diferencia de la versión 6 que se considera obsoleta (Mikrotik Ltd., 2023).

Adopción gradual de mejoras: Para futuras migraciones o expansiones, se recomienda aplicar fases progresivas de implementación (pruebas en simuladores, pilotos controlados y despliegue escalonado), evitando interrupciones significativas en el servicio.

Réplica del modelo en otros entornos: El esquema desarrollado en este proyecto puede servir como referencia para pequeños y medianos ISPs rurales. Se aconseja socializar la metodología y adaptarla a otros escenarios rurales con topología similar.

Crecimiento red: Para la proyección de la red, se recomienda planificar una expansión modular mediante la creación de nuevas áreas OSPF, siguiendo la jerarquía recomendada por el estándar del protocolo. Este enfoque no solo mejora la eficiencia del enrutamiento, sino que prepara la infraestructura para incorporar nuevas zonas sin afectar la estabilidad de la red existente (Forouzan, 2017; Cisco Systems, 2020).

Referencias Bibliográficas

- APC. (2018). *Bottom-up connectivity strategies: community networks in the global South*. Asociación para el Progreso de las Comunicaciones.
<https://www.apc.org/en/pubs/bottom-connectivity-strategies>.
- Bisen, A., & Sharma, A. (2020). Performance analysis of MikroTik router in wireless networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(9), 6321–6325.
<https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/82892020>.
- Boyantov, P., Stoyantov, S., Hristov, H., Fetfov, O., & Trifonov, T. (2023). Security routing simulation in the local area network of academic departments using a link-state routing protocol – OSPF. *Journal Scientific and Applied Research*, 11(1), 47–58.
<https://doi.org/10.46687/jsar.v11i1.212>.
- Bradner, S., & McQuaid, J. (1999). Benchmarking methodology for network interconnect devices (RFC 2544). Internet Engineering Task Force (IETF).
<https://doi.org/10.17487/RFC2544>.
- Cisco. (2020). Troubleshooting switch duplex and speed mismatches. Cisco Systems.
<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/ethernet/8225-10.html>.
- Cisco Systems. (2020). *Internetworking technology handbook*. Cisco Press.
<https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/internetworking/technology/handbook>.
- Cisco Systems. (2020). OSPF design guide. Cisco Systems.
<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html>.
- Cisco Systems. (2021, July 7). OSPF: Frequently asked questions. Cisco Support Documentation.
<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/13685-9.html>.

- Comer, D. E. (2013). *Internetworking with TCP/IP: Principles, protocols, and architecture* (6th ed.). Pearson Education.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC). (2022, 26 de mayo). Resolución 6755 de 2022: Por la cual se definen condiciones regulatorias diferenciales para promover la conectividad a Internet en zonas rurales, apartadas y de difícil acceso en Colombia. Diario Oficial de la República de Colombia.
https://sidn.ramajudicial.gov.co/SIDN/NORMATIVA/TEXTOS_COMPLETOS/8_RESOLUCIONES/RESOLUCIONES%202022/CRC%20Resoluci%C3%B3n%206755%20de%202022.pdf
- Cortés, C. L., Montaña-Argote, M. A., Osorio, A. M., & Guerrero-González, N. (2021). Diseño de una red backhaul autogestionable para conectividad rural en Sucre — Colombia. *Revista UIS Ingeniería*, 20, 67–78. <https://doi.org/10.18273/0123456789>.
- Cortés, C. L., Montaña-Argote, A., Osorio, D., & Guerrero-González, A. (2021). *Arquitectura híbrida para la conectividad rural basada en fibra óptica y radioenlaces inalámbricos*. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(38), 11–19.
<https://doi.org/10.24054/16927257.v38.n38.2021>.
- Forouzan, B. A. (2017). *Data communications and networking* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- IEEE. (2016). IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications (IEEE Std 802.11-2016). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2016.7786995>

Ioannou, N., Ntranos, P., & Katsaros, D. (2020). *A comparative techno-economic evaluation of hybrid rural broadband architectures*. *Telecommunications Policy*, 44(8), 101978.

<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.101978>.

International Telecommunication Union (ITU). (2020). *Handbook on satellite communications* (3rd ed.). ITU. <https://www.itu.int/en/publications>.

International Telecommunication Union (ITU). (2021). *Telecommunications/ICTs for rural and remote areas* (Output Report on ITU-D Question 5/1, 2018–2021). ITU.

https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG01.05-2021-PDF-E.pdf.

International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R). (2019).

Recommendation ITU-R M.2101-0: *Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies*. ITU. <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2101-0-201909-I>.

Kiwior, D., Idhaw, E. G., & Pizzi, S. V. (2005). *Quality of Service (QoS) Sensitivity for the OSPF Protocol*. *Proceedings of MILCOM 2005 – IEEE Military Communications Conference*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MILCOM.2005.1605829>.

MikroTik. (2022). *Bandwidth test*. MikroTik Documentation.

<https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/Bandwidth+Test>.

MikroTik Ltd. (2023). *RouterOS: The operating system of MikroTik devices*.

<https://mikrotik.com/software>.

Mimosa Networks. (2020). *Best practices for wireless backhaul alignment*. Mimosa Networks.

<https://mimosa.co>.

Mimosa Networks. (s. f.). *Stealth Broadband connects rural communities* [Case study]. Mimosa Networks Inc. <https://mimosa.co/resources/case-studies>.

- Prieto-Egido, I., Martínez, A., & Robles, A. (2018). *Techno-economic analysis of small rural operators to bring broadband services to isolated communities*. *Telecommunications Policy*, 42(10), 810–823. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.08.005>.
- Rosen, E., Viswanathan, A., & Callon, R. (2001). Multiprotocol label switching architecture (RFC 3031). Internet Engineering Task Force (IETF). <https://doi.org/10.17487/RFC3031>.
- Stealth Broadband. (2016). Stealth Broadband connects rural communities with Mimosa fiber-backed wireless technologies [Caso de estudio]. Mimosa Networks. <https://mimosa.co/case-studies/stealth-broadband-connects-rural-communities>.
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). *Computer networks* (5th ed.). Pearson.
- Yang, Y., Sung, K. W., Wosinska, L., & Chen, J. (2014). Hybrid fiber and microwave protection for mobile backhauling. *Journal of Optical Communications and Networking*, 6(10), 869–878. <https://doi.org/10.1364/JOCN.6.000869>.
- Tsegaye, Y. (2013). *OSPF Convergence Times and Optimization Techniques* [Tesis de maestría, Chalmers University of Technology]. Chalmers Publications. <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/193625>.