

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e implementación de una red WISP para interconectar tres sectores rurales en la Provincia de Bolívar, Cantón Guaranda, parroquia Simiatug.

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Telecomunicaciones

Presentado por:

José Luis Oña Riera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a mi familia y esposa por ser los pilares fundamentales en los triunfos obtenidos.

En especial a mi Esposa Lic. Katty Días, por contribuir desde el inicio del proceso de postgrado hasta la culminación, estando a mi lado en los buenos y malos momentos.

A mis padres, que desde niño me inculcaron valores y que me enseñaron que nada viene por añadidura a nuestras vidas, si no por el esfuerzo que cada uno hace para construir un futuro mejor.

A mis hermanos, hermanas, sobrinos que sea como ejemplo que todo se puede lograr, solo tienen que ser perseverantes.

José Luis Oña Riera

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a:

Todos los docentes de la maestría en telecomunicaciones cohorte 8, por transmitirme los conocimientos necesarios en cada una de sus asignaturas.

AL Doctor Francisco Novillo, al Msc. Eduardo Chancay y la Doctora María Antonieta Álvarez, por haber brindado todo su apoyo, y sugerencias para la elaboración de este proyecto.

A la noble institución Escuela Superior Politécnica del Litoral por abrir sus puertas y permitir obtener nuevos conocimientos de gran valor que me han preparado para enfrentar los desafíos del mundo laboral.

Declaración Expresa

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

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

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

Guayaquil, 4 de febrero del 2024.

José Luis Oña Riera

EVALUADORES

PhD. Maria Antonieta Alvarez

EVALUADOR

Mgtr. Eduardo Chancay Rojas

EVALUADOR

RESUMEN

La presente tesis trata de la problemática de la falta de acceso a Internet en varias comunidades de la parroquia Simiatug, ubicada en la provincia de Bolívar, Ecuador. En el contexto actual de transformación digital impulsada por la pandemia de COVID-19 y la agenda de transformación digital del gobierno ecuatoriano, el acceso al servicio de Internet se ha convertido en una necesidad fundamental para el desarrollo educativo, social y económico de las comunidades, especialmente en las áreas rurales, por ello se tiene como objetivo implementar una red WISP (Wireless Internet Service Provider). La implementación la red WISP, se llevó a cabo a través de un estudio técnico de campo recopilando varios puntos geográficos, se realizó el diseño de la red el cual estará constituido por una torre central conectada a torres secundarias que permitió a través de enlaces punto a punto conectar las tres áreas rurales de Simiatug. Se emplearon frecuencias de radio adecuadas, antenas sectoriales y enlaces redundantes que garantizaran una cobertura óptima, mínimas interferencias, asegurando la continuidad del servicio. Se realizaron las pruebas en campo de los tres sectores rurales interconectados a través de radio enlace PTP, Cochaloma, Cutahua y Mindina, obteniendo latencias hacia los servidores de Google de un máximo de 17 a 24 ms. La red WISP implementada en la Parroquia Simiatug permite a la comunidad ser parte de la transformación digital, se espera que este proyecto contribuya a la población a reducir las brechas tecnológicas y promover la inclusión social y digital de la comunidad.

Palabras Clave: Wisp, Conectividad Rural, Brecha digital, Simiatug.

ABSTRACT

This thesis addresses the problem of lack of internet access in several communities of the Simiatug parish, located in the province of Bolívar, Ecuador. In the current context of digital transformation driven by the COVID-19 pandemic and the digital transformation agenda of the Ecuadorian government, access to the Internet service has become a fundamental necessity for the educational, social and economic development of communities, especially in rural areas, for this reason, the objective is to implement a WISP (Wireless Internet Service Provider) network. The implementation of the WISP network was carried out through a technical field study collecting several geographical points, the network design was carried out which will consist of a central tower connected to secondary towers that allowed through point-to-point links to connect the three rural areas of Simiatug. Adequate radio frequencies, sector antennas and redundant links were used to guarantee optimal coverage, minimal interference, ensuring service continuity. Field tests were carried out in the three rural sectors interconnected through PTP radio link, Cochaloma, Cutahua and Mindina, obtaining latencies to Google servers of a maximum of 17 to 24 ms. The WISP network implemented in the Simiatug Parish allows the community to be part of the digital transformation, it is expected that this project will contribute to the population to reduce the technological gaps and promote social and digital inclusion of the community.

Keywords: *WISP, Rural Connectivity, Digital divide, Simiatug.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
CAPÍTULO 1.....	7
1 Introducción.....	7
1.1 Descripción del problema.....	7
1.2 Justificación del problema	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo General	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Propuesta de la solución	9
1.5 Alcance y consideraciones.....	10
CAPITULO 2.....	11
2 Marco Teórico.....	11
2.1 Redes WISP.....	11

2.1.1	Definición	11
2.1.2	Características	12
2.1.3	Importancia de las redes WISP	12
2.1.4	Desafíos y Limitaciones	13
2.1.5	Soluciones de interconexión en áreas rurales	14
2.1.6	Beneficios sociales y económicos de la conectividad inalámbrica	14
2.2	Componentes y Tecnologías para Redes WISP	15
2.2.1	Nodos de acceso inalámbrico	15
2.2.2	Protocolos y direccionamiento IP	16
2.2.3	Direccionamiento IPv4 e IPv6	18
2.3	Equipos de red para WISP	19
2.4	Mikrotik y RouterOS	21
2.4.1	¿Qué es RouterOS?	21
2.5	Tecnologías de acceso y medios de transmisión	24
2.5.1	Redes Wifi.....	24
2.6	Radioenlaces y medios guiados/no guiados	27
2.7	Diseño de una red WISP	28
2.7.1	Análisis del entorno y requisitos técnicos.....	29
2.7.2	Topologías de red Point to Point (PtP), point to multipoint (PtMP)	29
2.7.3	Dimensionamiento de la red según necesidades del usuario	30
2.8	Gestión y administración de redes WISP	30

2.8.1	Monitoreo de red y herramientas de control.....	31
2.8.2	Cortafuegos y prevención de ataques.....	32
2.9	Marco legislativo y regulatorio	33
2.9.1	Nacional	33
2.9.2	Internacional.....	35
CAPITULO 3.....		38
3	METODOLOGIA.....	38
3.1	Metodología y Diseño del Proyecto.....	38
3.2	Selección de las tres Zonas de Conexión rural.	38
3.3	Criterios de Selección de equipos y tecnologías	41
3.3.1	Determinación de Equipos y materiales	41
3.4	Diseño de la topología de la Red WISP	46
3.4.1	Diseño de la red inalámbrica mediante software.....	46
3.4.2	Cálculo de presupuesto de enlace para el PTP Cochaloma – Cutahua...50	
3.4.3	Presupuesto de enlace	51
3.4.4	Cálculo de presupuesto de potencia para PTP Cutahua - Mindina.....	52
3.4.5	Presupuesto de enlace	53
3.4.6	Cálculo de enlaces mediante Software Radio Mobile	54
3.5	Procedimiento de Instalación y Configuración de Equipos.....	62
3.5.1	Instalación de los puntos de acceso	62
3.5.2	Configuración y asignación de Ip a los RouterBOAD.....	64

CAPÍTULO 4.....	73
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS	73
4.1 Resultados Obtenidos en la Prueba de Conectividad	73
4.1.1 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en el Nodo Simiatug.....	74
4.1.2 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en la Torre Cocha.....	75
4.1.3 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en la Torre Cutahua.....	75
4.1.4 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en la Torre Mindina...76	
4.2 Impacto en la Productividad y Comunicación de los Sectores Conectados	76
CAPÍTULO 5.....	78
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1 Conclusiones.....	78
5.2 Recomendaciones.....	79
BLIBLIOGRAFIA.....	80

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
WISP	Wireless Internet Service Provider
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
ISP	Internet Service Provider
IEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
SOHO	Small office – Home Office
PTP	Point to Point
PtMP	Point to multipoint
ARCOTEL	Agencia de regulación y control de Telecomunicaciones
ITU	International Telecommunication Union
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FSL	Free-space loss

SIMBOLOGÍA

Ghz	Gigahertz
ms	Milisegundo
MHz	Megahertz
m	Metro
km	Kilometro
Gbps	Gigabits por segundo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Red Wireless Internet Service Provider (WISP) [9]	11
Figura 2.2 easyWISP Sectoriales PtMP [9]	16
Figura 2.3 Modelo OSI TCP/IP [15]	17
Figura 2.4 Direccionamiento IPv4 [18].....	18
Figura 2.5 Direccionamiento IPv6 [19].....	18
Figura 2.6 Antenas Direccionales [20]	19
Figura 2.7 Antena OmniTIK 5 [21]	19
Figura 2.8 Sectorial mANTBox 19s [22]	20
Figura 2.9 RBDynaDishG-5HacDr3 Antena Direccional [24]	20
Figura 2.10 Mikrotik [25]	21
Figura 2.11 Sistema Operativo Mikrotik RouterOS [25]	22
Figura 2.12 Arquitecturas del RouterOS [25]	22
Figura 2.13 RouterBOARD Mikrotik [25].....	23
Figura 2.14 Releases del RouterOS V7.171 [26].....	24
Figura 2.15 Redes Wifi [27]	25
Figura 2.16 Estándares Wireless [29].....	26
Figura 2.17. Canales del Wi-Fi 2.4 GHz y sus frecuencias centrales [29].....	26
Figura 2.18 Radioenlace PTP [30].....	27
Figura 2.19 Topología de una red en malla [33]	29
Figura 2.20 Red WISP banda ancha Pymes[9]	30

Figura 2.21 Sistema de Gestión Mikrowisp [34]	31
Figura 2.22 Mikrowisp sistema de monitoreo de la red [34]	32
Figura 2.23 Firewall de una red [36]	33
Figura 3.1 Ubicación del Nodo Simiatug	39
Figura 3.2 Ubicación del sector Cochaloma	39
Figura 3.3 Comunidad Cutahua.....	40
Figura 3.4 Ubicación de la comunidad de Cutahua	40
Figura 3.5 Ubicación del sector Mindina.....	41
Figura 3.6 Radio Mimosa C5x [43]	42
Figura 3.7. Antena Dish RD-G530 [44].....	43
Figura 3.8 RB4011iGS+RM [45]	45
Figura 3.9 Diseño de la red Wisp	46
Figura 3.10 Radioenlace Simiatug - Cochaloma	47
Figura 3.11 Radioenlace Cochaloma - Cutahua	50
Figura 3.12 Radioenlace PTP Cutahua - Mindina	52
Figura 3.13 Ubicación de las Torres de SOLNET	54
Figura 3.14 Coordenadas de los enlaces en Radio Mobile	55
Figura 3.15 Parámetros de configuración de enlace	55
Figura 3.16 Configuración de Topología de enlace	56
Figura 3.17 Selección de antenas para el enlace PTP.....	56
Figura 3.18 Selección del Miembro Slave - Cochaloma	57

Figura 3.19 Parámetros de la antena	57
Figura 3.20 Estilo de enlace principal.....	58
Figura 3.21 Enlaces PTP en todos los sectores	58
Figura 3.22 Resultado de enlace del nodo Simiatug hacia la torre Cochaloma	59
Figura 3.23 Enlace PTP Cochaloma - Cutahua.....	60
Figura 3.25 Enlace PTP Cutahua - Mindina	61
Figura 3.26 Instalación del RB4011iGS+RM en el Nodo Simiatug	62
Figura 3.27 Montaje de equipos en la Torre Cochaloma	63
Figura 3.28 Montaje de equipos en la Torre Cutahua.....	63
Figura 3.29 Montaje de los equipos en la Torre Mindina	64
Figura 3.30 Configuración del RB4011iGS+RM	65
Figura 3.31 Asignación de Ip en los puertos Ethernet y configuración de las interfaces	66
Figura 3.32 Configuración del OSPF.....	66
Figura 3.33 Configuración de Rb para la Torre Cochaloma.....	67
Figura 3.34 Configuración del OSPF en el Rb Torre Cochaloma	67
Figura 3.35 Configuración del Rb para la Torre Cutahua.....	68
Figura 3.36 Configuración del OSPF para el RB Torre Cutahua	68
Figura 3.37 Configuración del Rb para la Torre Mindina.....	69
Figura 3.38 Configuración del OSPF para la torre Mindina	69
Figura 3.39 Registro en el portal mimosa.....	70
Figura 3.40 Desbloqueo de los radios Mimosa.....	70

Figura 3.41 Selección de contraseña para el ingreso al radio Mimosa	71
Figura 3.42 Configuración de la Ip en Management IPv4.....	71
Figura 3.43 Configuración del modo de conexión, SSID y Encryption Key	72
Figura 3.44 Análisis del radio espectro	72
Figura 4.1 Resultado de enlace PTP	73
Figura 4.2 Latencia del Nodo Simiatug.....	74
Figura 4.3 Latencia de la Torre Cochaloma	75
Figura 4.4 Latencia de la Torre Cutahua.....	75
Figura 4.5 Latencia de la Torre Mindina.....	76
Figura 4.6 Conexión de las zonas rurales	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Características del radio Mimosa C5x [43].....	42
Tabla 3.2 Características de la Antena RD-5G30 [44]	44
Tabla 3.3 Características del RB4011iGS+RM [45]	45
Tabla 3.4 Características del RB750Gr3 [46].....	46
Tabla 3.5 Datos para el PTP Simiatug - Cochaloma.....	47
Tabla 3.6 Información para el PTP Cochaloma - Cutahua.....	50
Tabla 3.7 . Información para el PTP Cutahua - Mindina	52
Tabla 3.8 Ubicación de las torres de telecomunicaciones de SOLNET	54
Tabla 3.9 Comparación entre el cálculo manual y los resultados del Software Radio Mobile del enlace. del enlace PTP Simiatug - Cochaloma	59
Tabla 3.10 Comparación entre el cálculo manual y los resultados del Software Radio Mobile del enlace. del enlace PTP Cochaloma - Cutahua.....	61
Tabla 3.11 Comparación entre el cálculo manual y los resultados del Software Radio Mobile del enlace. del enlace PTP Cutahua – Mindina.....	61
Tabla 3.12 Direccionamiento Ip de la red Wisp.....	64

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

Avances tecnológicos como la imprenta, la máquina de vapor, la electricidad y el teléfono que revolucionaron la primera era industrial, hoy vemos como la comunicación y acceso a la información están creando un entorno similar [1]. El futuro del mundo depende del uso de las tecnologías digitales que plantean emerger nuevos y profundos desafíos de alto impacto para los ciudadanos en los aspectos sociales, económicos, productivos y empresariales [2].

A raíz del gran salto tecnológico que vivió el mundo tras la pandemia COVID-19 que llevo a la digitalización de varios sectores, educación, salud, economía, el espacio público y entretenimiento, el uso de las tecnologías y el acceso a internet se vuelto esencial en diversas regiones del planeta, especialmente en el trabajo remoto y la educación a distancia[1].

El gobierno, en el marco de sus funciones y atribuciones, crea y ejecuta políticas públicas[3], “Según la Agenda de transformación digital del Ecuador 2022-2025, la transformación digital es un pilar fundamental para el desarrollo del país [2]”, que permitirá actualizar al Ecuador, enfocándose en la adopción de la industria 4.0 en todos los ámbitos, es esencial recordar que todo empieza con las personas y está creado para las personas.

Por ello es necesario que las personas del sector rural cuenten con una conexión de internet de banda ancha, permitiéndoles aprovechar al máximo la tecnología para el desarrollo de sus comunidades.

1.1 Descripción del problema

En la provincia de Bolívar, cantón Guaranda, parroquia Simiatug, existe la necesidad de tener una red fiable, lo que concibe que los moradores soliciten a la empresa SOLNET que realice un estudio técnico para la implementación del servicio de internet, al encontrarse inmerso en una zona rural enfrentan serios desafíos y barreras, no poseen una infraestructura adecuada de

telecomunicaciones, la topografía del sector es montañosa, usuarios dispersos por la geografía y grandes distancias entre comunidades tales como Cochaloma, Cutahua, Mindina [4].

El sector rural siempre ha sido desatendido por todos los operadores, por ello es necesario implementar una red que supla las necesidades, tales como llamadas de voz y video, acceso a materiales educativos en la web, trabajos en línea, tutorías y trabajos independientes, con lo que pueden evitar largos viajes a la ciudad principal más cercana que se encuentra a 45km, siendo el servicio de internet residencial un servicio básico indispensable en los hogares, que permite el desarrollo del cantón Guaranda [5].

1.2 Justificación del problema

El propósito de este proyecto tiene como fin el diseño y la implementación de un WISP en el sector rural Simiatug del cantón Guaranda que se encuentra localizado en la parte noroeste de la provincia de Bolívar, ubicado a 74km de la ciudad de Guaranda en la cordillera occidental a la espalda del volcán Chimborazo el 99% de su población es indígena y habla kichwa, conformada por 42 comunidades, sus principales actividades son agropecuarias.

La parroquia Simiatug al encontrarse en una zona rural ha sido una de las parroquias donde no se ha evidenciado el desarrollo tecnológico, así como en las zonas urbanas, el limitado ancho de banda, micro cortes del servicio, soporte técnico tardío, hacen que la población existente prefiera buscar un proveedor que pueda satisfacer las necesidades que actualmente se demanda por la web.

Al ser un sector alejado de la ciudad su geografía montañosa y su población es bastante dispersa, se opta por utilizar los sistemas de comunicación inalámbricos (SCI), que mediante tres enlaces principales permitirán comunicar a varias comunidades permitiendo el acceso de internet de banda ancha.

Este proyecto permitirá que Simiatug a pesar de estar localizado en un lugar lejano a la ciudad, pueda ser parte del desarrollo social y comunidades inteligentes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar una red WISP para interconectar tres sectores rurales en la Provincia de Bolívar del Cantón Guaranda, parroquia Simiatug.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el estudio de ingeniería en sitio para determinar los sitios estratégicos que permitan conectar las comunidades de la parroquia Simiatug
2. Diseño de la red Inalámbrica mediante software.
3. Identificar los dispositivos, materiales que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas
4. Implementar y realizar pruebas de la red WISP

1.4 Propuesta de la solución

Se plantea diseñar e implementar una red inalámbrica para interconectar tres comunidades, mismos que se componen de tres enlaces PTP principales, que estarán ubicados en sitios estratégicos con línea de vista que permitan garantizar la interconexión, aumentar la cobertura, reducir las interferencias y brindar el servicio de internet a las comunidades de la parroquia Simiatug.

Actualmente en el sector existen dos proveedores que brindan el servicio de internet, pero estos no tienen una oficina en la parroquia, al ser un sector rural los tiempos de soportes ante cualquier anomalía del servicio son demasiado altos, lentitud del servicio, bajos anchos de banda, etc., los cuales conllevan a buscar a un proveedor que brinde un mejor servicio.

Es por ello que SOLNET al ser una empresa local contará con una red inalámbrica con una infraestructura robusta, equipos de última tecnología que aseguren la calidad del servicio, garantía y soporte técnico, ya que al pertenecer al sector podrán suplir los tiempos de respuestas ante cualquier fallo del servicio.

La ejecución de una red inalámbrica en la parroquia Simiatug ayudara a cerrar la brecha digital ya que esta se define como el acceso a internet de banda ancha fija en naciones en vías de desarrollo y permite mejorar la calidad de vida en los sectores rurales [1].

1.5 Alcance y consideraciones

El presente proyecto empezara por realizar un estudio de campo para determinar los sitios estratégicos que permitan aprovecha al máximo las tecnologías inalámbricas y permitan conectar y beneficiar a través de tres enlaces principales varias comunidades de la Parroquia Simiatug.

El diseño de la red se implementará con base al estudio de campo proyectado, para lo cual se realizará una virtualización de la red mismos que permitirán considerar los equipos que serían necesarios para brindar un mejor servicio a las comunidades.

Luego de esto se realizará las respectivas pruebas de conexión de última milla en los abonados (clientes) y realizar los ajustes necesarios para que la red WISP sea todo un éxito.

Hay que considerar que el estudio y la implementación tendrá como único objetivo conectar varias comunidades, habrá comunidades que no se beneficien con este proyecto por la geográfica del sitio, quedando posteriormente la ampliación de la infraestructura.

CAPITULO 2

2 MARCO TEÓRICO

Las regiones rurales suelen enfrentar desafíos significativos para acceder a una conectividad a Internet confiable y asequible, un fenómeno conocido como la "brecha digital". Esto es especialmente agudo en los países en desarrollo, donde el costo y la logística de instalar una infraestructura de banda ancha tradicional pueden ser demasiado altos [6][7]. Una solución rentable a esto es la implementación de infraestructura de red basada en WISP (Proveedores de Servicios de Internet Inalámbrico) que utilizan tecnologías inalámbricas no licenciadas para servir a las áreas desatendidas [8].

2.1 Redes WISP

2.1.1 Definición

Se entiende por Wireless Internet Service Provider (WISP) como una nube de redes secuenciales por niveles, que funciona a dentro de una red área metropolitana (MAN), donde un proveedor de servicios de Internet (ISP) emplea normas de comunicación a través de radiaciones electromagnéticas basados en IEEE 802.11 para proveer Internet a sus usuarios. Es un tipo de tecnología moderna se distingue por proveer conexiones de baja latencia y de velocidades de transmisión de hasta 150 Mbps. Igualmente, es posible ofrecer soluciones de alta capacidad a partir de conexiones dedicadas que son diseñadas a la medida para empresas [9].

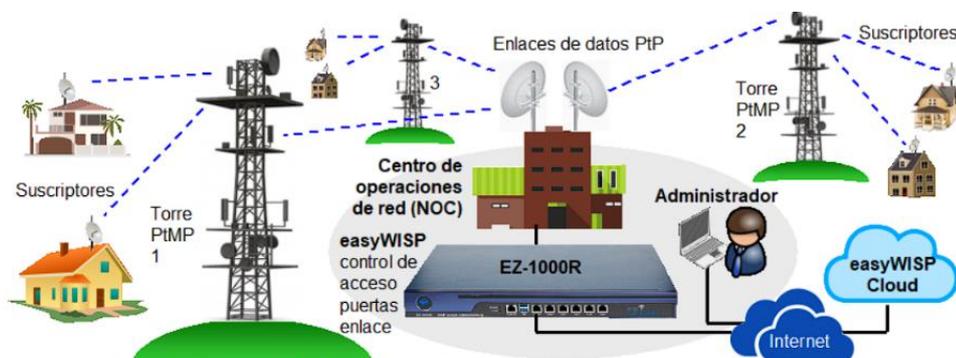


Figura 2.1 Red Wireless Internet Service Provider (WISP) [9]

Prácticamente hablando, un WISP es una entidad o firma que proporciona acceso inalámbrico a Internet a personas, empresas o cualquier otro tipo de usuario. También suele incluir servicios tecnológicos adicionales, como alojamiento de páginas web, gestión de correo electrónico y otras prestaciones similares.

2.1.2 Características

Las redes inalámbricas reemplazan a las líneas físicas dedicadas o alquiladas en áreas donde estas no son viables técnica o económicamente. El sistema WISP opera en las frecuencias ISM de 2.4 y 5.8 GHz, evitando el uso de frecuencias como 900 MHz debido a posibles interferencias con redes celulares, el mismo que funciona como un servicio residencial, configurado como una red de área metropolitana con celdas que cubren un radio aproximado de 10-12 km. Es importante señalar que, a diferencia de los servicios satelitales, el sistema WISP es bidireccional, lo que significa que tanto los clientes como los nodos.

Algunos de los principales requisitos para implementar enlaces de datos inalámbricos son los siguientes

- **Ubicación del cliente.** Los usuarios deben encontrarse dentro de un radio aproximado de 12 km desde la estación central de transmisión.
- **Línea de vista directa.** Es imprescindible que exista una línea de vista sin obstrucciones entre el cliente y la torre del proveedor del servicio.
- **Frecuencias de operación.** Se utilizan las frecuencias de 2.4 GHz o 5.8 GHz, en conformidad con las regulaciones locales.
- **Compatibilidad del equipo.** Es fundamental que los equipos del proveedor (transmisor) y del cliente (receptor) sean completamente compatibles entre sí.

2.1.3 Importancia de las redes WISP

Dado que las redes WISP funcionan mediante señales inalámbricas, presentan una clara ventaja sobre las conexiones físicas cableadas, especialmente en áreas rurales con poca infraestructura de telecomunicaciones. Algunas de las principales ventajas de las redes WISP son:

- **Despliegue rápido y flexible:** Una red WISP puede implementarse y ampliarse de manera más sencilla y económica que una red cableada, capaz de responder con mayor flexibilidad a las necesidades de conectividad en áreas remotas.
- **Alcance extendido:** Las estaciones bases inalámbricas pueden llegar a decenas de kilómetros, lo que permite dar servicio a un área más amplia con menos infraestructura.
- **Bajo costo de implementación:** Los costos de instalación y mantenimiento de redes WISP, especialmente en áreas rurales, son significativamente más bajos que los costos de una red cableada.

Estas características hacen que las redes WISP sean una solución rentable y eficiente para proporcionar conectividad a Internet en áreas donde la infraestructura tradicional es inadecuada o demasiado costosa de implementar [10].

2.1.4 Desafíos y Limitaciones

Línea de vista. - La necesidad de mantener una línea de vista clara entre los puntos de acceso y los usuarios finales puede verse obstaculizada por la geografía, el clima o la presencia de obstrucciones.

Ancho de banda limitado. - Aunque las redes WISP pueden ofrecer velocidades significativas, el ancho de banda total disponible en una celda se comparte entre todos los usuarios, lo que puede resultar en problemas de congestión en áreas de alta demanda.

Interferencia y seguridad. - Las señales inalámbricas son susceptibles a interferencias de otras fuentes de radiofrecuencia que pueden afectar la calidad de conexión y la seguridad. Además, los usuarios deben considerar los requisitos de seguridad para proteger sus dispositivos y datos [11].

Considerando estos factores, es importante que los proveedores de servicios WISP diseñen cuidadosamente sus redes, seleccionen equipos apropiados y proporcionen una gestión efectiva del sistema para asegurar un servicio confiable y de alta calidad.

2.1.5 Soluciones de interconexión en áreas rurales

Las infraestructuras de Proveedores de Servicio de Internet Inalámbrico (WISP) son una alternativa viable y rentable para proporcionar conectividad a Internet en áreas rurales y remotas, donde la implementación de infraestructura de telecomunicaciones tradicional es un desafío. Algunas de las principales soluciones de interconexión que utilizan redes WISP incluyen:

En primer lugar, el uso de tecnologías inalámbricas avanzadas como 6G tiene el potencial de mejorar significativamente la provisión de conectividad en áreas remotas. Según el estudio, el desarrollo de estándares 6G que abordan desafíos específicos enfrentados por áreas rurales, como baja densidad de población y falta de infraestructura, puede impulsar una mayor adopción de soluciones inalámbricas en estas regiones.

Por otro lado, combinar redes inalámbricas con infraestructura de fibra óptica puede ser una estrategia efectiva para proporcionar acceso de alta velocidad en entornos rurales. Cuando la fibra óptica se extiende más cerca de los usuarios finales, esto mejora el rendimiento de los enlaces inalámbricos de última milla, resultando en una mejor calidad de entrega de servicios.

Además, las soluciones de interconexión rural también pueden beneficiarse del desarrollo de tecnologías de bajo coste y eficiencia energética, facilitando así el funcionamiento y despliegue de redes en áreas con acceso limitado a infraestructura eléctrica [12].

Las redes WISP, junto con soluciones de interconexión que aprovechan tecnologías inalámbricas avanzadas, infraestructura de fibra y sistemas de bajo costo, proporcionan una forma prometedora de cerrar la brecha digital en áreas rurales.

2.1.6 Beneficios sociales y económicos de la conectividad inalámbrica

La creación e implementación de redes WISP en entornos rurales puede proporcionar beneficios sociales y económicos significativos a las comunidades locales. En primer lugar, acceder a Internet a través de estas redes inalámbricas permite a los habitantes que viven en áreas rurales conseguir el acceso a diversas

oportunidades y servicios, incluida la educación, la atención médica, el entretenimiento, así como la participación digital.

Además, las redes WISP pueden impulsar el desarrollo económico al permitir acceso a nuevas tecnologías, herramientas y mercados para actividades productivas locales como la agricultura o la minería [13].

Finalmente, la conectividad inalámbrica puede contribuir a una mayor inclusión social al reducir las disparidades en la accesibilidad de la información y servicios digitales entre las áreas urbanas y rurales.

La implementación de redes WISP en entornos rurales presenta la posibilidad de beneficios sociales y económicos significativos, como la oportunidad de acceso a la educación, salud y entretenimiento, así como fomentar el desarrollo económico local a través de nuevas tecnologías y herramientas digitales [14].

Las redes WISP proporcionan una solución rentable y eficiente para ofrecer conectividad a Internet en áreas rurales y remotas donde la red de telecomunicaciones tradicional es insuficiente o demasiado costosa de implementar.

2.2 Componentes y Tecnologías para Redes WISP

Las redes WISP, que significa Proveedores de Servicio de Internet Inalámbrico, se basan en una arquitectura inalámbrica que emplea una variedad de tecnologías diferentes junto con componentes vitales para entregar conectividad a Internet en áreas rurales y remotas.

2.2.1 Nodos de acceso inalámbrico

Los puntos de acceso son los nodos de acceso inalámbricos que constituyen la columna vertebral de una red WISP. Estos dispositivos están situados en torres o estructuras altas para transmitir y recibir señales inalámbricas, las cuales favorecen a los abonados finales conectarse a la red principal. Las características principales de estos nodos de acceso incluyen:

- Capacidad de transmisión y recepción en bandas de frecuencia licenciadas o no licenciadas, como WiFi, WiMAX o tecnologías celulares.
- Antenas direccionales o sectoriales para maximizar la señal de cobertura y el rendimiento de la red.
- Enrutamiento de tráfico y gestión de la interconexión de los abonados y la red troncal.

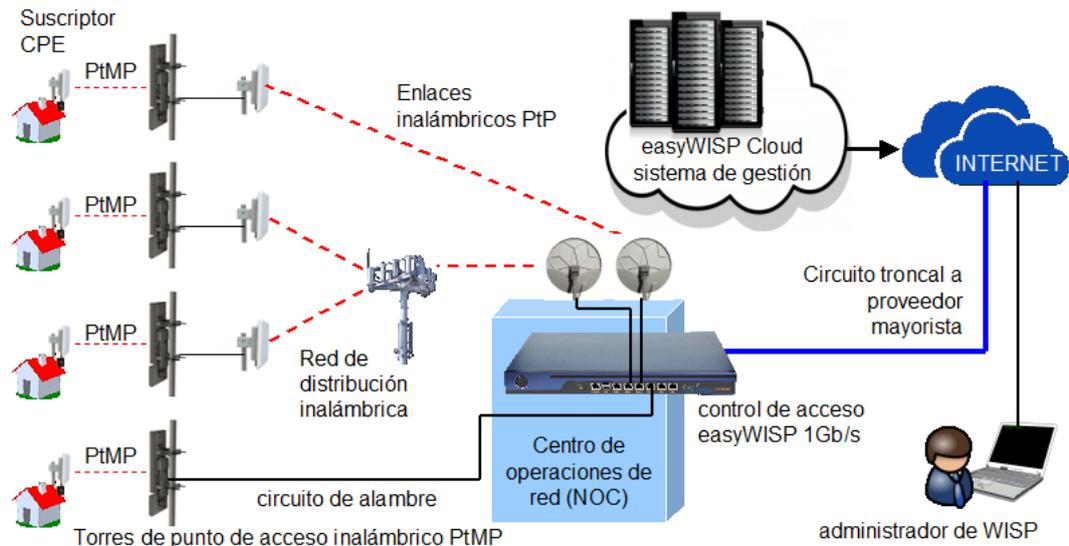


Figura 2.2 easyWISP Sectoriales PtMP [9]

2.2.2 Protocolos y direccionamiento IP

La conectividad entre los nodos de acceso y los usuarios finales se basa en protocolos de red IP, como TCP/IP, que permiten el enrutamiento y reenvío de información por medio de la red inalámbrica.

Además de eso, los sistemas WISP tienen que crear un esquema de direccionamiento IP, que facilita la identificación y asignación de direcciones a los diversos elementos de la red, como nodos de acceso y dispositivos de usuario.

Basado en los estudios revisados, el uso de nuevas tecnologías como 6G acompañado de la integración de infraestructura de fibra óptica y el uso de soluciones de bajo costo son fundamentales para mejorar la conectividad en áreas rurales a través de redes WISP.

2.2.2.1 Modelo TCP/IP y su funcionamiento

El modelo TCP/IP es fundamental para establecer la comunicación en redes WISP. Este modelo define un conjunto de protocolos y estándares que facilitan la gestión del flujo de datos en la red, incluyendo:

- **Capa de Aplicación:** En ella se encuentran protocolos como HTTP, SMTP y FTP que facilitan la interacción entre aplicaciones.
- **Capa de Transporte:** Protocolos como TCP y UDP que gestionan el envío y la recepción de datos.
- **Capa de Internet:** Direccionamiento lógico que se encarga del enrutamiento y direccionamiento de los paquetes de datos.
- **Capa de Enlace:** Regula el acceso al medio físico, como Ethernet o Wi-Fi.

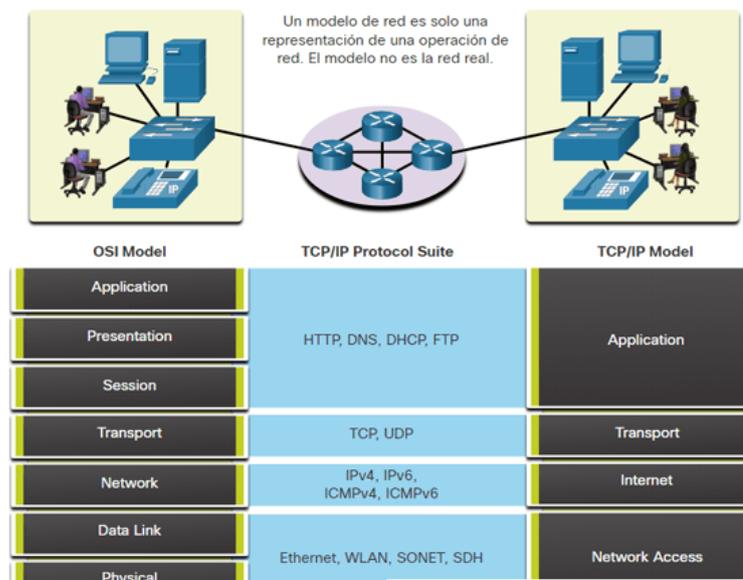


Figura 2.3 Modelo OSI TCP/IP [15]

Este enfoque por capas permite la comunicación entre los dispositivos y el flujo de datos de forma efectiva al hacer posible la interoperabilidad que existe entre los elementos en la WISP [16].

2.2.3 Direccionamiento IPv4 e IPv6

Una dirección de Protocolo de Internet (IP) es una etiqueta numérica que identifica un dispositivo particular en redes existentes [17]. Hoy en día, hay dos tipos de direcciones de Protocolo de Internet (IP) que están en uso activo: la versión 4 del Protocolo de Internet (IPv4) y la versión 6 del Protocolo de Internet (IPv6). El Protocolo de Internet versión 4 (IPv4) fue implementado por primera vez el 1 de enero de 1983 y continúa siendo la versión más ampliamente utilizada.[17]

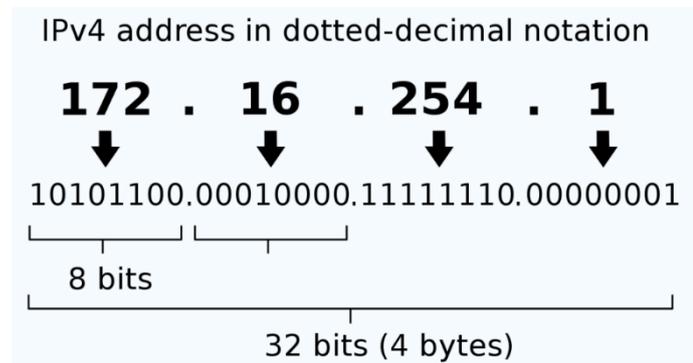


Figura 2.4 Direccionamiento IPv4 [18]

Las direcciones IPv4 consisten en números de 32 bits que comúnmente se representan como cuatro octetos en notación decimal con puntos, como en el caso de la Figura 2.3. La instauración del protocolo IPv6 se inició en el año 1999. Las direcciones IPv6 se caracterizan por ser números de 128 bits, los cuales se representan habitualmente mediante cadenas en formato hexadecimal, como se indica en la Figura 2.4.[17]

Dirección IPv6 Global Unicast



Figura 2.5 Direccionamiento IPv6 [19]

2.3 Equipos de red para WISP

Las redes WISP requieren una variedad de equipos de red para su implementación y funcionamiento, entre los que se incluyen:

2.3.1.1 Tipo de Antenas

Estos equipos son los encargados de transmitir y recibir las señales inalámbricas entre los nodos de acceso y los usuarios finales.



Figura 2.6 Antenas Direccionales [20]

- **Omnidireccionales:** Las antenas omnidireccionales transmiten señales en todas las direcciones, mientras que las antenas sectoriales y direccionales se enfocan en áreas específicas. La elección de las antenas dependerá de la topografía y la distribución de los abonados en la sección de cobertura de la red WISP.



Figura 2.7 Antena OmniTIK 5 [21]

- **Sectoriales:** Las antenas sectoriales son otra opción importante en las redes WISP. Estas antenas transmiten señales en un ángulo específico, cubriendo un sector determinado del área de servicio. La utilización de antenas sectoriales permite una mayor eficiencia en la cobertura, ya que se puede optimizar la señal para áreas con mayor concentración de usuarios.



Figura 2.8 Sectorial mANTBox 19s [22]

- **Direccionales:** Las antenas direccionales son especialmente útiles para establecer enlaces punto a punto entre nodos de la red WISP. Al estar enfocadas en una dirección específica, ofrecen mayor ganancia y alcance que las antenas omnidireccionales o sectoriales, lo que las hace ideales para interconectar los diferentes puntos de presencia de la red [19][23].



Figura 2.9 RBDynaDishG-5HacDr3 Antena Direccional [24]

2.4 Mikrotik y RouterOS

Mikrotik es una compañía establecida en Latvia (Letonia) en año de 1966 con la visión primordial de desarrollar una plataforma sólida y eficiente el cual fue denominado RouterOS en el año 1997.

A lo largo de la historia del internet los administradores de red han observado la evolución de múltiples fabricantes, destacándose Cisco como un referente líder en el sector. No obstante Mikrotik ha experimentado un proceso de evolución y se ha consolidado como una de las marcas más prevalentes en la implementación de soluciones de red ruteadas, especialmente en el contexto de un Proveedor de servicios de internet ISP o WISP. Esto se debe a sus diferentes soluciones, la calidad y estabilidad del servicio proporcionando a los abonados, así como también ofrecer una opción económica más accesible durante el despliegue de redes [25].

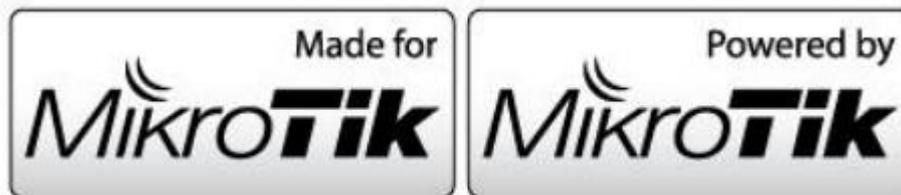


Figura 2.10 Mikrotik [25]

2.4.1 ¿Qué es RouterOS?

Mikrotik RouterOS es el software diseñado para el hardware Mikrotik RouterBOARD, que cuenta con las funciones requeridas para la gestión de un proveedor de servicios inalámbricos (WISP). Este sistema operativo permite diversas características, incluyendo Firewall, MPLS, VPN, Wireless, HotSpot, Calidad de Servicio (QoS) [25], entre otros.

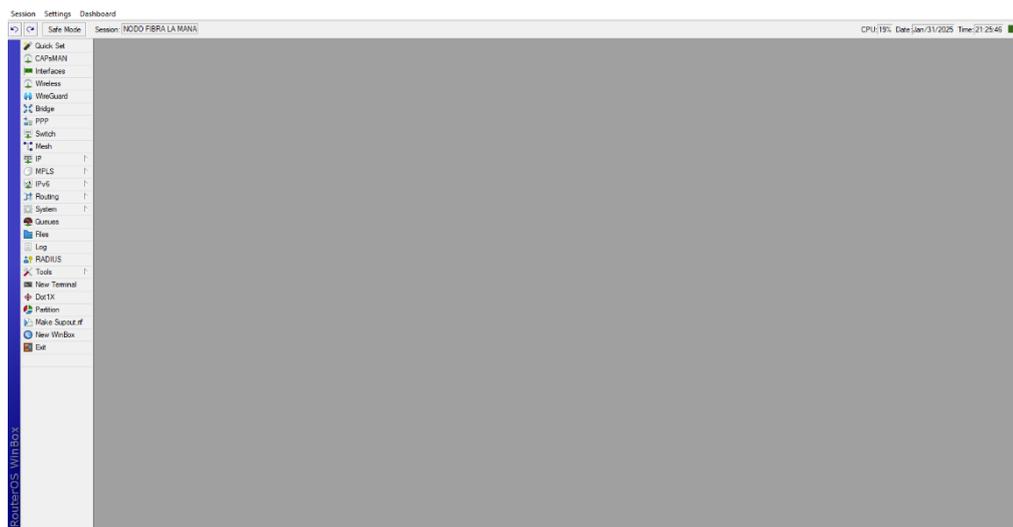


Figura 2.11 Sistema Operativo Mikrotik RouterOS [25]

2.4.1.1 ¿Que es un RouterBOARD?

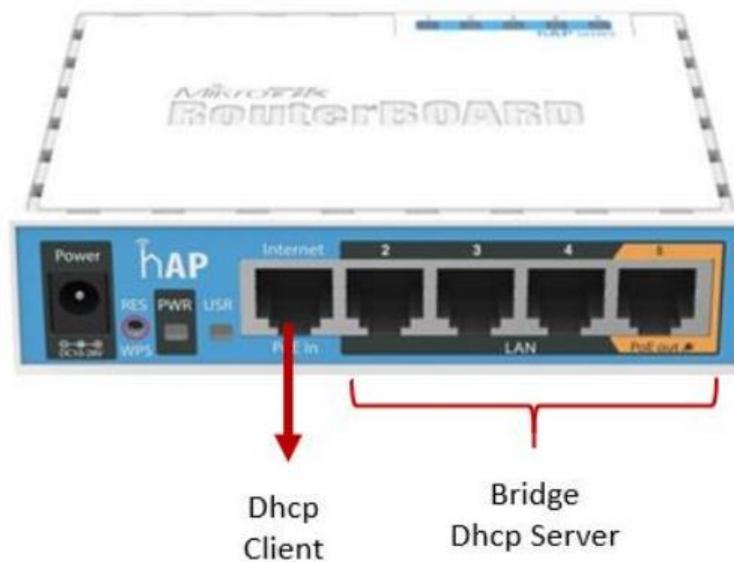
Un RouterBOARD es una solución de hardware desarrollado por Mikrotik para satisfacer las demandas de usuarios a en todo el mundo. Todos los dispositivos RouterBOARD funcionan con el sistema operativo RouterOS, y se han desarrollado diversas arquitecturas como se ilustra en la Figura 2.12 para abordar diferentes soluciones.

Arquitectura	Series
ARM64	nRAY, CCR2004, LHGGR
MIPSBE	CRS1xx, CRS2xx, CRS312-4C+8XG, CRS326-24S+2Q+, CRS354, Cube Lite60, DISC, FiberBox, hAP, hAP ac, hAP ac lite, LDF, LHG, LHG Lite60, ItAP mini, mANTBox, mANTBox 2, mAP, mAP lite, NetBox, NetMetal, PowerBox, PWR-Line, QRT, RB9xx, SXTsq, cAP, hEX Lite, RB4xx, wAP, BaseBox, DynaDish, RB2011, SXT, OmniTik, Groove, Metal, Sextant, RB7xx, hEX PoE
SMIPS	hAP mini, hAP lite
TILE	CCR1xxx
PPC	RB3xx, RB600, RB8xx, RB1100AHx2, RB1100AH, RB1100, RB1200
ARM	arm64, cAP ac, CRS305-1G-4S+, CRS309-1G-8S+, CRS317-1G-16S+, CRS318, CRS326-24G-2S+, CRS328-24P-4S+, CRS328-4C-20S-4S+, Cube 60G ac, DISC AC, hAP ac ² , hAP ac ³ , LDF ac, LHG ac, mANTBox 52, NetMetal ac ² , RB4011, SXTsq (ac series), wAP 60G series, Chateau, RB3011, RB1100AHx4, Audience, RB450Gx4, wAP ac
X86	RB230, X86
MMIPS	hEX (RB750Gr3), hEX S, RBMxx

Figura 2.12 Aquitecturas del RouterOS [25]

La sinergia entre el hardware y RouterOS de Mikrotik da lugar a dispositivos resilientes, particularmente adecuados para su implementación en el contexto de Proveedores de Servicios de Internet (ISP) y Proveedores de Servicios Inalámbricos de Internet (WISP). Adicionalmente, la provisión de actualizaciones vitalicias confiere a estos dispositivos una ventaja competitiva en términos de costo-efectividad en comparación con otras marcas.

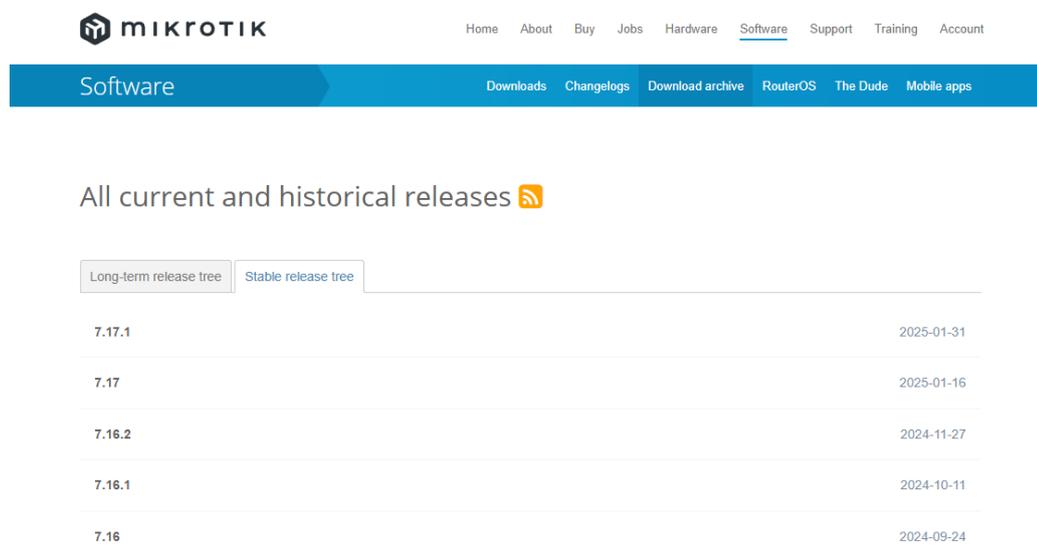
Figura 2.13 RouterBOARD Mikrotik [25]



Mikrotik está presente en todo el mundo su relación costo/beneficio ayuda a desarrollar proyectos ISP/WISP de manera robusta, confiable, manteniendo la seguridad y calidad del servicio.

Cada RouterBOARD trae consigo una licencia única y por ende sus características en memoria, procesador, y la arquitectura son mejores. Lo más importante de Mikrotik además de fabricar equipos robustos son las actualizaciones, actualmente nos encontramos en el releases 7.17.1 el cual es la versión más estable y segura.

Figura 2.14 Releases del RouterOS V7.171 [26]



Release	Date
7.17.1	2025-01-31
7.17	2025-01-16
7.16.2	2024-11-27
7.16.1	2024-10-11
7.16	2024-09-24

2.5 Tecnologías de acceso y medios de transmisión

En el ámbito de las redes WISP, existen diversas tecnologías de acceso y medios de transmisión que se pueden utilizar para brindar conectividad a los usuarios finales en áreas rurales.

2.5.1 Redes Wifi

Una de las tecnologías más usadas en redes WISP es el estándar Wi-Fi (IEEE 802.11) es. Ofrece varias ventajas, como la disponibilidad de equipos asequibles, la fácil implementación y la amplia adopción de este estándar a nivel mundial.

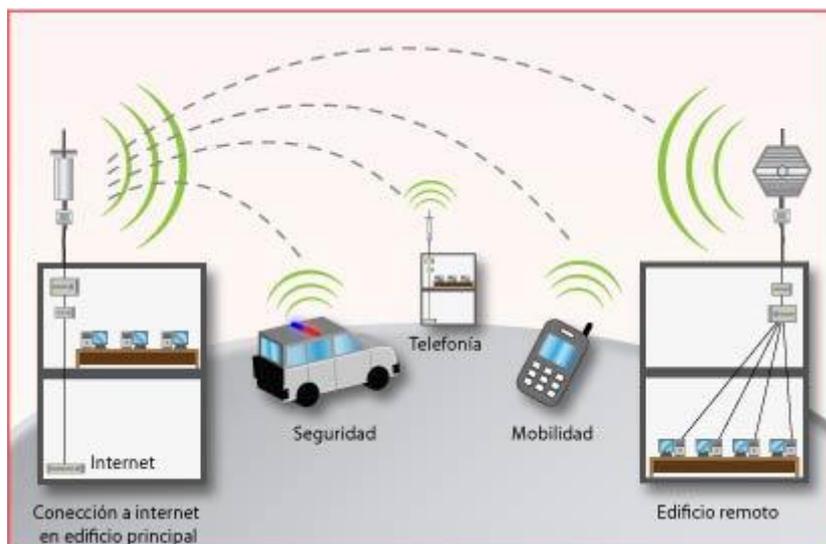


Figura 2.15 Redes Wifi [27]

El uso de Wi-Fi en redes WISP ofrece varias ventajas, como la disponibilidad de equipos asequibles, la fácil implementación y la amplia adopción de este estándar a nivel mundial.

Además, las recientes mejoras en el estándar Wi-Fi, como el Wi-Fi 6 y el Wi-Fi 6E, han aumentado la capacidad, la eficiencia y el alcance de las redes inalámbricas, lo que las hace más adecuadas para su implementación en áreas rurales [28].

2.5.1.1 Estándar 802.11

El estándar 802.11 pertenece a las redes inalámbricas definido y aprobado en 1997 por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), inicialmente se pensó para redes locales (WLAN) para entornos de corto alcance SOHO (Small office – Home Office).

El estándar IEEE 80.211 establece los criterios operativos para las dos capas más bajas de la arquitectura OSI en las redes de área local inalámbrica (WLAN).

Los estándares de la serie 802.x precisan las tecnologías aplicables a redes locales y metropolitanas. MikroTik RouterOS opera en la banda de frecuencia de 5GHz (802.11 a/n/ac), 2.4 GHz (802.11 b/g/n) y 60 GHz (802.11 ad), como se ilustra en la Figura 2.16, estos equipos son compatibles con todos los estándares mencionados,

lo que lo hace versátil para configurar la configuración de una red inalámbrica tipo WISP [29].

Protocolo 802.11	Fecha de Liberación	Frec. GHz	BW MHz	Stream data rate (Mbps)	MIMO streams posibles	Modulación	Rango Aproximado Indoor (metros)	Rango Aproximado Outdoor (metros)
802.11	jun-97	2.4	22	1, 2	N/A	DSSS, FHSS	20	100
a	sep-99	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	OFDM	35	120
		3.7	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54				5
b	sep-99	2.4	22	1, 2, 5.5, 11	N/A		35	140
g	jun-03	2.4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	OFDM, DSSS	38	140
n	oct-09	2.4/5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2 (6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65)	4	OFDM	70	250
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150 (13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135)			70	250
ac	Dec-13	5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2, 86.7, 96.3 (6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65, 78, 86.7)	8		35	
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 200 (13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135, 162, 180)			35	
			80	32.5, 65, 97.5, 130, 195, 260, 292.5, 325, 390, 433.3 (29.2, 58.5, 87.8, 117, 175.5, 234, 263.2, 292.5, 351, 390)			35	
			160	65, 130, 195, 260, 390, 520, 585, 650, 780, 866.7 (58.5, 117, 175.5, 234, 351, 468, 702, 780)			35	
ad	Dec-12	60	2.16	Up to 6.912 (6.75 Gbit/s)	N/A	OFDM, single carrier, low-power single carrier		
ah	Est. 2016	0.9						
aj	Est. 2016	45/60						
ax	Est. 2019	2.4/5			MIMO-OFDM			

Figura 2.16 Estándares Wireless [29]

2.5.1.2 Bandas (RouterOS)

Los protocolos 802.11b/g/n trabajan en el canal de 2.4 GHz, utilizando el espectro que abarca desde 2.400 hasta 2.500 GHz. Los protocolos 802.11a/n/ac, que funcionan en la frecuencia de 5 GHz, emplean el espectro de frecuencias que abarca desde 4.915 hasta 5.825 GHz, el cual se encuentra sujeto a estrictas regulaciones en diversos países. Estos intervalos son comúnmente denominados como el espectro radioeléctrico de 2.4 GHz y 5 GHz. Cada espectro se divide en canales, los cuales cuentan con una frecuencia central y un ancho de banda determinado [29].

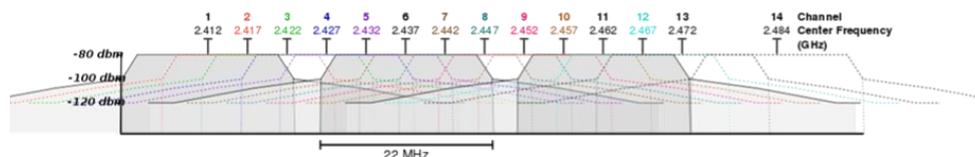


Figura 2.17. Canales del Wi-Fi 2.4 GHz y sus frecuencias centrales [29]

En la Figura 2.17 se puede observar 14 canales, cada canal tiene un espacio espectral de 22 Mhz y están separados por 5 Mhz para enviar la sobre posición (overlapping)

2.6 Radioenlaces y medios guiados/no guiados

Las redes WISP también pueden emplear radioenlaces o medios guiados como fibra óptica o cable coaxial para interconectar las antenas de los nodos de la red.

Los radioenlaces ofrecen la ventaja de una implementación más rápida y flexible, especialmente en áreas remotas donde la instalación de infraestructura fija puede ser más complicada y costosa.

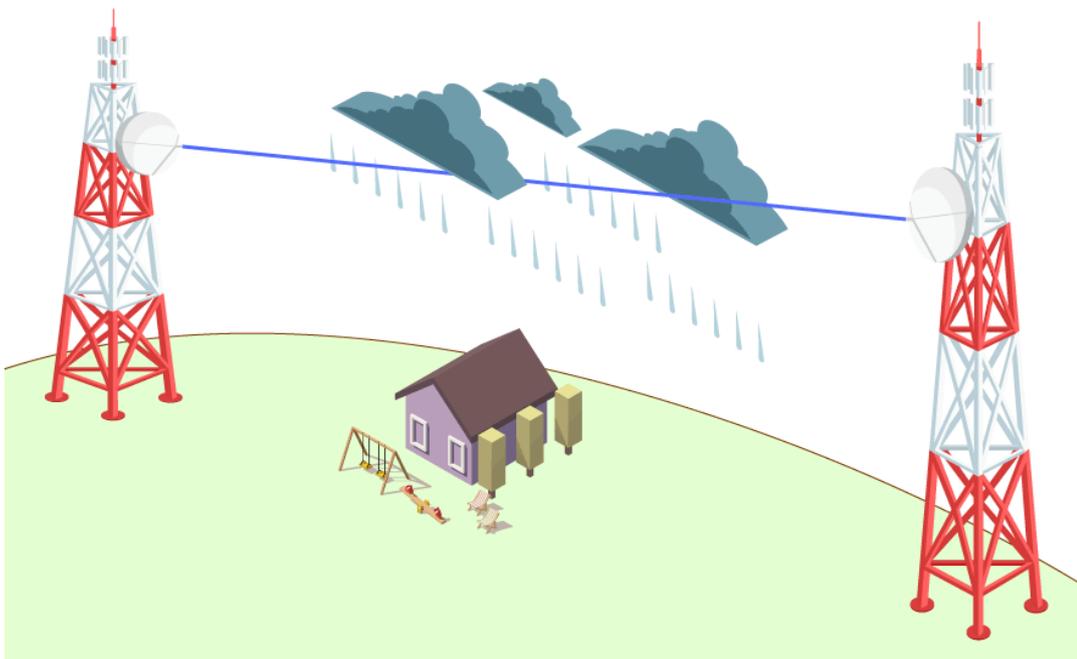


Figura 2.18 Radioenlace PTP [30]

Por otro lado, los medios de transmisión guiados, tales como la fibra óptica, ofrecen un mayor ancho de banda y una latencia reducida, lo que los hace particularmente idóneos para aplicaciones que demandan una mayor capacidad de transmisión. La selección del tipo de medio de la comunicación estará influenciada por variables tales como la distancia, la topografía, la disponibilidad de recursos y los criterios establecidos por la red.

Existen diversos tipos de radioenlaces utilizados en redes WISP, entre ellos:

- **Transmisión de microondas:** Operan en frecuencias de 6 a 42 GHz, permiten enlaces PtP de hasta 50 km con velocidades de hasta 1 Gbps.

- **Radioenlaces WiMAX:** Basados en el estándar IEEE 802.16, ofrecen un alcance de hasta 50 km y pueden proporcionar velocidades de hasta 100 Mbps [31].

Estas soluciones inalámbricas para última milla han demostrado ser una alternativa viable para llevar conectividad a áreas rurales o remotas, donde el despliegue de redes cableadas puede ser más complejo y costoso

2.7 Diseño de una red WISP

El diseño de una red WISP implica considerar varios aspectos clave:

Topología de la red: La topología de la red WISP puede variar desde un diseño centralizado con un nodo principal que conecta a los nodos periféricos, hasta una topología distribuida con múltiples nodos interconectados en malla.

Selección del espectro de frecuencias: Las redes WISP suelen operar en bandas de frecuencia sin licencia como ISM de 2.4 GHz y 5 GHz. También pueden utilizar bandas con licencia, dependiendo de la regulación local y la disponibilidad del espectro.

Elección de la tecnología: Las redes WISP pueden implementar diferentes estándares inalámbricos como Wi-Fi (IEEE 802.11), WiMAX (IEEE 802.16) o tecnologías propietarias.

Diseño de la infraestructura: Se debe planificar la ubicación estratégica de los nodos, considerando aspectos como cobertura, línea de vista, potencia de transmisión y backhaul.

Escalabilidad y redundancia: La red debe diseñarse de manera que pueda expandirse y adaptarse a las ajustarse de los usuarios, así como garantizar la continuidad del servicio ante fallas. [32]

2.7.1 Análisis del entorno y requisitos técnicos

El primer paso en el diseño de una red WISP consiste en llevar a cabo un análisis detallado del entorno y las necesidades técnicas de la red. Esto incluye:

Análisis demográfico y perfil de usuarios potenciales: Esto ayudará a prever la demanda de servicios, patrones de tráfico y requerimientos de usuarios en cuanto a ancho de banda, latencia y fiabilidad.

2.7.2 Topologías de red Point to Point (PtP), point to multipoint (PtMP)

Las topologías de red WISP pueden variar desde diseños centralizados hasta estructuras distribuidas en malla.

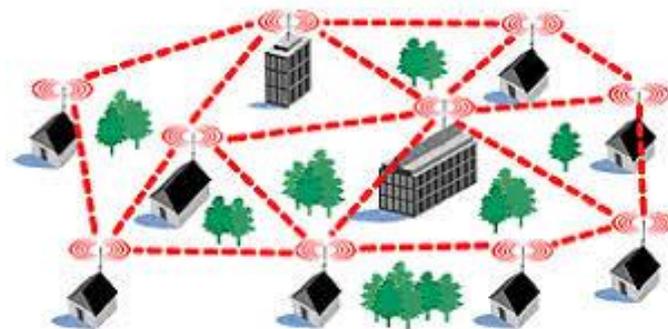


Figura 2.19 Topología de una red en malla [33]

Topología centralizada

En esta topología, hay un nodo central o “hub” que conecta los nodos periféricos o radios. Es el nodo principal que administra y enruta el tráfico de la red.

Topología descentralizada

Las redes WISP con topología descentralizada carecen de un nodo central. En su lugar, los nodos se interconectan entre sí formando una estructura de malla. Cada nodo inalámbrico actúa como enrutador, dirigiendo el tráfico de manera distribuida a través de la red. La elección de la topología dependerá de factores como la cobertura geográfica, la densidad de usuarios, la redundancia y la complejidad de red [32].

2.7.3 Dimensionamiento de la red según necesidades del usuario

Al diseñar una red WISP, es fundamental dimensionar la infraestructura de acuerdo con las necesidades de los usuarios. Esto implica estimar:

Ancho de banda requerido por usuario. - Dependerá del tipo de aplicaciones y servicios utilizados por los usuarios, como navegación web, streaming de video, VoIP, etc. Es necesario tener en cuenta un margen de proyección del aumento de la demanda en el futuro.

Densidad de usuarios por área. - La densidad de usuarios en cada zona geográfica determinará la cantidad de puntos de acceso necesarios para brindar una cobertura adecuada.

Tráfico total de la red. - El tráfico global de la red como se indica en la Figura 2.20, estará determinado por la suma de los anchos de banda solicitados por cada usuario, lo que establecerá el dimensionamiento de redes de backhaul y enlaces entre nodos

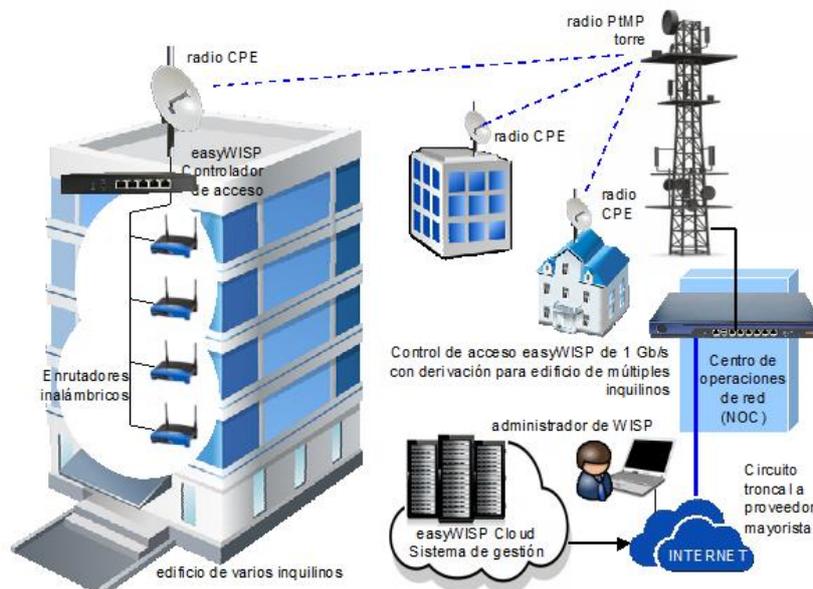


Figura 2.20 Red WISP banda ancha Pymes [9]

2.8 Gestión y administración de redes WISP

La gestión y administración de las redes WISP implica varios aspectos:

Monitoreo y control de la red: Herramientas de gestión, análisis de tráfico y rendimiento, solución de problemas.

Aprovisionamiento y configuración de equipos: Despliegue, actualización y mantenimiento de la infraestructura inalámbrica.

Administración de usuarios y permisos: Registro de clientes, autenticación, asignación de planes de servicio y políticas de uso.

Facturación y cobranza: Generación de reportes, cobro de servicios y gestión de la cartera de clientes

La adopción de un sistema de gestión integral facilita la operación y el soporte de las redes WISP, permitiendo optimizar el uso de los recursos, identificar problemas de manera proactiva y ofrecer un servicio de calidad a los abonados finales [34].



Figura 2.21 Sistema de Gestión Mikrowisp [34]

2.8.1 Monitoreo de red y herramientas de control

Es de suma importancia implementar un sistema de monitoreo de control de red WISP que permita el control en tiempo real del estado y rendimiento de la red. Entre las características clave de estas herramientas, se pueden mencionar las siguientes:

- Supervisión de la carga y del tráfico red en los todos los nodos y enlaces de la red. Esto facilita la identificación de las posibles limitaciones del proceso,

de la misma manera que se optimiza la utilización de los recursos disponibles.

- Detección y notificación de fallas o problemas en los equipos y enlaces inalámbricos
- La identificación temprana de problemas facilita su rápida resolución y minimiza el impacto en los usuarios
- Elaboración de informes y análisis de tendencias relacionadas con el rendimiento de la red.

Este análisis ayuda a determinar áreas de mejora y expansión dentro de la infraestructura WISP en relación con la demanda. Existen soluciones de software y plataformas de gestión especializadas que ofrecen estas funciones, las cuales, a su vez, ayudan a optimizar la operación y el mantenimiento de las redes WISP [34].



Figura 2.22 Mikrowisp sistema de monitoreo de la red [34]

2.8.2 Cortafuegos y prevención de ataques

Además del uso de cifrado y autenticación, es necesario implementar otras medidas destinadas a defender la red WISP de amenazas y ataques potenciales. En este sentido, los cortafuegos pueden ser de gran ayuda, ya que permiten controlar y filtrar el tráfico que ingresa y sale de la red [35].

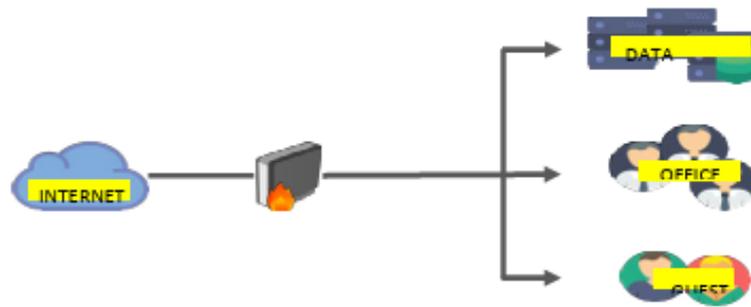


Figura 2.23 Firewall de una red [36]

Los cortafuegos pueden ser configurados para llevar a cabo múltiples funciones de seguridad, tales como:

- **Inspección de paquetes:** Analizar el contenido y los metadatos de los paquetes de red, con el fin de detectar posibles amenazas.
- **Restricción de accesos:** Aplicar reglas para permitir o denegar el tráfico proveniente de determinados orígenes o destinado a ciertos destinos.
- **Prevención de ataques:** Identificar y mitigar ataques comunes, como denegación de servicio, escaneo de puertos, inyección de código, entre otros. [35]

2.9 Marco legislativo y regulatorio

2.9.1 Nacional

El manejo de las frecuencias SHF está regulado globalmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que las asigna en tres regiones del mundo. En la Región 2, que incluye al Ecuador, se autoriza la utilización de bandas de frecuencia sin licencia para dispositivos de radiocomunicaciones, como las bandas 902-928 MHz, 2.4-2.5 GHz, y 5.725-5.875 GHz, entre otras, las cuales se destinan a aplicaciones industriales, científicas y médicas, sin necesidad de autorización específica para cada estación.

En el Ecuador, el organismo responsable de regular el uso del espectro radioeléctrico es la [37] (ARCOTEL), creada en febrero de 2015 y regida por la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT). La ARCOTEL supervisa el cumplimiento de los principios y derechos constitucionales, regula a las empresas privadas de

servicios de telecomunicaciones y garantiza la correcta gestión de las redes alámbricas e inalámbricas, consideradas un recurso natural limitado y dominio público.

Las normativas de ARCOTEL están alineadas con las directrices de la UIT y la LOT, y se complementan con el Plan Nacional de Frecuencias, que establece los rangos de frecuencias asignados para bandas no licenciadas. Para proyectos científicos, industriales o de investigación, las frecuencias de 2.4 y 5 GHz pueden ser utilizadas libremente, pero algunas aplicaciones requieren un título habilitante, ya sea para uso privado, compartido o experimental. Cada banda tiene características particulares: la banda 2.4 GHz es ampliamente compatible con equipos inalámbricos y ofrece mayor cobertura, pero es más propensa a interferencias. Por otro lado, la banda 5 GHz presenta menor interferencia y una mayor capacidad, aunque su alcance y compatibilidad son limitados en relación con la banda de 2.4 GHz.

El sector de las telecomunicaciones está bajo la supervisión de varias instituciones en Ecuador, encargadas de regular, monitorear y avalar el acatamiento de las disposiciones legales.

- **Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).** - Principal organismo normativo del sector, encargado de establecer políticas, autorizar concesiones y suscribir contratos para el uso del espectro radioeléctrico.
- **Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).** - Institución responsable de la gestión del espectro radioeléctrico y asegurar de manera efectiva las políticas emitidas por CONATEL y el Ministerio de Telecomunicaciones. También se encarga de otorgar permisos para la conexión de redes y suscribir contratos de concesión para los servicios de telecomunicaciones.
- **Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL).** - Organismo técnico encargado de la regulación, auditoría y supervisión de los servicios de telecomunicaciones, radiodifusión y televisión, además de la utilización del espectro radioeléctrico. Asimismo, asegura la protección de los derechos

de los abonados y promueve la Colaboración de la ciudadanía en la regulación del sector [37].

2.9.2 Internacional

El desarrollo tecnológico en los servicios de telecomunicaciones ha llevado a una creciente necesidad de regulación a nivel global. Por ello, organismos internacionales comprenden una función clave en la formulación de normas, políticas y recomendaciones que guían las acciones de los países y garantizan que las reglamentaciones nacionales se adapten a los cambios tecnológicos. Estas entidades trabajan para coordinar, estandarizar y supervisar el uso eficiente de recursos y tecnologías. A continuación, se presentan los principales organismos internacionales en el ámbito de las telecomunicaciones:

I. International Telecommunication Union (ITU)

La UIT, fundada en mil ochocientos sesenta y cinco, es una de las organizaciones intergubernamentales más antiguas del mundo y opera bajo el paraguas de las Naciones Unidas. Actualmente constituyen 194 naciones y más de 1000 organizaciones privadas y académicas que colaboran para fomentar el avance global de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información [38].

La ITU desempeña tres funciones principales:

Desarrollo de estándares técnicos: Elabora recomendaciones técnicas conocidas como Recomendaciones UIT-T, que garantizan la interoperabilidad de redes y equipos en todo el mundo.

Gestión del espectro radioeléctrico: Supervisa la asignación y utilización de frecuencias para garantizar el uso eficiente y evitar interferencias, además de coordinar las órbitas de los satélites.

Fomento del acceso universal: Promueve políticas y programas para que los avances en telecomunicaciones sean accesibles, incluso en regiones menos desarrolladas.

Es importante señalar que la UIT no emite leyes obligatorias, sino recomendaciones que los países pueden adoptar según sus necesidades [39].

II. Autoridad de Asignación de Números de Internet (IANA)

Una de las instituciones más importantes dentro de la cúpula técnica de Internet es la IANA. Ella tiene bajo su responsabilidad la coordinación de algunas de las funciones más relevantes en la red a nivel mundial, tales como las siguientes:

Asignación de direcciones IP: Ella coordina los bloques de IP que posteriormente son distribuidos a los Registros Regionales de Internet (RIR).

Gestión del sistema de nombres de dominio (DNS): Ella supervisa toda la infraestructura raíz del DNS, lo que asegura que los direccionamientos IP de dominio estén conectados a sus nombres correctos.

Asignación de protocolos: Ella administra los números de protocolo que son utilizados para la comunicación de datos en redes.

En esencia, la IANA se asegura que todos y cada uno de los únicos identificadores de internet, funcionen correctamente, lo cual es crítico para operar y mantener una red mundial interconectada [40].

III. ETSI Telecomunicaciones

Organización con sede en Europa que lidera la estandarización de tecnologías de la información y la comunicación. Establecida en 1988, ha desarrollado estándares aceptados internacionalmente que han cambiado industrias enteras [41].

Algunos logros destacados incluyen:

- **Estándar GSM:** El estándar para telefonía móvil que permitió la expansión global de las comunicaciones móviles.
- **Sistema TETRA:** Una solución para comunicaciones profesionales de radio móvil utilizadas en seguridad pública y transporte.
- **Creación del consorcio 3GPP:** El ETSI cofundó el Proyecto de Asociación de Tercera Generación, que desarrolló estándares para las tecnologías 3G, 4G y 5G.

El ETSI incluye más de 750 participantes en todo el mundo; gobiernos, empresas, universidades y centros de investigación.

IV. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)

Esta es una organización internacional de naturaleza científica y técnica cuyo objetivo es avanzar en la tecnología para el beneficio de la humanidad. Hay más de 400,000 voluntarios de más de 160 países alrededor del mundo. Se formó por la fusión del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (AIEE) y el Instituto de Ingenieros de Radio (IRE) en 1963 [42].

Entre sus principales funciones se encuentran:

Desarrollo de normas técnicas: Ha desarrollado cientos de normas, incluida la conocida IEEE 802.11 que rige las redes Wi-Fi.

Promoción de la innovación: Publica trabajos técnicos y organiza conferencias internacionales para estimular el flujo de ideas.

Educación continua: Proporciona materiales educativos como cursos, seminarios y publicaciones para personas en ingeniería y telecomunicaciones.

El IEEE no se ocupa exclusivamente de telecomunicaciones, ya que también abordan electrónica, informática e ingeniería eléctrica, tiene como propósito el avance tecnológico a nivel mundial [42].

CAPITULO 3

3 METODOLOGIA

Esta sección explica el enfoque metodológico utilizado para desarrollar el diseño del proyecto, el despliegue de la red y la evaluación de los enlaces WISP en las tres áreas rurales seleccionadas. La metodología es la columna vertebral del proyecto, para asegurar que todas las fases sean gestionadas adecuadamente y para garantizar la consecución de los mejores resultados posibles.

3.1 Metodología y Diseño del Proyecto

En cuanto a la metodología, este proyecto tiene un enfoque práctico y adaptable, que integra la estimación técnica. Las necesidades económicas y sociales de los sectores rurales hacen que este proyecto permita interconectar tres sectores rurales, como es Simiatug, Cochaloma, Cutahua y Mindina. Nuestro objetivo desde el inicio fue crear una solución accesible y asequible, pero también es escalable para adaptarse a futuras expansiones. Este enfoque también permite ajustar las fases del proyecto en función de los resultados alcanzados en cada etapa garantizaron una implementación exitosa.

3.2 Selección de las tres Zonas de Conexión rural.

La elección de los tres sectores rurales a interconectar fue determinada por la falta de conectividad en zonas con acceso limitado a Internet. También se tomaron en cuenta factores como la ubicación geográfica, disponibilidad de infraestructura, etc. Y características demográficas. Para ello, realizamos un análisis detallado para comprender las condiciones locales, recopilar información sobre el terreno y trabajar en estrecha colaboración con las comunidades de la parroquia Simiatug.

Se llevo a cabo la visita técnica a la Parroquia Simiatug, con el fin de identificar los puntos óptimos u adecuados que permitan interconectar los sectores rurales que se han establecido como objetivos.

Durante la visita técnica se determinó el nodo principal como se aprecia en la Figura 3.1, el cual tiene una conexión de fibra óptica, en base a ello servirá eje principal para la interconexión del proyecto.



Figura 3.1 Ubicación del Nodo Simiatug

Con la colaboración de los propietarios de SOLNET, quienes estaban familiarizados con el sector, emprendimos un recorrido de varios kilómetros hacia las montañas con el propósito de registrar las coordenadas de diferentes puntos, esto nos permitió determinar una zona elevada denominada Cochaloma, desde donde podría visualizar el siguiente punto a interconectar.



Figura 3.2 Ubicación del sector Cochaloma

SOLNET nos mostró el siguiente sector que aspiraba a interconectar, tras realizar un trayecto considerable que abarco aproximadamente 1 h y 30 minutos de camino en vehículo, arribamos a un sector llamado Cutahua.



Figura 3.3 Comunidad Cutahua

Nos desplazamos aproximadamente 5 km más delante para llegar al sitio que se podía observar desde el sector Cochaloma, procedimos a registrar la coordenada con el fin de emplearlo en el estudio de factibilidad para la interconexión de la comunidad Cutahua.



Figura 3.4 Ubicación de la comunidad de Cutahua

Con relación al último punto de interés, nos volvimos a trasladar alrededor de 2 horas debido a las características geográficas y al mal estado de la vía, llegamos al sector denominado Mindina, del cual surge SOLNET, por lo cual su interés en realizar la interconexión ya que sus habitantes requerían del servicio de internet.



Figura 3.5 Ubicación del sector Mindina

3.3 Criterios de Selección de equipos y tecnologías

Se evaluaron las capacidades de equipamiento y tecnología acorde al problema del proyecto que suplan y satisfagan las necesidades de las comunidades, Para este proyecto, las tecnologías inalámbricas seleccionadas equilibran el costo y el rendimiento. La actuación recayó en equipos de larga distancia, altamente confiables y con capacidad de satisfacer las necesidades de las tres comunidades, garantizando al mismo tiempo la calidad de servicio a los usuarios finales.

3.3.1 Determinación de Equipos y materiales

Para realizar los PTP se utilizaron los siguientes equipos ya que, por el tema de tecnología, características y monitoreo son los más adecuados como se exponen en la Tabla 3.1 Características del radio Mimosa C5x y en la Tabla 3.2 las características de la antena RD-5G30

Radio Mimosa C5x

Mimosa C5x representa la solución de radio más versátil e integrada de la industria, con cinco configuraciones de antena modulares tipo twist-on. La solución ultra resistente facilita un funcionamiento de frecuencia mejorado dentro del rango de 4,9 a 6,4 GHz, mostrando una inmunidad al ruido superior en comparación con las alternativas de la competencia.



Figura 3.6 Radio Mimosa C5x [43]

Al ofrecer una flexibilidad y rentabilidad excepcionales, el C5x sirve como la solución preferida para implementaciones punto a punto (PTP) o punto a multipunto (PTMP) en el rango de frecuencia de 5 GHz [43].

Tabla 3.1 Características del radio Mimosa C5x [43]

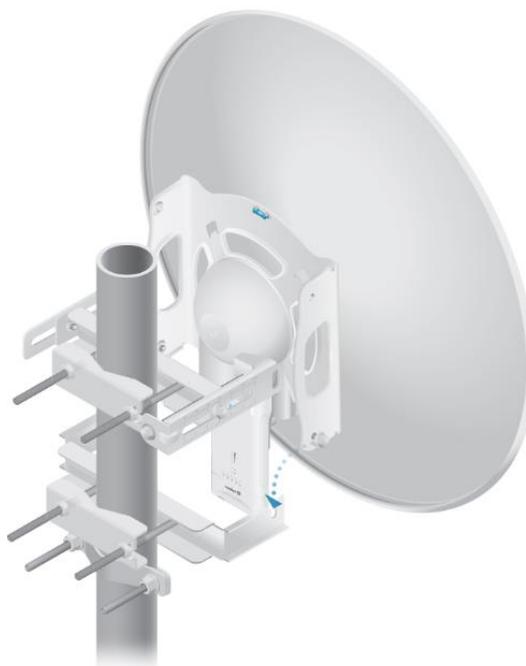
Especificaciones	Radio Mimosa C5x
Modos de Operación	Soporta PtP y PtMP
Señalización	MIMO 2X2 con modulación OFDM hasta 256 QAM
Potencia de salida	27 dBm
Velocidad de transmisión	Hasta 700 Mbps en PtP y PtMP
Canal ajustable	Ajustable a 20/40/80 MHz
Puertos de red	10/100/1000
Seguridad	WPA2 PSK and Enterprise 802.1x, Radius provisioning, COA, DM (from A5); 128-bit AES with hardware acceleration
Rango de frecuencia	En PtP y PtMP soportan frecuencias desde los 4.9 GHz a 6.4 GHz

Alimentación	Passive PoE, 24-56 V
Servicios de administración	Monitoreo de la nube Mimosa y gestión; Monitoreo SNMPv2 y Syslog; HTTPS; Interfaz de usuario web basada en HTML5
Dimensiones	Altura: 70 (mm) Ancho: 175 (mm) Profundidad: 61(mm)

Antena RD-5G30

El RD-5G30 constituye un significativo progreso en la correlación costo-eficacia dentro del ámbito de la tecnología de antenas de backhaul. Con un innovador diseño, la antena RD-5G30 exhibe una estructura mecánica robusta, derivada de sus componentes industriales ligeros, diseñados para resistir condiciones externas adversas. Adicionalmente, la configuración de su plato flector proporciona una notable directriz en el haz de comunicaciones [44].

Figura 3.7. Antena Dish RD-G530 [44]



Las antenas AirFiber Dish están equipadas con una funcionalidad de combinación Plug and Play, y los radios son fabricados para operar de manera óptima en conjunto; no obstante, también son compatibles con otras tecnologías en la banda

de 5GHz. compatible con dispositivos como radios AirFiber, Rocket, NetMetal, BaseBox, entre otros.

Tabla 3.2 Características de la Antena RD-5G30 [44]

RocketDish RD-5G30-LW	
Características técnicas	Descripción
Frecuencia	5.1 – 5.9 GHz
Ganancia	30 dBi
Relación de onda estacionaria (VSWR) máxima	1,6:1
Polarización	Lineal doble
Dimensiones	650 x 650 x 386 mm (25,6 x 25,6 x 15,2")
Resistencia al viento	200 km/h (125 mph)
Carga de viento	790 N a 200 km/h (178 lbf a 125 mph)
Peso	7,4 kg (16,31 lb) (soporte incluido)
Relación lóbulo delantero/trasero	30 dB
Especificación ETSI	EN 302 326 DN2
Montaje	Poste universal, soporte Rocket y cables RF impermeables incluidos

3.3.1.1 Selección de los RouterBOARD Mikrotik para los tres enlaces

PTP

Una vez completada la asignación de los enlaces PTP destinados a interconectar los tres sectores rurales de Cochaloma, Cutagua y Mindina, se procede a la determinación de los dispositivos RouterBOARD Mikrotik correspondientes para cada punto, tal como se detalla en las Tablas 4.7 y 4.8.

RB4011iGS+RM

Se asignó el Equipo RB4011iGS+RM, al nodo principal Simiatug debido a sus características potentes, posee 10 puertos Gigabit, Interfaz SFP+ de 10Gbps y aceleración de hardware Ipsec, como se muestra en la **Tabla 4.7** [45].



Figura 3.8 RB4011iGS+RM [45]

Tabla 3.3 Características del RB4011iGS+RM [45]

RB PARA EL NODO SIMIATUG	
Especificaciones	RB4011iGS+RM
Memoria RAM	1 GB
Almacenamiento	512 MB NAND
Arquitectura	MMIPS
CPU	AL21400
Frecuencia del Procesador	auto (533 - 1900) MHz
Puertos ethernet	10x 10/100/1000
Alimentación	12 – 57 V
Consumo máximo de energía	33 W
Dimensiones	228 x 120 x 30 mm
Licencia RouterOS	nivel 5

RouterBOARD RB750Gr3

Se trata de un enrutador Ethernet Gigabit que cuenta con cinco puertos diseñado para entornos donde no es necesaria la conectividad WI-FI. Está equipado con un puerto USB de tamaño estándar. Esta última revisión del hEX introduce múltiples mejoras en el rendimiento. Para los enlaces PTP se les designo el Equipo RB750Gr3, como se muestra en la **Tabla 4.8**, por sus características potentes, ya que posee 5 puertos Gigabit, asequible, pequeño y fácil de usar, admite todas las configuraciones avanzadas de RouterOS [46].

Tabla 3.4 Características del RB750Gr3 [46]

RB PARA LOS PUNTOS COCHALOMA, CUTAHUA Y MINDINA	
Especificaciones	RB750Gr3
Memoria RAM	256 MB
Almacenamiento	16 MB Flash
Arquitectura	MMIPS
CPU	2x MT7621A
Frecuencia del Procesador	880 MHz
Puertos ethernet	5x 10/100/1000
Alimentación	8 – 30 V
Consumo máximo de energía	10 W
Dimensiones	113 x 89 x 28 mm
Licencia RouterOS	nivel 4

3.4 Diseño de la topología de la Red WISP

El diseño de la red WISP sigue el modelo PtMP (punto a multipunto), donde una torre central está conectada a múltiples torres secundarias distribuidas en tres áreas rurales. Hemos desarrollado una topología que optimiza el uso del espectro de radio, aumenta el alcance y minimiza las interferencias. Además, se integra un sistema de enlace redundante para garantizar que la red continúe funcionando incluso si algunos componentes fallan.

3.4.1 Diseño de la red inalámbrica mediante software

El diseño de la red se plasmó primero mediante software, la simulación nos permite visualizar como se verá en el mundo real como también nos ayuda a resolver problemas, ahorrando tiempo y dinero.

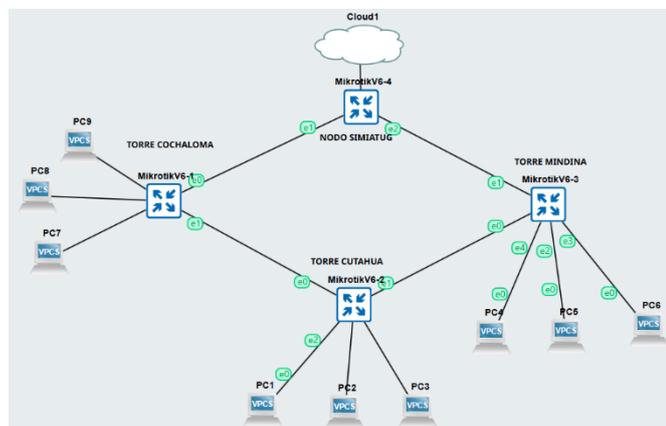


Figura 3.9 Diseño de la red Wisp

3.4.1.1 Cálculo para el presupuesto de enlace para el PTP Simiatug - Cochaloma



Figura 3.10 Radioenlace Simiatug - Cochaloma

En la **Figura 3.9** se ilustra gráficamente la ubicación del primer radioenlace que comprenden Nodo Simiatug y Torre Cochaloma, de los cuales tenemos los siguientes parámetros que se deben considerar para llevar a cabo calcular el presupuesto de potencia.

Tabla 3.5 Datos para el PTP Simiatug - Cochaloma

Parámetros	Datos
Distancia entre puntos	1,89km
Elevación Nodos Simiatug	3231 m
Elevación Torre Cutahua	3648 m

3.4.1.2 Zona de Fresnel del PTP Simiatug - Cochaloma

Para determinar la f_1 se emplea la ecuación 4.1 correspondiente.

$$r = 17.32 * \sqrt{\left(\frac{d}{4f}\right)} \quad (4.1)$$

Dónde:

d : distancia (Km)

f : frecuencia en (GHz)

Datos del enlace PtP Simiatug - Cochaloma:

$$d = 1.89 \text{ (Km)}$$

$$f = 5.850 \text{ (GHz)}$$

Haciendo uso de la ecuación 4.1 da como resultado:

$$r = 4.92(m)$$

3.4.1.3 Perdida en el espacio libre (FSL) del radioenlace Simiatug - Cochamola

La atenuación en el espacio libre (FSL), hace referencia a la pérdida de potencia que ocurre en ausencia de obstáculos, como se observa en el contexto del proyecto, y puede ser cuantificada mediante la fórmula correspondiente a la ecuación 4.2.

$$FSL(dB) = k + 20 \log(d + f) \quad (4.2)$$

Siendo:

d = distancia entre puntos

f = frecuencia de enlace

k = 92.45 si la frecuencia es expresada en (GHz) o 32.4 si la frecuencia se encuentra en MHz

Datos del Enlace A:

$$d = 1.89 \text{ (Km)}$$

$$f = 5.850 \text{ (GHz)}$$

$$k = 92.45$$

Al realizar el cálculo con la Ecuación 4.2 se obtiene como resultado en (dB):

$$FSL = 113,32 \text{ (dB)}$$

3.4.1.4 Presupuesto de enlace del PTP Simiatug - Cochaloma

El presupuesto de enlace se calcula en (dB), de modo que todos los factores se convierten en los términos que se puedan sumar o se restar.

El presupuesto de enlace es la compilación de todas las ganancias y pérdidas en enlace de comunicación.

La siguiente ecuación 4.3 es empleada para llevar a cabo su cálculo.

$$P_{RX}(dB) = P_{TX} - L_{CCTX} + G_{TX} - FSLG + G_{RX} - L_{CCRC} - S_{RX} \quad (4.3)$$

Siendo:

$P_{TX}(dB)$: Potencia de transmisión

$P_{RX}(dBm)$: Potencia recibida por el receptor

$L_{CCTX}(dB)$: Pérdida en el conductor del transmisor

$G_{TX}(dBi)$: Ganancia del transmisor

$FSLG$: Pérdida asociada al espacio libre

$L_{CCRX}(dB)$: Pérdida asociada al conductor del receptor

$S_{RX}(dBm)$: Umbral de sensibilidad del receptor

Datos de la antena obtenidos del datasheet que se utilizados para calcular el presupuesto de enlace:

$P_{TX}(dBm)$: 27 (dBm)

$L_{CCTX}(dB)$: 1 (dB)

$G_{TX}(dBi)$: 30 (dBi)

$FSLG$: 173.32 (dB)

$L_{CCRX}(dB)$: 1 (dB)

$S_{RX}(dBm): -87$

Una vez realizado el cálculo con la **Ecuación 4.3** nos da como resultado:

$$P_{RX}(dBm) = 58.68$$

3.4.2 Cálculo de presupuesto de enlace para el PTP Cochaloma – Cutahua

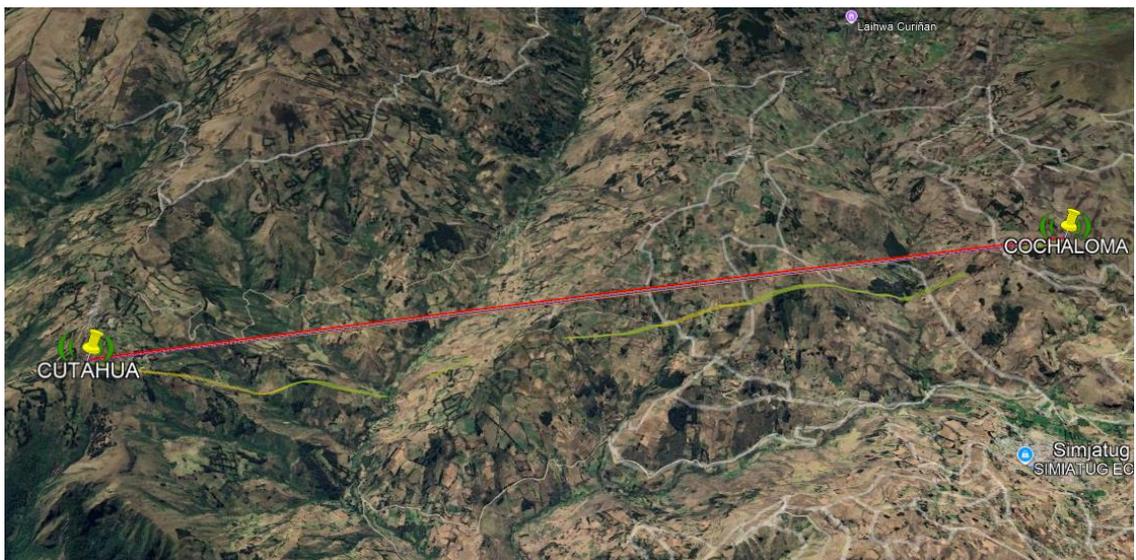


Figura 3.11 Radioenlace Cochaloma - Cutahua

El cálculo del presupuesto de potencia llevara a cabo empleando las ecuaciones antes descritas y la información de la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Información para el PTP Cochaloma - Cutahua

Parámetros	Datos
Distancia entre puntos	7,05 km
Elevación la Torre Cochaloma	3621 m
Elevación la Torre Cutahua	3502 m

3.4.2.1 Zona de Fresnel para el PTP Cochaloma - Cutahua

Datos del enlace A:

$D = 7.05$ (Km)

$F = 5.925$ (GHz)

Usando vez realizado el cálculo con la ecuación 4.1 se obtiene como resultado en (dB):

$$r = 9.45(m)$$

3.4.2.2 Perdida en el espacio libre (FSL)

Datos del Enlace A:

$$D = 7.05 \text{ (Km)}$$

$$F = 5.925 \text{ (GHz)}$$

$$K = 92.45$$

Realizando el cálculo con Ecuación 4.2 se obtiene como resultado en (dB):

$$FSL = 124,87 \text{ (dB)}$$

3.4.3 Presupuesto de enlace del PtP Covhaloma - Simiatug

Para el cálculo de estimación de potencia del PTP Cochaloma - Cutahua se emplea la ecuación 4.3

$$P_{TX}(dBm): 27 \text{ (dBm)}$$

$$L_{CCTX}(dB): 1 \text{ (dB)}$$

$$G_{TX}(dBi): 30 \text{ (dBi)}$$

$$FSLG: 124.87 \text{ (dB)}$$

$$L_{CCRX}(dB): 1 \text{ (dB)}$$

$$S_{RX}(dBm): -87$$

Una vez realizado el cálculo con la ecuación 4.3 nos da como resultado:

$$P_{RX}(dBm) = 47.13$$

3.4.4 Cálculo de presupuesto de potencia para PTP Cutahua - Mindina

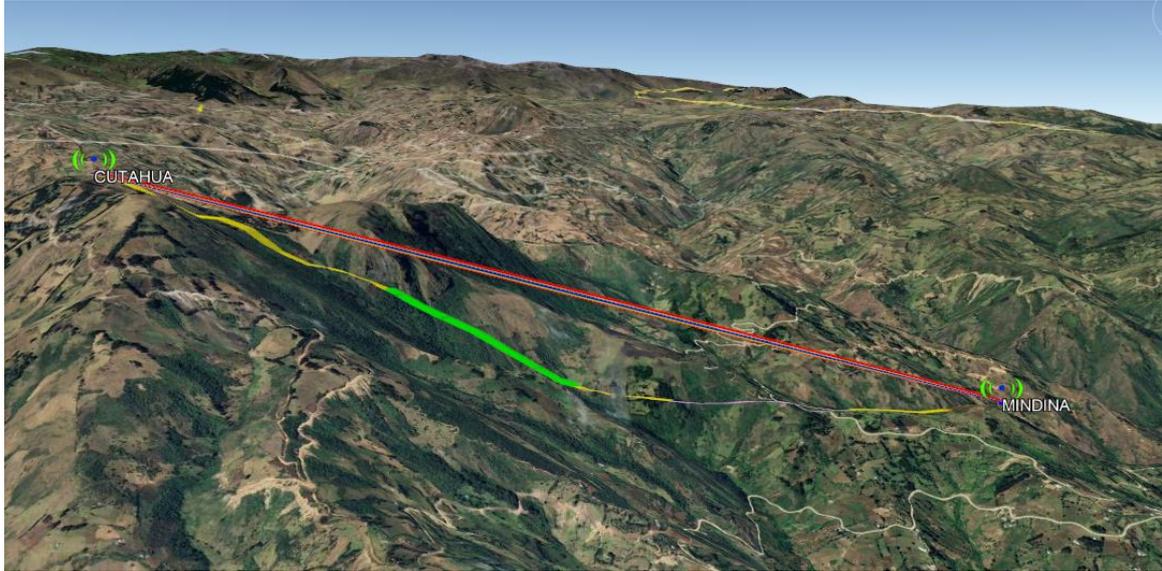


Figura 3.12 Radioenlace PTP Cutahua - Mindina

El cálculo del presupuesto de potencia llevara a cabo empleando las ecuaciones antes descritas y la información de la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 . Información para el PTP Cutahua - Mindina

Parámetros	Datos
Distancia entre puntos	3,18 km
Elevación la Torre Cutahua	3502 m
Elevación la Torre Mindina	2748 m

3.4.4.1 Zona de Fresnel para el PTP Cutahua - Mindina

Datos del enlace Cutahua - Mindina:

$$D = 3.18 \text{ (Km)}$$

$$F = 5.225 \text{ (GHz)}$$

Empleando la **Ecuación 4.1** se obtiene como resultado la primera zona de Fresnel del tercer radioenlace:

$$r = 6.76(m)$$

3.4.4.2 Perdida en el espacio libre (FSL)

Datos del Enlace Catahua Mindina:

$$D = 3.18 \text{ (Km)}$$

$$F = 5.225 \text{ (GHz)}$$

$$K = 92.45$$

Empleando la **Ecuación 4.2** se obtiene como resultado en (dB) la pérdida de la trayectoria del enlace de radio:

$$FSL = 116,86 \text{ (dB)}$$

3.4.5 Presupuesto de enlace del PTP Cutahua - Mindina

Para el cálculo de estimación de potencia del PTP Cutahua - Mindina se utiliza la ecuación 4.3

$$P_{TX}(dBm): 27 \text{ (dBm)}$$

$$L_{CCTX}(dB): 1 \text{ (dB)}$$

$$G_{TX}(dBi): 30 \text{ (dBi)}$$

$$FSLG: 118.16 \text{ (dB)}$$

$$L_{CCRX}(dB): 1 \text{ (dB)}$$

$$S_{RX}(dBm): -87$$

Una vez realizado el cálculo con la **Ecuación 4.3** nos da como resultado:

$$P_{RX}(dBm) = 55.14$$

3.4.6 Cálculo de enlaces mediante Software Radio Mobile

Una vez realizado los cálculos de presupuestos, se procede a ingresar los datos en obtenidos en Goole Earth, para ingresar en el Software Radio Mobile para obtener resultados más precisos.

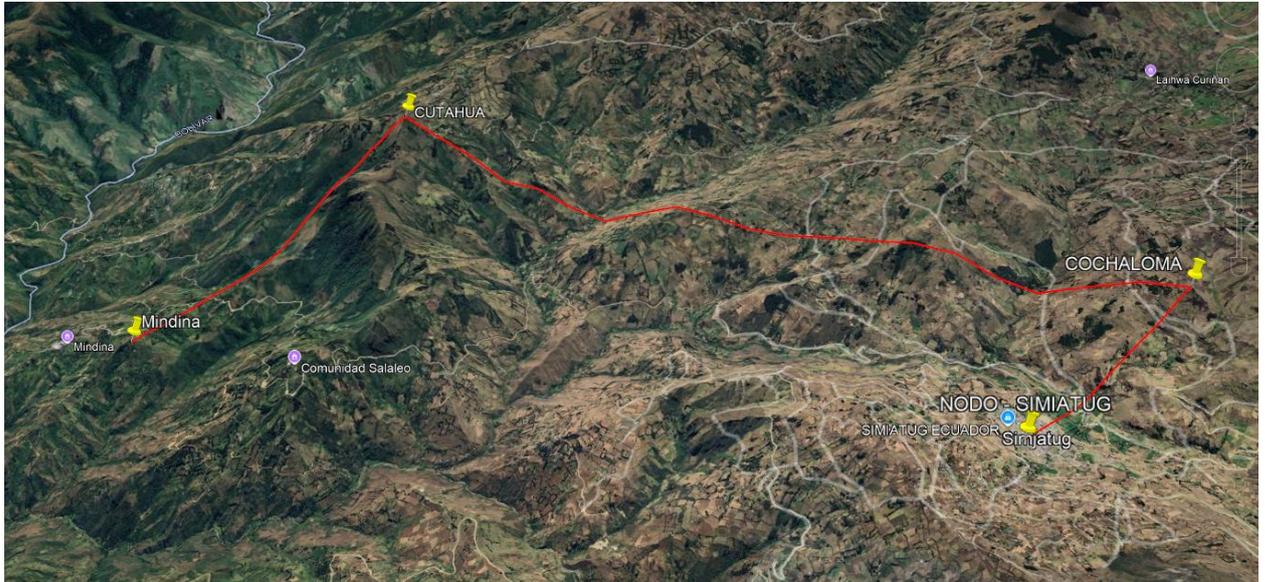


Figura 3.13 Ubicación de las Torres de SOLNET

Se tomaron las coordenadas de los puntos señalados en la Figura 3.8, para el ingreso de información en radio Mobile.

Tabla 3.8 Ubicación de las torres de telecomunicaciones de SOLNET

Lugar	Longitud	Latitud	Altura (m)
NODO – SIMIATUG	-1.290456	-78.961540	3217
COCHALOMA	-1.294184	-78.945153	3631
CUTAHUA	-1.236501	-78.958031	3502
MINDINA	-1.233925	-78.984633	2748

Para llevar a cabo el cálculo a través software se procede a ingresar las coordenados presentadas en la Tabla 3.8. Este proceso nos brinda una idea de la distribución y distancia entre las diferentes torres, es relevante mencionar que

Radio Mobile, nos permite visualizar y simular enlaces, lo que facilita la verificación y precisión de los datos.

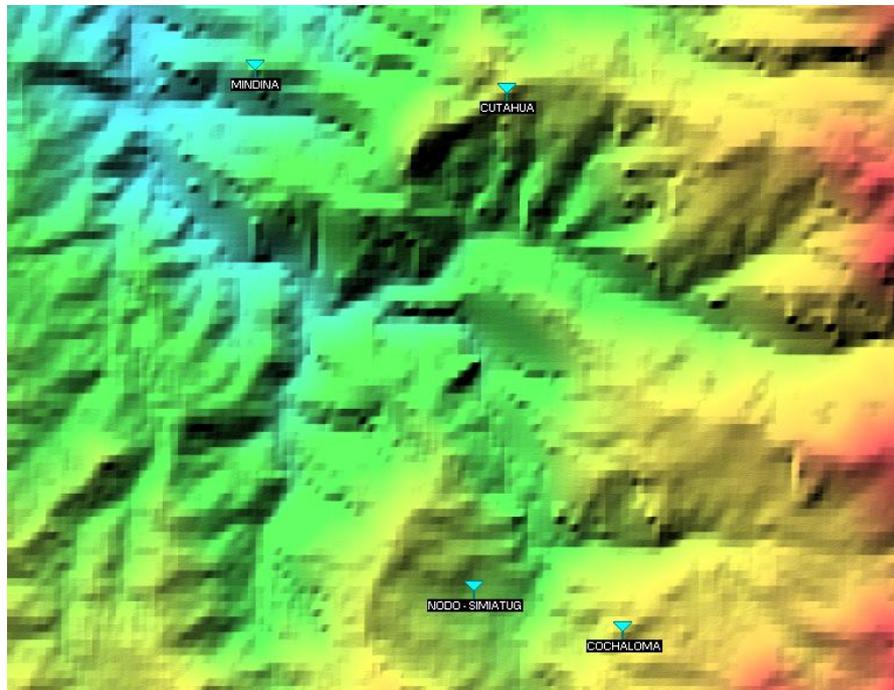


Figura 3.14 Coordenadas de los enlaces en Radio Mobile

Una vez colocado los puntos en radio Mobile procederemos a configurar los parámetros de radio que se utilizaran en el PTP, en la Figura 3.15 podemos apreciar el ingreso de la máxima y mínima frecuencia.

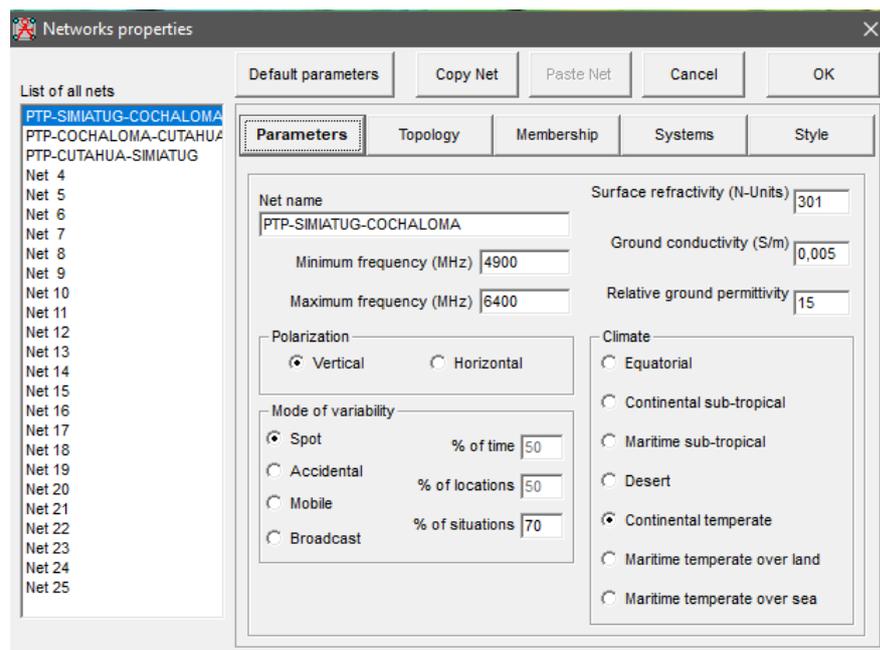


Figura 3.15 Parámetros de configuración de enlace

En la sección correspondiente a Topología, se ha seleccionado el tipo de topología de Data net como star topology en configuración Maestro/Esclavo, como se muestra en la Figura 3.16.

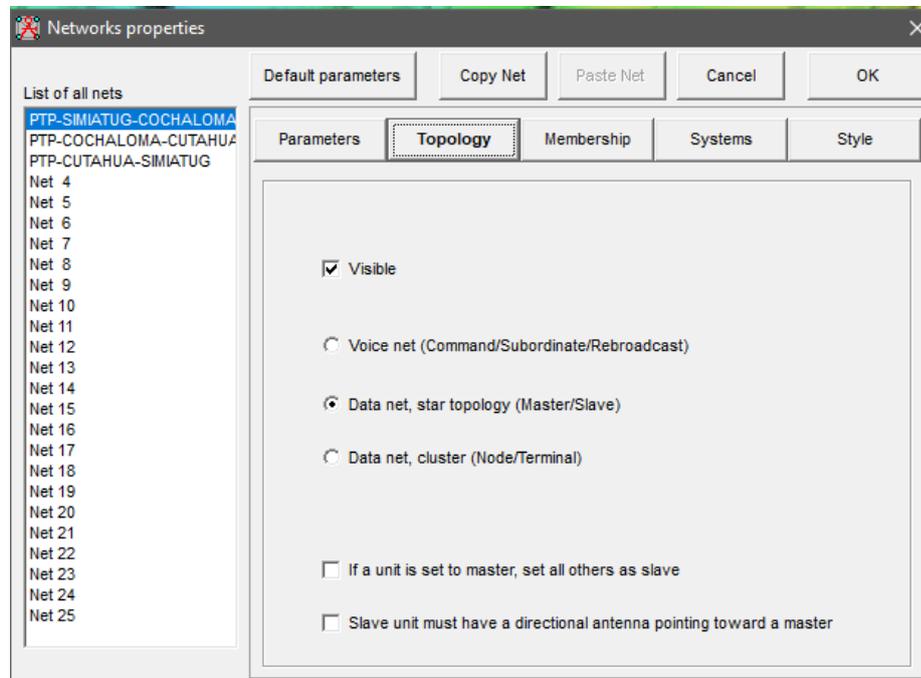


Figura 3.16 Configuración de Topología de enlace

Se configuro en el software Radio Mobile cual va a ser Access Point (AP) y cual actuara como estación, también se ingresaron parámetros como la altura de la torre y la dirección del enlace Torre Cochaloma como se ilustra en la figura 3.17.

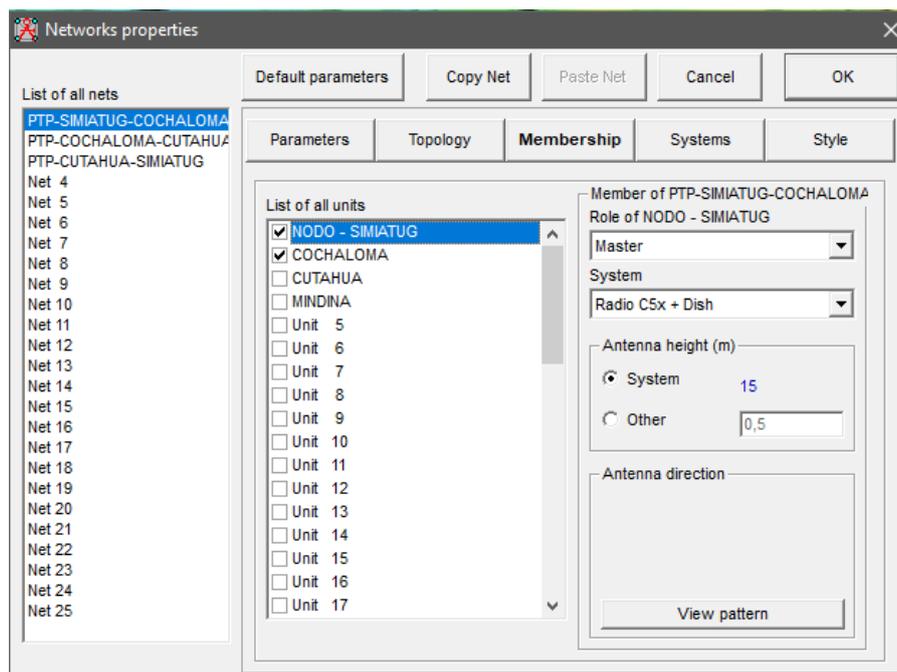


Figura 3.17 Selección de antenas para el enlace PTP

Se ubico el punto Cochaloma como Slave ya que es la antena quien recibirá el enlace desde el NOC – SIMIATUG, como se aprecia en la Figura 3.18.

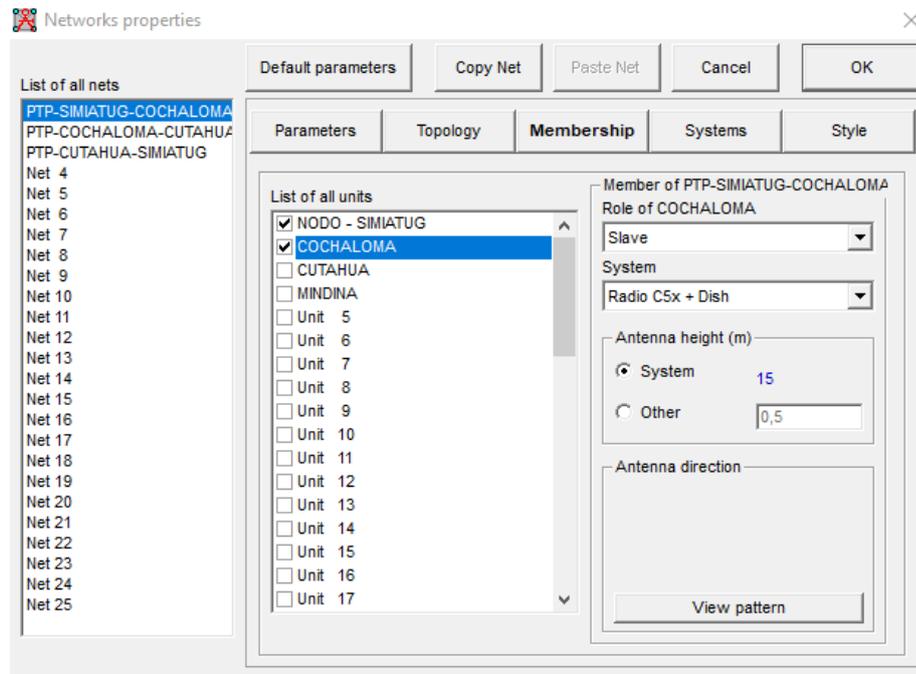


Figura 3.18 Selección del Miembro Slave - Cochaloma

En la opción Systems se colocaron datos de la antena con la cual se va a trabajar, tales como potencia de transmisión, umbral del receptor, tipo de antena, perdida por el conductor entre otros parámetros, según se aprecia en la Figura 3.19.

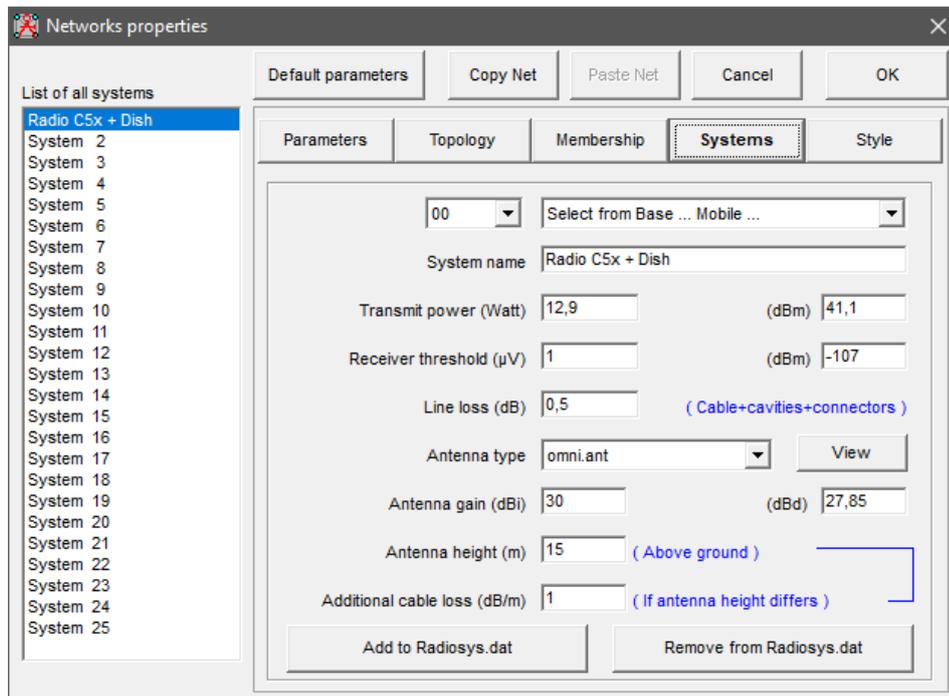


Figura 3.19 Parámetros de la antena

El último parámetro de configuración de las propiedades de red Style se mantuvo en su valor predeterminado, como se evidencia en la **Figura 3.20**.

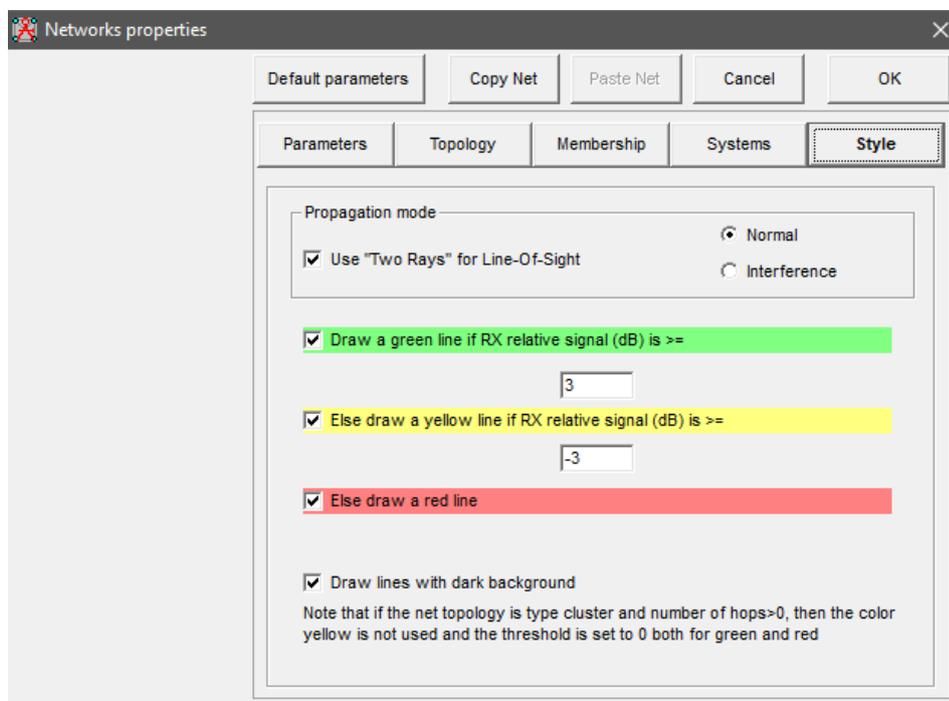


Figura 3.20 Estilo de enlace principal

Configurado todos los parámetros de enlace se puede apreciar en la figura 3.21, cual es el camino o direccionamiento que tendrán los PTP para interconectar las tres áreas rurales.

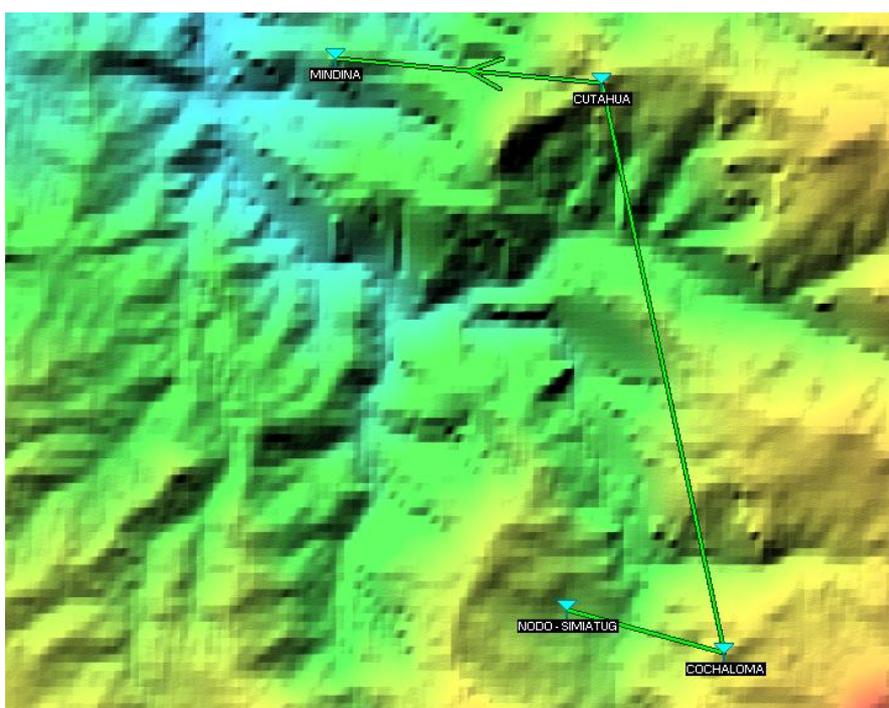


Figura 3.21 Enlaces PTP en todos los sectores

Se selecciono el icono dentro del cuadro de herramientas “Show Networks” y luego de esto en el icono “Radio Link”, aparece una ventana dónde nos indicara el resultado de los enlacea PTP, según se aprecia en la Figura 3.22.

3.4.6.1 Simulación del radioenlace del PTP Simiatug - Cochaloma

La simulación del radioenlace PTP Simiatug – Cochaloma permite observar, en la Figura 3.22, los resultados del presupuesto de enlace obtenidos a través del software Radio Mobile para dicho PTP

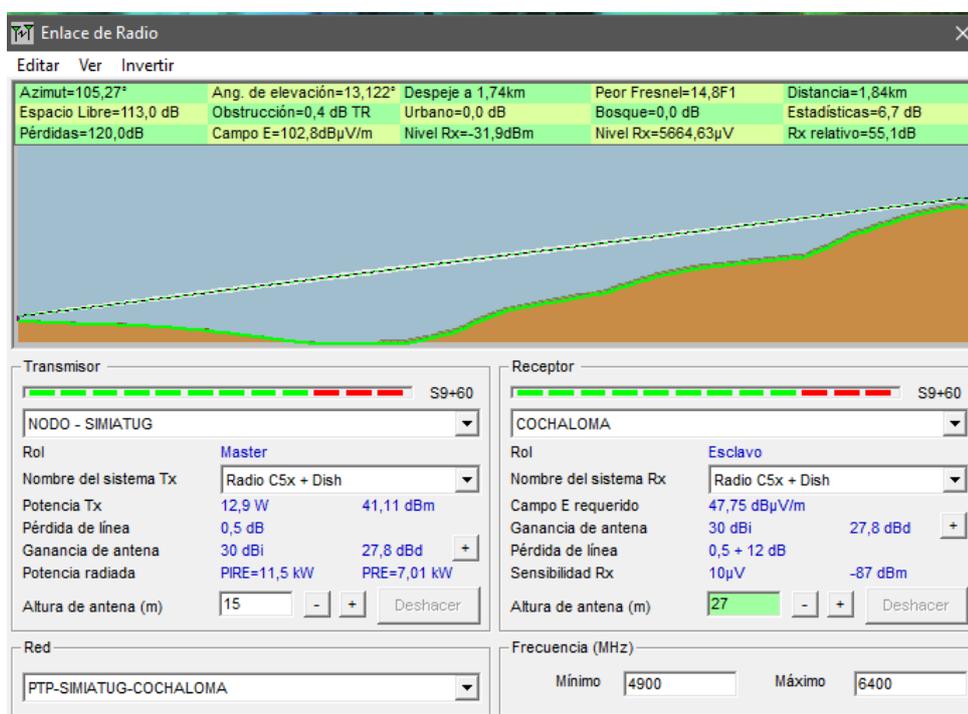


Figura 3.22 Resultado de enlace del nodo Simiatug hacia la torre Cochaloma

Los cálculos realizados del presupuesto de enlace del punto NODO - SIMIATUG al Punto Torre Cochaloma, se puede verificar en la Tabla 3.9, el cual no tiene mucho margen de diferencia.

Tabla 3.9 Comparación entre el cálculo manual y los resultados del Software Radio Mobile del enlace. del enlace PTP Simiatug - Cochaloma

PARÁMETRO	CÁLCULOS	RADIO MOBILE
Radio de la primera zona de Fresnel	4,92 (m)	1,05 (m)
Punto crítico de la zona de Fresnel		14,8F1
Pérdida en el espacio libre	113,32	119,8
Presupuesto de enlace	58,68	53,2

La tabla indica notables diferencias con respecto a los valores calculados utilizando los cálculos teóricos y los resultados logrados con Radio Mobile, en particular el radio de la zona de Fresnel y la pérdida en el espacio libre.

Estas discrepancias indican que Radio Mobile parece tener en cuenta otros factores, como obstrucciones cercanas, reflejos del terreno y la configuración general del área, que no fueron considerados en los cálculos iniciales.

3.4.6.2 Simulación del radioenlace del PTP Cochaloma - Cutahua

La simulación del radioenlace entre PTP Cochaloma y Cutahua permite observar, en la Figura 3.23, los resultados del presupuesto de enlace obtenidos a través del software Radio Mobile para dicho PTP.

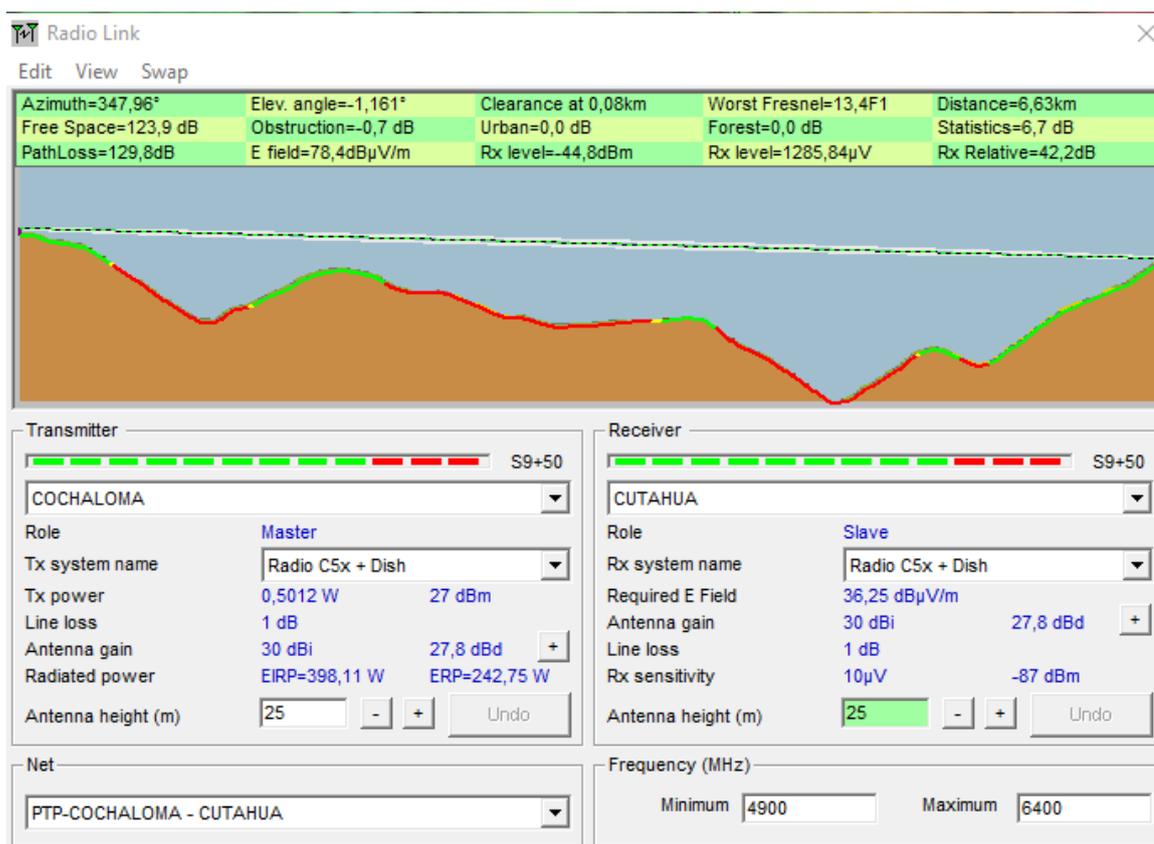


Figura 3.23 Enlace PTP Cochaloma - Cutahua

Comparamos los resultados obtenidos del enlace PTP Cochaloma – Cutahua con los cálculos realizados anteriormente, como se observa en la tabla 3.10

Tabla 3.10 Comparación entre el cálculo manual y los resultados del Software Radio Mobile del enlace. del enlace PTP Cochaloma - Cutahua

Parámetros	Cálculos	Radio Mobile
Radio primera zona de Fresnel	9,45 (m)	1,05 (m)
Peor zona de Fresnel		13,4F1
Pérdida en el espacio libre	124,87	123,9
Presupuesto de enlace	47,13	42,2

3.4.6.1 Simulación del radioenlace del PTP Cutahua - Mindina

Se puede apreciar la figura 3.25, los resultados del presupuesto y zona de Fresnel calculados en el software Radio Mobile del cálculo de presupuesto y zona de Fresnel del PTP Cutahua y Mindina.

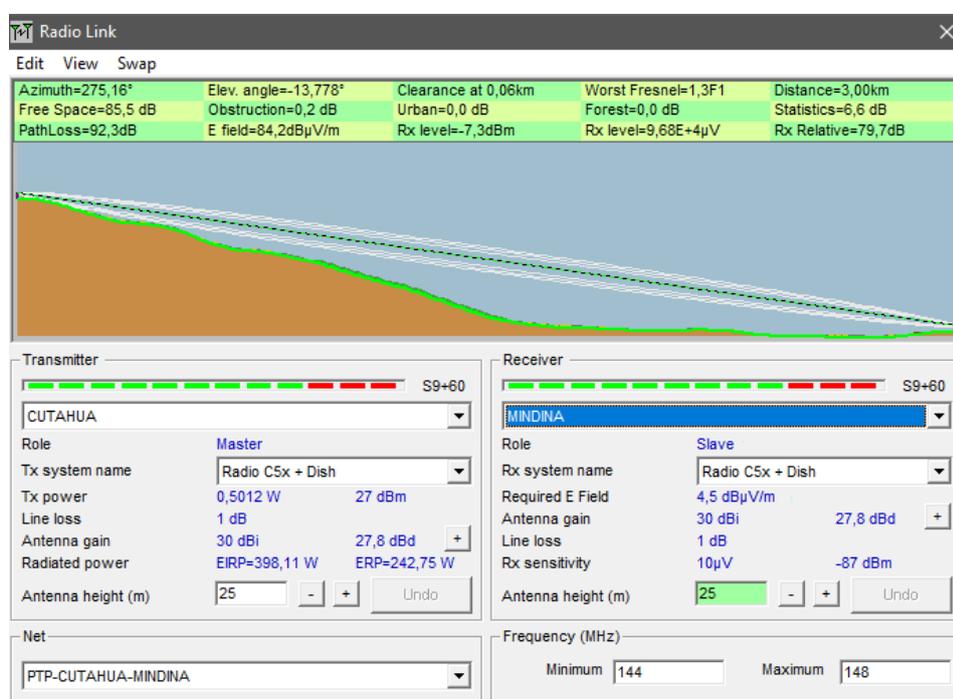


Figura 3.24 Enlace PTP Cutahua - Mindina

Comparamos los resultados obtenidos del enlace PTP Cutahua - Mindina con los cálculos realizados anteriormente, según se detalla en la tabla 3.11

Tabla 3.11 Comparación entre el cálculo manual y los resultados del Software Radio Mobile del enlace. del enlace PTP Cutahua – Mindina

Parámetros	Cálculos	Radio Mobile
Radio primera zona de Fresnel	6.76 m	1.05 m
Peor zona de Fresnel		1,3F1
Pérdida en el espacio libre	116,86	85,5
Presupuesto de enlace	55,14	79,7

3.5 Procedimiento de Despliegue y Configuración de Equipos

Para el despliegue y configuración de equipos en la red WISP constara de tres fases:

- **Primera fase:** Se realizará la Instalación los puntos de acceso en cada torre de la red WISP.
- **Segunda fase:** Se ejecutará la configuración de equipos de red y ajuste de direcciones IP y seguridad.
- **Fase final:** Comprobación de conectividad y obtención de rendimiento en tiempo real. Se usarán herramientas de que permitan medir y evaluar la eficacia de la señal y detectar problemas en la etapa de prueba.

3.5.1 Instalación de los puntos de acceso

3.5.1.1 Instalación del equipo en El Nodo Simiatug

El equipo RB4011iGS RM está posicionado dentro del rack para resguardarlo de cualquier manipulación no autorizada por parte de técnicos, garantizando así que sólo personal técnico autorizado pueda realizar modificaciones, tal y como se ilustra en la Figura 4.21.



Figura 3.25 Instalación del RB4011iGS+RM en el Nodo Simiatug

3.5.1.2 Instalación de los equipos en la Torre Cochaloma

Una vez que se culminó con la instalación de los equipos en Nodo Simiatug se procedió con el montaje de los equipos en la Torre Cochaloma, se coloca el radio como se indica en la Figura 4.22 y el equipo Mikrotik RB750Gr3 dentro de un rack.



Figura 3.26 Montaje de equipos en la Torre Cochaloma

3.5.1.3 Instalación de los equipos en la Torre Cutahua

Una vez que se culminó con la instalación de los equipos en Torre Cochaloma se procedió con el montaje de los equipos en la Torre Cutahua, se coloca el radio como se aprecia en la Figura 4.23 y el equipo Mikrotik RB750Gr3 dentro de un rack.



Figura 3.27 Montaje de equipos en la Torre Cutahua

3.5.1.4 Instalación de los equipos en la Torre Mindina

Una vez que se culminó con la instalación de los equipos en Torre Cutahua se procedió con el montaje de los equipos en la Torre Mindina, se coloca el radio como se aprecia en la Figura 4.24 y el equipo Mikrotik RB750Gr3 dentro de un rack.



Figura 3.28 Montaje de los equipos en la Torre Mindina

3.5.2 Configuración y asignación de Ip a los RouterBOARD

3.5.2.1 Direccionamiento Ip de la red Wisp

Se creo un direccionamiento de red Ip de SOLNET, mismo que se encuentra dentro de la siguiente tabla 4.9. Se detallan las direcciones Ip que tendrá cada Punto, la configuración de red estará en OSPF ya que es un protocolo de enrutamiento ideal para redes escalables.

Tabla 3.12 Direccionamiento Ip de la red Wisp

Equipo	Interface	Ipv4 address	AREA	DESCRIPCIÓN	SUBRED SUMMARY
CE1	Ether 2	172.16.1.1/30	1	RED INF	172.16.1.0/24
CE1	Ether 3	100.64.1.1/24	1	RED CLIENTES	100.64.1.0/24
CE1	LO	172.16.1.254/32	1	RED INF	172.16.1.0/24
CE2	Ether 1	172.16.2.1/30	2	RED INF	172.16.2.0/24
CE2	Ether 2	100.64.2.1/24	2	RED CLIENTES	100.64.2.0/24
CE2	LO	172.16.2.254/32	2	RED INF	172.16.2.0/24

CE3	Ether 1	172.16.3.1/30	3	RED INF	172.16.3.0/24
CE3	Ether 2	100.64.3.1/24	3	RED CLIENTES	100.64.3.0/24
CE3	LO	172.16.3.254/32	3	RED INF	172.16.3.0/24
CE4	Ether 1	172.16.1.1/30	4	RED INF	172.16.4.0/24
CE4	Ether 2	100.64.4.1/24	4	RED CLIENTES	100.64.4.0/24
CE4	LO	172.16.4.254/32	4	RED INF	172.16.4.0/24

3.5.2.2 Configuración del equipo del Nodo Simiatug Rb RB4011iGS+RM

Conectamos directamente en el puerto ethernet 1 del RB a nuestro ethernet del computador, abrimos el software Winbox 3.41, y seleccionamos en la opción Neighbors, seleccionamos la dirección MAC e ingresamos a RB RB4011iGS+RM

Las configuraciones principales que obtendrá el Rb RB4011iGS+RM para que funcione como el RB principal son los siguientes:

- Configuración de la Ip publica
- Configuración del segmento de Ip para el PTP.
- Configuración del NAT
- Configuración de Firewall
- Configuración del Servidor PPOE
- Configuración del OSPF

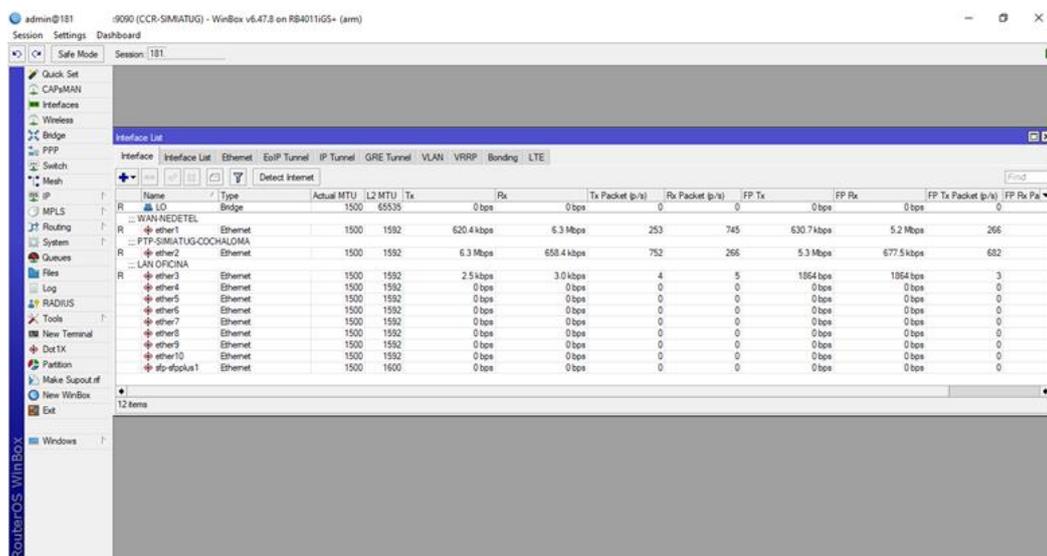


Figura 3.29 Configuración del RB4011iGS+RM

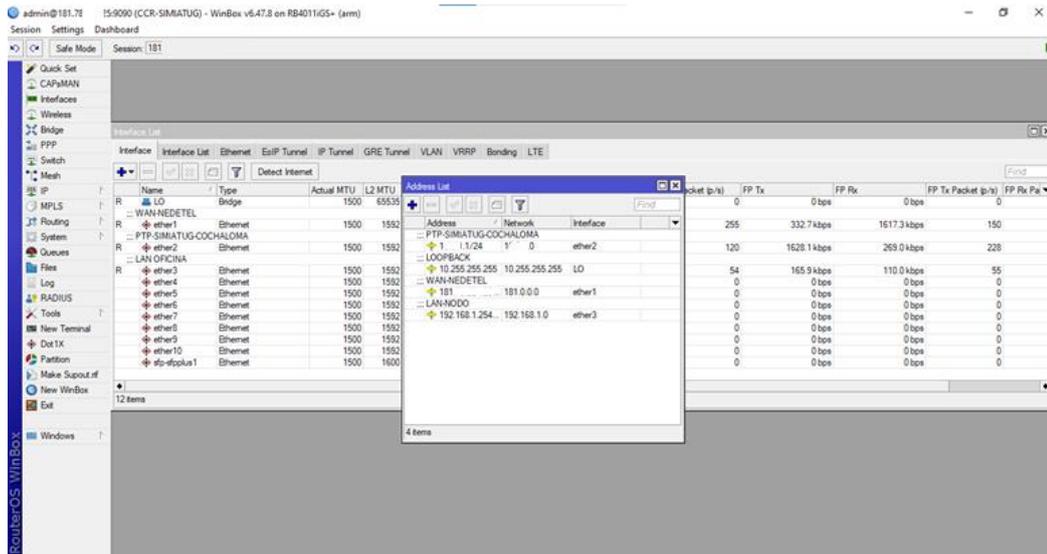


Figura 3.30 Asignación de Ip en los puertos Ethernet y configuración de las interfaces

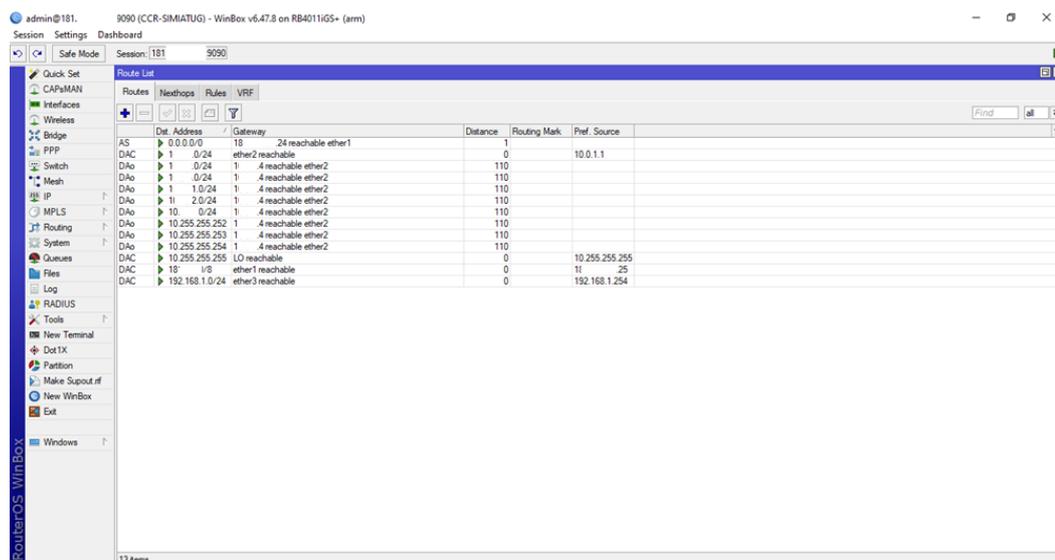


Figura 3.31 Configuración del OSPF

3.5.2.3 Configuración del equipo de la Torre Cochaloma

Conectamos directamente el puerto ethernet 1 del RB a nuestro ethernet del computador, abrimos el software Winbox 3.41, y seleccionamos en la opción Neighbors, seleccionamos la dirección MAC e ingresamos a RB750Gr3

Las configuraciones principales que obtendrá el RB750Gr3 para que funcione como el Nodo secundario son los siguientes:

- Configuración de la Ip
- Configuración de red clientes
- Configuración del segmento de Ip para el PTP.
- Configuración de OSPF

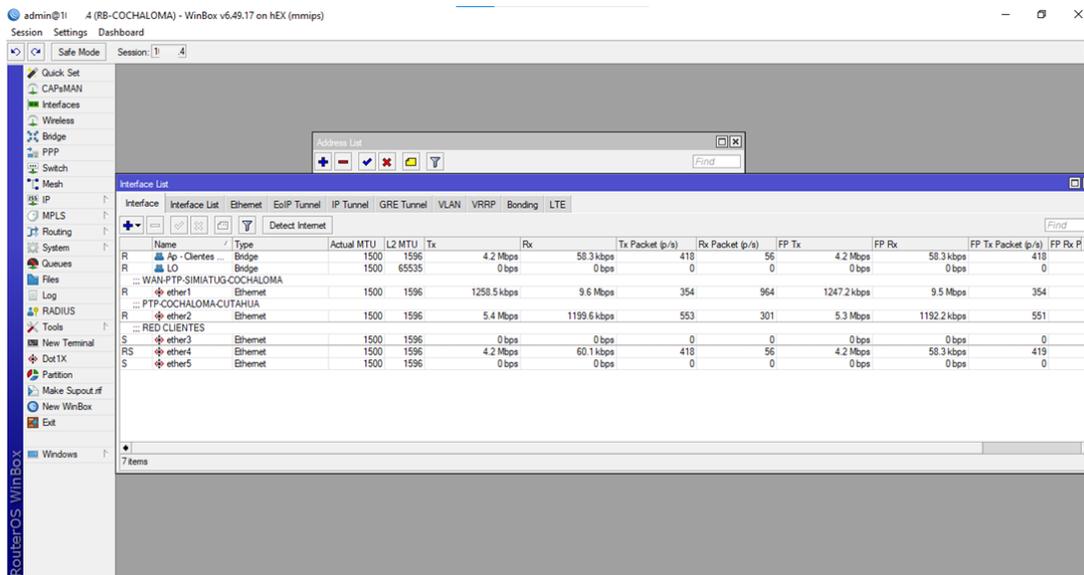


Figura 3.32 Configuración de Rb para la Torre Cochaloma

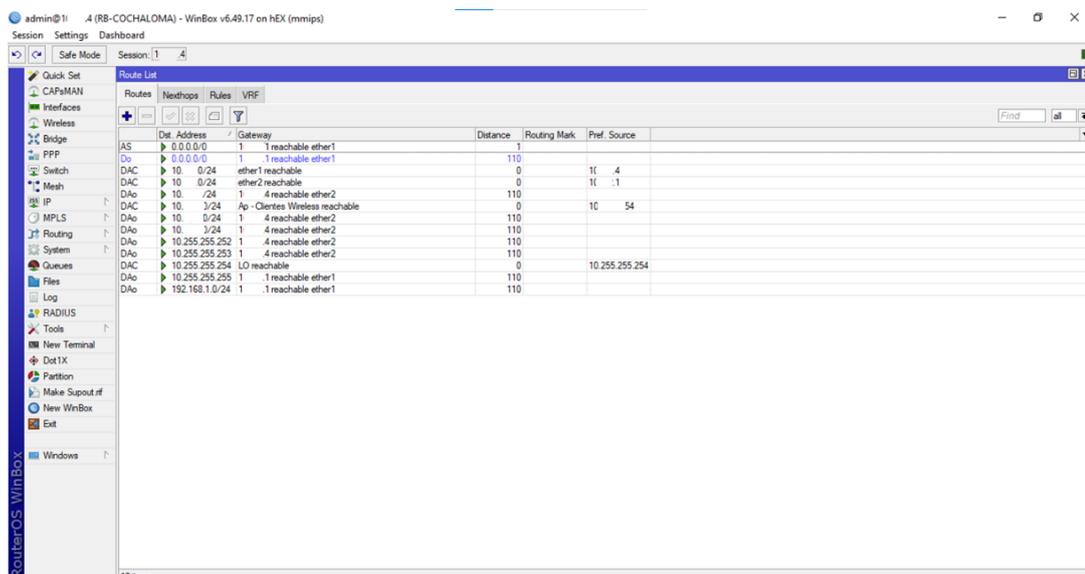


Figura 3.33 Configuración del OSPF en el Rb Torre Cochaloma

3.5.2.4 Configuración del equipo de la Torre Cutahua

Conectamos directamente el puerto ethernet 1 del RB a nuestro ethernet del computador, abrimos el software Winbox 3.41, y seleccionamos en la opción Neighbors, seleccionamos la dirección MAC e ingresamos a RB750Gr3

Las configuraciones principales que obtendrá el RB750Gr3 para que funcione como el Nodo secundario son los siguientes:

- Configuración de la Ip
- Configuración de red clientes
- Configuración del segmento de Ip para el PTP.
- Configuración de OSPF

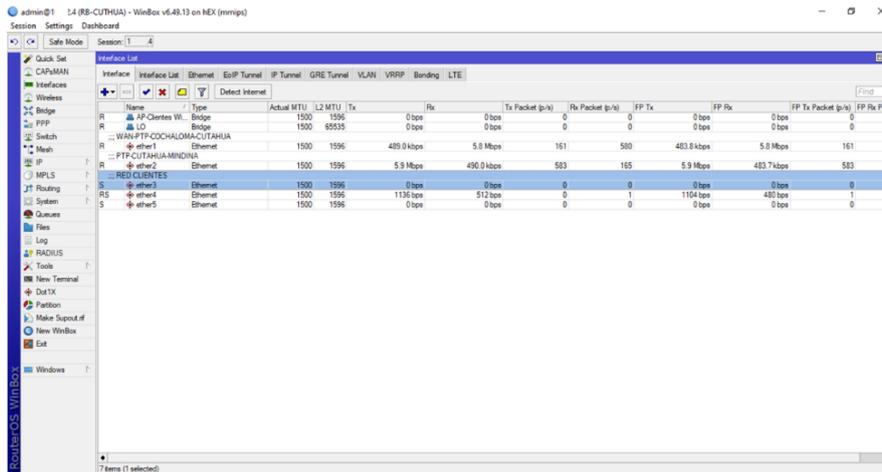


Figura 3.34 Configuración del Rb para la Torre Cutahua

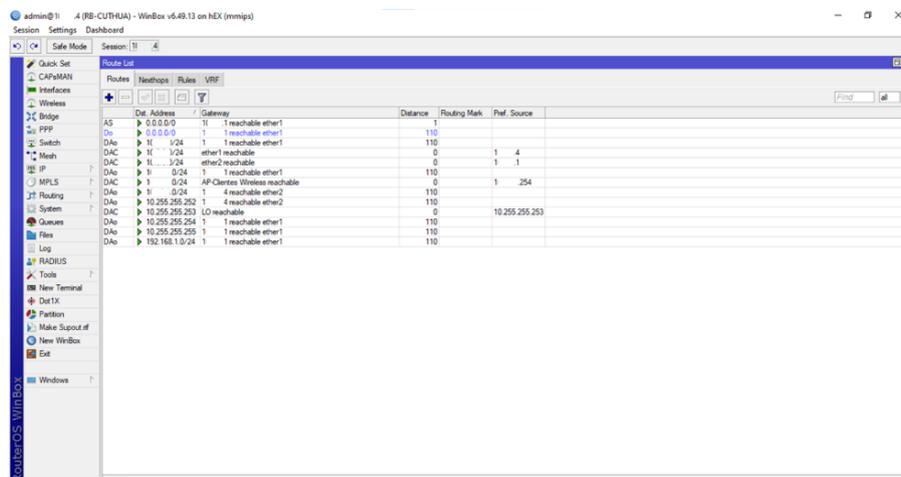


Figura 3.35 Configuración del OSPF para el RB Torre Cutahua

3.5.2.5 Configuración del equipo de la Torre Mindina

Conectamos directamente el puerto ether 1 del RB a nuestro ether del computador, abrimos el software Winbox 3.41, y seleccionamos en la opción neighbors, seleccionamos la dirección MAC e ingresamos a RB750Gr3

Las configuraciones principales que obtendrá el RB750Gr3 para que funcione como el Nodo secundario son los siguientes:

- Configuración de la IP
- Configuración de red clientes
- Configuración del segmento de IP para el PTP.
- Configuración de OSPF

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx	Tx Packet (p/s)	Rx Packet (p/s)	FP Tx	FP Rx	FP Tx Packet (p/s)	FP Rx Packet (p/s)
AP-Clientes Wi	Bridge	1500	1596	5.2 Mbps	119.2 kbps	532	64	0 bps	119.2 kbps	0	0
LD	Bridge	1500	65535	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps	0	0
PTP-CITAJUA-MINDINA	Bridge	1500	1596	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps	0	0
ether1	Ethernet	1500	1596	115.8 kbps	5.1 Mbps	74	521	112.8 kbps	5.0 Mbps	74	0
ether2	Ethernet	1500	1596	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps	0	0
CLIENTES	Ethernet	1500	1596	512 bps	0 bps	0	0	480 bps	0 bps	1	0
ether3	Ethernet	1500	1596	18.5 kbps	20.0 kbps	12	9	18.1 kbps	19.7 kbps	12	12
ether4	Ethernet	1500	1596	5.2 Mbps	102.3 kbps	521	75	5.0 Mbps	96.6 kbps	509	0
ether5	Ethernet	1500	1596	5.2 Mbps	102.3 kbps	521	75	5.0 Mbps	96.6 kbps	509	0

Figura 3.36 Configuración del Rb para la Torre Mindina

Dest. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
0.0.0.0/0	10.0.3.1 reachable ether1	110		
0/24	10.0.3.1 reachable ether1	110		
0/24	10.0.3.1 reachable ether1	110		
0/24	ether1 reachable	0	1	4
0/24	ether2 reachable	255	1	1
10.0.24	10.0.3.1 reachable ether1	110		
10.0.24	10.0.3.1 reachable ether1	110		
10.255.255.253	AP-Clientes Wireless reachable	0	10	254
10.255.255.254	LD reachable	0	10	255,252
10.255.255.253	10.0.3.1 reachable ether1	110		
10.255.255.254	10.0.3.1 reachable ether1	110		
10.255.255.253	10.0.3.1 reachable ether1	110		
192.168.1.0/24	AP-Clientes Wireless reachable	0	192.168.1	254

Figura 3.37 Configuración del OSPF para la torre Mindina

3.5.2.6 Configuración de Radio Mimosa C5X

Para la configuración de los enlaces PTP, se registra en la página principal para obtener un usuario y contraseña, los equipos MIMOSA no traen instalado el Firmware, para lo cual debemos descargar e instalar en cada uno de los radios, como se puede observar en la Figura 3.39, los pasos para poder ingresar al portal del fabricante.

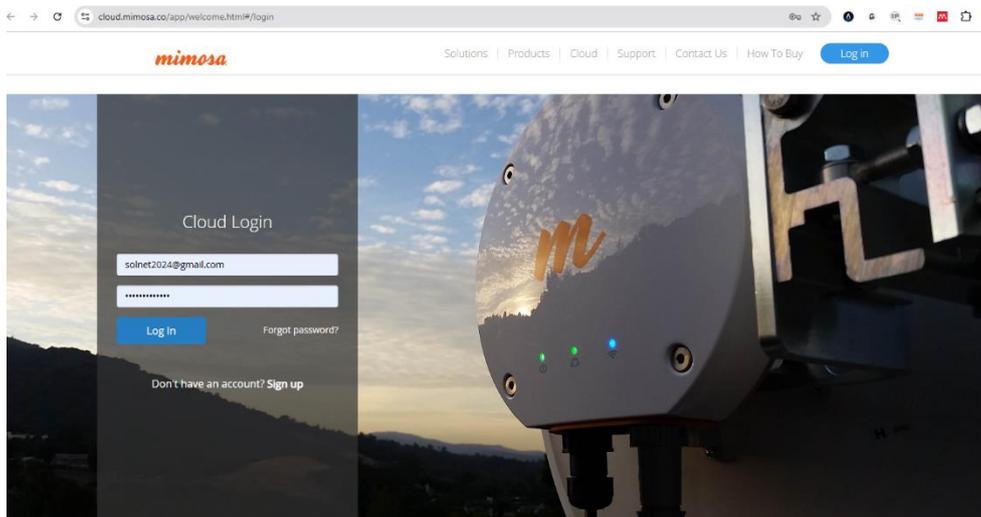


Figura 3.38 Registro en el portal mimosa

Una vez registrado en el portal del fabricante, seleccionamos la opción unlock en el cual colocaremos la serie de cada equipo para poder desbloquear y registrar en la cuenta personal mimosa.

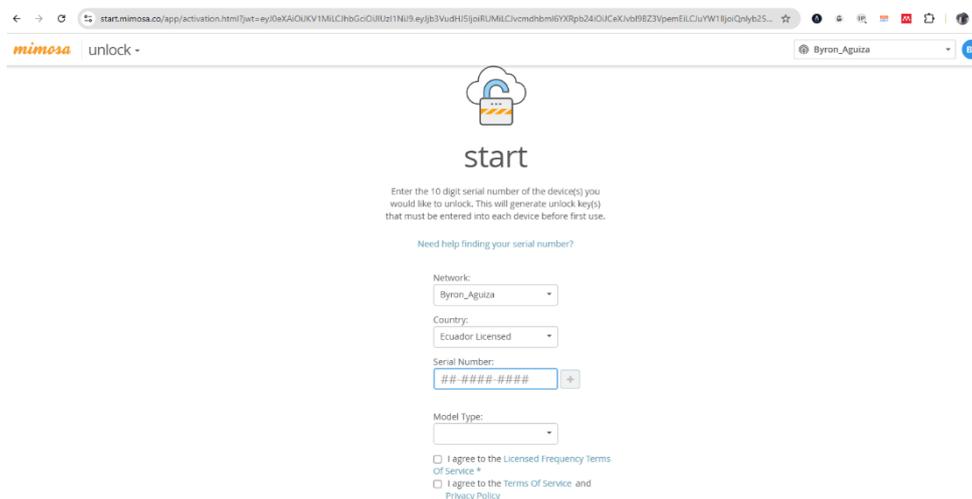


Figura 3.39 Desbloqueo de los radios Mimosa

Desbloqueado la radio mimosa, nos permite subir el firmware al equipo, luego de esto se reinicia y nos aparece la pantalla principal dónde nos indica que coloquemos una contraseña para acceder al equipo como se muestra en la Figura 3.41.

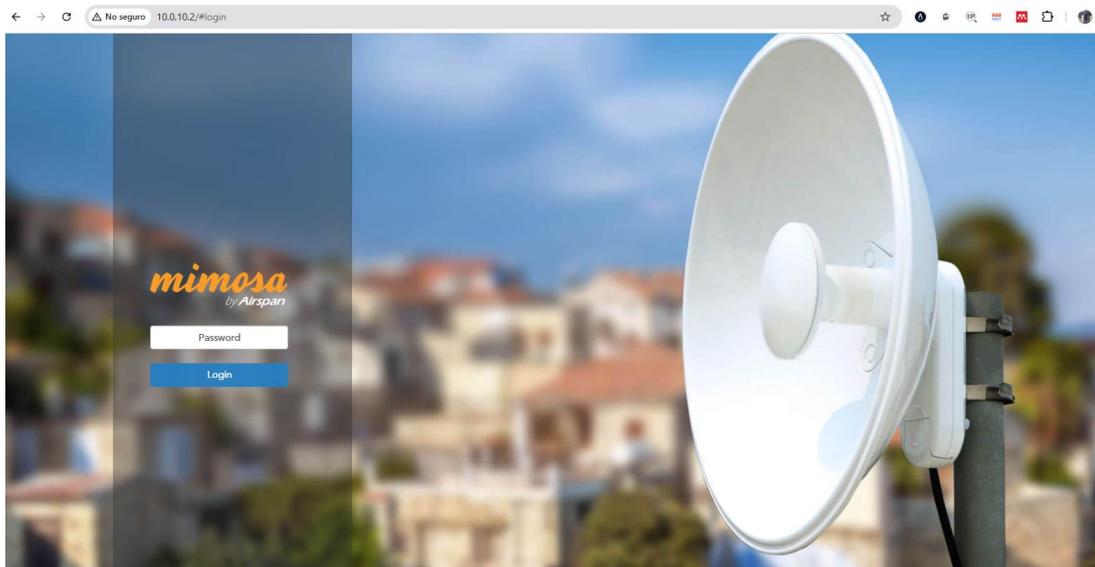


Figura 3.40 Selección de contraseña para el ingreso al radio Mimoso

Una vez ingresado al equipo, seleccionamos la opción Management, dónde encontramos la sección de configuración de Ip para cada radio, seleccionamos el tipo de Ip Address Mode, colocamos la IP en el apartado Management IPv4, y luego de esto damos en guardar.

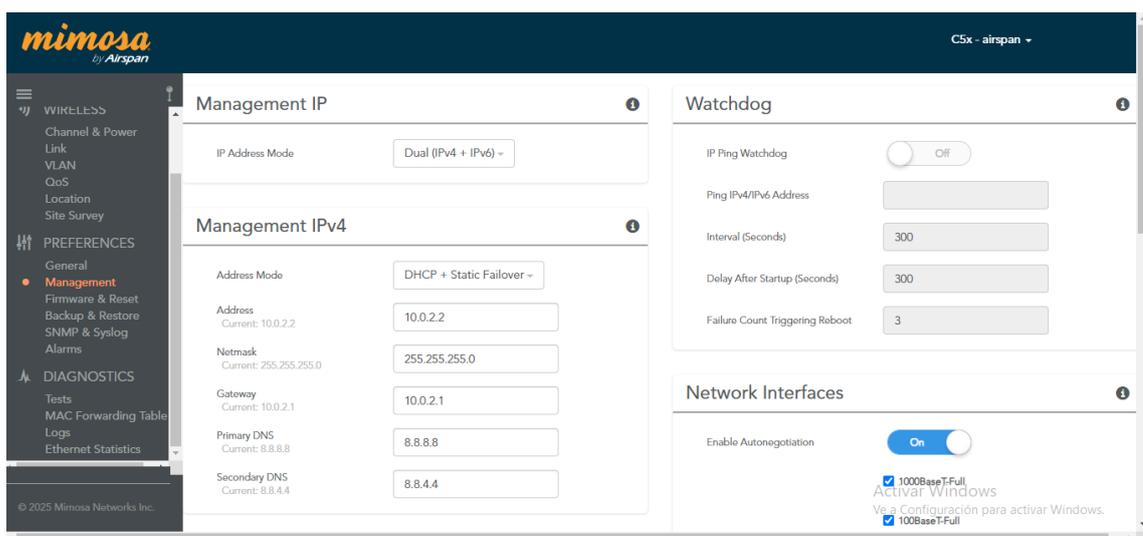


Figura 3.41 Configuración de la Ip en Management IPv4

Luego del registro de Ip en la opción Management el radio va a guardar su configuración, ingresamos de nuevo con la dirección IP asignada, y nos vamos a la opción Link nos mostrara la configuración del SSID, Encriptación de contraseña, como también el Link Mode, PTP O PTMP, en este caso seleccionaremos la opción PTP para interconectar a los tres sectores.

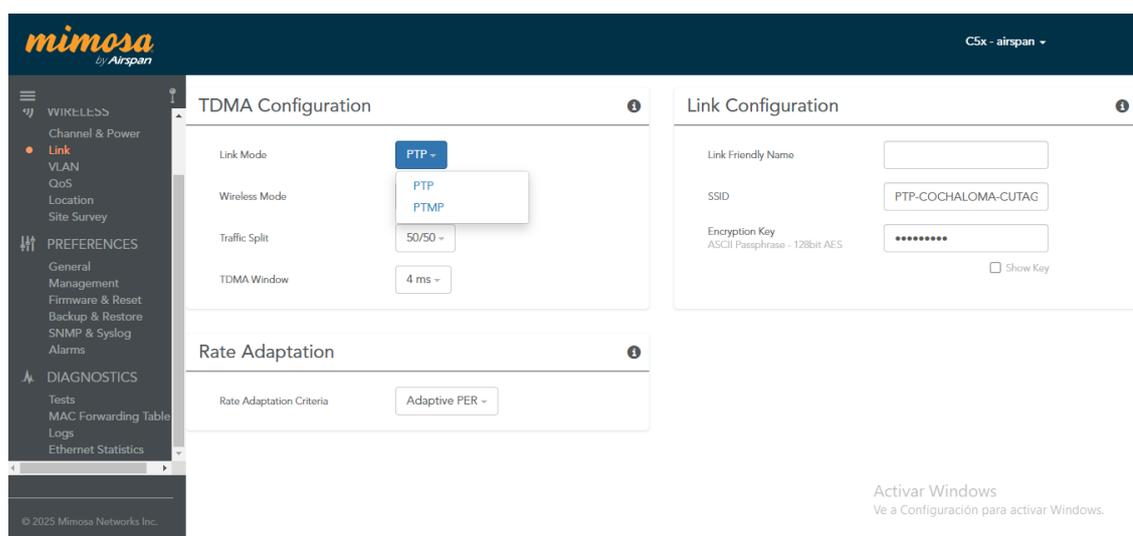


Figura 3.42 Configuración del modo de conexión, SSID y Encryption Key

Todos los parámetros del radio C5X están configurados; solo falta seleccionar la frecuencia y el ancho de canal para enlazar los sectores de Cochaloma, Cutahua y Mindina.

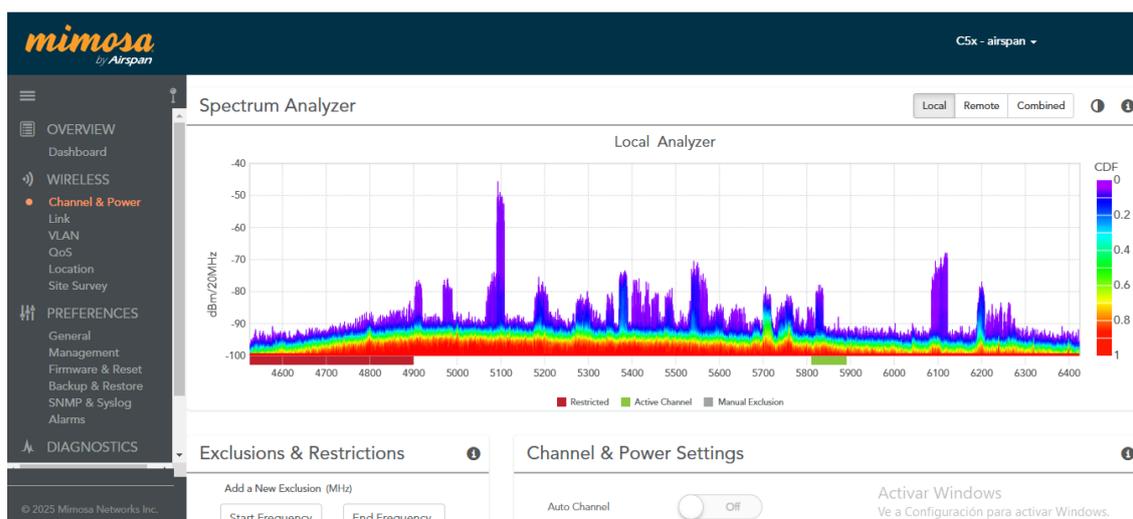


Figura 3.43 Análisis del radio espectro

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo comprende los resultados obtenidos después de la implementación de la red WISP para enlazar las tres comunidades rurales de la parroquia Simiatug. Se analiza el desempeño de la red en términos de cobertura, velocidad, estabilidad de la conexión y la satisfacción de los usuarios finales. Además, se realiza un análisis comparativo entre las expectativas planteadas al inicio del proyecto y los resultados alcanzados en cada fase.

4.1 Resultados Obtenidos en la Prueba de Conectividad

Los resultados obtenidos en la implementación para interconectar tres sectores rurales en la parroquia Simiatug de la Provincia de Bolívar, fueron satisfactorios, durante la implementación surgieron varios problemas que se fueron solucionado conforme el dueño del WISP nos proporcionaba los equipos necesarios.

Al llevar a cabo los pasos previamente enumerados, procedemos a presentar los resultados de la conexión PTP. Para fines de referencia en el trabajo, únicamente incluiremos la Figura 4.1, en la cual se evidencia que el SSID está conectado, así como el modo de conexión, la duración de la conexión y la calidad del enlace. Observamos que hemos alcanzado una tasa de transferencia superior a 500 MB/s.

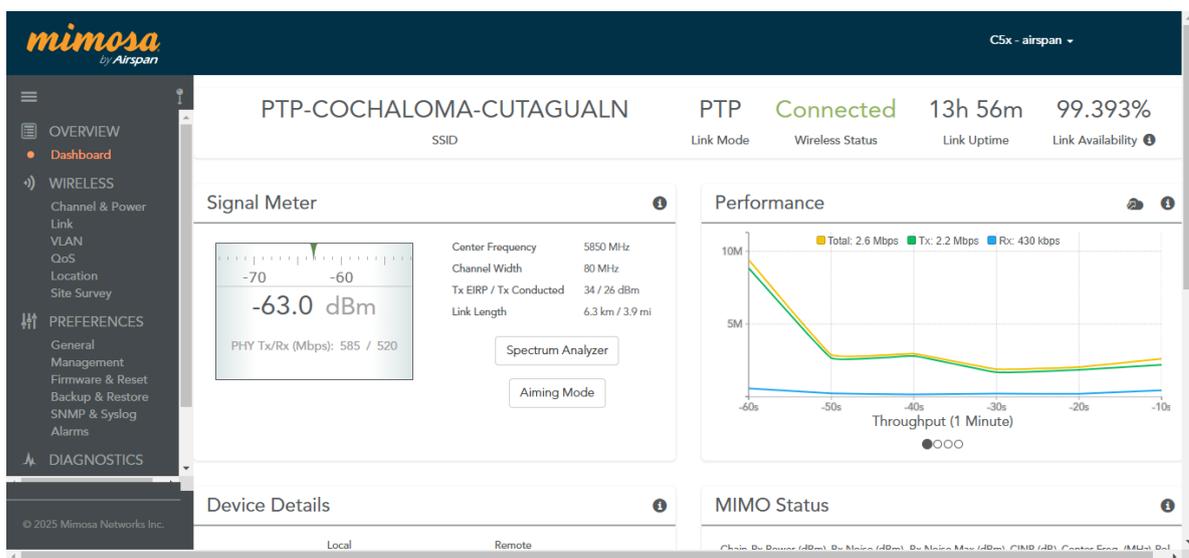


Figura 4.1 Resultado de enlace PTP

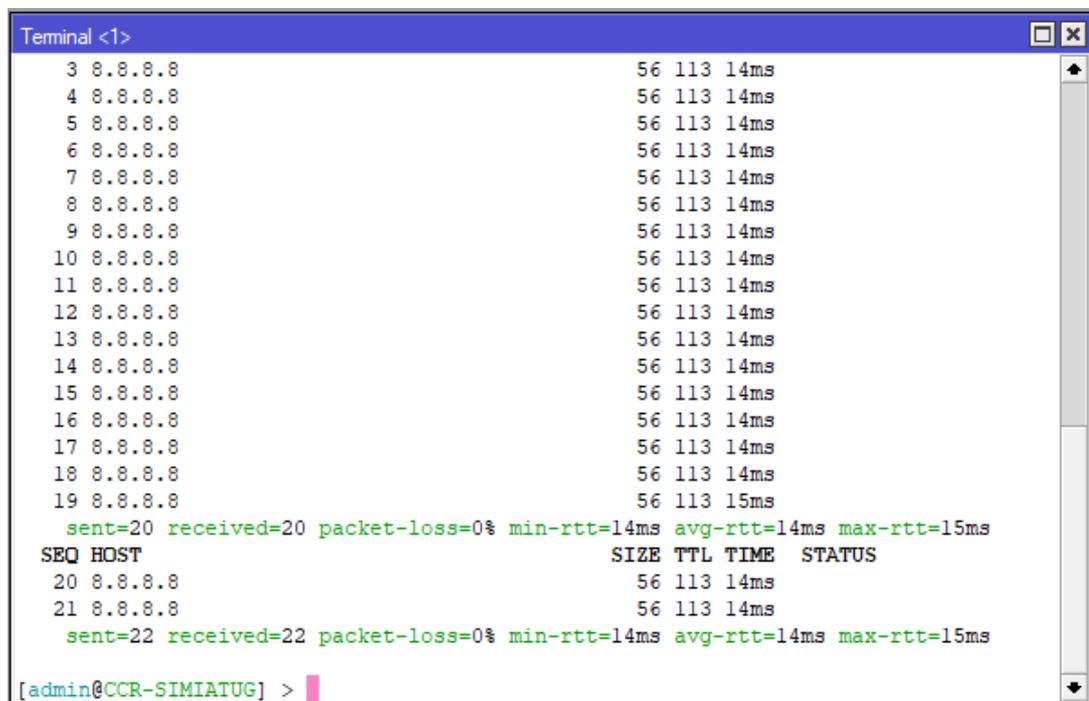
Uno de los problemas que surgieron durante la instalación es que debemos contar con cable FTP Certificado de excelente calidad ya que muchas de las veces al instalar los equipos con un cable UTP de categoría 5e afectan a que los equipos tengan una buena comunicación entre ellos, incluso se presentaron ocasiones que no encendía el equipo, llevando esto a reclamar garantías al proveedor.

Al trabajar con equipos y materiales de excelente calidad estamos dando a nuestros clientes la confiabilidad del servicio.

4.1.1 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en el Nodo Simiatug

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema, se llevó a cabo un Ping a los servidores DNS de Google, el cual permite obtener información sobre la latencia utilizando un tamaño de paquete de 56 bytes.

Para el Nodo principal como es una conexión de Fibra óptica la latencia es de 14ms de manera constante como se aprecia en la Figura 4.41., sin pérdida de paquetes.



```
Terminal <1>
 3 8.8.8.8          56 113 14ms
 4 8.8.8.8          56 113 14ms
 5 8.8.8.8          56 113 14ms
 6 8.8.8.8          56 113 14ms
 7 8.8.8.8          56 113 14ms
 8 8.8.8.8          56 113 14ms
 9 8.8.8.8          56 113 14ms
10 8.8.8.8          56 113 14ms
11 8.8.8.8          56 113 14ms
12 8.8.8.8          56 113 14ms
13 8.8.8.8          56 113 14ms
14 8.8.8.8          56 113 14ms
15 8.8.8.8          56 113 14ms
16 8.8.8.8          56 113 14ms
17 8.8.8.8          56 113 14ms
18 8.8.8.8          56 113 14ms
19 8.8.8.8          56 113 15ms
   sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=14ms avg-rtt=14ms max-rtt=15ms
SEQ HOST          SIZE TTL TIME  STATUS
20 8.8.8.8          56 113 14ms
21 8.8.8.8          56 113 14ms
   sent=22 received=22 packet-loss=0% min-rtt=14ms avg-rtt=14ms max-rtt=15ms
[admin@CCR-SIMIATUG] >
```

Figura 4.2 Latencia del Nodo Simiatug

4.1.2 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en la Torre Cochaloma

La latencia que mostro en la Torre Cochaloma hacia los servidores DNS de Google fue de 15ms como indica la Figura 4.42

```
Terminal <1>
 6 8.8.8.8 56 113 15ms
 7 8.8.8.8 56 113 15ms
 8 8.8.8.8 56 113 15ms
 9 8.8.8.8 56 113 15ms
10 8.8.8.8 56 113 15ms
11 8.8.8.8 56 113 15ms
12 8.8.8.8 56 113 15ms
13 8.8.8.8 56 113 15ms
14 8.8.8.8 56 113 15ms
15 8.8.8.8 56 113 15ms
16 8.8.8.8 56 113 15ms
17 8.8.8.8 56 113 15ms
18 8.8.8.8 56 113 15ms
19 8.8.8.8 56 113 15ms
   sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=14ms avg-rtt=15ms max-rtt=16ms
SEQ HOST          SIZE TTL TIME STATUS
20 8.8.8.8        56 113 15ms
21 8.8.8.8        56 113 15ms
22 8.8.8.8        56 113 15ms
23 8.8.8.8        56 113 15ms
24 8.8.8.8        56 113 15ms
   sent=25 received=25 packet-loss=0% min-rtt=14ms avg-rtt=15ms max-rtt=16ms
[admin@RB-COCHALOMA] >
```

Figura 4.3 Latencia de la Torre Cochaloma

4.1.3 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en la Torre Cutahua

En la Torre Cutahua realizando ping a los DNS de Google mostro tiempos entre 16 y 17ms, es comprensible ya que este sería el segundo enlace PTP.

```
Terminal <1>
 6 8.8.8.8 56 112 16ms
 7 8.8.8.8 56 112 16ms
 8 8.8.8.8 56 112 17ms
 9 8.8.8.8 56 112 16ms
10 8.8.8.8 56 112 16ms
11 8.8.8.8 56 112 16ms
12 8.8.8.8 56 112 16ms
13 8.8.8.8 56 112 17ms
14 8.8.8.8 56 112 16ms
15 8.8.8.8 56 112 17ms
16 8.8.8.8 56 112 16ms
17 8.8.8.8 56 112 16ms
18 8.8.8.8 56 112 16ms
19 8.8.8.8 56 112 16ms
   sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=15ms avg-rtt=16ms max-rtt=17ms
SEQ HOST          SIZE TTL TIME STATUS
20 8.8.8.8        56 112 16ms
21 8.8.8.8        56 112 16ms
22 8.8.8.8        56 112 16ms
23 8.8.8.8        56 112 16ms
24 8.8.8.8        56 112 16ms
25 8.8.8.8        56 112 16ms
26 8.8.8.8        56 112 16ms
27 8.8.8.8        56 112 17ms
28 8.8.8.8        56 112 16ms
29 8.8.8.8        56 112 16ms
30 8.8.8.8        56 112 16ms
   sent=31 received=31 packet-loss=0% min-rtt=15ms avg-rtt=16ms max-rtt=17ms
[admin@RB-CUTAHUA] >
```

Figura 4.4 Latencia de la Torre Cutahua

4.1.4 Prueba de Latencia hacia los Servidores de Google en la Torre Mindina

Como ultimo enlace PTP tenemos la Torre Mindina quien mostro latencia entre 17 y 24 ms, hacia los servidores de Google, esta prueba de latencia es el tercer PTP

```
Terminal <1>
35 8.8.8.8          56 112 17ms
36 8.8.8.8          56 112 19ms
37 8.8.8.8          56 112 20ms
38 8.8.8.8          56 112 19ms
39 8.8.8.8          56 112 24ms
sent=40 received=40 packet-loss=0% min-rtt=17ms avg-rtt=20ms max-rtt=32ms
SEQ HOST          SIZE TTL TIME STATUS
40 8.8.8.8          56 112 25ms
41 8.8.8.8          56 112 18ms
42 8.8.8.8          56 112 18ms
43 8.8.8.8          56 112 20ms
44 8.8.8.8          56 112 18ms
45 8.8.8.8          56 112 18ms
46 8.8.8.8          56 112 19ms
47 8.8.8.8          56 112 25ms
48 8.8.8.8          56 112 18ms
49 8.8.8.8          56 112 19ms
50 8.8.8.8          56 112 19ms
51 8.8.8.8          56 112 20ms
52 8.8.8.8          56 112 19ms
53 8.8.8.8          56 112 39ms
54 8.8.8.8          56 112 22ms
55 8.8.8.8          56 112 18ms
56 8.8.8.8          56 112 19ms
57 8.8.8.8          56 112 20ms
58 8.8.8.8          56 112 18ms
sent=59 received=59 packet-loss=0% min-rtt=17ms avg-rtt=20ms max-rtt=39ms
[admin@RB-MINDINA] >
```

Figura 4.5 Latencia de la Torre Mindina

4.2 Impacto en la Productividad y Comunicación de los Sectores Conectados

Las tres zonas rurales a las que se dirige este proyecto ya están conectadas entre sí, y al estar ubicado en una zona montañosa, no solo brinda servicio de internet a estas tres comunidades, sino que también facilita la expansión de la red a más zonas.

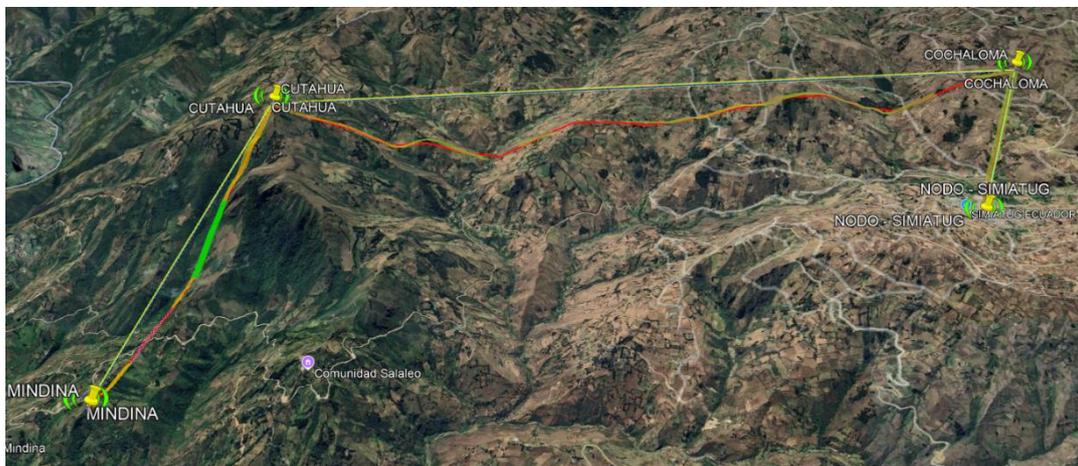


Figura 4.6 Conexión de las zonas rurales

El impacto de la productividad y comunicación han sido bien recibidos por los moradores de la comunidad ya que al mejorar el acceso al internet ayudan al desarrollo de los niños, jóvenes y adultos, el acceso a la información permite que muchas personas opten por encontrar nuevas fuentes de empleo, el sector es netamente agrícola, al estar conectados pueden encontrar nuevos mercados dónde sus productos sean mejor pagados.

Los beneficios de permanecer conectados son varios, hoy en día la educación no solo es presencial, pueden capacitarse en línea, estudiar programas educativos que por la ubicación no le permita estudiar en una escuela, colegio o universidad, el internet es un servicio básico que todas las personas puedan acceder a ella.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se realizó la visita técnica a la Parroquia Simiatug para conocer el sector y determinar cuál es la forma más viable para poder cubrir con tres torres más sectores rurales.

Se realiza el levantamiento de las coordenadas de varios sitios para poder realizar el estudio mediante Google Earth y Radio Mobile, ya que son herramientas fundamentales que ayudan a determinar una solución de factibilidad a los proyectos de radioenlace.

Se determinó los equipos a utilizar en el proyecto, por los resultados obtenidos en Radio Mobile, como también la capacidad y velocidad que SOLNET quiere brindar a sus clientes.

Durante la implementación de los equipos, fue necesario aumentar la potencia de los PTP ya que en el campo los valores teóricos no son los mismos, muchos de los factores influyen en la calidad del servicio Qos.

Se debe tener en cuenta que debido a la geografía no solo es necesario contar con los brazos que vienen por defecto en los equipos, se necesitan construir brazos que permitan aumentar o disminuir el azimut de las antenas.

En conclusión, cuando trabajas con equipos y materiales de última tecnología la diferencia en los enlaces PTP es extraordinario, las latencias de un punto a otro alcanzan de 1 a 3ms.

5.2 Recomendaciones

Para que el proyecto funcione de manera óptima, debe colocar banco de baterías en el nodo principal, como también en las torres. Puede optar por las energías renovables, paneles solares e inversores.

Instalar racks adecuados en cada torre para que los equipos tengan el espacio suficiente y puedan trabajar en óptimas condiciones.

Etiquetar los cables FTP de las diferentes radios bases para que se les facilite identificar cualquier daño que se presente durante su funcionamiento.

Capacitar constantemente a los técnicos en el área de redes y telecomunicaciones, para que puedan solucionar problemas e implementar nuevos servicios dentro de la red.

Para proyectos futuros, se recomienda buscar otro sitio que permita conectar todas las torres mediante uno o dos enlaces, formando así una red en anillo.

BLIBLIOGRAFIA

- [1] S. Ay and T. Kılıç, "Coğrafi Dijital Uçurum: Türkiye'de Dijital Dönüşümün Kentsel-Kırsal, Bölgesel ve Cinsiyet Eşitsizlikleri," *Coğrafya Dergisi / Journal of Geography*, vol. 0, no. 0, pp. 0–0, May 2023, doi: 10.26650/jgeog2023-1169477.
- [2] P. Meza Fabián Íñiguez Mauricio Becerra Oswaldo Rivera Johanna Vera Juan Carlos Chiluiza Jorge Ortega Rocío Malla Franklin Simbaña Adriana Valverde Sheldon López Marcelo Sotaminga and F. Chang Calvache David Hurtado Vicente Palacios, "AGENDA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL ECUADOR 2022-2025," pp. 1–53, Jun. 2022, Accessed: Dec. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Agenda-transformacion-digital-2022-2025.pdf>
- [3] P. Piedra, "ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE BRECHA DIGITAL EN EL PERIODO 2015 – 2021. CASO DE ESTUDIO: ZONAL RURAL DEL ECUADOR.," pp. 1–171, Feb. 2023, Accessed: Dec. 05, 2024. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23657/1/CD%2012964.pdf>
- [4] X. Chen, K. Chen, M. Wang, and R. Li, "Roles of Wireless Networks in Bridging the Rural Smart Infrastructural Divide," *Infrastructures (Basel)*, vol. 8, no. 11, Nov. 2023, doi: 10.3390/infrastructures8110159.
- [5] A. Hameed, A. N. Mian, and J. Qadir, "Low-cost sustainable wireless Internet service for rural areas," *Wireless Networks*, vol. 24, no. 5, pp. 1439–1450, Jul. 2018, doi: 10.1007/s11276-016-1415-8.
- [6] M. M. Lakulu, M. Z. Othman, I. Y. Panessai, and M. R. Amat, "The Framework of Mobile E-Learning Based On Embedded Technology for Rural Schools," *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, vol. 9, no. 6, Jun. 2019, doi: 10.6007/IJARBSS/V9-I6/5989.
- [7] B. C. Reisdorf, A. Yankelevich, M. Shapiro, and W. H. Dutton, "Wirelessly bridging the homework gap: Technical options and social challenges in getting

- broadband to disconnected students,” *Educ Inf Technol (Dordr)*, vol. 24, no. 6, pp. 3803–3821, Nov. 2019, doi: 10.1007/S10639-019-09953-9/METRICS.
- [8] M. Khaturia, P. Jha, and A. Karandikar, “Connecting the Unconnected: Toward Frugal 5G Network Architecture and Standardization,” *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 4, no. 2, pp. 64–71, Jun. 2020, doi: 10.1109/MCOMSTD.001.1900006.
- [9] “easyWISP | Puerta de enlace de administración de la nube de suscriptores WISP, facturación, CRM, aprovisionamiento, servicio de asistencia, red.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.cloud4wisp.com/implementacion.php>
- [10] A. Volpi, L. Tebaldi, G. Matrella, R. Montanari, and E. Bottani, “Low-Cost UWB Based Real-Time Locating System: Development, Lab Test, Industrial Implementation and Economic Assessment,” *Sensors 2023, Vol. 23, Page 1124*, vol. 23, no. 3, p. 1124, Jan. 2023, doi: 10.3390/S23031124.
- [11] P. Babari, M. Hielscher, P. A. Edelsbrunner, M. Conti, B. D. Honegger, and E. Marinus, “A literature review of children’s and youth’s conceptions of the internet,” *Int J Child Comput Interact*, vol. 37, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.ijcci.2023.100595.
- [12] A. Chaoub *et al.*, “6G for Bridging the Digital Divide: Wireless Connectivity to Remote Areas,” *IEEE Wirel Commun*, vol. 29, no. 1, pp. 160–168, Sep. 2020, doi: 10.1109/MWC.001.2100137.
- [13] Isiaka. Alimi, “5G fixed wireless access : revolutionizing connectivity in the digital age,” 2025.
- [14] Y. Li, H. A. Chan, and J. I. Agbinya, “Networking in Rural Environments: Benefits, Feasibilities, and Requirements,” *African Journal of Information & Communication Technology*, vol. 2, no. 2, p. 50, Jul. 2019, doi: 10.5130/AJICT.V2I2.325.

- [15] “▷ Modelos TCP/IP y OSI » Capas, Características y Comparación.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://ccnadesdecero.es/modelos-tcp-ip-osi-caracteristicas/>
- [16] Info++, “¿En qué consiste la capa 3 del modelo OSI? Red | Info++.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://cesarcabrera.info/en-que-consiste-la-capa-3-del-modelo-osi-red/>
- [17] “Recursos numéricos.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.iana.org/numbers>
- [18] “¿Qué es una dirección IPv4? - Fundamentos de direcciones IP | InterLIR.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://interlir.com/es/2023/07/25/que-es-una-direccion-ipv4/>
- [19] “IPv6: Global Unicast, Link-Local y Unique Local - Tutoriales CCNA.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://tutorialesccna.com/ipv6-global-unicast-link-local-y-unique-local/>
- [20] “¿Cómo Instalar Internet Inalámbrico a través de antenas?” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://wisp.com.mx/solucion-de-red/internet-inalambrico-a-traves-de-antenas/>
- [21] “MikroTik Routers and Wireless - Products: OmniTIK 5 ac.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: https://mikrotik.com/product/rbomnitikg_5hacd#fndtn-downloads
- [22] “MikroTik Routers and Wireless - Products: mANTBox 19s.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://mikrotik.com/product/RB921GS-5HPacD-19S#fndtn-gallery>
- [23] “¿Cómo Instalar Internet Inalámbrico a través de antenas?” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://wisp.com.mx/solucion-de-red/internet-inalambrico-a-traves-de-antenas/>

- [24] “MikroTik Routers and Wireless - Products: DynaDish 5.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://mikrotik.com/product/RBDynaDishG-5HacDr3#fndtn-gallery>
- [25] Academy Xperts, “Introduccion-a-MikroTik-RouterOS-v7.6-Libro-de-Estudio”, Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://abcxperts.com/topicos/iii-material-de-estudio-mas-ros/>
- [26] “MikroTik Routers and Wireless - Software.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://mikrotik.com/download/archive>
- [27] “Redes WiFi | Red WiFi.” Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.redeswifi.info/>
- [28] M. Fernández, “Wi-Fi 6E: La evolución del Wi-Fi estimula a renovar el modo de pensar la conectividad y manejar el espectro,” Aug. 2020. Accessed: Jan. 30, 2025. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/pdf/smc-wifi6-evolution-latam-white-paper.pdf
- [29] “Capítulo 2.6 - Wireless - abcXperts.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://abcxperts.com/docs/capitulo-2-6-wireless/#>
- [30] “Radio enlaces: ¿Qué son y para qué se utilizan? - Revista Seguridad 360.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://revistaseguridad360.com/destacados/radio-enlaces/>
- [31] Q. Cui *et al.*, “Preserving Reliability of Heterogeneous Ultra-Dense Distributed Networks in Unlicensed Spectrum,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 6, pp. 72–78, Jun. 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700474.
- [32] C. L. Cortés Cortés, M. A. Montaña Argote, A. M. Osorio, and N. Guerrero González, “Diseño y análisis sistémico de una red backhaul autogestionable en topologías estrella y anillo para conectividad rural en Caldas,” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 32, no. 1, pp. 43–57, Jun. 2022, doi: 10.18359/rcin.5531.

- [33] “topologias de red.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://direcciontopologiasredes.blogspot.com/>
- [34] “inicio - Mikrowisp.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://mikrosystem.net/>
- [35] S. J. Ee *et al.*, “Active and Passive Security Attacks in Wireless Networks and Prevention Techniques,” *Authorea Preprints*, Oct. 2023, doi: 10.36227/TECHRXIV.12972857.V1.
- [36] “Administracion-Avanzada-de-Seguridad-con-MikroTik-RouterOS-v7.10.01”.
- [37] “Marco legal – Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/marco-legal/>
- [38] “Overview of ITU’s History.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/history/Pages/ITUsHistory.aspx>
- [39] ITU, “Historia de la ITU,” 2004. Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <http://handle.itu.int/11.1004/020.2000/s.210>
- [40] “Domain Name Services.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.iana.org/domains>
- [41] “ETSI - Our history.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.etsi.org/14-about/1468-our-history?highlight=WyJoaXN0b3J5Ii0=&jjj=1738435430460>
- [42] “IEEE - Historia del IEEE.” Accessed: Jan. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/about/ieee-history.html>
- [43] “Technical Specifications Performance.” [Online]. Available: www.mimosa.co
- [44] “Robust Design and Construction for Outdoor Use Seamless Integration with Rocket Radios.” Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf

- [45] "RB4011-RM_180930", Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: https://mikrotik.com/product/rb4011igs_rm
- [46] "MikroTik Routers and Wireless - Products: hEX." Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <https://mikrotik.com/product/RB750Gr3#fndtn-specifications>