



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones

Diseño e implementación de un radioenlace de redundancia para la empresa NODO CIA., y su filial REDY, utilizando el estándar 802.11ac, basado en la factibilidad mediante un estudio técnico de frecuencias en el cerro chivato perteneciente al cantón Yacuambi

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero en Telecomunicaciones.**

AUTOR:

Edison Geovanny Cabrera Cabrera

DIRECTOR:

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta Mg Sc.

Loja – Ecuador

2025

Certificación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Jimenez Peralta Franklin Gustavo**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIOENLACE DE REDUNDANCIA PARA LA EMPRESA NODO CÍA. Y SU FILIAL REDY, UTILIZANDO EL ESTÁNDAR 802.11AC, BASADO EN LA FACTIBILIDAD MEDIANTE UN ESTUDIO TÉCNICO DE FRECUENCIAS EN EL CERRO CHIVATO PERTENECIENTE AL CANTÓN YACUAMBI**, perteneciente al estudiante **EDISON GEOVANNY CABRERA CABRERA**, con cédula de identidad N° **1950053262**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 8 de Marzo de 2024



FRANKLIN GUSTAVO
JIMENEZ PERALTA

F) _____

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000969

1/1
Educamos para **Transformar**

Autoría

Yo, **Edison Geovanny Cabrera Cabrera**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de integración curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1950053262

Fecha: 6 de febrero de 2025

Correo electrónico: edison.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0996553948

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Edison Geovanny Cabrera Cabrera**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño e implementación de un radioenlace de redundancia para la empresa NODO CÍA. Y su filial REDY, utilizando el estándar 802.11ac, basado en la factibilidad mediante un estudio técnico de frecuencias en el cerro chivato perteneciente al cantón Yacuambi,** como requisito para optar por el título de Ingeniero en Telecomunicaciones, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los cinco días de mes de febrero del dos mil veinticinco.

Firma:

Autor: Edison Geovanny Cabrera Cabrera

Cédula: 1950053262

Dirección: Loja – La Argelia

Correo Electrónico: edison.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0996553948

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta Mg. Sc.

Dedicatoria

Este no es solo un documento, aquí se plasma el trabajo y la dedicación desde el primer día de clases, el esfuerzo para aprobar cada ciclo, la experiencia misma de estar en la universidad. Este es el resultado de los nervios el primer día de clase, de la primera mala noche con ejercicios de cálculo, de la primera mala noche con amigos y una botella, del primer 0.7 en una prueba de unidad, del primer supletorio, del primer curso repetido, de la primera lágrima por amor (porque a todos nos pasa); sin embargo, nada ha impedido que lleguemos hasta este punto, en el que podemos decir, “esto recién empieza”.

Quiero dedicar mi trabajo de investigación a todas las personas que han estado en el proceso, desde que iniciamos con este objetivo hasta ahora que lo vemos consumado.

Alguna vez escuche, siempre pon a Dios primero y como buen creyente, aunque poco practicante, quiero dedicar este trabajo a Dios y a la Virgen en la advocación del Cisne, que estuvieron ahí en los momentos cuando la fe y la esperanza eran lo único que quedaba.

También quiero dedicar este trabajo a la persona que nunca ha dejado de creer en mí y que, pese a TODO y siempre me ha apoyado: Julia, mi madre, a mi papá y a mis hermanos que me apoyaron moral y activamente: María, Elisa y José.

A la Ing. Alexandra, una coprotagonista del proceso, con ella inicie este sueño y con ella se está haciendo realidad; con la que de corazón espero, cumplamos muchos sueños más.

A todos mis profesores que con paciencia y disciplina han forjado mi carácter y conocimientos para lograr entender el extenso y apasionante mundo de las Telecomunicaciones. De manera especial a mi tutor del presente trabajo de titulación, el Mgs. Franklin Jiménez, quien con su aporte y paciencia ha permitido que alcance este objetivo.

Edison Geovanny Cabrera Cabrera

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios y a la Virgen en la advocación del Cisne, por proveerme de salud, sabiduría y entendimiento en esta etapa de mi vida para poder cumplir con este objetivo.

Agradezco también a mi madre por la confianza que me ha brindado y complicidad que hemos tenido para contarle desde lo peor hasta lo que más me hace feliz, por inculcarme todos sus valores, porque a pesar de lo que los demás piensen nunca perdió la fe en mí. A mi padre por la disciplina y el carácter y a mis hermanos por su confianza, de manera especial a José que fue parte importante en la implementación de este proyecto.

Agradezco a la Ing. Alexandra de sobremanera, por ser un pilar en esta etapa de mi vida, por estar en las buenas, en las malas y en las peores, como solemos decir.

A la empresa NODO CIA. y a todo su personal, de manera especial a su directiva: Ing. Fabricio Ochoa, Ing. Jorge Barba y Mgs. Tatiana Reyes, por permitirme el ingreso al mundo laboral hace 3 años y sobre todo por permitirme compartir este proyecto importante para REDY y la gente del cantón Yacuambi.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los profesores de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones. Su invaluable orientación profesional, generosidad al compartir conocimientos, dedicación en las horas de estudio y provisión de herramientas para el análisis de casos en el ámbito laboral han sido fundamentales en mi formación.

Agradezco de manera especial al docente Franklin Jiménez, por la paciencia y la orientación brindada en el desarrollo de este proyecto de titulación, que mediante sus ideas apporto para que este trabajo tenga la relevancia necesaria.

Finalmente agradezco a nuestra gloriosa Alma Mater; la Universidad Nacional de Loja, por abrir sus puertas para formarme profesionalmente y por permitirme compartir momentos de preocupación, suspenso, trabajo y risas con mis compañeros.

Edison Geovanny Cabrera Cabrera

Índice de Contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	x
Índice de Ecuaciones	xiii
Índice de Anexos	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	8
4.1. Fundamentos de Radioenlaces y Tecnologías Inalámbricas	8
4.1.1. Conceptos Básicos de Radioenlaces y su Importancia	8
4.1.2. Principios de Transmisión Inalámbrica.....	11
4.1.3. Estándares Relevantes (802.11ac, 5GHz)	15
4.1.4. Casos de Éxito de 802.11ac en Enlaces Inalámbricos	18
4.2. Espectro Radioeléctrico, Diseño y Planificación de Radioenlaces	22
4.2.1. Marco Legal del Espectro Radioeléctrico	22
4.2.2. Regulaciones sobre Frecuencias Inalámbricas.....	25
4.3. Comparativa entre Tecnologías de Enlace: Fibra Óptica vs Inalámbrico	31
4.3.1. Ventajas y Limitaciones entre Fibra Óptica y Tecnología Inalámbrica.	31
4.3.2. Consideraciones en Contextos de Contingencia y Fiabilidad.....	33
4.4. Balanceo de Carga.....	34
4.4.1. Concepto de Balanceo de Carga	34
4.4.2. Ventajas del Balanceo de Carga	35
4.4.3. Algoritmos de Balanceo de Carga	35
4.4.4. Principales Técnicas para el Balanceo de Carga en MikroTik.....	37
4.5. Perspectivas Futuras y Tendencias	40
4.5.1. Avances Tecnológicos y Futuras Direcciones.....	40
5. Metodología	41

5.1. Fase 1: Revisión Bibliográfica y Legalidad.....	41
5.2. Fase 2: Implementación	43
5.2.1. Estudio de Frecuencias.....	43
5.2.2. Delimitación de Coordenadas	45
5.2.3. Selección de Equipos	47
5.2.4. Presupuesto del Proyecto	48
5.2.5. Diseño y Estructuración de la Red Lógica.....	50
5.2.6. Cálculos de Pérdidas en el Espacio Libre (Lfs) y Presupuesto de Enlace	51
5.2.7. Simulación en Radio Mobile y Mimoso Design Tool.....	53
5.2.8. Implementación Física de la Red	55
5.3. Fase 3: Evaluación	62
6. Resultados	65
6.1.1. Estudio de Frecuencias y Saturación del Espectro.....	66
6.1.2. Nivel de Señal en Tx Y Rx y Distancia de Enlace	69
6.1.3. Latencia Local.....	73
6.1.4. Anchos de Banda Máximos Permisibles.....	75
6.1.5. Balanceo de Carga	76
6.1.6. Latencia hacia Internet con y sin Balanceo De Carga	80
6.1.7. Jitter con y sin Balanceo de Carga	81
6.1.8. Disponibilidad del Enlace	83
6.1.9. SNR.....	84
6.1.10. PER	85
7. Discusión	87
8. Conclusiones	93
9. Recomendaciones	95
10. Bibliografía	97
11. Anexos	103

Índice de Tablas:

Tabla 1. Sección del Plan Nacional de Frecuencias en las bandas de 5GHz.....	28
Tabla 2. Niveles aceptables de intensidad de campo en las bandas de 5GHz.	29
Tabla 3. Límites a las transmisiones UDBL.....	30
Tabla 4. Emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia.....	31
Tabla 5. Ventajas y desventajas entre Fibra Óptica y Radioenlaces.....	31
Tabla 6. Tipos de algoritmos de balanceo de carga.....	35
Tabla 7. Coordenadas del punto de red en Guadalupe.....	45
Tabla 8. Coordenadas del punto de red en el Cerro Chivato.....	46
Tabla 9. Coordenadas del punto de red en Yacuambi.....	47
Tabla 10. Equipos para la implementación del proyecto.....	48
Tabla 11. Presupuesto de equipos y materiales.....	48
Tabla 12. Presupuesto de logística.....	49
Tabla 13. Presupuesto total.....	49
Tabla 14. Tabla de direccionamiento de la red inalámbrica.....	50
Tabla 15. Direccionamiento IP VLAN1102-WAN_BK.....	51
Tabla 16. Presupuesto de enlace para Guadalupe-Chivato.....	51
Tabla 17. Presupuesto de enlace para Yacuambi-Chivato.....	52

Índice de Figuras:

Figura 1. Diagrama de pérdidas en el espacio libre.	13
Figura 2. Primera zona de Fresnel.....	14
Figura 3. Evolución del estándar 802.11 en los últimos años.	17
Figura 4. Caso de éxito Netpoint Antenas, enlace de 3Km.....	19
Figura 5. Caso de éxito Netpoint antenas, enlace de 95 Km.....	20
Figura 6. Caso de éxito ALGcom, enlace de 33.9 Km.....	21
Figura 7. Caso de éxito ALGcom, enlace de 134.1 Km.....	22
Figura 8. Balanceo de carga ECMP.....	38
Figura 9. Balanceo de carga por etiquetado y políticas de enrutamiento.....	38
Figura 10. Balanceo de carga por Chanel Bonding.....	39
Figura 11. Balanceo de carga NTH.	39
Figura 12. Balanceo de carga PCC.....	40
Figura 13. Analizador de espectro Mimosa Networks.....	44
Figura 14. Esquema de conexiones inalámbricas y distancia entre enlaces.	45
Figura 15. Punto de conexión en Guadalupe.	46
Figura 16. Punto de conexión en el cerro Chivato.	46
Figura 17. Punto de conexión en el centro 28 de Mayo.....	47
Figura 18. Esquema de la red y direccionamiento IP.....	50
Figura 19. Enlace Guadalupe-Chivato en Radio Mobile.	53
Figura 20. Enlace Yacuambi-Chivato en Radio Mobile.....	54
Figura 21. Enlace Guadalupe-Chivato en Mimosa Design Tool.....	54
Figura 22. Enlace Yacuambi-Chivato en Mimosa Design Tool.	55
Figura 23. Prueba ICMP en los extremos de la red.....	56
Figura 24. Caja de equipos y punto eléctrico sector Guadalupe.....	57
Figura 25. Instalación de la acometida de fibra óptica.....	58
Figura 26. AP_GUADALUPE-CHIVATO.....	58
Figura 27. AP local y disposición final de la caja de equipos.....	59
Figura 28. AP_CHIVATO-YACUAMBI.....	59
Figura 29. ST_CHIVATO-YACUAMBI y ST_CHIVATO-GUADALUPE.....	60
Figura 30. Caja de equipos y punto eléctrico en el cerro Chivato.	61
Figura 31. Puesta a tierra en el cerro Chivato.	61
Figura 32. Interfaces LAN, WAN1 Y WAN2, para balanceo de carga.	62

Figura 33. Reglas iniciales del balanceo PCC.	63
Figura 34. Marcado de conexiones de entrada y salida.	63
Figura 35. Balanceo PCC.	64
Figura 36. Enrutamiento estático para balanceo y rutas principales.	64
Figura 37. Barrido de espectro en el cerro Chivato en dirección a 28 de Mayo.	67
Figura 38. Barrido de espectro en el cerro Chivato en dirección a Guadalupe.	68
Figura 39. Potencia de la señal en el AP_YACUAMBI-CHIVATO.	69
Figura 40. Potencia de la señal en la ST_CHIVATO-YACUAMBI.	70
Figura 41. Tasa de codificación del enlace.	71
Figura 42. Potencia de la señal en el AP_GUADALUPE-CHIVATO.	71
Figura 43. Potencia de la señal en la ST_CHIVATO-GUADALUPE.	72
Figura 44. Tasa de codificación del enlace.	73
Figura 45. Latencia local en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.	74
Figura 46. Latencia local en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.	74
Figura 47. Latencia local entre el AP_CHIVATO-YACUAMBI y el AP_GUADALUPE-CHIVATO.	74
Figura 48. Ancho de banda máximo permisible en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.	75
Figura 49. Ancho de banda máximo permisible en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.	76
Figura 50. Balanceo PCC y su distribución de paquetes.	77
Figura 51. Registro de tráfico diario en la VLAN1102-WAN_BK-BL.	77
Figura 52. Registro de tráfico diario en la VLAN102-WAN_PR.	78
Figura 53. Registro de tráfico semanal en la VLAN1102-WAN_BK-BL.	78
Figura 54. Registro de tráfico semanal en la VLAN102-WAN_PR.	79
Figura 55. Registro de tráfico mensual en la VLAN1102-WAN_BK-BL.	79
Figura 56. Registro de tráfico mensual en la VLAN102-WAN_PR.	80
Figura 57. Comparativa de la latencia hacia internet en los 3 modos.	81
Figura 58. Jitter hacia internet en los 3 modos.	82
Figura 59. Jitter hacia internet en milisegundos.	83
Figura 60. Disponibilidad del LINK_CHIVATO-YACUAMBI.	83
Figura 61. Disponibilidad del LINK_GUADALUPE-CHIVATO.	84
Figura 62. SNR en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.	84

Figura 63. SNR en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.....	85
Figura 64. PER en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.	86
Figura 65. PER en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.....	86

Índice de Ecuaciones:

Ecuación 1. Ecuación de pérdidas en el espacio libre.....	12
Ecuación 2. Distancia de Fraunhofer.....	13
Ecuación 3. Primera zona de Fresnel sin obstáculos.....	14
Ecuación 4. Primera zona de Fresnel con obstáculos.....	14

Índice de Anexos:

Anexo 1. Solicitud de cooperación con NODO CIA. LTDA.....	103
Anexo 2. Datasheet Mimosa C5x.	104
Anexo 3. Datasheet Mimosa C5c.....	106
Anexo 4. Datasheet Netpoint NP1GEN2.....	107
Anexo 5. Datasheet AlgCom UPH-5800-60-30 DP.....	108
Anexo 6. Datasheet del switch RB260GS.	109
Anexo 7. Enlace GUADALUPE-CHIVATO Mimosa Design Tool.....	110
Anexo 8. Enlace YACUAMBI-CHIVATO Mimosa Design Tool.....	111
Anexo 9. Hoja de Ruta.....	112
Anexo 10. Certificación de traducción del Resumen.....	114

1. Título

Diseño e implementación de un radioenlace de redundancia para la empresa NODO CIA. y su filial REDY, utilizando el estándar 802.11ac, basado en la factibilidad mediante un estudio técnico de frecuencias en el cerro chivato perteneciente al cantón Yacuambi.

2. Resumen

Esta investigación se centra en la implementación de un radioenlace, utilizando equipos de marcas reconocidas como Mimosa, Netpoint, ALGcom y MikroTik. El enlace se establecerá desde la parroquia Guadalupe, del cantón Zamora, donde la estabilidad y disponibilidad de la red de internet son superiores, con un salto en el Cerro Chivato hasta el nodo principal de REDY en la parroquia 28 de Mayo del cantón Yacuambi, ofreciendo la capacidad de funcionar como enlace de balanceo de carga para el enlace principal.

En una primera etapa del desarrollo de este proyecto se hizo una revisión bibliográfica de los principales conceptos relacionados a los enlaces inalámbricos, los estándares inalámbricos con énfasis en el estándar 802.11ac, que fue el que se usó en el desarrollo del presente proyecto, las leyes vigentes en nuestro país que regulan el uso y explotación del espectro y los tipos y métodos aplicables de balanceo de carga sobre las plataformas y software que se tiene implementado en la red de REDY en el cantón Yacuambi. La segunda etapa de este proyecto consta de la implementación propiamente dicha, con el fin de analizar los resultados obtenidos para validar el rendimiento óptimo del enlace inalámbrico, la compatibilidad de los equipos usados y el levantamiento de información de variables basadas en la experimentación pragmática de los dos enlaces que tendrán lugar en la implementación. La etapa final está destinada a la evaluación de estos resultados y la evaluación de rendimiento de los enlaces de modo que se verifique la solvencia ante posibles fallas del enlace óptico principal y que soporte la carga asignada por el algoritmo de balanceo aplicado.

Lo que busca el presente proyecto principalmente es brindar un nivel alto de disponibilidad del servicio de internet de REDY en el cantón Yacuambi, sin sacrificar la experiencia de usuario que brinda el enlace óptico, además de generar información real de la implementación del presente proyecto y los resultados obtenidos con los equipos seleccionados.

Palabras clave: radio enlace, backup, balanceo de carga, explotación de espectro, espectro radioeléctrico, 802.11ac.

Abstract

This research project focuses on implementing a radio link, using recognized equipment such as Mimoso, Netpoint, ALGcom, and MikroTik. The link will be established from a long-range, starting at the parish of Guadalupe, in the canton of Zamora, to the Cerro Chivato, and the main REDY node in the parish of 28 de Mayo in the canton of Yacuambi. Hence, the stability and availability of the internet network will be major, to offer the capacity to function as a load-balancing link for the main link.

In the first stage of the development of this project, a bibliographic review of the main concepts related to wireless links was considered. The focus was the wireless standards with an emphasis on the 802.11ac standard, according to the country's law. This regulates the use and exploitation of the spectrum, and the methods applicable to load balancing on the platforms and software implemented in the REDY network in the canton of Yacuambi. The second stage of this project consists of the implementation itself. Therefore, the compatibility of the equipment, information on variables based on the pragmatic experimentation of both links, and the results from the wireless link's performance will be analyzed. The final stage is aimed at evaluating these results and assessing the link's performance. In case of failures, this last stage is essential to verify the reliability of the main optical link, and to prove that it can support the load assigned by the balancing algorithm applied.

The main objective of this project is to provide an efficient level of availability of the REDY internet service in the Yacuambi canton, without interfering with the user experience provided by the optical link. In addition, this will help generate real information on the implementation of this project and the results obtained by the selected equipment.

Keywords: radio link, backup, load balancing, spectrum exploitation, radio spectrum, 802.11ac.

3. Introducción

El acceso a la red se ha convertido en un servicio fundamental en la sociedad contemporánea. Según Galeano (2023) el número de dispositivos conectados a internet hasta el 2023 es de 5.16 billones, el 64.4% de la población mundial. Por su parte Abril (2023), en su artículo en la revista Líderes menciona que en nuestro país desde el 2019 hasta el 2022, el incremento de hogares conectados a internet ha sido de un 32.7 %, siendo las zonas rurales los mayores crecimientos.

En el cantón Yacuambi según el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Yacuambi (2019), en la parroquia 28 de Mayo existen alrededor de 3200 habitantes y en la parroquia Tutupali alrededor de 650, dos de las tres parroquias del cantón que están provistas con cobertura de servicio de internet de la empresa REDY, misma que cuenta con alrededor de 130 clientes activos distribuidos entre sí.

Con estos antecedentes, se pone de manifiesto una necesidad clara de mantener una elevada disponibilidad de los servicios que conectan a la ciudadanía del cantón Yacuambi con el mundo. La legislación ecuatoriana es la base que antepone los derechos de la ciudadanía sobre los de las empresas que brindan servicios de telecomunicaciones y para nuestro interés, mediante la carta magna y la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT), en primera instancia se enmarca al sector de las Telecomunicaciones como uno de los pilares estratégicos para el desarrollo de nuestro país y mediante la aprobación de la LOT presente en el Registro Oficial (2015), faculta a los clientes de las empresas proveedoras del servicio de internet, disponer de una conexión estable y de alta disponibilidad.

PROBLEMÁTICA

El presente proyecto abordó la problemática de la discontinuidad del servicio de conectividad en el cantón Yacuambi, derivada de factores climáticos adversos y la ejecución de obras viales por parte del Gobierno Provincial de Zamora Chinchipe. Este inconveniente se atribuye principalmente a la ruptura del enlace troncal de la red de fibra óptica. Esta ruptura se da como consecuencia de los deslizamientos provocados por intensas precipitaciones, comprometiendo la infraestructura por la que transcurre la fibra óptica. Así mismo, la interferencia ocasional de maquinaria vial, incluyendo volquetes y excavadoras propicia cortes accidentales en los cables de fibra óptica que se despliegan a lo largo de esta arteria vial. Estos

incidentes desembocan en extensos lapsos de inaccesibilidad a internet para los usuarios suscritos a REDY en el área del cantón Yacuambi.

JUSTIFICACION

Este proyecto propone la implementación de un sistema de radioenlace desde la parroquia Guadalupe, con un punto intermedio en el Cerro Chivato, hasta alcanzar la cabecera cantonal de Yacuambi, donde se ubica el nodo central de la empresa REDY, filial de NODO CIA. Este sistema tiene como objetivo distribuir la carga del enlace óptico y servir como respaldo en caso de fallas en la infraestructura principal debido a causas naturales o accidentales.

La migración de la red inalámbrica a la tecnología GPON/EPON ha expuesto a la empresa a un desafío constante, especialmente con la expansión de la red vial impulsada por el gobierno provincial para el desarrollo del cantón Yacuambi. Esta obra vial en curso ha sido una causa significativa de interrupciones en la red, generando inconvenientes para los usuarios de REDY en la cabecera cantonal y la parroquia Tutupali. Este fenómeno se ve agravado por las condiciones climáticas, como las intensas lluvias y deslizamientos, aunque en menor medida, también contribuyen a la limitación ocasional del servicio de internet.

Este proyecto radica en la necesidad de establecer una solución tecnológica efectiva y resiliente para mitigar los efectos negativos de las interrupciones en el servicio de internet experimentadas por los usuarios de REDY en la zona, debido a la combinación de factores viales y climáticos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar e implementar un radioenlace de redundancia utilizando el estándar 802.11ac en las bandas de 5GHz, basado en un estudio de frecuencias en el Cerro Chivato, para la empresa NODO Cía. y su filial REDY en el cantón Yacuambi.

Objetivos específicos

- Analizar el uso del espectro radioeléctrico en el Cerro Chivato en las bandas ISM particularmente en la banda de 5GHz para evaluar la factibilidad de utilizar el estándar 802.11ac.
- Diseñar un enlace inalámbrico para la implementación y configuración del radioenlace de redundancia desde la parroquia Guadalupe con un salto en el Cerro Chivato, hasta la cabecera cantonal del cantón Yacuambi, para la empresa NODO CIA., con su filial REDY.
- Analizar el tráfico cursado por el enlace de redundancia para validar su rendimiento, uso eficiente y el balanceo de carga del enlace de backbone con el que cuenta actualmente la empresa REDY en el cantón Yacuambi.

ALCANCE

El presente proyecto contempla como alcances a las siguientes generalidades:

- Levantamiento integral de información acerca de los servicios inalámbricos provistos en el cerro Chivato y el uso de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico en el sitio, tales como: radiodifusión, telefonía móvil, servicio de internet inalámbrico y televisión, con el fin de determinar la presencia de interferencia ante la implementación del enlace planteado en el presente proyecto.
- El uso de bandas libres para la transmisión en la banda de 5 GHz haciendo uso del estándar 802.11ac en configuración MIMO 2X2 con un ancho de canal de 80 MHz, con el fin de aprovechar la máxima potencia de transmisión de los equipos a utilizar.
- Solución a la problemática del bajo nivel de disponibilidad del servicio de internet en el cantón Yacuambi, particularmente en las parroquias Tutupali y 28 de Mayo, supliendo la necesidad de alrededor de 130 clientes de la empresa REDY que en conjunto generan alrededor de 300 Mbps en horas pico de consumo y de 50 a 150 Mbps de forma continua todo el tiempo.
- Análisis de las métricas de rendimiento del enlace implementado en el proyecto y aplicación de balanceo de carga del tipo PCC al enlace óptico principal que brinda el servicio de internet a los usuarios de REDY en el cantón Yacuambi,

para analizar el comportamiento de la red una vez activado el enlace inalámbrico y validar repercusiones en la navegación de los usuarios en internet.

El presente proyecto no contempla como alcances las siguientes generalidades:

- La implementación de respaldos eléctricos en cada punto de la red definido en las secciones subsiguientes debido al ser un enlace meramente de respaldo y balanceo de carga para la red principal cuando el tráfico de red sea representativo.
- La función de enlace principal; debido a la disponibilidad del enlace óptico, mismo que actualmente hace las funciones de enlace principal. Únicamente previa falla del enlace óptico, el enlace a implementarse en la ejecución del presente proyecto servirá de enlace principal mientras se solventa el daño.
- La función de enlace de distribución de servicio de internet inalámbrico; la configuración de los equipos se la realizará en modo Punto a Punto (PTP), de forma que se imposibilite la distribución de servicio de internet de forma inalámbrica.
- El uso de bandas licenciadas para la transmisión.

4. Marco Teórico

Para entender el desarrollo de este proyecto partimos de la fundamentación teórica básica que comprende el ámbito de la comunicación inalámbrica, conceptos como los de antenas, patrones de radiación, polarización, entre otros, que son importantes al momento de dimensionar nuestros proyectos de manera eficiente para una red de estas características. Por lo tanto, en esta sección se estarán abordando temáticas que comprenden desde los fundamentos de un radioenlace y los términos a considerar, hasta lo que corresponde con el balanceo de carga y las técnicas más utilizadas en la actualidad. Con el abordaje de estas temáticas se pretende explicar la línea base desde la que se parte para la definición de cada una de las actividades que comprenden el proyecto.

4.1. Fundamentos de Radioenlaces y Tecnologías Inalámbricas

4.1.1. Conceptos Básicos de Radioenlaces y su Importancia

4.1.1.1. Concepto de Radioenlace.

De acuerdo con Viera (2005), “se denomina, en general, radioenlace a cualquier interconexión entre terminales de telecomunicación efectuada por ondas radioeléctricas” (pág. 2). De este modo podemos intercomunicar dos puntos de forma inalámbrica, con una gran capacidad para transmitir información de manera continua, sin interrupciones.

El concepto de radioenlace nace hace mucho tiempo atrás con la aparición del electromagnetismo:

Las primeras manifestaciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos se observaron por medio de las fuerzas que actuaban sobre cargas y corrientes, pero esta representación, aunque muy útil, no permite estudiar fácilmente los fenómenos de propagación y radiación de ondas, por lo que es necesario introducir el concepto de campo (Cardama et al., 2002).

4.1.1.2. Campo Electromagnético.

Huidobro (2013) define a un campo electromagnético como el producto del movimiento de toda carga eléctrica en un conductor, con una determinada frecuencia que corresponde a la misma frecuencia con la que se mueve la carga eléctrica. Un campo electromagnético por tanto se compone por un campo eléctrico y uno magnético que se caracterizan por su longitud de onda, su intensidad, la polarización y la modulación empleada.

Para recibir o emitir señales radioeléctricas a través de un medio aéreo son necesarios unos dispositivos especiales, denominados antenas. Así, pues, en los extremos de transmisión y recepción de un sistema de radiocomunicaciones, una antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio y viceversa (Huidobro, 2013).

4.1.1.3. Antenas.

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia/desde el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa. En el caso de que las antenas estén conectadas por medio de guía ondas, esta función de transformación se realiza en el propio emisor o receptor. Se utilizan en la radio, televisión, teléfonos móviles, routers inalámbricos, mandos remotos, etc., unas veces visibles y otras ocultas en el interior del propio dispositivo (Huidobro, 2013).

Por su parte Cardama et al. (2002) basado en la definición del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) comparte este concepto añadiendo que existen muchos tipos de antenas y dependerá de la aplicación para usar uno u otro modelo.

4.1.1.4. Parámetros de Antenas en Transmisión.

Impedancia: La relación entre la tensión y la corriente presente en el puerto de entrada. La impedancia de una antena tiene una parte real y otra imaginaria, y ambas dependen de la frecuencia. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia f_0 si la parte imaginaria de la impedancia de entrada en f_0 es cero. Una antena presenta generalmente muchas resonancias, que denominamos “modos” (Anguera y Pérez, 2008).

Intensidad de radiación: “Es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección; sus unidades son vatios por estereorradián y a grandes distancias tiene la propiedad de ser independiente de la distancia a la que se encuentre la antena” (Cardama et al., 2002).

Diagrama de radiación: Es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una

distancia fija. Normalmente se empleará un sistema de coordenadas esféricas. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia se expresará el campo eléctrico en función de las variables angulares (Cardama et al., 2002).

Directividad: La directividad D de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiase la misma potencia que la antena (Cardama et al., 2002).

Ganancia: Su definición es similar, pero la comparación no se establece con la potencia radiada, si no con la potencia entregada a la antena. La ganancia pone de manifiesto el hecho de que una antena real no radia toda la potencia que se le suministra, sino que parte de ésta se disipa en forma de calor ($R\Omega$). Por lo tanto, la ganancia y la directividad están relacionadas por la eficiencia de la antena (Anguera y Pérez, 2008).

Polarización: “Es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación” (Cardama et al., 2002).

Ancho de banda: “Se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central” (Cardama et al., 2002).

4.1.1.5. Parámetros de Antenas en Recepción.

Impedancia en Rx: “La impedancia de una antena en transmisión es la misma que en recepción” (Anguera y Pérez, 2008).

Eficiencia: “Es la relación entre la potencia liberada en una carga adaptada y la potencia liberada también en una carga adaptada, pero suponiendo una antena sin pérdidas” (Anguera y Pérez, 2008).

Área efectiva: “Se define como la relación entre la potencia que entrega la antena a su carga (suponiendo una antena sin pérdidas y adaptada a la carga) y la densidad de potencia de la onda incidente” (Anguera y Pérez, 2008).

Partiendo del principio de reciprocidad de las antenas, la mayoría de estas comparten los mismos parámetros tanto en transmisión como en recepción.

4.1.2. Principios de Transmisión Inalámbrica

4.1.2.1. Propagación de Ondas.

La propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre a menudo se denomina a la propagación atmosférica, cuando en realidad este nombre es acuñado por la propagación en el vacío, sin embargo, al ser tan parecidos un entorno de vacío con nuestra atmosfera podemos hablar de transmisión en el espacio libre, considerando la introducción de pérdidas propia de la troposfera. “Las ondas de radio se propagan por la atmosfera terrestre con energía transmitida por la fuente, posteriormente la energía se recibe del lado de la antena receptora” (Bautista, 2005).

4.1.2.2. Frente de Onda.

Se considera como frente de onda a la sección transversal de la energía de propagación de una fuente, este frente de onda es perpendicular a la dirección de propagación de la energía, se podría tratar como una superficie imaginaria en la que todos los puntos de una onda electromagnética están en fase. Existen varios tipos frentes de ondas:

Frente de onda plana: Un frente de onda plana representa un frente de onda con una superficie que es perpendicular a la dirección de propagación, cuando una superficie es plana, su frente de onda es perpendicular a la dirección de propagación. En cuanto más cerca está el frente de la fuente, el frente de onda se vuelve más complicado (Bautista, 2005).

Frente de onda de una fuente puntual: Varios rayos son propagados desde ella en todas direcciones. Esta fuente se considera una fuente isotrópica y el frente de onda generado por la fuente puntual se considera una esfera con su respectivo radio y en la cual su centro está en el punto donde se originan las ondas (Bautista, 2005).

Frente de onda esférico: Todos los puntos que se encuentran a una distancia R , se encuentran en la superficie de la esfera y cuentan con la misma densidad de potencia. En cualquier otro momento, la potencia irradiada, se encuentra

uniformemente distribuida sobre la superficie total de la esfera, donde se considera que el medio de transmisión no tiene pérdidas (Bautista, 2005).

4.1.2.3. Ley del Cuadrado Inverso.

Todos los puntos que se encuentran a una distancia R, se encuentran en la superficie de la esfera y cuentan con la misma densidad de potencia. En cualquier otro momento, la potencia irradiada, se encuentra uniformemente distribuida sobre la superficie total de la esfera, donde se considera que el medio de transmisión no tiene pérdidas (Bautista, 2005).

4.1.2.4. Pérdidas en el Espacio Libre.

Román (2021) menciona que “las pérdidas en espacio libre miden la atenuación del radioenlace en un espacio sin obstáculos entre una antena transmisora y otra receptora” (pág. 4).

La expresión matemática que da vida al valor de las pérdidas en el espacio libre esta dada por la siguiente ecuación.

$$L_o(dB) = 32.44 + 20\log_{10}(d)Km + 20\log_{10}(f)MH$$

Ecuación 1. *Ecuación de pérdidas en el espacio libre.*

Donde:

- L_o es la pérdida en el espacio libre en dB.

- d es la distancia entre los dos puntos y se expresa en Km.

- f es la frecuencia de trabajo del sistema y se expresa en MHz

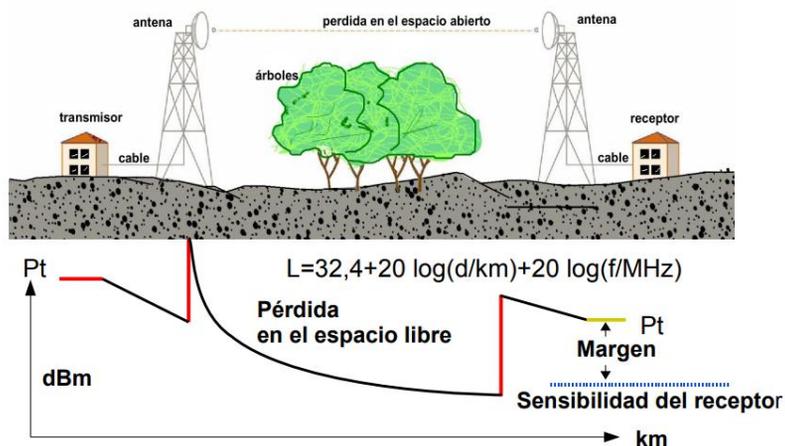


Figura 1. Diagrama de pérdidas en el espacio libre.

Fuente. Obtenido de Buettrich et al. (2008).

4.1.2.5. Region de Fraunhofer.

“Es definida como la región más allá de la distancia de Fraunhofer d_f que está relacionada con la dimensión lineal más larga de la apertura de la antena transmisora y la longitud de onda de la portadora” (Bautista, 2005). La distancia de Fraunhofer está dada por:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Ecuación 2. Distancia de Fraunhofer.

Donde:

- d_f corresponde a la distancia de Fraunhofer.

- λ es la longitud de onda

-D es la mayor dimensión lineal física de la antena. En adición para estar dentro de la región de Fraunhofer se debe considerar que:

$$d_f \gg D \text{ y } d_f \gg \lambda$$

4.1.2.6. Zonas de Fresnel.

“La Zona de Fresnel se refiere a una región elipsoidal alrededor de la línea de visión directa entre dos antenas que están estableciendo una comunicación inalámbrica” (Cuadrado, 2023).

Por lo general en el estudio y diseño de un radioenlace la zona de Fresnel a la que se le da más importancia es la primera, esta se obtiene ya sea en un entorno con obstáculos o en uno si ellos.

Sin obstáculos:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

Ecuación 3. *Primera zona de Fresnel sin obstáculos.*

Con obstáculos:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{d * f}}$$

Ecuación 4. *Primera zona de Fresnel con obstáculos.*

Donde:

-*d* corresponde a la distancia ente la antena y el objeto en Km.

-*f* es la frecuencia de trabajo del sistema en GHz.

-*r* es el radio en metros de la primera zona de Fresnel.

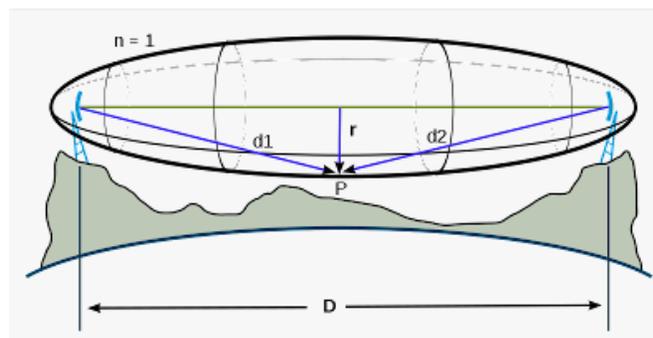


Figura 2. *Primera zona de Fresnel.*

Fuente. *Obtenido de Mundo Teleco (2014).*

4.1.2.7. Presupuesto de un Radioenlace.

Para el cálculo del presupuesto de un radioenlace, Buettrich et al. (2008) basado en la ecuación de transmisión; toma en cuenta en su presentación, el lado de transmisión, en el que se suman la potencia del transmisor y la ganancia de la antena, mientras que se resta la pérdida

en la línea de transmisión; en el lado de propagación, se toma en cuenta la pérdida en el espacio libre como una cantidad negativa; del lado de recepción, se toma en cuenta como cantidad positiva la ganancia de la antena en recepción y como cantidades negativas, la pérdida de la línea de transmisión y la sensibilidad del receptor, de modo que se tiene una ecuación tal que:

$$\text{Potencia en TX (dBm)} - \text{Pérdida en el cable TX (dB)} + \text{Ganancia de Antena TX (dBi)} - \text{Pérdidas en el espacio libre (dB)} + \text{Ganancia de Antena RX (dBi)} - \text{Pérdidas en el cable RX (dB)} = \text{Margen-Sensibilidad en RX (dBm)}$$

4.1.3. Estándares Relevantes (802.11ac, 5GHz)

4.1.3.1. 802.11ac.

Cisco (2018) lo define como una versión evolucionada de 802.11n. En este caso, la evolución se logra notar en cuanto a velocidades a las que se puede llegar, esta versión de WiFi dota a la transmisión inalámbrica de las mismas capacidades de Gigabit Ethernet.

Así mismo Cisco (2018) determina las 3 características más importantes de la evolución de 802.11ac que son:

- Mayor amplitud en los canales pasa de un máximo de 40 MHz con 802.11n a 80 o incluso 160 MHz.
- Modulación más densa, que ahora utiliza 256 modulaciones de amplitud en cuadratura (QAM), frente a las 64QAM de 802.11n.
- Múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) evolucionadas. Mientras que 802.11n se detuvo en cuatro flujos espaciales, 802.11ac llega hasta ocho, lo que supone otro aumento de velocidad del 100%.

4.1.3.2. Diferencias entre 802.11ac y 802.11n.

Según Cisco (2018) éstas son algunas de las diferencias más marcadas entre estos dos estándares de WiFi.

- 802.11ac requiere que cada transmisión 802.11ac se envíe como un agregado A-MPDU. Esto se debe en parte a la eficiencia intrínseca de A-MPDU.
- 802.11ac amplía el mecanismo de acceso a canales de 802.11n.
- 802.11ac añade es la posibilidad de que el receptor ayude al transmisor de formación de haces a realizar un mejor trabajo de formación de haces.

- Beamforming son similares a las de 802.11n. Sin embargo, debido a algunas sutiles diferencias, la sonda 802.11ac no es compatible con dispositivos 802.11n.

En la actualidad no contamos únicamente con el desarrollo de WiFi 5 sino que ya se encuentran en producción las versiones 6/6e y 7 de este estándar, denominadas en el ámbito técnico como 802.11ax y 802.11be respectivamente.

Intel (2023a) destaca las características más importantes de 802.11ax que se presentan a continuación:

- WiFi 6 es la iteración más reciente del protocolo de red WiFi y supone una mejora sustancial respecto a su predecesor.
- WiFi 6 puede ser más rápido debido a tecnologías como la priorización del tráfico, la división OFDMA y el proceso de formación de haces.
- Este nuevo protocolo también es más seguro y utiliza nuevas tecnologías de cifrado como SAE.
- Los dispositivos con tecnología WiFi 6E pueden aprovechar la nueva banda de frecuencia de 6 GHz para una conectividad mejorada.
- A medida que WiFi 6 se convierte en el nuevo estándar, la actualización de hardware compatible se volverá cada vez más beneficiosa.

Los dispositivos habilitados por WiFi 6E pueden utilizar la banda de frecuencia de 6 GHz, que ofrece un ancho de banda de 1200 MHz, lo que lo hace ideal para ofrecer grandes cantidades de datos en distancias más cortas. Esto puede ayudar a aliviar la congestión de tráfico y la interferencia en dispositivos compatibles (Intel, 2023a).

Así mismo 802.11be destaca por sus grandes capacidades, superando aún a 802.11ax, Intel (2023b) destaca características como:

- WiFi 7 permite velocidades significativamente más rápidas al empaquetar más datos en cada transmisión. Los canales de 320 MHz tienen el doble de tamaño que las anteriores generaciones de WiFi.
- AM (Quadrature Amplitude Modulation) 4K permite que cada señal incorpore más densamente una mayor cantidad de datos en comparación con QAM 1K con WiFi 6/6E.

- Una velocidad potencial máxima de datos de casi 5,8 Gbps. Esto es 2,4 veces más rápido que los 2,4 Gbps posibles con WiFi 6/6E y podría permitir fácilmente la transmisión de video 8K de alta calidad o reducir la descarga de un archivo masivo de 15 GB a unos 25 segundos.
- MLO (Multi-Link Operation), los dispositivos WiFi 7 pueden conectarse simultáneamente a dos bandas. Esto permite velocidades más rápidas a través de la agregación de canales, lo que optimiza el rendimiento de la conexión WiFi al combinar el ancho de banda de dos bandas simultáneamente.
- Multi-RU Puncturing, los dispositivos con WiFi 7 podrán utilizar otras partes del mismo canal de alta velocidad que no estén en uso para habilitar canales muy grandes.

A continuación, se presenta una comparación de estas versiones, con una visión general del avance y el desarrollo tecnológico que se ha logrado hasta la actualidad.

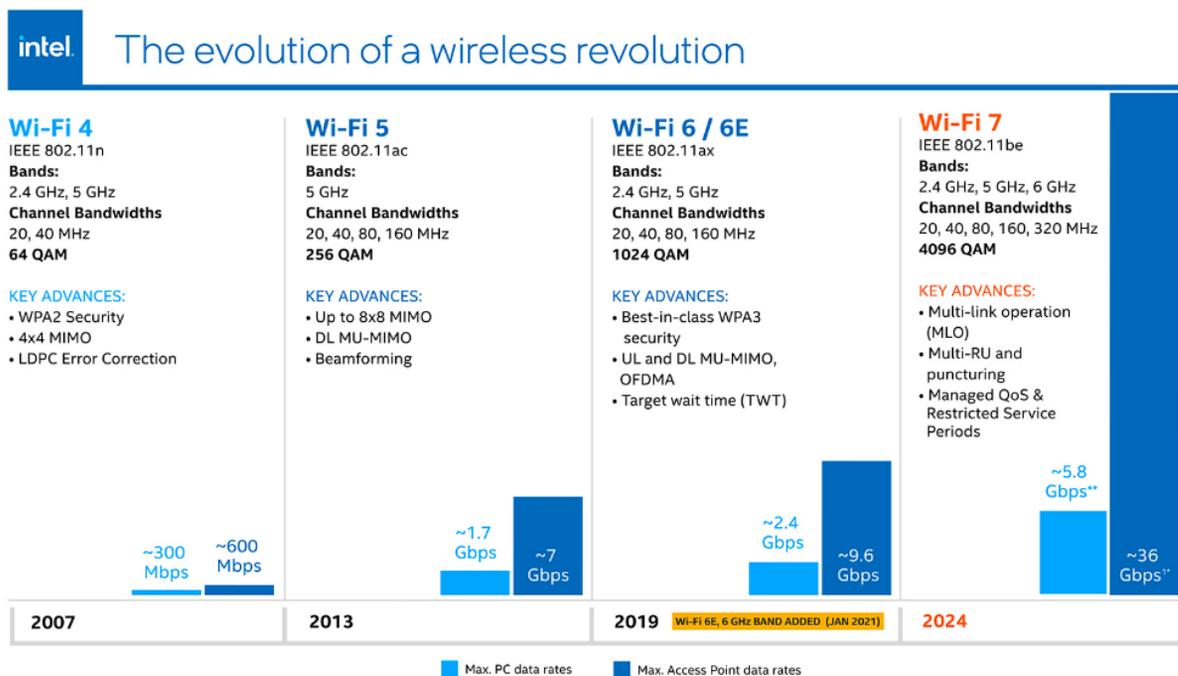


Figura 3. Evolución del estándar 802.11 en los últimos años.

Fuente. Obtenido de Intel (2023b).

4.1.4. Casos de Éxito de 802.11ac en Enlaces Inalámbricos

Rodas & Zumba (2016) proponen la implementación de una red inalámbrica para una parroquia en la provincia de Azuay en nuestro país. Los autores después de realizar el estudio pertinente concluyen que:

El estándar IEEE 802.11ac es el que mejor se ajusta a los requerimientos presentes y futuros de la parroquia, ya que hace uso de la banda libre de 5.8 GHz y posee un gran ancho de banda permitiendo la escalabilidad de la red para brindar otros servicios en el futuro (Rodas & Zumba, 2016).

Con la factibilidad del uso de 802.11ac para realizar los enlaces inalámbricos, se han investigado enlaces que han sido desarrollados por las marcas que serán tomadas en cuenta en el desarrollo de este proyecto: mimosa, AlgCom y Netpoint y a continuación se mostrarán algunos de los casos de éxito que involucran el uso de equipamiento de las marcas antes mencionadas. Esto se realiza debido a la poca cantidad de información documentada de enlaces que se han llevado a cabo en la localidad.

NetPoint Antennas (2021) en uno de sus webinar lanzados al público, mencionan algunos casos de éxito usando la combinación de los radios Mimosa y sus equipos radiantes, en los que logran algunos enlaces en distintos escenarios, desde enlaces cortos de 2 Km hasta enlaces de larga distancia de mas de 90 Km.

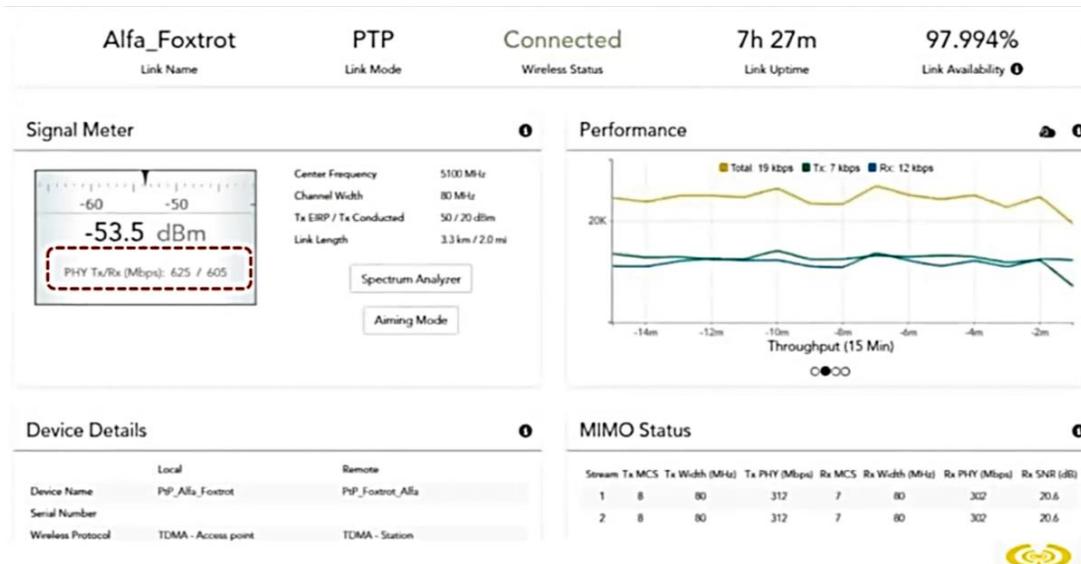


Figura 4. Caso de éxito Netpoint Antenas, enlace de 3Km.

Fuente. Obtenido de NetPoint Antennas (2021).

En este caso NetPoint Antennas (2021) usan una combinación de un radio C5c y una antena del modelo NPX1 de 30 dBi de ganancia con radomo contra interferencia, debido a la saturación elevada del espectro con el que tuvieron que lidiar, sin embargo, para bien del enlace, lograron pasar 395 Mbps de forma simétrica. Recordemos que los radios C5c tienen un throughput máximo de alrededor de 700 Mbps por lo cual se volvió un enlace eficiente y sobre todo resistente a las interferencias.

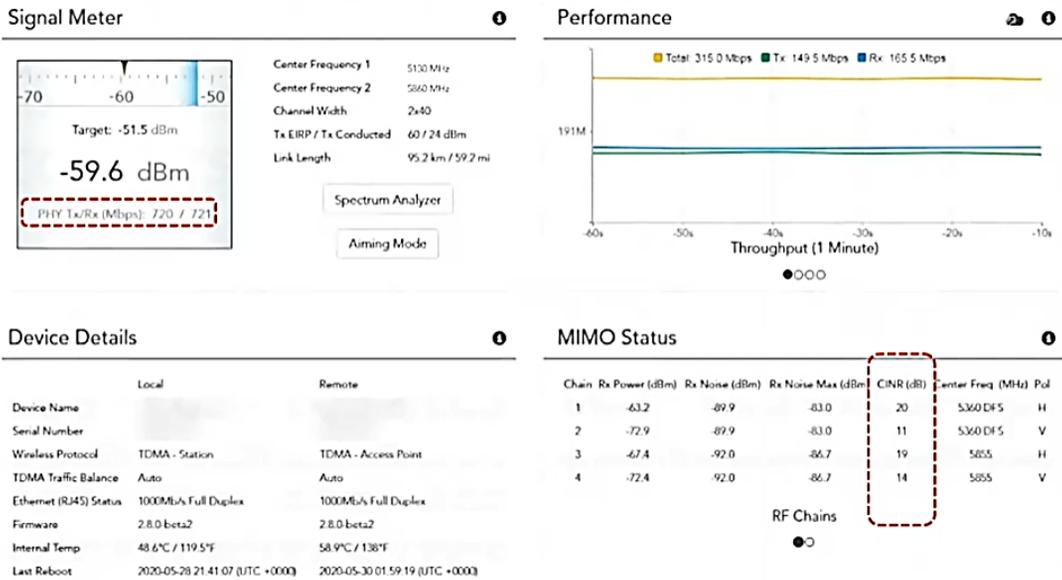


Figura 5. Caso de éxito Netpoint antenas, enlace de 95 Km.

Fuente. Obtenido de NetPoint Antennas (2021).

En este otro caso NetPoint Antennas (2021) usan una combinación de un radio B5c y una antena NP3 con armor ARNP3 de 37dBi de ganancia, para levantar un enlace de una distancia extrema de 95.3 Km en Sonora, México; este enlace como se muestra en la **Figura 5** se encuentra en producción pasando alrededor de 300 Mbps de manera estable; sin embargo, es posible que el ancho de banda disponible sea mucho mayor ya que como se observa en la sección inferior de la información de la potencia nos muestra 700 Mbps de manera simétrica.

Por su parte ALGcom (2022) en su canal oficial de la plataforma Youtube nos muestra algunos de sus casos de éxito en enlaces inalámbricos usando radios de la marca Mimosa y sus antenas como marca propietaria. Estos ejemplos se muestran a continuación:

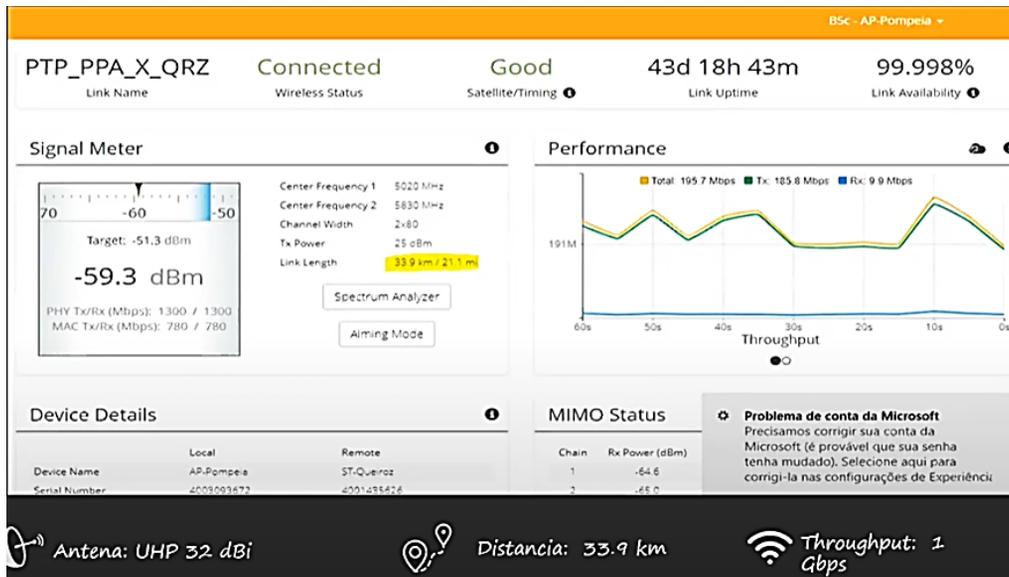


Figura 6. Caso de éxito ALGcom, enlace de 33.9 Km.

Fuente. Obtenido de ALGcom (2022).

Para este caso ALGcom (2022) en la **Figura 6** nos muestra un enlace con una combinación entre un radio B5c y una antena de la serie UPH de 32 dBi de ganancia, en el que a 33.9 Km logran pasar un total de 1 Gb de ancho de banda, llegando a compararse con velocidades parecidas a las de la fibra óptica. Hay que recalcar de igual forma que el radio B5c de Mimosa dispone de MIMO 4x4 y su capacidad inalámbrica supera con facilidad 1Gb de ancho de banda disponible y además, la antena que usan en este enlace llega de fábrica con radomo contra interferencia.

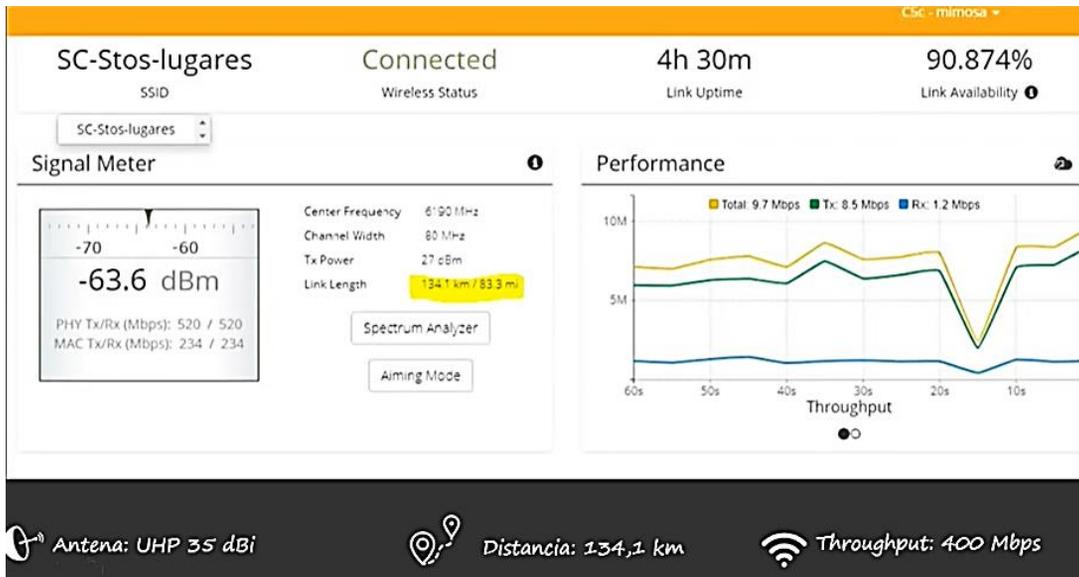


Figura 7. Caso de éxito ALGcom, enlace de 134.1 Km.

Fuente. Obtenido de ALGcom (2022).

Este caso de éxito que nos presenta ALGcom (2022), es uno que ha generado revuelo en la comunidad, debido a que son 134.1 Km, usando una combinación entre un radio sumamente económico a consideración de su antena, como es el C5c y una antena de la serie UPH de 38 dBi para levantar un enlace con un ancho de banda resultante considerable de 400 Mbps, sin duda un hito dentro de las comunicaciones inalámbricas en Argentina. Como se observa en la **Figura 7** tiene un nivel de potencia muy bueno y sobre todo destacar que la disponibilidad del enlace esta sobre el 90%.

De este modo se muestran los antecedentes de los casos que han tenido éxito tanto a cortas, medias y muy largas distancias alrededor de América Latina con estos equipos de backhaul bajo el estándar 802.11ac, que como se ha mencionado anteriormente van a ser ocupados en la implementación del presente proyecto.

4.2. Espectro Radioeléctrico, Diseño y Planificación de Radioenlaces

4.2.1. Marco Legal del Espectro Radioeléctrico

El Registro Oficial (2021a) enmarca nuestra carta magna, en el artículo 16, numeral 3, de la misma; pone de manifiesto que tanto las personerías individuales o colectivas, tienen derecho a:

La creación de medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas (pág. 14).

Así mismo en el artículo 261, numeral 10, menciona que: “El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre: El espectro radioeléctrico y el régimen general de comunicaciones y telecomunicaciones; puertos y aeropuertos” (Registro Oficial, 2021).

Una designación importante de este recurso natural es la de tratarlo como un sector estratégico de forma conjunta con las telecomunicaciones en general, tal como lo expresa el artículo 313 de nuestra Constitución de la República (Registro Oficial, 2021).

Por su parte la LOT que se pone de manifiesto en el Registro Oficial (2015); en el artículo 6, propone la definición del término “espectro radioeléctrico” misma que basada en la definición propuesta por la *International Telecommunications Union* (ITU), lo define como:

Conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, entre otros. Su utilización responderá a los principios y disposiciones constitucionales (pág. 5).

En esta ley promulgada por el Registro Oficial (2015) se norman algunas consideraciones más a tener en cuenta acerca del espectro radioeléctrico; a continuación, se presentan las más importantes:

- **Art. 18:** El espectro radioeléctrico constituye un bien del dominio público y un recurso limitado del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable. Su uso y explotación requiere el otorgamiento previo de un título habilitante emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, de conformidad con lo establecido en la presente Ley, su Reglamento General y regulaciones que emita la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (pág. 8).
- **Art. 24; Num. 23:** Son deberes de los prestadores de servicios de telecomunicaciones: Cumplir con las normas sobre emisión de radiaciones no

ionizantes y reglas de seguridad relacionadas con el uso del espectro radioeléctrico (pág. 10).

- **Art. 94; Num. 1:** Al ser un recurso natural escaso, el espectro radioeléctrico, tanto desde el punto de vista técnico, como económico, debe ser administrado y gestionado en forma eficiente (pág. 25).
- **Art. 94; Num. 7:** El acceso al espectro radioeléctrico deberá realizarse en forma transparente y equitativa (pág. 25).
- **Art. 94; Num. 9:** La asignación del espectro radioeléctrico debe realizarse con procedimientos ágiles y flexibles y se debe promover y facilitar que las redes inalámbricas soporten varios servicios con diversas tecnologías (pág. 25).

Éstas entre las principales consideraciones de la LOT que tienen influencia sobre el objeto del presente proyecto. Esta ley es una norma general sobre todos los servicios de telecomunicaciones, por lo que está a disposición del público en las páginas web del gobierno del Ecuador.

De manera jerárquica encontramos también el Reglamento a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (RLOT); éste a su vez, brinda las pautas de cómo se debe ejecutar lo expuesto en la LOT, brindando de esta forma una cobertura integral al uso y explotación del espectro radioeléctrico.

Algunas de las consideraciones expuestas en el RLOT vigente, del Registro Oficial (2016), acerca de este recurso natural y que se relacionan directamente con la normativa de la LOT son:

- **Art 13; Num 2; Literal c:** Registro de servicios. - Para la prestación de servicios portadores, operadores de cable submarino, segmento espacial, radioaficionados, valor agregado, de radiocomunicación, redes privadas y actividades de uso privado, espectro para uso determinado en bandas libres y los demás que determine la ARCOTEL (pág. 7).
- **Art 26:** En las ordenanzas que emitan los gobiernos autónomos descentralizados para regular el uso y gestión del suelo y del espacio aéreo para el despliegue o establecimiento de redes e infraestructura de telecomunicaciones, incluyendo radiodifusión por suscripción, no se podrá incluir tasas o tarifas u otros valores

por el uso del espacio aéreo regional, provincial o distrital vinculadas al despliegue de redes de telecomunicaciones o al uso del espectro radioeléctrico, otorgados a empresas públicas, privadas o de la economía popular y solidaria, por ser una competencia exclusiva del Estado central (pág. 11).

- **Art 88:** Principios y objetivos para el uso del espectro radioeléctrico. - Por su característica de recurso natural limitado, al espectro radioeléctrico le son aplicables los principios ambientales de prevención, precaución y desarrollo sostenible; su administración, asignación, gestión, regulación, planificación y control se someterá a lo previsto en la LOT, en la Ley Orgánica de Comunicación, en sus reglamentos generales de aplicación, y, en las regulaciones que emita la ARCOTEL para el efecto (págs. 28-29).
- **Art 109:** Homologación. - Constituye la verificación del cumplimiento de normas técnicas de un equipo terminal de una clase, marca y modelo específico, cuando utilicen espectro radioeléctrico, que se conecten a redes de telecomunicaciones y que se utilizan en los servicios del régimen general de telecomunicaciones. Por excepción, requerirán de homologación los equipos terminales que no utilicen espectro radioeléctrico; equipos que hacen uso de espectro radioeléctrico en bandas de espectro de uso libre u otros, cuando así lo determine la ARCOTEL (pág. 33).

Esta normativa se encuentra vigente desde el año 2016, y se ha tomado en cuenta los artículos que tienen cierta cercanía con el efecto del presente proyecto.

4.2.2. Regulaciones sobre Frecuencias Inalámbricas

De la mano del concepto de espectro radioeléctrico está el concepto de frecuencias. Regular el espectro implica una gestión correcta y eficiente de los canales y las frecuencias que los componen; de la misma manera, las normativas sobre las que se sustentan acciones realizadas por organismos como el Ministerio de Telecomunicaciones o la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) son: la LOT y su respectivo reglamento, el RLOT.

Las consideraciones más importantes expuestas en la LOT vigente, del Registro Oficial (2015) son:

- **Art 37:** Títulos Habilitantes. - La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones podrá otorgar los siguientes títulos habilitantes: **3. Registro de servicios:** Los servicios para cuya prestación se requiere el Registro, son entre otros los siguientes: servicios portadores, operadores de cable submarino, radioaficionados, valor agregado, de radiocomunicación, redes y actividades de uso privado y reventa (pág. 14).
- **Art 50:** El Estado permitirá el acceso a bandas calificadas como de uso libre, de conformidad con lo dispuesto en la Constitución, esta Ley, su Reglamento General, el Plan Nacional de Frecuencias y las normas que emita la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (pág. 18).
- **Art 56:** Duración. - Los títulos habilitantes para el uso y explotación del espectro radioeléctrico tendrán la misma duración del título habilitante del servicio o los servicios a los cuales se encuentren asociados y se encontrarán integrados en un solo instrumento. De no estar asociados a servicio alguno su duración será de cinco años (pág. 19).
- **Art 94; Num. 6:** Eliminación de interferencias. - Se debe garantizar el uso de las frecuencias sin interferencias perjudiciales, para lo cual se implementarán adecuados sistemas de monitoreo y control (pág. 25).
- **Art 96; Num. 1:** Espectro de uso libre: Son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general, con sujeción a lo que establezca el ordenamiento jurídico vigente y sin necesidad de título habilitante, ni registro. **Num. 2:** Espectro para uso determinado en bandas libres: Son aquellas bandas de frecuencias denominadas libres que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos por la Agencia de Regulación y Control y tan sólo requieren de un registro (pág. 26).

Uno de los artículos referentes a la gestión eficiente del espectro radioeléctrico y con mayor peso dentro de la LOT es el artículo 95, que en uno de sus párrafos expresa lo siguiente:

Artículo 95. - Planificación: La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones es competente para elaborar, aprobar, modificar y actualizar el Plan Nacional de Frecuencias, instrumento dinámico que contiene la atribución de las frecuencias del espectro radioeléctrico. Toda asignación de

frecuencias del espectro radioeléctrico deberá realizarse con estricta sujeción a dicho plan (Registro Oficial, 2015, pág. 26).

De esta manera la ARCOTEL tiene la facultad de realizar una planificación integral de cada una de las bandas de frecuencias disponibles del espectro radioeléctrico, basada en la norma internacional denominada Plan Nacional de Frecuencias (PNF). Este plan a su vez, es publicado por esta entidad del gobierno poniendo de manifiesto cada una de las bandas disponibles y su regulación en el país.

Dentro del PNF publicado por la ARCOTEL (2021) se estipulan algunos conceptos que recaen sobre el objeto del presente proyecto tales como:

- **Enlace radioeléctrico.** - Instalación de telecomunicación entre dos puntos previstos, por medio de ondas radioeléctricas. Un enlace radioeléctrico puede ser unidireccional o bidireccional (pág. 18).
- **Espectro de uso libre o bandas de uso libre.** - Son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general sin necesidad de la obtención de un título habilitante, con sujeción a las condiciones establecidas en la norma técnica aplicable (pág. 18).
- **Sistema Troncalizado.** - Sistema de radiocomunicación del servicio móvil terrestre, que utiliza múltiples pares de frecuencias, en el que las estaciones establecen comunicación mediante el acceso en forma automática a cualquiera de los canales que estén disponibles (pág. 19).
- **Red de Acceso.** - Red que conecta al abonado, cliente o usuario con el proveedor de un servicio de telecomunicaciones (pág. 19).

En el PNF se encuentra la designación de cada una de las bandas y el uso para el que se encuentran destinadas o para las que está regulado el espacio del espectro, la **Tabla 1** comprende gran parte de las bandas libres de 5GHz, se ha elegido únicamente esta sección por el interés y la necesidad que se requiere dentro del proyecto, sin embargo, el PNF comprende desde las frecuencias VLF hasta las EHF.

Tabla 1. *Sección del Plan Nacional de Frecuencias en las bandas de 5GHz.*

ECUADOR		
Banda	Atribución	Banda Atribución Normativa Técnica Relacionada
5570-5650	MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOLOCALIZACIÓN 5.450B RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA 5.452 EQA.45	Res. ARCOTEL-2018-0661
5650-5725	MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.446A 5.450A RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Investigación espacial (espacio lejano) 5.282 EQA.45	Res. ARCOTEL-2018-0661
5725-5830	RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.150 EQA.45	Res. ARCOTEL-2018-0661
5830-5850	RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Aficionados por satélite (espacio-Tierra) 5.150 EQA.45	Res. ARCOTEL-2018-0661
5850-5925	FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Radiolocalización Aficionados 5.150 EQA.45	
5925-6700	FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.457A MÓVIL 5.457C 0 5.149 5.440 5.458 EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012 Res. ARCOTEL-2018-0028

Fuente. *Elaborado por el autor basado en ARCOTEL (2021).*

En adición a lo antes expuesto y para complementar esta serie de regulaciones se encuentra la Norma Técnica de Espectro de Uso Libre y de Espectro para Uso Determinado en Bandas Libres expedida por la ARCOTEL (2018).

“**Art 1: Objeto.** - La presente norma tiene por objeto establecer las condiciones para el empleo de espectro de uso libre, así como de espectro para uso determinado en bandas libres, en el territorio nacional” (ARCOTEL, 2018, pág. 5).

Con este antecedente se expone las limitaciones de intensidad de campo en las distintas bandas de frecuencia, así mismo para el caso del presente proyecto ocupamos únicamente la información de las bandas de nuestro interés en el rango de los 5GHz. Como menciona la

ARCOTEL (2018); “salvo que en la presente norma técnica se indique lo contrario, ningún transmisor intencional deberá sobrepasar los límites de intensidad de campo indicados en la siguiente tabla” (pág. 16):

Tabla 2. Niveles aceptables de intensidad de campo en las bandas de 5GHz.

5.25-5.35 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	RLAN	Potencia de salida de cresta de 250 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.46-5.725 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.47-5.725 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 250 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
5.725-5.785 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.785-5.815 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Sensores de perturbación de campo	500 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.815-5.85 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m

Fuente. Elaborado por el autor basado en ARCOTEL (2018).

Lo antes expuesto se da en el caso de ser bandas libres; para el caso de uso de espectro determinado en bandas libres (UDBL), se requiere una normativa propuesta por la ARCOTEL (2018), parecida pero diferenciada de las bandas libres en general, por algunas consideraciones que se presentan a continuación:

- Los sistemas que operen en la banda de 5725 - 5850 MHz pueden emplear antenas de transmisión con ganancia mayor a 6 dBi y de hasta 23 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor. Si emplean ganancia en la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda a los 23 dBi (pág. 25).
- En las bandas de 5250 - 5350 MHz y 5470 - 5725 MHz los usuarios de sistemas móviles deben emplear controles de potencia en el transmisor capaces de garantizar una reducción media de por lo menos 3 dB de la potencia de salida

media máxima de los sistemas o, en caso de no emplearse controles de potencia de transmisor, que la P.I.R.E. máxima se reduzca en 3 dB. Los usuarios de sistemas móviles deberán aplicar las medidas de reducción de la interferencia que contempla la Recomendación UIT-R M.1652, a fin de asegurar un comportamiento compatible con los sistemas de radiodeterminación.

Los límites de transmisión máximos son los siguientes:

Tabla 3. Límites a las transmisiones UDBL.

Bandas de Operación	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E. (mW)	Densidad de P.I.R.E. (mW/MHz)
915 – 928 MHz*	500	----	----
2400 – 2483.5 MHz*	1000	----	----
5150 – 5250 MHz*	50	200	10
5250 – 5350 MHz*	250	1000	50
5470 – 5725 MHz*	250	1000	50
5725-5850 MHz*	1000	----	----
57 – 64 GHz	500	20000	

Bandas de Operación	Intensidad de campo máximo
24.05 – 24.25 GHz	2 500 000 μ V/m a 3 m

Fuente. Elaborado por el autor basado en ARCOTEL (2018).

- Las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación de 5150 – 5250 MHz, 5250 – 5350 MHz, 5470 – 5725 MHz y 5725 – 5850 MHz, deberán ser atenuadas de conformidad con los siguientes límites (pág. 25):

Tabla 4. Emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia.

Banda de Operación (MHz)	Rango de frecuencias considerado (MHz)	P.I.R.E. para emisiones fuera de banda (dBm/MHz)
5150 – 5250	< 5150 > 5250	-27
5250 – 5350	< 5250 > 5350	-27
5470 – 5725	< 5470 > 5725	-27
5725 – 5850	5715 – 5725	-17
	5850 – 5860	-17
	< 5715 > 5860	-27

Fuente. Elaborado por el autor basado en ARCOTEL (2018).

De este modo se muestra la normativa vigente dentro de nuestro país sobre las bandas de frecuencia de nuestro interés. No cumplir con dicha ley y requerimientos puede repercutir de forma negativa a quienes hagan uso del espectro.

4.3. Comparativa entre Tecnologías de Enlace: Fibra Óptica vs Inalámbrico

4.3.1. Ventajas y Limitaciones entre Fibra Óptica y Tecnología Inalámbrica.

Es conocido que en la actualidad la mayor parte de las telecomunicaciones han migrado a redes de fibra óptica, el núcleo de internet está conectado mediante este tipo de enlaces que ofrecen grandes capacidades, mientras que las redes inalámbricas han ido pasando a segundo plano. “Históricamente, todos los descubrimientos entorno a la fibra óptica, se utilizaban sobre todo para trabajos de laboratorio, hasta que alrededor de los 70, se descubrió que, debido a las ventajas que tienen las comunicaciones ópticas frente a las comunicaciones eléctricas” (Boto, 2022, pág. 10).

Para delimitar correctamente las ventajas y desventajas de estos tipos de comunicaciones Boto (2022), propone 3 grandes factores: la capacidad, la infraestructura y el costo de la implementación de cada una, la **Tabla 5** muestra el contraste entre cada una:

Tabla 5. Ventajas y desventajas entre Fibra Óptica y Radioenlaces.

Características	Fibra Óptica	Radioenlaces
Capacidad	- En este aspecto, las comunicaciones ópticas	- Utilizan un medio no guiado con un espectro de frecuencias compartidos.

	<p>siempre van a ofrecer más ancho de banda.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puede llegar a ofrecer capacidades del orden de Gbps de manera segura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen el ancho de banda mucho más limitado.
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> - Hay que instalar el cable de fibra óptica. - Requiere de obra civil, de permisos y en general, da mucha más problemática que la infraestructura que se ha de proporcionar para montar un radioenlace. - Hay que tener en cuenta los lugares de difícil acceso. - Puede ocurrir directamente que no se pueda montar una conexión de fibra óptica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se tratan de comunicaciones por ondas electromagnéticas por medios no guiados. - La única infraestructura que tenemos que proporcionar son los equipos en los dos puntos.
Costo	<ul style="list-style-type: none"> - Los equipos que se encargan de generar, procesar, transmitir y recibir las señales son mucho más costosos. - Los equipos deben ser mucho más precisos y complejos. - Requiere de la instalación del cable, la seguridad que ha de llevar, los permisos que se han de solicitar, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los equipos son mucho más económicos y únicamente se han de solicitar permisos para legalizar las frecuencias a las que vas a transmitir la señal. - El coste en general es menor que en fibra óptica.

Fuente. *Elaborado por el autor basado en Boto (2022).*

El tipo de sistemas de comunicaciones va a depender en gran medida de las necesidades que se han de proporcionar.

Si se necesita una infraestructura que sea capaz de transmitir a altas velocidades, será necesario el despliegue de fibra óptica, mientras que, si necesitamos dar conectividad en lugares que sea más complicado proporcionar infraestructura y no sea necesario dar conectividades de muy altas velocidades, sin duda los radioenlaces son una de las mejores opciones (Boto, 2022, pág. 12).

4.3.2. Consideraciones en Contextos de Contingencia y Fiabilidad

La fiabilidad de un cable de fibra óptica sin duda es mayor a un enlace inalámbrico, sin embargo la fibra óptica también puede sufrir desperfectos, a continuación se realiza un contraste de estos dos modos de comunicación.

En la fibra óptica un problema común es la atenuación de la potencia de recepción, que implica algunos factores por los que llega a ocurrir, Rodríguez (2023) en su artículo, menciona que este efecto de atenuación se produce por causas como las macro y micro curvaturas del medio, “como el radio de curvatura disminuye, las pérdidas aumentan exponencialmente” (párr. 8). Adicionalmente este autor añade las pérdidas producidas en los empalmes que pueden ser mecánicos o por fusión, en el caso de los primeros puede deberse a una mala alineación de conectores o polvo dentro de los mismos; mientras que, en los empalmes por fusión puede deberse a una fusión pobre; es decir, con demasiada pérdida.

Fibremex (2021) añade que: la limpieza en las férulas de los conectores puede significar la diferencia entre una red funcional y una red con problemas de transmisión. Sin embargo, éste no es el único problema que se puede presentar. Pueden ocurrir pérdidas por fracturas o rayones en las férulas e incluso, por defectos de fabricación. Por lo anterior, siempre es recomendable, además de hacer pruebas en una red de fibra óptica, inspeccionar y limpiar los conectores antes de acoplarlos (párr. 7).

Por su parte López (2018) expone algunos problemas a los que se enfrentan las redes inalámbricas; entre los más significativos se encuentran los obstáculos, que pueden ser: árboles, paredes, montañas, etc, todo lo que impide el paso de las ondas electromagnéticas a través del aire, lo que implica una atenuación en la potencia de la señal de recepción. A esto se suma la interferencia debido a que en muchos casos se ocupan espacios de espectro compartido, lo que implica más servicios corriendo en bandas contiguas y por lo tanto se producen solapamiento de canales, esto se visualiza en menor medida en las bandas poco congestionadas en algunas localidades, como la banda de 5GHz; sin embargo, eventualmente esta banda también estará repleta de equipos transmitiendo lo que representará un serio desafío para las comunicaciones inalámbricas Punto a Punto (PTP).

Alvarez (2023) integrador de la empresa Netpoint, pone de manifiesto algunos incidentes más que pueden incomodar a un enlace inalámbrico:

- Los conectores de las antenas son puntos vulnerables por los que el agua puede entrar en el interior. Se pueden utilizar selladores especiales para sellar los conectores y evitar que el agua entre en el interior de la antena lo ideal es hacerlo desde dónde inicia el alimentador.
- Los fallos en el equipo de radiofrecuencia utilizado en el enlace, como antenas, radios y hasta el mal ponchado de los cables y POE, pueden causar interferencias y afectar a la calidad del enlace.
- El viento, la lluvia y la nieve pueden obstruir la línea de visión entre las antenas, lo que puede afectar a la calidad de la señal de radiofrecuencia.

Como se observa, en el criterio de estos autores, un enlace de fibra óptica es más fiable que un enlace inalámbrico; sin embargo, una idea general que comparten también estos autores, es la disponibilidad del servicio, este criterio implica tener un enlace de respaldo que supla las necesidades de los usuarios mientras alguno de los enlaces deje de funcionar, lo cual le da la importancia necesaria a los enlaces inalámbricos que en su mayoría se han destinado a entornos rurales.

4.4. Balanceo de Carga

4.4.1. Concepto de Balanceo de Carga

El crecimiento de la conectividad a internet es evidente desde muchos puntos de vista y análogo a esto se visualiza la creciente necesidad de la gestión de grandes cantidades de datos tanto de carga como de descarga. “La opción más razonable es, a largo plazo, configurar más servidores y repartir las peticiones de los clientes entre ellos” (Iparraguirre, 2019, pág. 44).

De forma sencilla, el balanceo de carga es la manera en que las peticiones de Internet son distribuidas sobre una fila de servidores. Existen varios métodos para realizar el balanceo de carga. Desde el simple "Round Robin" (repartiendo todas las peticiones que llegan de Internet entre el número de servidores disponibles para dicho servicio) hasta los equipos que reciben las peticiones, recogen información, en tiempo real, de la capacidad operativa de los equipos y

la utilizan para enrutar dichas peticiones individualmente al servidor que se encuentre en mejor disposición de prestar el servicio adecuado.

Los balanceadores de carga pueden ser soluciones hardware, tales como routers y switches que incluyen software de balanceo de carga preparado para ello, y soluciones software que se instalan en el backend de los servidores (Wacker, 2000).

4.4.2. *Ventajas del Balanceo de Carga*

El balanceo de carga de red permite escalar a medida que los usuarios y el tráfico aumentan, y permite equilibrar de forma fácil y automática los enormes picos de tráfico inesperados e instantáneos. Como tus aplicaciones se escalan de forma instantánea, pueden aumentar rápidamente el tráfico y reducir los costos cuando se necesitan menos recursos (GoogleCloud, 2024).

Ionos (2023) complementa con algunas de las ventajas del balanceo de carga; puntualiza las siguientes:

- Reduce los tiempos de respuesta.
- Aumenta la seguridad contra fallos y caídas.
- Facilita el mantenimiento del sistema de servidores.
- Se puede implementar como solución hardware o software.
- Las actualizaciones y configuraciones del servidor pueden tener lugar durante su funcionamiento sin que se produzca una remarcable pérdida de rendimiento.

4.4.3. *Algoritmos de Balanceo de Carga*

Mediante la aplicación de estos algoritmos se determina los servidores que reciben las solicitudes de los clientes según ingresan en el balanceador, basados en la información propuesta por AxessNetworks (2023) en la **Tabla 6** se muestran los principales tipos de algoritmos de balanceo de carga.

Tabla 6. *Tipos de algoritmos de balanceo de carga.*

Tipo	Algoritmo	Descripción
Algoritmos de balanceo de carga estática	Hash de IP	Calcula el servidor preferido de un cliente determinado en función de las claves designadas, como los

		encabezados HTTP o la información de la dirección IP.
	Round-Robin	Pasa por todos los servidores disponibles en orden secuencial y distribuye el tráfico a una lista de servidores en rotación, utilizando el sistema de nombres de dominio (DNS). Un servidor de nombres autorizado lleva una lista de diferentes registros "A" y proporciona uno en respuesta a cada consulta de DNS. "Es ideal para entornos donde todos los servidores del clúster cuentan con los mismos recursos" (Ionos, 2023).
	Turno rotativo ponderado	Permite a los administradores asignar distintos pesos a cada servidor, de tal forma que a los servidores que pueden manejar más tráfico se les asigna más, en función de su peso. La ponderación se configura dentro de los registros DNS.
Algoritmos de balanceo de carga dinámica	Menor cantidad de conexiones	Verifica y envía tráfico a aquellos servidores que tienen la menor cantidad de conexiones abiertas. Este algoritmo asume que todas las conexiones requieren casi la misma potencia de procesamiento.
	Conexión mínima ponderada	Asume que algunos servidores pueden manejar más tráfico en comparación con otros. Por lo tanto, permite a los administradores asignar diferentes pesos a cada servidor.
	Tiempo de respuesta ponderado	Utiliza los promedios de tiempo de respuesta de cada servidor y los combina con la

	cantidad de conexiones que cada servidor tiene abiertas para encontrar el mejor destino para enviar tráfico.
Basado en recursos	Antes de la distribución del tráfico, consulta un software especializado, llamado agente, que se ejecuta en cada servidor para medir la disponibilidad de la unidad central de procesamiento y la memoria y asigna la carga según la disponibilidad de recursos de cada servidor.

Fuente. *Elaborado por el autor basado en AxxessNetworks (2023)*

4.4.4. Principales Técnicas para el Balanceo de Carga en MikroTik

En MikroTik existen algunos métodos para el balanceo de carga, basados en los tipos expuestos en la sección anterior, Quevedo (2019) expone los metodos aplicables en el sistema RouterOS, estos se describen a continuacion.

4.4.4.1. Ecmp.

- Equal Cost Multi-Path.
- Utiliza varios Gateway con el mismo costo.
- Simple de implementar.
- Balanceo persistente por conexión.
- No se puede controlar la forma de balanceo.
- No funciona con puertas de enlace iguales.
- Failover automático.
- Mismo Gateway puede estar varias veces.

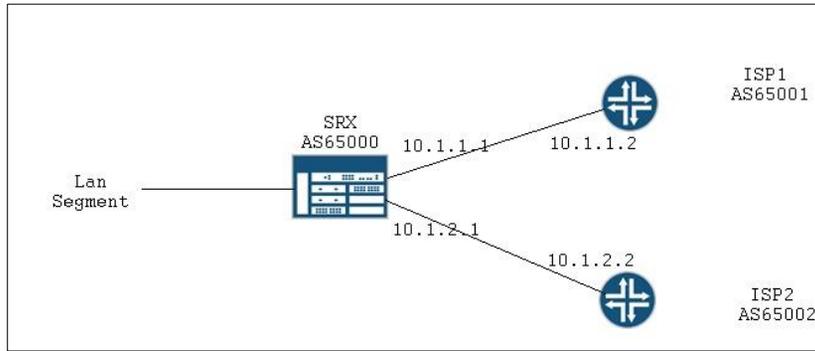


Figura 8. Balanceo de carga ECMP.

Fuente. Obtenido de JuniperNetworks (2015).

4.4.4.2. Etiquetado y políticas de enrutamiento.

- Fácil de implementar.
- Se tiene control exacto del tráfico.
- No dinámico (problemas de escalabilidad).

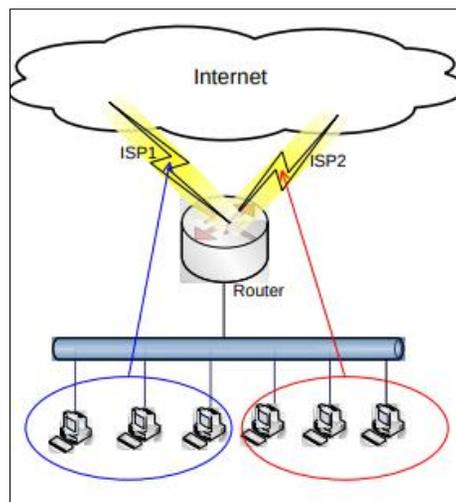


Figura 9. Balanceo de carga por etiquetado y políticas de enrutamiento.

Fuente. Obtenido de Quevedo (2019).

4.4.4.3. Bonding.

- Fácil de implementar.
- Redundancia automática con Failover.
- Es necesario controlar ambos extremos del enlace.

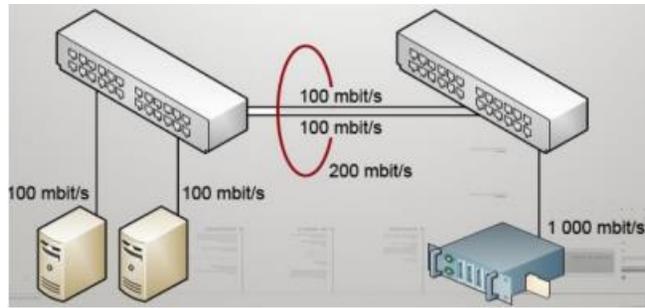


Figura 10. Balanceo de carga por Chanel Bonding.

Fuente. Obtenido de Quevedo (2019).

4.4.4.4. NTH (N-th).

- Cada regla tiene su propio contador.
- De cada M paquetes inspeccionados (every) hace match con el N-ésimo paquete.
- Permite distribuir de forma equitativa
- Cuando una regla recibe un paquete se incrementa el contador.
- Cuando el contador llega al máximo se reinicia.

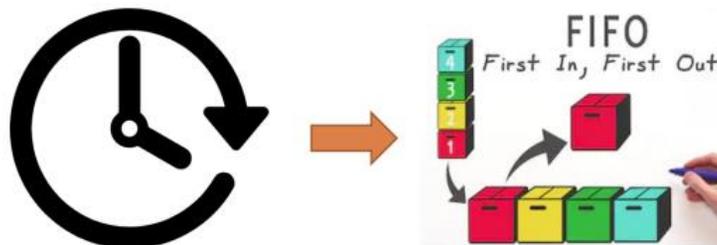


Figura 11. Balanceo de carga NTH.

Fuente. Obtenido de Quevedo (2019).

4.4.4.5. Per Connection Classifier (PCC).

- No distribuye de forma equitativa la cantidad de conexiones (aleatorio).
- PCC toma algunos campos de la cabecera IP.
- Algoritmo PCC usa división modular.
- R (valor que nos interesa) suele llamarse residuo o resto.
- Uniformidad: valores hash distribuidos con la misma probabilidad.
- Determinista: misma cadena de entrada devuelve el mismo valor hash.

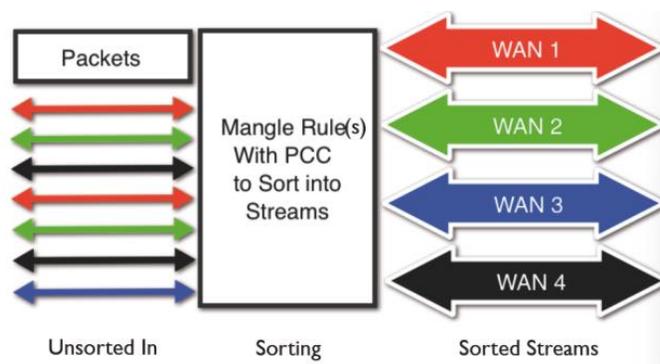


Figura 12. *Balancedo de carga PCC.*

Fuente. *Obtenido de Quevedo (2019).*

4.5. Perspectivas Futuras y Tendencias

4.5.1. *Avances Tecnológicos y Futuras Direcciones*

Con el crecimiento inminente de las redes de comunicación se ha creado la necesidad de ocupar tanto equipos como medios por los cuales gestionar grandes cantidades de tráfico de red. Existen un sinnúmero de empresas que proveen el servicio de conectividad a nivel global, estas empresas han iniciado con inversiones enfocadas al mejoramiento e innovación en cuanto a lo que a velocidad se refiere. “Se está invirtiendo en 25G-PON con una velocidad máxima de hasta 25 Gigabit por segundo, y, por otro lado, en 50G-PON con hasta 50 Gigabit por segundo” (Camara, 2023).

Cada vez más empresas están adoptando el estándar industrial 4.0 y apostando por una producción inteligente. Esto significa que el análisis de Big Data juega un papel cada vez más importante. Esto implica altas demandas en cuanto a la velocidad de datos. Las imágenes, videos o dibujos de construcción deben poder subirse a la nube en tiempo real y descargarse desde allí de nuevo.

Además, el continuo despliegue de 5G requiere una conexión rápida y confiable con la red troncal, que podría hacerse a través de 25 o 50G-PON.

Se debe mencionar el desarrollo de WLAN 7 para el área de acceso. Con WLAN 7, se pueden alcanzar velocidades de datos de más de 40 Gigabit por segundo. Aquí también, las conexiones más rápidas ofrecen una solución para que la transición de la intranet a internet no se convierta en un cuello de botella (Camara, 2023).

Por su parte Novelec (2024) proporciona su punto de vista desde el que se enfoca en las comunicaciones móviles argumentando que “el imparable avance tecnológico en el que estamos inmersos es tal que el futuro de las telecomunicaciones ya tiene la vista puesta en la versión que sucederá al 5G, el 6G” (párr. 18).

“6G superará claramente al 5G en velocidad de transmisión de datos, que podrá alcanzar 1 Tbit/s de media. La latencia también será menor y se reforzará considerablemente la fiabilidad” (Novelec, 2024).

Otro tipo de comunicaciones que pretende tener auge en el futuro y que actualmente se encuentra en desarrollo es la Comunicación Óptica de Espacio Libre (FSO), Majumdar (2019) la describe como “una de las tecnologías clave para realizar comunicaciones aeroespaciales de gran capacidad multi-Gb/s de muy alta velocidad” (párr. 6).

FSO ofrece ventajas sustanciales sobre la tecnología de comunicaciones inalámbricas de radiofrecuencia (RF) convencional, como un ancho de banda mucho mayor (velocidades de datos), baja probabilidad de interceptación para mayor seguridad, bajos requisitos de energía, etc., y envases mucho más pequeños para hacerlos portátiles (Majumdar, 2019).

“El futuro de las telecomunicaciones persigue un doble objetivo: profundizar en la transformación digital y buscar sistemas de aprovechamiento energético más limpios y respetuosos con el ecosistema” (Novelec, 2024).

5. Metodología

5.1. Fase 1: Revisión Bibliográfica y Legalidad

Esta sección del desarrollo del presente proyecto se basa en una metodología de investigación mixta en la que convergen varios enfoques. El proceso de revisión bibliográfica y estado del arte se ha enmarcado en la investigación sistemática de características cualitativas de temas de interés como: los fundamentos de las comunicaciones inalámbricas, los conceptos que se aplican en los sistemas radiantes tanto en el lado de transmisión como en recepción, y en base a estos, realizar una selección de la tecnología que mejor se ha desarrollado en el mercado actual. De esta manera se definió a 802.11ac como el estándar sobre el que se escogerá los equipos para el desarrollo del proyecto. La elección del mismo radica en la necesidad de poder gestionar todo el tráfico generado por los clientes en caso de que el enlace principal

llegase a fallar, si bien se podría realizar con un estándar más antiguo, este se estaría quedando corto en horas pico, mientras que gracias a las bondades que introdujo 802.11ac usando MIMO y anchos de canal más amplios, se puede aprovechar de mejor manera las bondades de las antenas y lograr anchos de banda mucho mayores.

Una vez delimitado el estándar también se buscó presentar las bondades de usar esta tecnología a nuestro favor en contraste con la comunicación que se da a través de medios guiados, en este caso la fibra óptica que es con la que se está trabajando a la par. Sin embargo el proceso de investigación realizado cedió una vez más, frente a las ventajas que presenta la fibra óptica sobre las comunicaciones inalámbricas, gracias a sus ventajas con mayor peso y debido a que en la actualidad el equipamiento de fibra óptica se encuentra más accesible económicamente en el mercado.

Aun así, ha sido necesario brindar evidencia empírica de la factibilidad del proyecto en cuestión, partiendo de la escasa información documentada de enlaces inalámbricos implementados en nuestra localidad, se realizó la búsqueda en sitios de contenido multimedia, puntualizando la plataforma YouTube en la que empresas como Netpoint, ALGcom y Mimosa han expuesto sus principales casos de éxito, en los que realizan enlaces de decenas de kilómetros y logran alcanzar anchos de banda impensables frente a las condiciones de espectro en las que se realizaron, por lo cual se ha evidenciado, que el uso de los equipos que se presentan en la siguiente sección no solo cumplen con las expectativas de los operadores sino que las rebasan y brindan un desempeño más que favorable. Determinando así, que la necesidad requerida en la problemática del proyecto se puede solventar mediante la implementación del mismo.

A nivel mundial nos encontramos con regulaciones propuestas por la ITU según el estándar sobre el que estamos trabajando, de modo que en cada país se busca emular esta normativa de acuerdo a las leyes locales. En la búsqueda de este tipo de normativas se encontró primeramente nuestra Constitución de la República, seguida de forma jerárquica por la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, así mismo su reglamento, las normas técnicas propuestas por la ARCOTEL y al final, las ordenanzas expedidas por los gobiernos autónomos descentralizados. Cada uno de estos elementos legales constituyen una serie de normas que regulan, controlan y gestionan las telecomunicaciones en el Ecuador. Después del análisis de estas normativas se buscó plasmar los artículos más importantes y referentes al presente

proyecto dentro de este documento para conocimiento general, delimitando el espacio legal sobre el cual se trabajó.

Una vez analizada la normativa legal, se procedió con el análisis teórico del balanceo de carga, para el que se analizó sus ventajas y desventajas así como cada uno de los tipos aplicables dentro de las redes de comunicación y finalmente se presentó de manera puntual los métodos aplicables en la plataforma de MikroTik usada en la parte de administración de la red en este proyecto.

Así, se establecieron las fundamentaciones teóricas y jurídicas que respaldan la ejecución del proyecto, contemplando diversas restricciones, beneficios e inconvenientes, así como métodos apropiados para su implementación adecuada, sin contravenir las disposiciones normativas nacionales, y con la certeza de la viabilidad del proyecto. En la siguiente sección, nos adentraremos en la fase de implementación, donde se presentan las acciones concretas desarrolladas en la implementación. Se detallarán los procedimientos, los desafíos encontrados y las soluciones propuestas, consolidando la visión conceptual en una realidad operativa.

5.2. Fase 2: Implementación

5.2.1. Estudio de Frecuencias

El presente proyecto parte con uno de sus objetivos que se basa en un estudio de frecuencias en el cerro Chivato perteneciente al cantón Yacuambi, este estudio se desarrolló desde varias aristas, primeramente, basándonos en la fundamentación teórica que se puede encontrar referente a las bandas de frecuencias concesionadas para cada uno de los servicios de telecomunicaciones que se dispone en el cantón que son:

- Telefonía Móvil
- Internet inalámbrico
- Radiodifusión
- Televisión satelital

Para el caso de la telefonía móvil se realizó una búsqueda en internet para verificar las concesiones de bandas de frecuencias con las que cuentan las empresas Conecel (Claro) y la CNT presentes en el cantón Yacuambi.

En el caso del internet mediante enlaces inalámbricos presentes en el cerro Chivato, basados en los barridos de espectro de los equipos ocupados en la implementación del proyecto, se evidencia la presencia de enlaces en las bandas libres; sin embargo, al ser pocos los equipos que transmiten en el espectro de 5GHz los niveles de señal no son representativos y no representan un desafío para la implementación del proyecto.

En el caso de la radiodifusión, se pudo evidenciar la presencia de algunas estaciones radiales según los títulos habilitantes expuestos en la base de datos pública de la ARCOTEL que al estar en el rango de frecuencias VHF no representan mayor problema en la transmisión de datos para las bandas de 5GHz.

En relación a la televisión satelital, se llevó a cabo una investigación exhaustiva a través de la observación y la búsqueda en internet. Durante este análisis, se examinaron las frecuencias asignadas a las empresas que ofrecen televisión satelital por suscripción. Se determinó que estas empresas utilizan un rango de frecuencias considerablemente más amplio, lo que excluye las bandas en 5GHz. Esta situación no ha planteado ningún problema significativo para la viabilidad del proyecto.

Las herramientas ocupadas para este análisis han sido:

- Concesiones de frecuencias expedidas por la ARCOTEL.
- Información de Internet.
- Observación.
- Analizador de espectro Mimosa Networks.

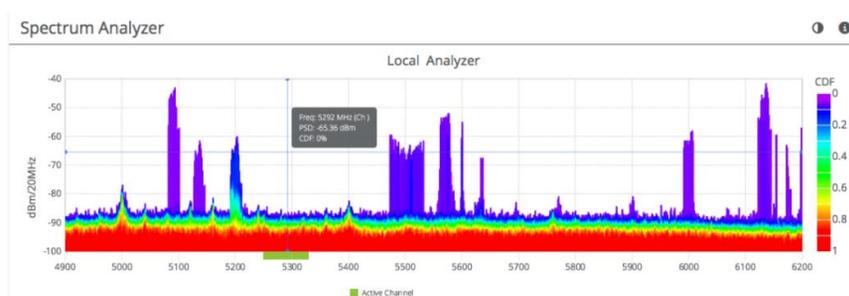


Figura 13. Analizador de espectro Mimosa Networks.

Fuente. Obtenido de Cordero (2024).

5.2.2. Delimitación de Coordenadas

Para iniciar con el diseño de la red se dispuso verificar los puntos en los que se encontrará funcionando cada estación; a continuación, se presentan las coordenadas determinadas para el punto de red que estará ubicado en la parroquia Guadalupe, el punto del cerro Chivato del cantón Yacuambi en el que se realizara el salto para llegar hacia la parroquia 28 de Mayo, así mismo en esta última, el punto está determinado por la ubicación del cuarto de telecomunicaciones de la empresa NODO CÍA., en la cabecera cantonal.

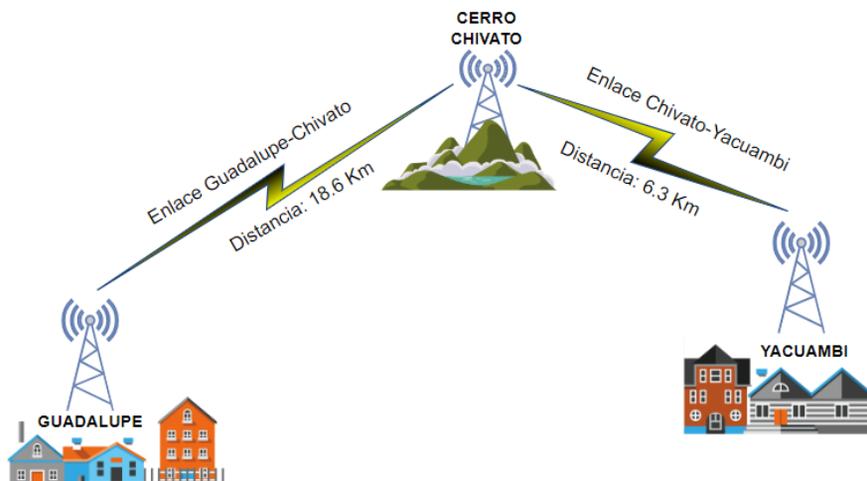


Figura 14. Esquema de conexiones inalámbricas y distancia entre enlaces.

Fuente. Elaborado por el autor basado en AppDiagrams.

5.2.2.1. Coordenadas del Punto en Guadalupe.

Tabla 7. Coordenadas del punto de red en Guadalupe.

Latitud	3°50'29.5" S
Longitud	78°53'25.9" O

Fuente. Elaborado por el autor.



Figura 15. *Punto de conexión en Guadalupe.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

5.2.2.2. Coordenadas del Cerro Chivato.

Tabla 8. *Coordenadas del punto de red en el Cerro Chivato.*

Latitud	3°41'13.8" S
Longitud	78°56'47.4" O

Fuente. *Elaborado por el autor.*



Figura 16. *Punto de conexión en el cerro Chivato.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

5.2.2.3. Coordenadas del Punto en 28 de Mayo.

Tabla 9. *Coordenadas del punto de red en Yacuambi.*

Latitud	3°38'5.8" S
Longitud	78°55'33" O

Fuente 1. *Elaborado por el autor.*



Figura 17. *Punto de conexión en el centro 28 de Mayo.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

5.2.3. Selección de Equipos

Para la selección de equipos se realizó una indagación previa acerca de las marcas más competitivas que están en el mercado de las comunicaciones inalámbricas, tales como Ubiquiti, Mimosa, Cambium, en el caso de radios transmisores; para el caso de las antenas que se usaron en el proyecto, de igual forma se analizó y se seleccionó en base a la compatibilidad con los radios elegidos. Después de contrastar cada una de las marcas, las ventajas y desventajas, fue la marca Mimosa la que presentó mayor relación costo/beneficio, en cuanto a los transmisores; de la misma manera, las marcas con mayor compatibilidad en antenas fueron Netpoint y AlgCom, teniendo muchos casos de éxito en países latinoamericanos.

De este modo la lista de equipos se conformó de la siguiente manera.

Tabla 10. Equipos para la implementación del proyecto.

Equipo	Descripción	Cantidad
Radios C5x	4.9-6.4 GHz / 27dBm / 8 dBi / Radio modular / PTP y PTMP / No incluye PoE (Ver Error! Reference source not found.)	2
Radios C5c	4.9-6.4 GHz / 27 dBm / 802.11Ac / PTP y PTMP / No incluye PoE (Ver Error! Reference source not found.)	2
Antenas Netpoint	Antena Direccional P2P 23.6 Pulgadas Diámetro 4.9 A 6.4 GHz 30 dBi (Ver Error! Reference source not found.)	2
Antenas AlgCom	Antena AlgCom full band cerrada uhp-5800-30-06-dp 4.9-6425ghz 30 dBi 0.6m para mimosa c5x / b5x (Ver Error! Reference source not found.)	2
NID Mimosa	Protección para rayos-relámpagos, descargas eléctricas	4
POE Mimosa	Gigabit PoE Inyector 24V, 0.5A, 12W Para Serie C5 Y A5X.	4
Switch	Switch MikroTik 5 puertos Gb (Ver Error! Reference source not found.)	2
Regulador de Voltaje	Regulador de voltaje Forza 5 tomas 1000va/500w	2

Fuente. Elaborado por el autor.

5.2.4. Presupuesto del Proyecto

El presupuesto destinado para la implementación de este proyecto comprende el rubro que representó la compra de equipos y materiales incluido el IVA, además del rubro destinado para la gestión de logística.

Tabla 11. Presupuesto de equipos y materiales.

PRESUPUESTO DE MATERIALES Y EQUIPOS

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	C5x 27dBm / 8 dBi / Radio modular	2	\$ 129.55	\$ 274.65
2	C5c 4.9-6.4 GHz / 27 dBm	2	\$ 181.72	\$ 385.25
3	PoE Injector 24V	4	\$ 16.46	\$ 67.82
4	Power CordC53pin-US	4	\$ 2.69	\$ 11.08
5	Antena NP1GEN2-NETPOINT 30dBi	2	\$ 308.00	\$ 652.96
6	Antena ALGcom UHP-5800-30-06-DP 30dBi	2	\$ 435.00	\$ 922.20
7	NID, Protección para descargas eléctricas	4	\$ 24.04	\$ 99.04
8	RB260GS Switch administrable 5X GB 1X SFP	2	\$ 56.94	\$ 120.71
9	Router MIKROTIK-RB4011UIAS-RM	1	\$ 219.95	\$ 246.34
10	Regulador de voltaje FORZA FZ-FVR-1011	2	\$ 11.49	\$ 24.36
11	Cinta doble faz	1	\$ 2.28	\$ 2.55
12	Cinta aislante	3	\$ 1.00	\$ 3.12
13	Tomacorriente sobrepuesto	2	\$ 1.78	\$ 3.77
14	Cable concéntrico 3 hilos multipar	70m	\$ 1.83	\$ 128.32
15	Breaker 1x16 para riel DIN	2	\$ 3.52	\$ 7.46
16	Tablero liviano 40X40X20	1	\$ 42.81	\$ 47.95
17	Tablero liviano 30X30X20	1	\$ 33.88	\$ 37.95
18	Manguera anillada 1/2	40m	\$ 0.22	\$ 8.83
19	Canaleta ranurada 60x40	1	\$ 7.09	\$ 7.94
20	Estructura mástil 3m	1	\$ 120.00	\$ 134.40
21	Funda de amarras de 30cm	4	\$ 1.50	\$ 6.18
22	Instalación Carrier y acometida de fibra	1	\$ 50.00	\$ 56.00
23	Puesta en marcha y funcionamiento de la red	1	\$ 500.00	\$ 500.00
SUBTOTAL				\$ 3.748.88

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Tabla 12. *Presupuesto de logística.*

PRESUPUESTO DE LOGISTICA				
N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Transporte	1	\$ 100.00	\$ 100.00
2	Alquiler de acémilas	2	\$ 30.00	\$ 60.00
3	Gestión de envíos	1	\$ 88.14	\$ 88.14
SUBTOTAL				\$ 248.14

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Tabla 13. *Presupuesto total.*

PRESUPUESTO TOTAL		
N°	Descripción	Valor Total

1	Subtotal de materiales y equipos	\$	3.748.88
2	Subtotal de logística	\$	248.14
TOTAL		\$	3.997.02

Fuente. Elaborado por el autor.

5.2.5. Diseño y Estructuración de la Red Lógica

En esta etapa del proyecto se planteó el bosquejo de la red, los equipos que se tendrán en cada uno de los puntos determinados y el direccionamiento IP de cada equipo, para llevar a cabo el proyecto, en este caso con los puntos en Guadalupe, el cerro Chivato y la cabecera cantonal 28 de Mayo.

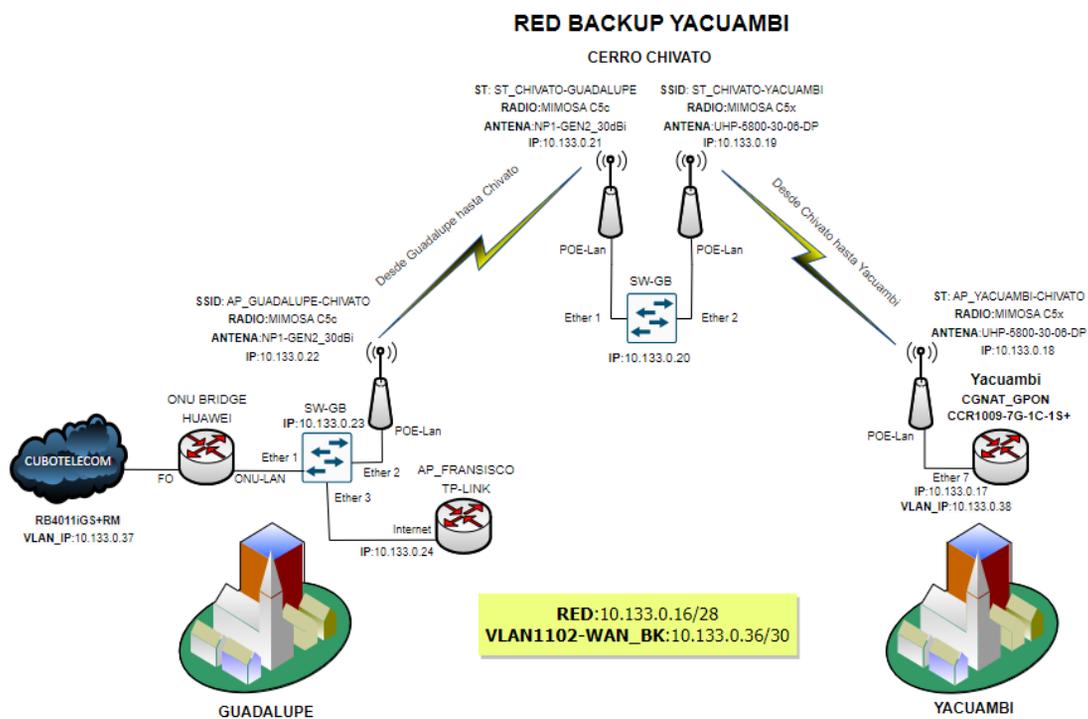


Figura 18. Esquema de la red y direccionamiento IP.

Fuente. Elaborado por el autor basado en AppDiagrams.

La tabla de direccionamiento IP de la red inalámbrica consta de los siguientes elementos:

Tabla 14. Tabla de direccionamiento de la red inalámbrica.

RED INALÁMBRICA		
Dirección de red	10.133.0.16/28	10.133.0.16

Gateway	CGNAT GPON Eth7	10.133.0.17
Enlace PTP	AP YACUAMBI-CHIVATO	10.133.0.18
	ST CHIVATO-YACUAMBI	10.133.0.19
Switch	SW CHIVATO	10.133.0.20
Enlace PTP	ST CHIVATO-GUADALUPE	10.133.0.21
	AP GUADALUPE-CHIVATO	10.133.0.22
Switch	SW GUADALUPE	10.133.0.23
AP	TP-Link Francisco	10.133.0.24

Fuente. *Elaborado por el autor.*

La tabla de direccionamiento que comprende la VLAN de transporte implementada dentro de la red inalámbrica está definida como:

Tabla 15. *Direccionamiento IP VLAN1102-WAN_BK.*

VLAN1102-WAN_BK		
Dirección de red	10.133.0.36/30	10.133.0.36
Router de balanceo	RB4011 VLAN1102-WAN_BK	10.133.0.37
Gateway	CGNAT GPON VLAN102-WAN_BK	10.133.0.38

Fuente. *Elaborado por el autor.*

5.2.6. Cálculos de Pérdidas en el Espacio Libre (L_{fs}) y Presupuesto de Enlace

5.2.6.1. Enlace Guadalupe-Chivato.

$$L_{fs} = 34.44 + 20 \log(d) \text{ Km} + 20 \log(f) \text{ MHz}$$

$$L_{fs} = 34.44 + 20 \log(18.24) \text{ Km} + 20 \log(5770) \text{ MHz}$$

$$L_{fs} = \mathbf{134.88 \text{ dB}}$$

Tabla 16. *Presupuesto de enlace para Guadalupe-Chivato.*

Elementos	Valor
+ Potencia del Transmisor [dBm]	+27dBm
- Pérdidas en el Cable TX [dB]	-2dB
+ Ganancia de Antena TX [dBi]	+30dBi
- Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre [dB]	-134.88 dB
+ Ganancia de Antena RX [dBi]	+30dBi
- Pérdidas en el Cable RX [dB]	-2dB

+ Sensibilidad del receptor [dBm]	+93dBm
TOTAL (Margen):	41.12dB

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Para el caso del enlace Guadalupe-Chivato, el presupuesto de enlace nos arroja un margen de **41.12dB** que representa la diferencia entre la potencia tentativa que estaría recibiendo la antena receptora y el umbral de recepción de la misma. Si restamos la sensibilidad, al margen, podremos determinar la potencia de manera analítica que tendría que recibir la antena en recepción; en este caso, **-51.88dBm** en el mejor de los casos y sin presencia de obstáculos.

5.2.6.2. Enlace Yacuambi-Chivato.

$$L_{fs} = 34.44 + 20 \log(d) \text{ Km} + 20 \log(f) \text{ MHz}$$

$$L_{fs} = 34.44 + 20 \log(6.24) \text{ Km} + 20 \log(5770) \text{ MHz}$$

$$L_{fs} = \mathbf{125.56 \text{ dB}}$$

Tabla 17. *Presupuesto de enlace para Yacuambi-Chivato.*

Elementos	Valor
+ Potencia del Transmisor [dBm]	+27dBm
- Pérdidas en el Cable TX [dB]	-0.5dB
+ Ganancia de Antena TX [dBi]	+30dBi
- Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre [dB]	-125.56 dB
+ Ganancia de Antena RX [dBi]	+30dBi
- Pérdidas en el Cable RX [dB]	-0.5dB
+ Sensibilidad del receptor [dBm]	+93dBm
TOTAL (Margen):	53.44dB

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Para el caso del enlace Yacuambi-Chivato, el presupuesto de enlace nos arroja un margen de **53.44dB** que al igual que en el caso anterior representa la diferencia entre la potencia tentativa que estaría recibiendo la antena receptora y el umbral de recepción de la misma. De la misma forma, si restamos la sensibilidad al margen, podremos determinar la potencia de manera

analítica que tendría que recibir la antena en recepción; en este caso, **-39.56dBm** en el mejor de los casos, y sin presencia de obstáculos.

5.2.7. Simulación en Radio Mobile y Mimoso Design Tool

5.2.7.1. Enlace Guadalupe-Chivato en Radio Mobile.

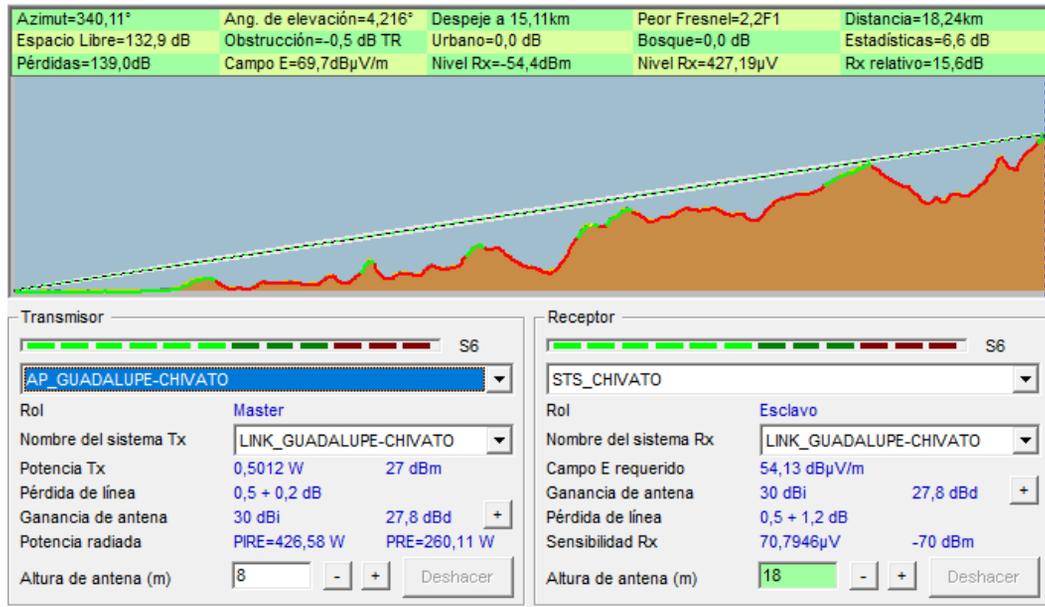


Figura 19. Enlace Guadalupe-Chivato en Radio Mobile.

Fuente. Elaborado por el autor.

5.2.7.2. Enlace Yacuambi-Chivato en Radio Mobile.

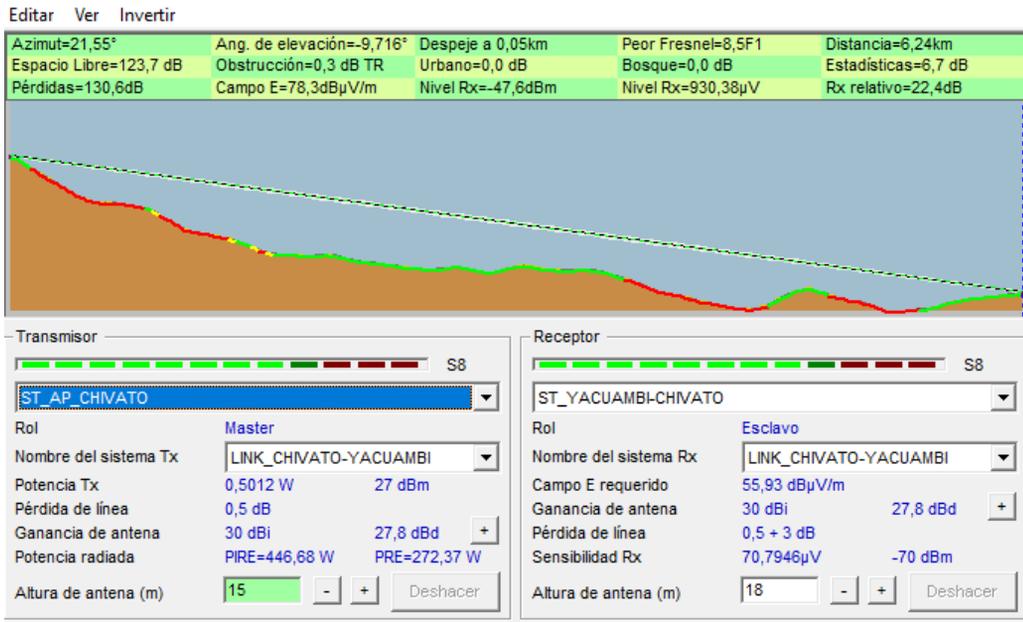


Figura 20. Enlace Yacuambi-Chivato en Radio Mobile.

Fuente. Elaborado por el autor.

5.2.7.3. Enlace Guadalupe-Chivato en Mimos Design Tool.



Figura 21. Enlace Guadalupe-Chivato en Mimos Design Tool.

Fuente. Elaborado por el autor.

5.2.7.4. Enlace Yacuambi-Chivato en Mimosa Design Tool.

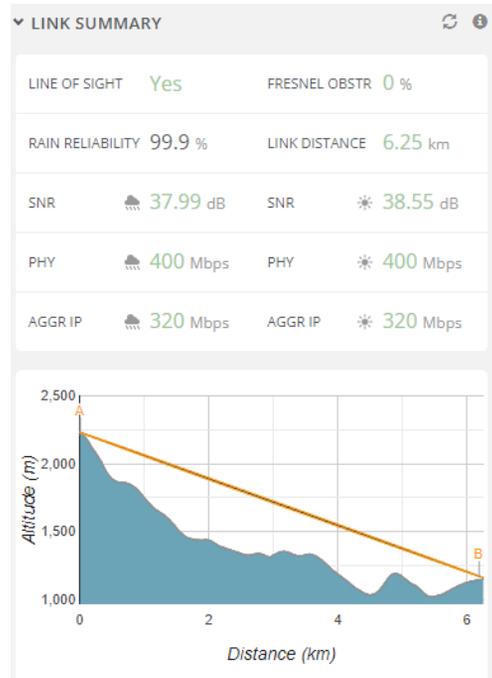


Figura 22. Enlace Yacuambi-Chivato en Mimosa Design Tool.

Fuente. Elaborado por el autor.

La simulación realizada en la plataforma de diseño de mimosa genera un resumen más completo, mismo que se presenta en la sección de Anexos (Ver Error! Reference source not found. y

), de ambos enlaces.

5.2.8. Implementación Física de la Red

5.2.8.1. Red en Laboratorio.

Para el proceso de implementación física que procedió inicialmente con una prueba en laboratorio conectando todos los radios y validando conectividad entre cada uno con la configuración establecida de la siguiente manera.

LINK_CHIVATO-YACUAMBI:

- SSID: AP_CHIVATO-YACUAMBI
- IP_AP: 10.133.0.18

- IP_ST: 10.133.0.19
- GW: 10.133.0.17
- Mascara: 255.255.255.240
- DNS: 8.8.8.8; 8.8.4.4
- Frecuencia: 5650 MHz
- Ancho de canal: 80 MHz

LINK_GUADALUPE-CHIVATO:

- SSID: AP_CHIVATO-YACUAMBI
- IP_AP: 10.133.0.21
- IP_ST: 10.133.0.22
- GW: 10.133.0.17
- Mascara: 255.255.255.240
- DNS: 8.8.8.8; 8.8.4.4
- Frecuencia: 5870 MHz
- Ancho de canal: 80 MHz

Una vez que se verificó el funcionamiento correcto de cada uno de los enlaces se procedió con las pruebas de comunicación mediante el envío y recepción de paquetes ICMP para validar la comunicación en cada extremo de la red.

```
C:\Users\edi_1>ping 10.133.0.18

Haciendo ping a 10.133.0.18 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 10.133.0.18: bytes=32 tiempo=29ms TTL=63
Respuesta desde 10.133.0.18: bytes=32 tiempo=32ms TTL=63
Respuesta desde 10.133.0.18: bytes=32 tiempo=32ms TTL=63
Respuesta desde 10.133.0.18: bytes=32 tiempo=30ms TTL=63

C:\Users\edi_1>ping 10.133.0.22

Haciendo ping a 10.133.0.22 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 10.133.0.22: bytes=32 tiempo=30ms TTL=63
Respuesta desde 10.133.0.22: bytes=32 tiempo=34ms TTL=63
Respuesta desde 10.133.0.22: bytes=32 tiempo=35ms TTL=63
Respuesta desde 10.133.0.22: bytes=32 tiempo=31ms TTL=63
```

Figura 23. Prueba ICMP en los extremos de la red.

Fuente. Elaborado por el autor.

Con esta prueba se validó que los enlaces recuperen la conexión después de un apagón repentino o cualquier contingencia que pudiese afectar a la alimentación de cada uno de los equipos, obteniendo una respuesta favorable y validando la operación de los mismos una vez pasado el tiempo prudencial para que estos se vuelvan a enlazar.

5.2.8.2. Posicionamiento de Equipos en las Coordenadas Determinadas.

Una vez realizada la prueba en laboratorio, se procedió con el posicionamiento de los equipos en las coordenadas determinadas anteriormente. Para llevar a cabo este paso, se hizo una distribución estratégica de las actividades; se inició en la parroquia Guadalupe, para luego proceder en la cabecera cantonal 28 de Mayo y al final llegar a realizar las actividades necesarias en el cerro Chivato, esto debido al acceso que implica un sendero de herradura y tres horas de camino hasta coronarlo. En la parroquia Guadalupe primeramente se tuvo que instalar una caja que contenga los equipos y habilitar un punto eléctrico desde el cual se tomará la alimentación para los mismos. La **Figura 24** muestra la disposición de la caja y dentro de la misma se encuentra el punto eléctrico desde el que se alimentará un regulador y este a su vez alimentará a los equipos electrónicos y de radio.



Figura 24. Caja de equipos y punto eléctrico sector Guadalupe.

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Una vez habilitada la caja y el punto eléctrico se procedió con la instalación de fibra óptica del Carrier (ver **Figura 25**), en este caso la empresa NODO.CIA cuenta con fibra troncal en esta parroquia y la empresa FORED se encarga de la distribución.



Figura 25. *Instalación de la acometida de fibra óptica.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Con las actividades de posicionamiento de la caja de equipos y la acometida de fibra completadas, se procedió con la instalación del primer punto inalámbrico correspondiente al AP_GUADALUPE-CHIVATO, para el efecto se ocupó el radio Mimosa con acople conectorizado C5c y la antena Netpoint NP1GEN2 de 30 dBi con el mismo acople en el alimentador. La **Figura 26** muestra la disposición del radio y de la antena apuntando en dirección al cerro Chivato.



Figura 26. *AP_GUADALUPE-CHIVATO.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Tras la instalación del radio y la antena correspondiente, se completó la gestión de cables en la caja de equipos y se llevó a cabo la instalación del Punto de Acceso (AP) en la residencia del arrendatario, parte del acuerdo negociado con el propietario de la vivienda. Este acuerdo incluye la provisión gratuita del servicio de internet a cambio del uso del espacio.

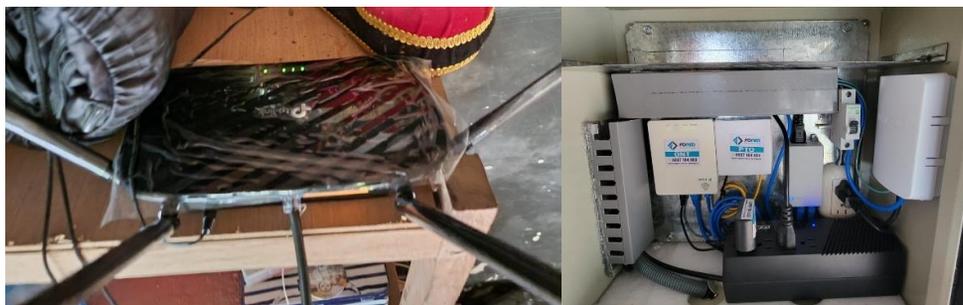


Figura 27. AP local y disposición final de la caja de equipos.

Fuente. Elaborado por el autor.

Con la finalización de las actividades en la parroquia Guadalupe se procedió a realizar la ubicación de los equipos en el cuarto de telecomunicaciones de NODO.CIA en la cabecera cantonal 28 de Mayo; en este caso, se tuvo a disposición del proyecto la alimentación del rack y la torre de telecomunicaciones de la que NODO.CIA es propietario, por lo cual se procedió de manera expedita con la colocación del radio y la antena correspondiente al AP_CHIVATO-YACUAMBI, para el efecto se ocupó el radio Mimosa con acople roscado C5x y la antena ALGcom de la serie UPH de 30dBi con el mismo acople en el alimentador. Adicionalmente en la torre se tuvo que colocar un mástil tipo C para un mejor manejo de la antena.



Figura 28. AP_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Elaborado por el autor.

El paso siguiente consistió en la colocación de la caja de equipos y los equipos propiamente en la torre en el cerro Chivato, para ello previamente se llegó a una negociación con el propietario de la torre para obtener el permiso de uso del espacio frente a la obtención de una línea de servicio internet de forma gratuita en el centro de la ciudad 28 de Mayo para su vivienda.

De esta manera se llevó a cabo el proceso de disposición de los equipos correspondientes a la estación ST_CHIVATO-YACUAMBI y la estación ST_CHIVATO-GUADALUPE con el radio Mimosa con acople roscado C5x y la antena ALGcom de la serie UPH de 30dBi con el mismo acople en el alimentador y el radio Mimosa con acople conectorizado C5c y la antena Netpoint NP1GEN2 de 30 dBi con el mismo acople en el alimentador, respectivamente. Así mismo se realizó la disposición de la caja de equipos y se habilitó el punto eléctrico mediante el que se alimentará a los equipos a través de un regulador de voltaje.



Figura 29. *ST_CHIVATO-YACUAMBI y ST_CHIVATO-GUADALUPE.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*



Figura 30. *Caja de equipos y punto eléctrico en el cerro Chivato.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*



Figura 31. *Puesta a tierra en el cerro Chivato.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

Para el sistema de puesta a tierra que muestra la **Figura 31**, basados en la investigación realizada por Paccha y Ramón (2009) en el que determinan mediante un análisis de laboratorio que el tipo de suelo presente en el canton Yacuambi es del tipo arcilloso con plasticidad media y tendencia arenosa, se ha optado por ocupar una varilla de cobre de 1.5m de largo con el fin de proteger a los equipos de posibles descargas tanto del propio sistema eléctrico como de las tormentas eléctricas recurrentes en la zona. Según Duche y Miñán (2013) basados en MARTINEZ R. Juan, la resistividad de este tipo de suelo es mínima; 50 Ohms/m, por lo que no se requiere una mezcla de compuestos especial para una puesta a Tierra, es suficiente con que la varilla de cobre esté en un rango longitudinal de entre 1.5 a 1.8 metros.

Adicionalmente tanto en la caja de equipos de Guadalupe como en la del cerro Chivato se ha optado por ocupar un Switch como puente entre los radios, en el caso del punto en Guadalupe la necesidad de tener puertos disponibles para la conexión del AP del arrendatario era evidente y en el caso del punto en el cerro Chivato para posibles ampliaciones de la red a futuro, además cabe recalcar que estos equipos son completamente administrables; por lo cual, se puede trabajar mediante VLANs y ofrecer muchas opciones de red, el mismo proyecto está funcionando mediante VLANs por lo cual este tipo de equipos nos abre un abanico de posibilidades.

5.3. Fase 3: Evaluación

El desarrollo de esta fase comprende la evaluación de la estabilidad del enlace y su correcto funcionamiento, además de sumarle carga continua como un enlace balanceador del tráfico generado por los usuarios del servicio de REDY en el cantón Yacuambi.

Para llevar a cabo este acometido se planteó el uso del método de balanceo de carga PCC que se ha mencionado en la sección anterior, que es compatible y se encuentra disponible en la plataforma de MikroTik. Este método de balanceo de carga consta de algunos pasos a seguir para su correcto funcionamiento.

1. Definición de las interfaces de salida a internet y las interfaces dedicadas a la red LAN o la red que genera el consumo de tráfico. Para nuestro caso se trabajó mediante VLANs para la segmentación de las dos salidas a internet y mediante una lista de interfaces que son las que generan el tráfico de red.

List	Interface
LAN	ether1-Hacia RB3011
LAN	ether3-OLT
LAN	bridgeCUBO
WAN1_PR	vlan102-WAN_PR
WAN2_BK	vlan1102-WAN_BK

Figura 32. Interfaces LAN, WAN1 Y WAN2, para balanceo de carga.

Fuente. Obtenido de RouterOS Firmware.

- Una vez definidas las interfaces se procedió con la configuración del balanceo en la pestaña “Mangle” del firewall de RouterOS. En un principio se debe declarar las redes locales, para evitar que el tráfico interno en estas redes se balancee.

NO BALANCEAR CONEXIONES INTERNAS										
✓ acc...	prerouting							LAN	0 B	0 10.133.0.32/30
✓ acc...	prerouting							LAN	10.1 KiB	171 10.133.0.36/30

Figura 33. Reglas iniciales del balanceo PCC.

Fuente. Obtenido de RouterOS Firmware.

- Con las conexiones internas protegidas del balanceo, se procedió a marcar tanto las conexiones de entrada como las de salida, esto con el fin de que las conexiones producidas en cada uno de los proveedores se regresen por el mismo camino y así evitar pérdidas de paquetes por errores en las cabeceras de los paquetes IP.

MARCADO DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA										
mar...	input							vlan102-WAN_PR	1682.5 MiB	12 091 531
mar...	input							vlan1102-WAN_BK	9.5 GiB	18 160 439
mar...	output								16.2 GiB	18 301 358
mar...	output								16.2 GiB	17 950 796

Figura 34. Marcado de conexiones de entrada y salida.

Fuente. Obtenido de RouterOS Firmware.

- Realizado el paso anterior se procedió con la configuración principal que comprende el balanceo PCC que consiste en dividir las conexiones entre las distintas líneas de acceso a internet en base al resto de una división entre un hash y un dividendo determinado por el administrador, este dividendo dependerá de si las líneas son simétricas o no. En nuestro caso son simétricas por lo que se dividió en 4 el tráfico generado en la red LAN de modo que la mitad del tráfico generado se enrute por el enlace que se implementó en el presente proyecto y la otra mitad se enrute por el enlace principal de fibra óptica.

... PCC BALANCEO DE CARGA									
29	mar...	prerouting	LAN		both addresses:4/0	WAN2_conn		2019.8 MiB	7 763 763
30	mar...	prerouting	LAN		both addresses:4/1	WAN1_conn		1941.4 MiB	11 635 884
31	mar...	prerouting	LAN		both addresses:4/2	WAN1_conn		1863.7 MiB	13 943 544
32	mar...	prerouting	LAN		both addresses:4/3	WAN2_conn		2616.8 MiB	17 249 425
33	mar...	prerouting	LAN				to_WAN1	688.8 GiB	2199 802 665
34	mar...	prerouting	LAN				to_WAN2	273.8 GiB	1444 752 596
35	mar...	output					to_WAN1	17.2 GiB	20 952 128
36	mar...	output					to_WAN2	22.6 GiB	25 792 113

Figura 35. Balanceo PCC.

Fuente. Obtenido de RouterOS Firmware.

- Una vez generadas las reglas del paso anterior, se generan unas nuevas reglas para determinar que los paquetes que se hayan balanceado tengan definida la ruta de salida hacia internet, estas reglas son las dos últimas que se muestran en la **Figura 35**.
- Para finalizar con el balanceo únicamente resta crear las rutas predeterminadas para el acceso a internet, tanto para las conexiones marcadas para la salida 1 como para las marcadas con salida 2. Esto se realiza en la ventana de “IP Routes” de RouterOS. Adicional al balanceo de carga está configurado un failover de modo que cuando deje de funcionar la interfaz principal automáticamente entrará en operación la interfaz de respaldo; en este caso, el enlace implementado para el efecto del presente proyecto.

Route List				
Routes				
	Dist. Address	Gateway	Distance	Routing Mark
... PRINCIPALES Y FAILOVER				
AS	0.0.0.0/0	10.133.0.33 unreachable, 10.133.0.37 reachable vlan1102-...	1	
S	0.0.0.0/0	10.133.0.37 reachable vlan1102-WAN_BK	2	
... RUTAS DE MARCADO Y CONEXION				
S	0.0.0.0/0	10.133.0.33 unreachable	1	to_WAN1
AS	0.0.0.0/0	10.133.0.37 reachable vlan1102-WAN_BK	1	to_WAN2

Figura 36. Enrutamiento estático para balanceo y rutas principales.

Fuente. Obtenido de RouterOS Firmware.

Por su parte el software de Mimoso Networks también cuenta con algunos instrumentos de medición de variables, estos son de vital importancia porque nos dan una visión clara del estado de cada uno de los enlaces en tiempo real.

En esta fase se plantean los mecanismos de evaluación mediante los cuales se obtendrán los resultados. Lo relevante en este proyecto será medir variables como:

- Saturación de espectro en bandas libres.
- Nivel de señal en TX y Rx y distancia de enlace.
- Latencia local.
- Anchos de banda máximos permisibles.
- Balanceo de carga.
- Latencia hacia internet con y sin balanceo de carga.
- Jitter con y sin balanceo de carga.
- Disponibilidad del enlace.
- Relación señal a ruido (SNR).
- Tasa de error de paquetes (PER).

Y lo más importante, aplicar estos cambios en la red sin generar inconformidad en los usuarios, sino que se aporte con el requerimiento solventando la necesidad expresada en la problemática.

6. Resultados

A lo largo de la evaluación, se realizaron pruebas exhaustivas para medir diversas variables claves que incluyen: la saturación del espectro en bandas libres, la latencia local y hacia internet, el balanceo de carga, el jitter, los anchos de banda máximos permisibles, la confiabilidad del enlace, la tasa de error de paquetes (PER) y la relación señal-ruido (SNR). Estas mediciones se llevaron a cabo con el objetivo de evaluar el rendimiento del enlace en condiciones diversas y asegurar su idoneidad para satisfacer las necesidades operativas del servicio REDY en el cantón Yacuambi.

Además, se prestó especial atención al impacto de las modificaciones realizadas en la red sobre la experiencia de los usuarios. Se buscó garantizar que cualquier cambio implementado no solo mejorara el rendimiento técnico del enlace, sino que también contribuyera positivamente a la satisfacción y comodidad de los usuarios del servicio.

De esta manera se presentan a continuación los resultados obtenidos de la implementación de este enlace y el estudio de frecuencias que se ha realizado en un inicio en el cerro Chivato.

6.1.1. Estudio de Frecuencias y Saturación del Espectro

Para diagnosticar el uso del espectro radioeléctrico en el cerro Chivato se usó como fuente de información el sitio web de la ARCOTEL, quien es la que gestiona y brinda los títulos habilitantes para cualquier servicio que desee operar en bandas licenciadas. En el cerro Chivato encontramos servicios como Radiodifusión, Telefonía Móvil e internet inalámbrico; la televisión satelital es un producto que se encuentra en el centro poblado y se lo analizará más adelante.

Partiendo del uso de espectro que hacen las radiodifusoras en la zona, encontramos 3 referentes. La primera es la emisora de nombre **“Laser Estéreo”**, misma que según ARCOTEL (2017) cuenta con un título habilitante para el uso del espectro radioeléctrico en la frecuencia de 106.5 MHz en frecuencia modulada (FM), con dominio de cobertura en los cantones de Yanzatza, Zumbi, Paquisha y Nangaritza mediante estaciones repetidoras, y su estación central en la parroquia 28 de Mayo del cantón Yacuambi.

La segunda emisora radial con infraestructura presente se denomina **“Yacu Radio”**, según ARCOTEL (2021) cuenta con un título habilitante para el uso del espectro radioeléctrico en la frecuencia de 98.9 Mhz en frecuencia modulada (FM) con dominio de cobertura únicamente en la zona del cantón Yacuambi.

La tercera emisora reconocida que ocupa el espectro en el cerro Chivato se denomina **“Radio La Kariñosa”**, misma que es consesionario de la Radio Podocarpus que cuenta con el título habilitante para hacer el uso del espectro en la frecuencia de 98.1 MHz, en frecuencia modulada (FM) según ARCOTEL (2022). Esta emisora cuenta con dominio de cobertura en los cantones de Yacuambi, Chinchipe, El Pangui, Yanzatza, Paquisha, Nangaritza y Centinela del Condor con estaciones de tipo repetidoras y con su matriz en la ciudad de Zamora.

Para el caso del espectro ocupado por los servicios de Telefonía Móvil, se encuentran los servicios provistos por las empresas Conecel con su marca comercial **“Claro”**, y la **“CNT”** bajo la marca comercial del mismo nombre.

En cuanto al uso de espectro de la compañía Otecel; es decir, Claro, según ARCOTEL (2021) se tiene concesionada la frecuencia de 850 MHz para brindar el servicio GSM en el cantón Yacuambi con la presencia de una radiobase.

Mientras que la CNT, según ARCOTEL (2021) tiene permitido el uso del espectro en la frecuencia de 1900 MHz con una radiobase que brinda el servicio UMTS en el cantón Yacuambi.

Esta indagación previa de los servicios que ocupan frecuencias menores a los 5GHz ha permitido tener una visión general del panorama en el cerro Chivato en cuanto a interferencia; sin embargo, el uso de bandas no licenciadas hace que los servicios de internet inalámbrico saturen el espectro, llegando en ocasiones a ser un verdadero desafío encontrar un canal sin ruido de fondo disponible para transmitir.

En base a esto, se procedió con el barrido del espectro en 5 GHz con la herramienta de análisis de espectro que incluyen los radios Mimosa. En este caso, como se puede observar en la **Figura 37** muestra el espectro de la antena con dirección a la cabecera cantonal 28 de Mayo en el que existen algunos canales en los que se encuentran niveles de señal considerables, sobre todo en las frecuencias entre 5.7 a 5.9 GHz y 5.1 a 5.4 GHz, por lo que podrían llegar a representar un problema; sin embargo, también se visualiza que gran parte del espectro se encuentra despejado, y cabe recalcar que una ventaja que tienen los radios Mimosa junto a las antenas tanto de la marca Netpoint como ALGcom es que proveen un rango de operación bastante amplio, que parte desde los 4.9 GHz hasta los 6.2 GHz.

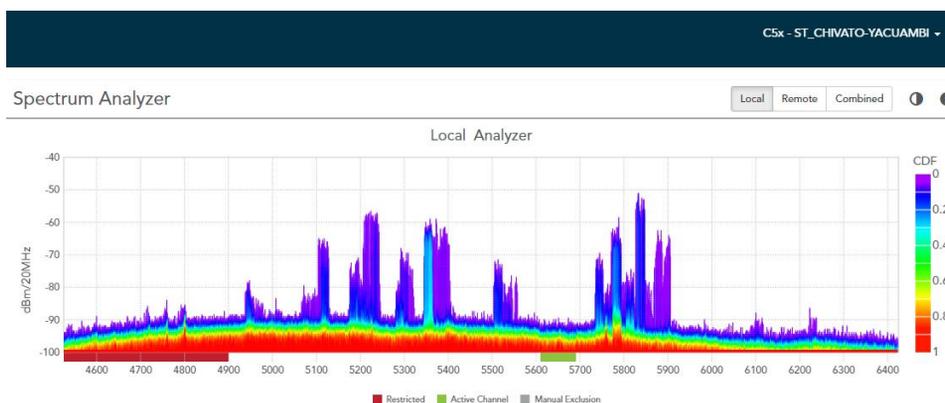


Figura 37. Barrido de espectro en el cerro Chivato en dirección a 28 de Mayo.

Fuente. Obtenido de *MimosaFirmware* (2024).

La saturación que se puede observar en esta figura comprende en gran medida lo que capta la antena de las redes WiFi presentes en el centro poblado, y algunos AP de servicio inalámbrico de la zona que se encuentran transmitiendo en estas frecuencias. Uno de los picos

más altos en 5.85 GHz aproximadamente es muy posible que se deba a la incidencia de la señal de una antena sectorial ubicada en el cerro, de la compañía Yacuambi.net que ofrece servicio inalámbrico a las comunidades rurales de la zona.

Así mismo de la parte de la parroquia Guadalupe mediante el barrido del espectro que realiza la antena que se encuentra apuntando en esa dirección, se puede observar un ambiente más controlado y libre de señales que puedan representar un problema en la transmisión. La **Figura 38** nos brinda la visión general del estado del medio para que el enlace se dé sin ningún inconveniente.

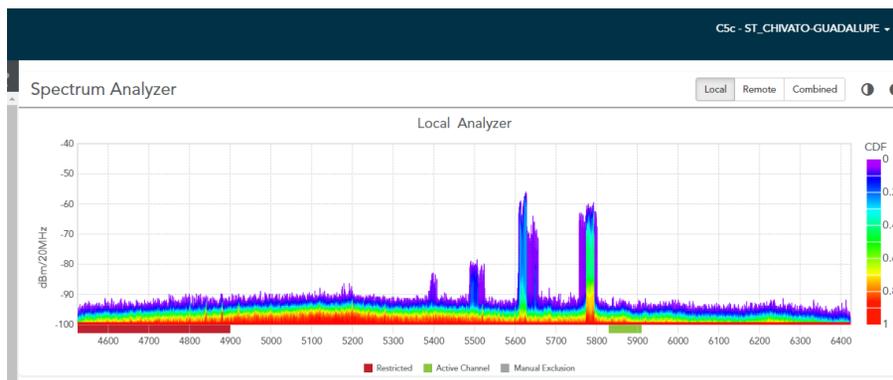


Figura 38. Barrido de espectro en el cerro Chivato en dirección a Guadalupe.

Fuente. *Obtenido de MimosoFirmware (2024).*

Como se puede observar en esta imagen existen dos únicos canales que se encuentran con una potencia significativa a tener en cuenta que son aproximadamente en 5.6 GHz y 5.78 GHz, y como en el caso anterior uno de esos picos representa la incidencia de los lóbulos posteriores de la señal de nuestra antena contigua presente en la torre.

Por otra parte, el estudio de las frecuencias destinadas para televisión satelital se ha discriminado de este documento debido a la poca incidencia que representan estos servicios sobre las comunicaciones inalámbricas de acceso a internet, además que en el cerro Chivato no se encuentra ninguno de este tipo de servicios corriendo a la par con los ya mencionados, sin embargo basados en la información presentada por ARCOTEL (2021), en el PNF se destinan las frecuencias de las bandas entre 10 GHz a 14 GHz para el uso de las empresas que ofrecen televisión satelital por suscripción.

6.1.2. Nivel de Señal en Tx Y Rx y Distancia de Enlace

El proceso de alineación de un enlace inalámbrico es parte fundamental de su funcionamiento óptimo, es así que para la alineación de los enlaces implicados en la implementación de este proyecto se ha aplicado una técnica conocida como el barrido del área efectiva de la antena, que consiste en modificar constantemente tanto el azimut como la elevación de la antena hasta localizar el lóbulo principal de radiación para conseguir la alineación perfecta, sin duda la posibilidad de contar con línea de vista es un factor importante para llevar a cabo un enlace.

De esta manera se logró los siguientes resultados en cada uno de los radios:

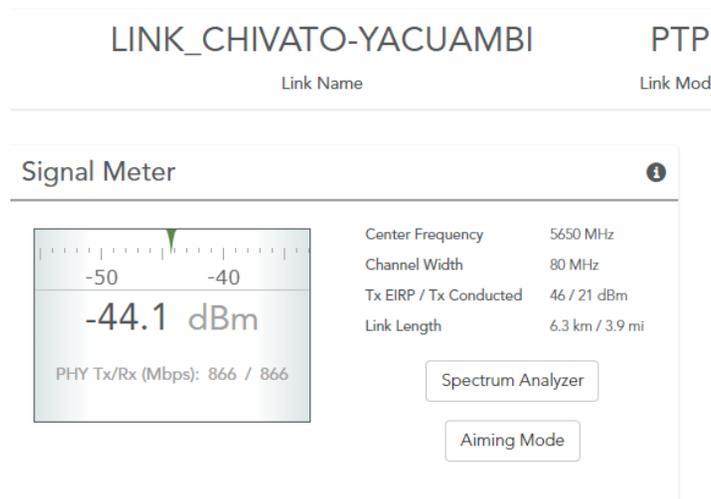


Figura 39. Potencia de la señal en el AP_YACUAMBI-CHIVATO.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

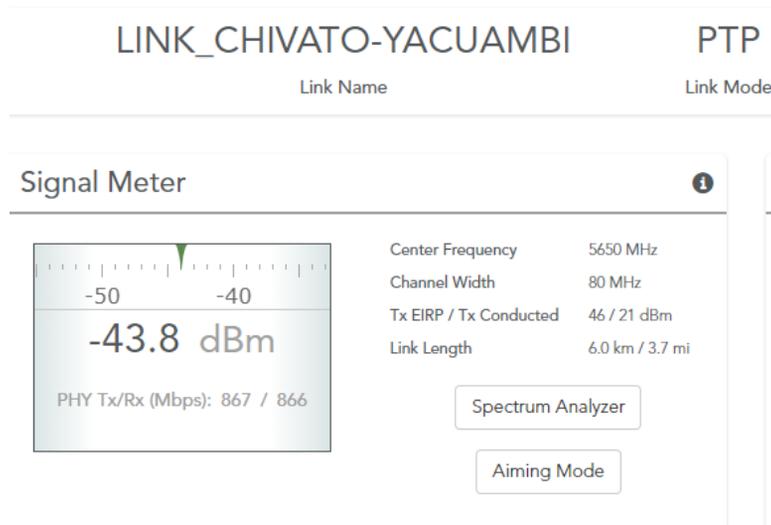


Figura 40. Potencia de la señal en la ST_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

Un parámetro importante a tomar en cuenta en estos enlaces es la estabilidad que le brinda una correcta alineación a un enlace, esto se ve reflejado directamente en la tasa de codificación a la que se transmiten los datos en el enlace, lo que influye directamente en el ancho de banda máximo que puede proveer. Para el análisis de este parámetro los radios Mimoso cuentan con un apartado que nos muestra en tiempo real el esquema de codificación que están ocupando.

La **Figura 41** nos muestra el estado de los canales mimo y el índice de Esquema de Modulación y Codificación (MCS) en la que se encuentran trabajando, específicamente en los parámetros MCSTx y MCSRx; es decir, en transmisión y en recepción. En el caso del enlace entre Chivato y Yacuambi se encuentran trabajando con un MCS de índice 9 lo que implica que se está codificando la información en 256-QAM con una tasa de codificación 5/6 es decir 5 bits de información y el bit restante ocupado para evitar o corregir errores en la transmisión. Cabe recalcar también que estos radios manejan la tecnología MIMO 2x2 por lo cual se puede apreciar la presencia de 2 streams espaciales disponibles para el paso de la información, lo que aumenta el ancho de banda disponible hasta los 866 Mbps teóricos.

MIMO Status i

Stream	Tx MCS	Tx Width (MHz)	Tx PHY (Mbps)	Rx MCS	Rx Width (MHz)	Rx PHY (Mbps)	Rx SNR (dB)
1	9	80	433	9	80	433	29.4
2	9	80	433	9	80	433	27.8

Streams
○●

Figura 41. Tasa de codificación del enlace.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

En el caso del enlace entre Guadalupe y Chivato se ha logrado conseguir los siguientes niveles de potencia:

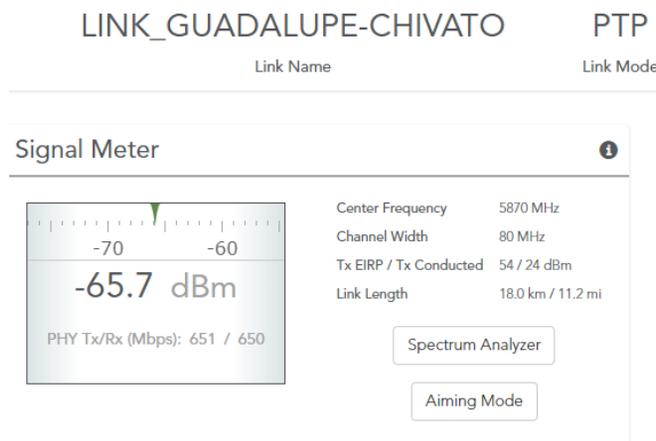


Figura 42. Potencia de la señal en el AP_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

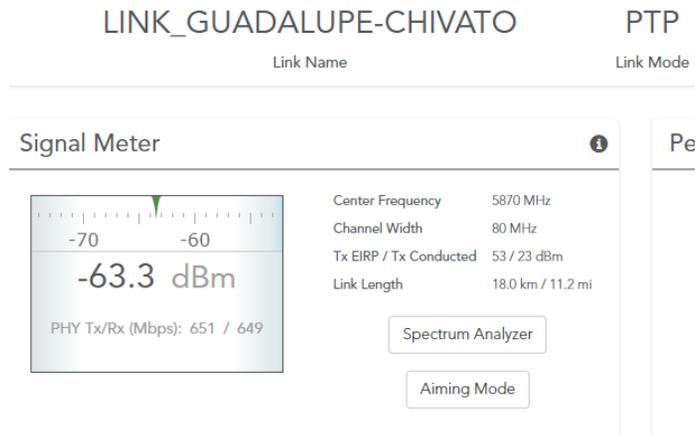


Figura 43. Potencia de la señal en la ST_CHIVATO-GUADALUPE.

Fuente. Obtenido de Mimosafirmware (2024).

Para el caso de este enlace la **Figura 44** nos muestra el estado de los dos canales MIMO; al igual que el enlace anterior, este también cuenta con MIMO 2X2 por lo tanto tenemos disponibles dos streams espaciales. Este enlace se encuentra trabajando con un MCS de índice 7, al ser un enlace de mayor distancia, se ve afectado en mayor medida por los factores climáticos que hacen que varíe tanto el esquema de codificación como la potencia de la señal que reciben los equipos, variando entre -63 dBm a -66 dBm como se muestra en la **Figura 42** y la **Figura 43**.

El índice de codificación en el que se encuentra trabajando también varía siendo su pico máximo el índice 7 y el mínimo el 5, por lo tanto, la modulación en la que trabaja este enlace es de 64-QAM con una tasa de codificación 5/6 al igual que el anterior. Sus puntos más bajos con índice 5 los supera en modulación 64-QAM y una tasa de codificación 2/3, lo que implica un desafío en la transmisión y ocasiona un cuello de botella en cuanto a la disponibilidad del otro enlace. Sin embargo, como veremos en las secciones subsiguientes, estos problemas se gestionan de muy buena manera, tal que el rendimiento no disminuye de manera potencial, sino que se mantiene con una estabilidad sobresaliente en 530 Mbps.

MIMO Status							
Stream	Tx MCS	Tx Width (MHz)	Tx PHY (Mbps)	Rx MCS	Rx Width (MHz)	Rx PHY (Mbps)	Rx SNR (dB)
1	7	80	325	7	80	324	19.4
2	7	80	325	7	80	324	19.9

Streams

Figura 44. Tasa de codificación del enlace.

Fuente. *Obtenido de MimosoFirmware (2024).*

Se ha observado en el desarrollo de este proyecto que la distancia juega un papel importante en el desvanecimiento de la señal, y eso se fundamenta en las leyes del desvanecimiento, en la ley del cuadrado inverso, la ecuación de las pérdidas en el espacio libre y mediante la propia observación, es posible detectar que la distancia incide negativamente en la potencia de la señal en cada punto.

El ejercicio de este proyecto nos deja un enlace entre el cerro Chivato y la cabecera parroquial 28 de Mayo del cantón Yacuambi con una distancia de **6.3 Km**; mientras que, el enlace entre la parroquia Guadalupe del cantón Zamora y el cerro Chivato con una distancia total de **18.6 Km**.

6.1.3. Latencia Local

Si en algo se diferencian los equipos mimosa de sus competidores en el mercado es en los tiempos sumamente bajos de latencia en sus enlaces inalámbricos y claramente se ven representados en los resultados que se han obtenido en los dos enlaces que se han realizado en este proyecto.

A continuación, se muestran las pruebas realizadas entre los equipos involucrados:

```
PING 10.133.0.19 (10.133.0.19) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 10.133.0.19: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.74 ms  
64 bytes from 10.133.0.19: icmp_seq=2 ttl=64 time=2.10 ms  
64 bytes from 10.133.0.19: icmp_seq=3 ttl=64 time=2.04 ms  
64 bytes from 10.133.0.19: icmp_seq=4 ttl=64 time=2.00 ms  
  
--- 10.133.0.19 ping statistics ---  
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3014ms  
rtt min/avg/max/mdev = 2.005/2.224/2.745/0.306 ms
```

Figura 45. Latencia local en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

```
PING 10.133.0.21 (10.133.0.21) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 10.133.0.21: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.61 ms  
64 bytes from 10.133.0.21: icmp_seq=2 ttl=64 time=2.18 ms  
64 bytes from 10.133.0.21: icmp_seq=3 ttl=64 time=2.39 ms  
64 bytes from 10.133.0.21: icmp_seq=4 ttl=64 time=2.38 ms  
  
--- 10.133.0.21 ping statistics ---  
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3016ms  
rtt min/avg/max/mdev = 2.184/2.394/2.610/0.158 ms
```

Figura 46. Latencia local en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

```
PING 10.133.0.22 (10.133.0.22) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 10.133.0.22: icmp_seq=1 ttl=64 time=5.50 ms  
64 bytes from 10.133.0.22: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.32 ms  
64 bytes from 10.133.0.22: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.02 ms  
64 bytes from 10.133.0.22: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.27 ms  
  
--- 10.133.0.22 ping statistics ---  
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3017ms  
rtt min/avg/max/mdev = 4.021/4.530/5.501/0.576 ms
```

Figura 47. Latencia local entre el AP_CHIVATO-YACUAMBI y el AP_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

Con estos resultados se justifica la elección de los equipos, gracias a este tiempo de respuesta podemos brindar un servicio parecido al de la fibra óptica, con el que se está trabajando a la par. Un punto a considerar es que en la documentación de Mimoso ofrecen enlaces con latencias menores a 10ms y en este caso se confirma lo ofertado en sus especificaciones.

6.1.4. Anchos de Banda Máximos Permisibles

El ancho de banda máximo fue uno de los factores de mayor importancia dentro del desarrollo de este proyecto, inicialmente la idea que se planteó con la empresa NODO.CIA, era la de poder cubrir todo el tráfico generado por los clientes del cantón Yacuambi de modo que cuando llegase a fallar el enlace principal de fibra óptica, este a su vez tomará su lugar como un enlace de respaldo o failover para aumentar la disponibilidad de la red. En un principio se planteó un mínimo de 300 Mbps basados en los consumos de horas pico de los clientes de este sector que llegaban a rondar esta cantidad de tráfico.

Una vez implementado el proyecto se pudo visualizar que usando un canal de 80 MHz, aprovechando el espectro liberado del cerro Chivato se lograba anchos de banda que superaban las expectativas planteadas en un inicio. Los resultados de estas pruebas se realizaron sin tráfico real de internet, debido a que el canal se llega a saturar y por lo tanto existen pérdidas de paquetes y en su mayoría serían de información de los usuarios.

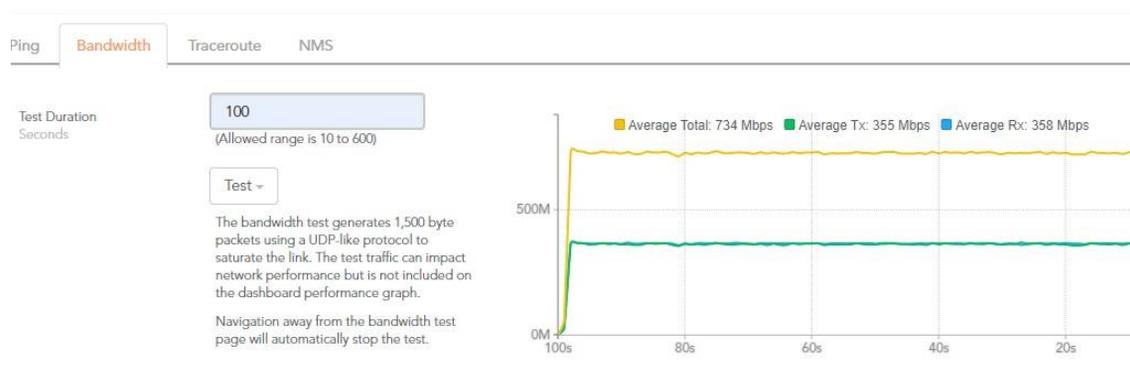


Figura 48. Ancho de banda máximo permisible en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Obtenido de Mimosafirmware (2024).

Como lo muestra la **Figura 48**, el ancho de banda máximo que se logra en el enlace entre el cerro Chivato y la parroquia 28 de Mayo tiene un total de **734 Mbps**, entendiendo esto como la mitad en carga (UL) y la otra mitad en descarga (DL) de datos, sin embargo esto se puede modificar. Mimosafirmware permite al administrador de red, determinar cuánto ancho de banda se ofrece en descarga y carga de datos, permitiendo configurar relaciones en DL/UL de 50/50, 75/25, 25/75 y Automático. Los enlaces levantados para este proyecto están configurados para establecer estos anchos de banda de forma automática según el tráfico de los clientes lo requiera, a fin de no saturar el canal en ninguna de las dos vías de transmisión.

Se han denominado límites máximos permisibles ya que será el límite total del enlace, una vez el tráfico supere estas cantidades, los paquetes se empezarán a descartar.

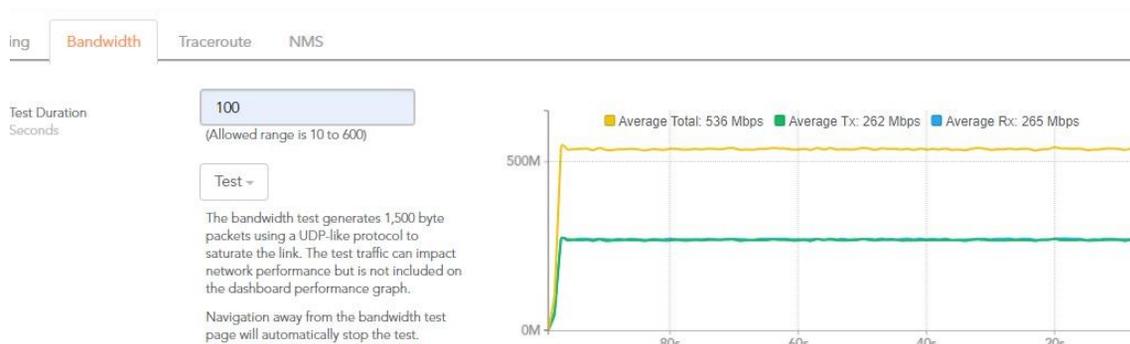


Figura 49. Ancho de banda máximo permisible en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. *Obtenido de MimosoFirmware (2024).*

Como se explicó en la sección anterior uno de los factores que afecta de forma directa y negativa a un enlace inalámbrico es la distancia, en la **Figura 49** logramos palpar un claro ejemplo de esta afección, en este caso el enlace entre la parroquia Guadalupe y el cerro Chivato logra un ancho de banda máximo de **536 Mbps**, de igual manera que el anterior, este se mantiene de forma estable y está configurado para que divida las porciones de ancho de banda tanto de carga como de descarga de forma automática según sea el requerimiento del tráfico generado por los clientes.

6.1.5. Balanceo de Carga

El balanceo de carga que se ha configurado corresponde con una división del tráfico 1/1, de modo que el router de administración marque un 50% de conexiones hacia el enlace principal de fibra óptica y el 50% restante se envíe por el enlace inalámbrico. Hay una consideración a tomar en cuenta sobre el balanceo PCC; la forma de marcar los paquetes no es exacta, se menciona con porcentajes por el mismo hecho de que puede variar en el proceso de distribución de la carga debido a la aleatoriedad de las conexiones, sobre todo en la descarga.

::: PCC BALANCEO DE CARGA								
29	mar...	prerouting	LAN	both addresses:4/0	WAN2_conn		2019.8 MiB	7 763 763
30	mar...	prerouting	LAN	both addresses:4/1	WAN1_conn		1941.4 MiB	11 635 884
31	mar...	prerouting	LAN	both addresses:4/2	WAN1_conn		1863.7 MiB	13 943 544
32	mar...	prerouting	LAN	both addresses:4/3	WAN2_conn		2616.8 MiB	17 249 425
33	mar...	prerouting	LAN			to_WAN1	688.8 GiB	2199 802 665
34	mar...	prerouting	LAN			to_WAN2	273.8 GiB	1444 752 596
35	mar...	output				to_WAN1	17.2 GiB	20 952 128
36	mar...	output				to_WAN2	22.6 GiB	25 792 113

Figura 50. Balanceo PCC y su distribución de paquetes.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

RouterOS dispone de una herramienta de visualización del registro de tráfico cursado a través de cada una de sus interfaces, incluidas tanto las físicas como las virtuales; por lo tanto, en las imágenes a continuación, se estará visualizando el tráfico cursado por las VLANs creadas para manejar el balanceo: la VLAN102-WAN_PR y la VLAN1102-WAN_BK.

El sistema operativo de MikroTik brinda la facilidad de tener el registro diario, semanal, mensual y anual del tráfico que ha transcurrido por sus interfaces, para el efecto de este proyecto se ha tomado en cuenta únicamente los registros diarios, semanales y mensuales ya que el anual no cuenta con mucha información disponible, al ser reciente la puesta en marcha del balanceador. Estos registros se presentan a continuación.

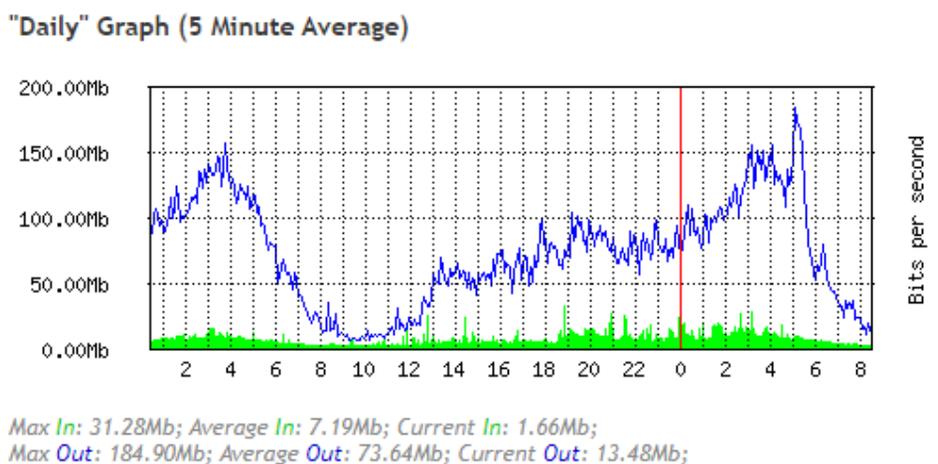
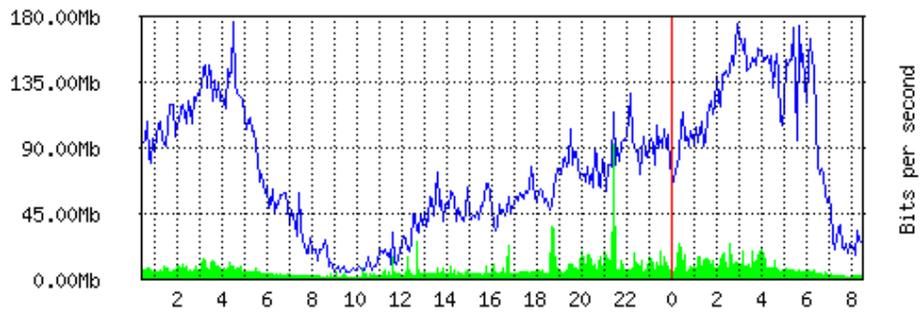


Figura 51. Registro de tráfico diario en la VLAN1102-WAN_BK-BL.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

"Daily" Graph (5 Minute Average)

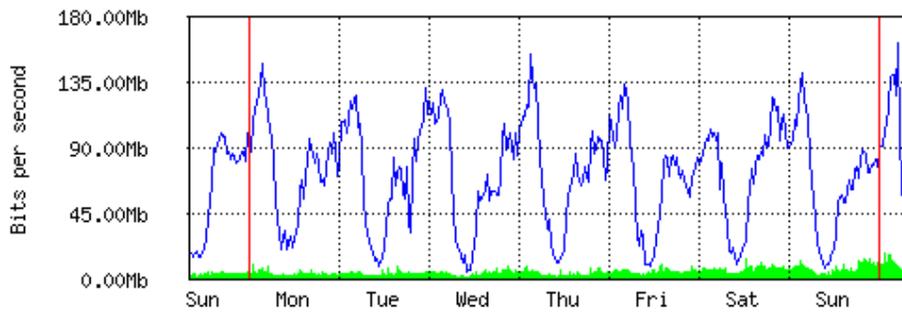


Max In: 92.90Mb; Average In: 6.34Mb; Current In: 1.55Mb;
Max Out: 177.53Mb; Average Out: 76.48Mb; Current Out: 24.41Mb;

Figura 52. Registro de tráfico diario en la VLAN102-WAN_PR.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

"Weekly" Graph (30 Minute Average)

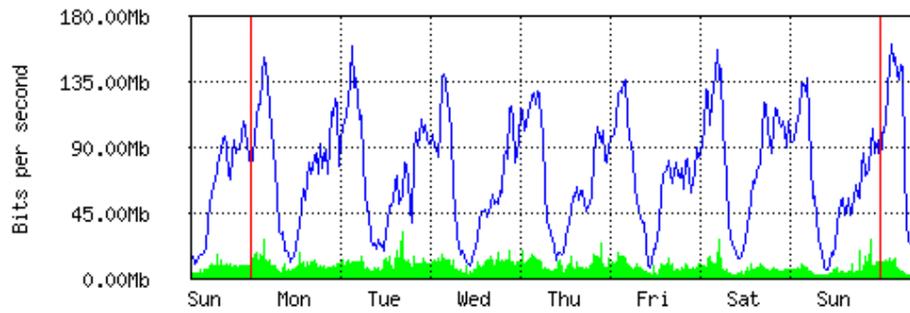


Max In: 17.19Mb; Average In: 4.12Mb; Current In: 1.85Mb;
Max Out: 162.60Mb; Average Out: 71.66Mb; Current Out: 17.32Mb;

Figura 53. Registro de tráfico semanal en la VLAN1102-WAN_BK-BL.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

"Weekly" Graph (30 Minute Average)

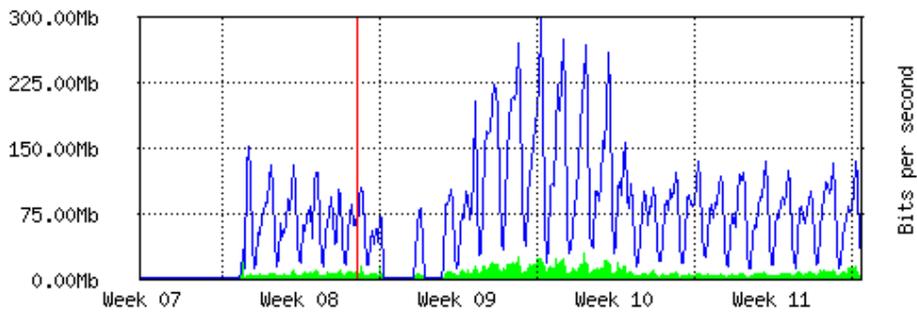


Max In: 31.39Mb; Average In: 8.14Mb; Current In: 949.44Kb;
Max Out: 162.34Mb; Average Out: 73.15Mb; Current Out: 23.62Mb;

Figura 54. Registro de tráfico semanal en la VLAN102-WAN_PR.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

"Monthly" Graph (2 Hour Average)



Max In: 27.47Mb; Average In: 5.13Mb; Current In: 2.77Mb;
Max Out: 299.26Mb; Average Out: 68.70Mb; Current Out: 35.05Mb;

Figura 55. Registro de tráfico mensual en la VLAN1102-WAN_BK-BL.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

"Monthly" Graph (2 Hour Average)

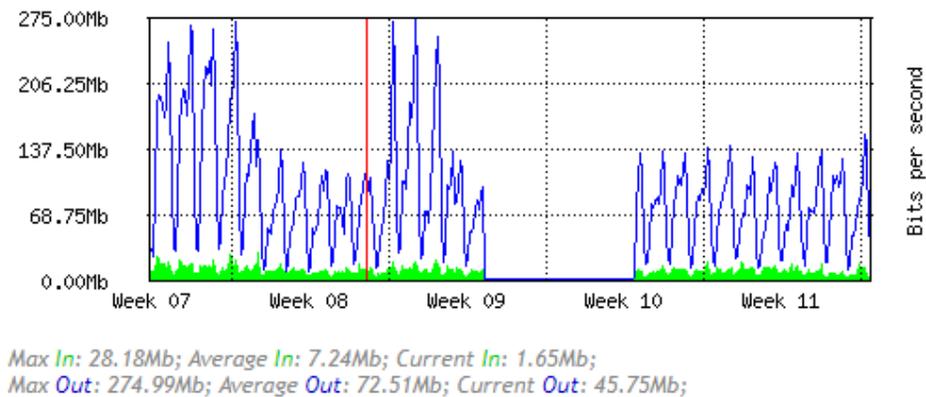


Figura 56. Registro de tráfico mensual en la VLAN102-WAN_PR.

Fuente. Elaborado por el autor basado en RouterOS.

6.1.6. Latencia hacia Internet con y sin Balanceo De Carga

La latencia es una variable que a menudo pasa desapercibida por los usuarios y en ocasiones hasta por el mismo personal de una empresa de telecomunicaciones, la velocidad real del internet se puede medir mediante la latencia que existe entre el servidor y el usuario final. La **Figura 57** muestra el contraste entre los tres modos en los que puede operar la red de REDY en el cantón Yacuambi actualmente: respaldo inalámbrico, balanceado y enlace óptico.

La muestra para el análisis de latencia se ha realizado con 1070 eventos de un ping al DNS de Google (8.8.8.8) desde el CGNAT GPON de REDY. Analizando esta imagen podemos inferir directamente que cuando se encuentra activo únicamente el enlace inalámbrico actuando a su vez como enlace troncal; el hecho de estar propenso a interferencia tanto electromagnética como de factores climáticos hace que la latencia sea mayor frente a la estabilidad que presenta el enlace óptico. Un punto medio es el punto en el que se activa el balanceo, en este caso el enlace principal se ve afectado por la latencia causada por el enlace inalámbrico sin llegar a ser un caso crítico.

Como se puede observar en la gráfica de la **Figura 57**, la probabilidad de que la latencia sea menor que 40ms en los 3 casos es bastante alta, por arriba del 90%. Los puntos que se encuentran por arriba de los 40ms son casos con pocas probabilidades de que sucedan y, en el caso de la latencia con enlace inalámbrico activo se tiene picos mayores a 60ms pero así mismo la probabilidad de que los eventos subsiguientes sean menores que ese límite, es del 99.9999%.

El enlace de fibra óptica ha tenido menos eventos como se esperaba y claramente su estabilidad es mayor, el punto de inflexión de este enlace se sitúa en los 31ms con una probabilidad de que la latencia sea menor o igual a este límite del 98.96%, y a partir de este punto se encuentran más eventos que afianzan su estabilidad.

Al activar el balanceo, observamos un cambio en el comportamiento de la latencia. El punto de inflexión se eleva a los 35 ms, con un 98.44% de probabilidad de que los eventos subsiguientes sean menores a ese límite. Además, el mayor valor de latencia registrado con el balanceo activado ha sido de 52 ms, con una probabilidad extremadamente alta del 99.9999% de que los eventos subsiguientes sean menores que ese límite.

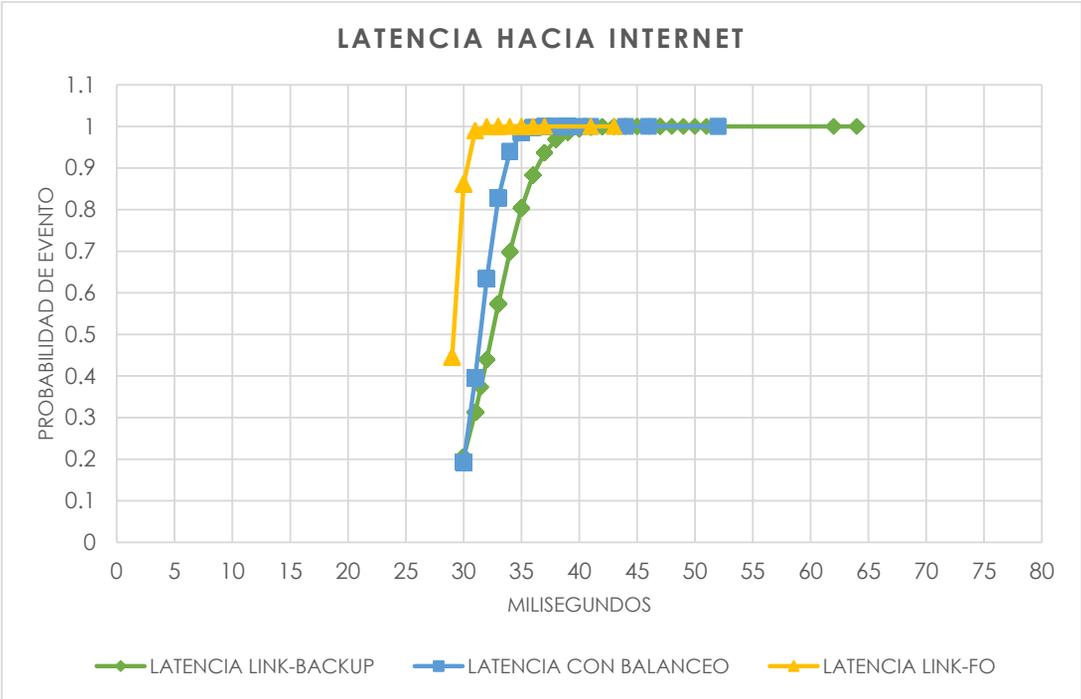


Figura 57. Comparativa de la latencia hacia internet en los 3 modos.

Fuente. Elaborado por el autor.

6.1.7. Jitter con y sin Balanceo de Carga

El Jitter es otra variable aún más ignorada por los usuarios y parte del personal técnico, la variación de la latencia cuando es muy grande, hace que se produzcan encolamiento de paquetes y pérdidas en la transmisión y va a depender mucho de este valor para poder usar servicios como streaming en vivo, tanto en generadores como en consumidores de contenido, videoconferencias, llamadas de voz sobre IP, juegos en línea, etc.

En el caso inalámbrico, al descubrir un jitter elevado podemos hacer varias acciones para mejorarlo como: ocupar canales sin interferencia, acercarnos al punto de red inalámbrico; o en su defecto, ocupar un punto de red de última generación con tecnologías MU-MIMO, beamforming, entre otras. En enlaces troncales, donde se maneja gran cantidad de datos, es mejor buscar lugares con línea de vista directa, ocupar equipos que provean una baja latencia y con tecnología de vanguardia que aseguren la estabilidad de los enlaces.

La imagen de la **Figura 58** muestra la dispersión de cada una de las muestras tomadas; es claro que frente a la fibra óptica el jitter en el enlace inalámbrico implementado va a ser mayor, y se observa que al igual que sucede con la latencia al activar el balanceo de carga este valor toma un punto medio.

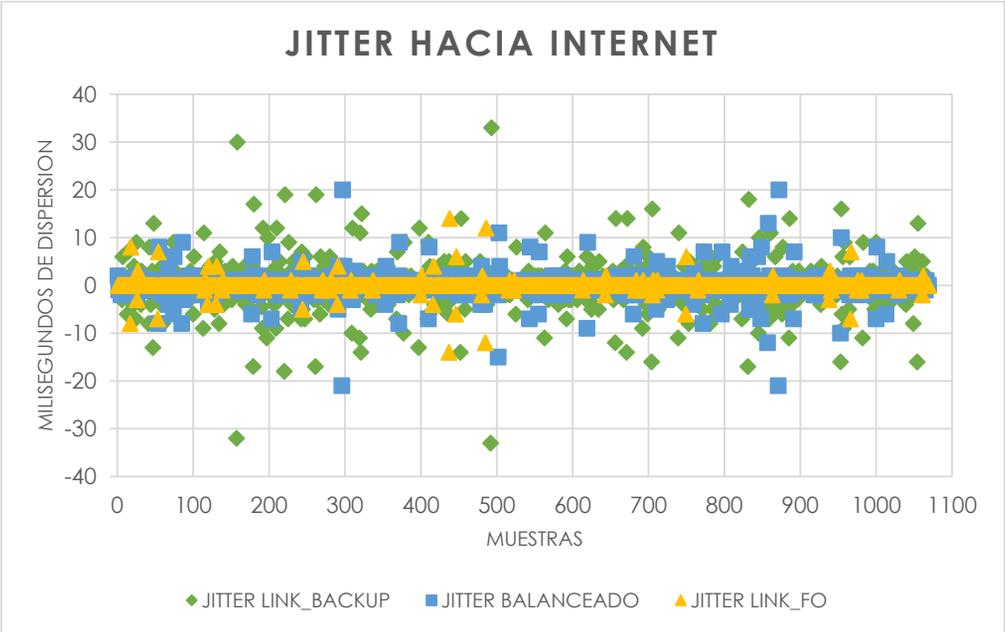


Figura 58. *Jitter hacia internet en los 3 modos.*

Fuente. *Elaborado por el autor.*

La **Figura 59** nos da la información exacta del jitter, en las tres muestras tomadas podemos observar que: con el enlace inalámbrico se tiene un jitter de 4.26ms aproximadamente, usando únicamente el enlace óptico se tiene un jitter mínimo de 1.16ms y se reafirma la idea del punto medio al activar el balanceo, siendo el jitter en este caso de 2.30ms.

Considerando las aplicaciones para las que se brinda el servicio de REDY en Yacuambi podemos concluir que los tiempos son aceptables en cuanto a lo que ofrece el enlace

inalámbrico, con 3.1ms de diferencia al enlace de fibra óptica. Este análisis se realiza básicamente para inferir la experiencia del usuario final; que por lo general, consume redes sociales, navegación web, correo, información que no representa un desafío en la transmisión aun con latencias mayores a las que se ha obtenido. Recordemos que estos datos son obtenidos directamente desde el equipo de administración, mientras que para los usuarios finales esto puede llegar a ser transparente, debido a que en el caso de los equipos WiFi, en los ambientes con interferencia, espectro saturado y los obstáculos dentro de las viviendas, tienden a elevar este valor mucho más.

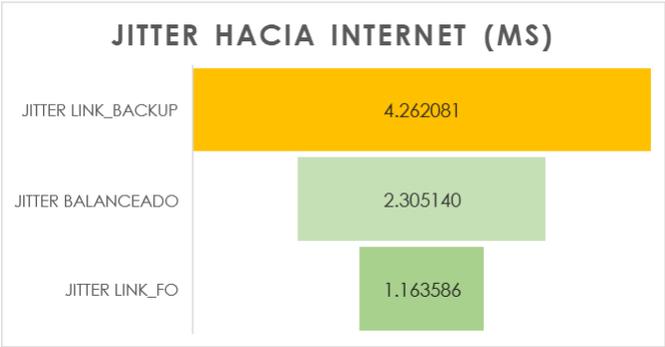


Figura 59. Jitter hacia internet en milisegundos.

Fuente. Elaborado por el autor.

6.1.8. Disponibilidad del Enlace

La disponibilidad del enlace se mide desde el primer instante en el que se vincula la estación al AP, se basa en la estabilidad de la conexión durante el tiempo total que llevan conectados los equipos. Las figuras **Figura 60** y la **Figura 61** muestran la disponibilidad de los dos enlaces implementados para el efecto de este proyecto en el tiempo de enlace que el mismo software lo contabiliza.

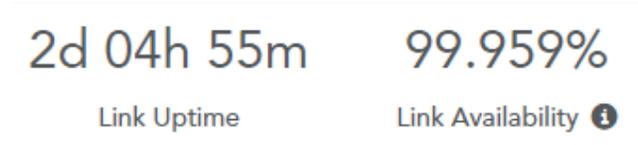


Figura 60. Disponibilidad del LINK_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

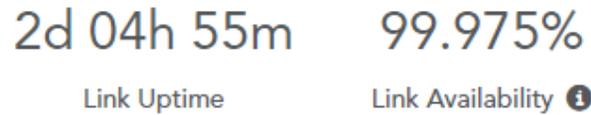


Figura 61. Disponibilidad del LINK_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

Muy a menudo este parámetro se mide en la cantidad de “9s” que presenta. El máximo valor y que se podría ver en un escenario con muy poca interferencia según Hong (2016) es de seis “9s” es decir; 99.9999% de disponibilidad para el uso de enlaces troncales con grandes flujos de tráfico. Como se ha podido observar esto no es posible en nuestro entorno, sin embargo tener tres “9s” es un muy buen nivel de disponibilidad para los enlaces.

6.1.9. SNR

La relación señal ruido o SNR es un parámetro de suma importancia en los enlaces inalámbricos, al igual que la alineación y la distancia de los enlaces, del SNR depende en que modulación trabajen los transmisores. En el caso del enlace entre en cerro Chivato y la parroquia 28 de Mayo al ser un enlace de corta distancia, se logra un SNR bastante alto y por lo mismo se encuentra trabajando en el nivel de codificación más alto en el que pueden trabajar los radios. La **Figura 62** nos muestra el valor exacto de este parámetro que se encuentra muy por encima del umbral para trabajar en codificación 256-QAM.

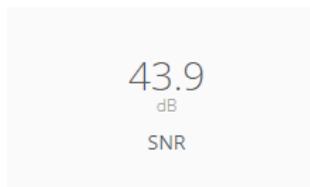


Figura 62. SNR en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

Por otra parte, el enlace que sufre en este parámetro es el comprendido entre el cerro Chivato y la parroquia Guadalupe, al ser mayor la distancia, la relación señal a ruido disminuye; en este caso, como el ruido en el espectro es mínimo, este parámetro se mide con el piso de sensibilidad del radio. La **Figura 63** nos presenta el valor del SNR en este enlace, este a diferencia del anterior se encuentra en el límite para poder trabajar a 64-QAM por lo cual en ocasiones el índice MCS baja a 5.

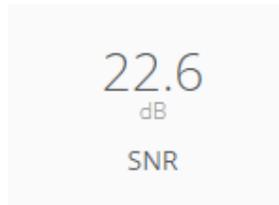


Figura 63. SNR en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. *Obtenido de MimosoFirmware (2024).*

6.1.10. PER

El Packet Error Rate (PER) por sus siglas en inglés, según la información proporcionada por el software de Mimoso:

El PER es el número de paquetes con errores dividido por el número total de paquetes enviados. Lo ideal es que este valor sea inferior al 2%, mientras que los valores superiores indican la presencia de interferencias. Tx PER es una indicación de que la radio local no recibió un ACK de la radio remota, por lo que se ve obligada a retransmitir de nuevo la misma información (MimosoFirmware, 2024).

La **Figura 64** muestra el valor de la tasa de error de paquetes en el enlace entre el cerro Chivato y la parroquia 28 de Mayo del canton Yacuambi, en este caso se presenta un histórico de los últimos 15 minutos; aunque, también se puede visualizar los últimos 60 segundos si es necesario la vista con menor retardo. En esta imagen nos muestra un porcentaje bastante bajo del 0.18%; aunque, se puede observar picos mayores al 0.5%, estos valores no se pueden considerar como malos, ya que como se expone en el párrafo anterior estos paquetes se vuelven a retransmitir para evitar la pérdida de la información.

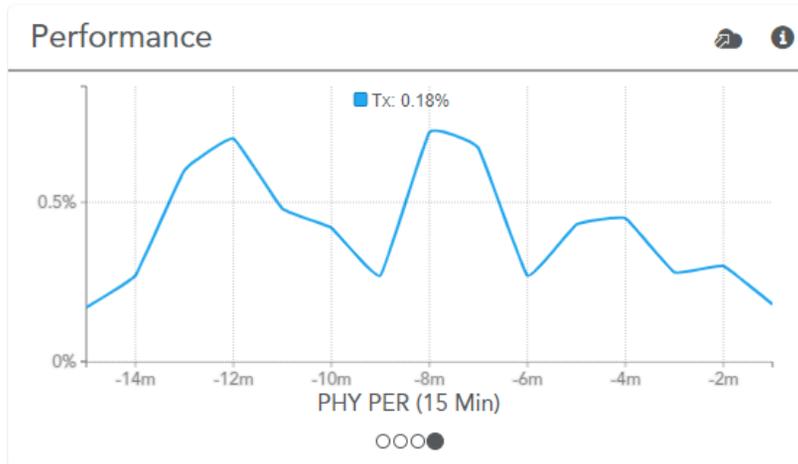


Figura 64. PER en el LINK_CHIVATO-YACUAMBI.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

Por su parte, en el caso del enlace entre la parroquia Guadalupe y el cerro Chivato, la **Figura 65** muestra niveles parecidos de errores en los paquetes, con picos sobre el 0,5% sin llegar a ser mayores al 1%, lo cual indica una buena estabilidad en la transmisión de la información aun a pesar de que la distancia es mayor.

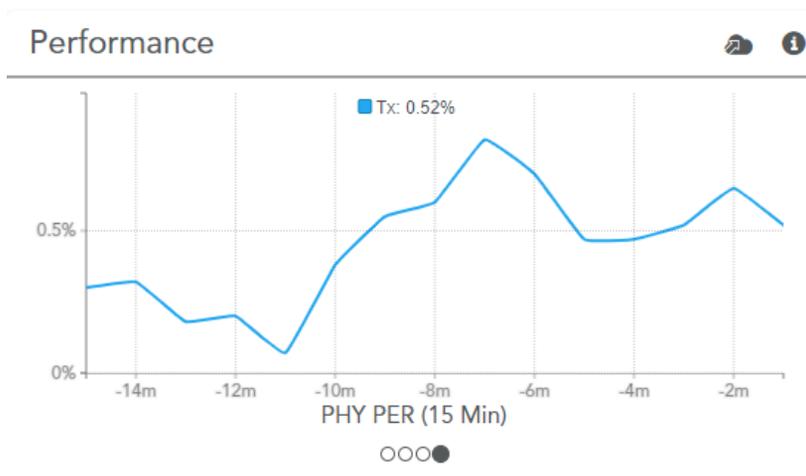


Figura 65. PER en el LINK_GUADALUPE-CHIVATO.

Fuente. Obtenido de MimosoFirmware (2024).

7. Discusión

El presente trabajo de integración curricular se ha enfocado en el levantamiento de información representativa del uso del espectro radioeléctrico en el cerro Chivato y mediante ese análisis, implementar un enlace de respaldo y balanceo de carga para la empresa NODO.CIA y su filial REDY en el cantón Yacuambi, teniendo en cuenta las frecuencias ocupadas para los servicios presentes en el cerro, de modo que se pueda evitar la interferencia presente y no haya afecciones a la transmisión del tráfico generado por los usuarios del servicio de internet en las parroquias 28 de Mayo y Tutupali. Al ser un enlace de respaldo, este tendrá que soportar todo el tráfico en cualquier hora del día en caso de que el enlace principal llegase a presentar alguna falla; de otro modo, este enlace únicamente soportará una fracción del tráfico de red según el método y la configuración del balanceo de carga aplicado.

Los resultados obtenidos en el estudio de frecuencias han demostrado la baja presencia de servicios adyacentes a las frecuencias en las bandas de 5 GHz; por lo general, se tiene presentes servicios que ocupan frecuencias más bajas en el espectro. Estas frecuencias corresponden a los rangos que van de desde 1900 MHz e inferiores, llegando hasta los servicios de radiodifusión que son los últimos en escala de mayor a menor frecuencia y no representan mayor interferencia ante la transmisión de 802.11ac en 5 GHz.

En el espectro de 5 GHz, donde operan los servicios de internet inalámbrico, se comprueba la presencia de transmisores que saturan ligeramente las bandas libres en 5.7 GHz y 5.8 GHz. En frecuencias más bajas, en 5.1 GHz y 5.5GHz se encuentran picos de un ancho de banda máximo de 40 MHz que no representan mayor interferencia. En el caso del trasmisor correspondiente a el enlace planteado en este proyecto del lado de 28 de Mayo se encuentra en las bandas de 5.6 GHz lo que nos aleja de la interferencia y no genera mayor desafío para la transmisión de la información. En el caso del transmisor del lado de Guadalupe se encuentra un espectro libre al 90%; por lo tanto, no hay problemas en la transmisión e incluso hay mayor estabilidad del enlace en este vano inalámbrico que ocupa parte del espectro en 5.8 GHz.

Basados en el resultado del previo análisis de espectro se ocupó los equipos presentados en la sección 5.2.3 enfatizando la relación calidad/precio excelente y la elección de marcas que se encuentra despuntando en el mercado de las comunicaciones inalámbricas. Mimosa, Netpoint, ALGcom y MikroTik son las marcas sobre las que se implementó el presente

proyecto, mediante las que se obtuvo resultados favorables de latencia, jitter, ancho de banda, niveles de potencia, disponibilidad, SNR y PER.

Los valores de latencia y jitter han sido medidos directamente hacia uno de los servidores DNS más ocupados por los ISP; el DNS de Google. Mediante los resultados que se obtuvieron al medir estas variables, se puede inferir que la experiencia del usuario en la navegación se verá mínimamente afectada al momento de que el enlace de respaldo este trabajando como enlace principal con una diferencia en la latencia de entre 3 a 7 milisegundos y con una diferencia en el jitter de 3.098 milisegundos más que con el enlace óptico. Cabe recalcar, que el punto de inflexión de latencia que se muestra en la **Figura 58** para el enlace inalámbrico es de 38ms con una probabilidad de 96.86% de que los eventos subsiguientes sean menores o iguales a ese límite.

Aplicado el balanceo de carga la latencia es menor debido a la incidencia de los paquetes enrutados a través del enlace óptico que hacen que la latencia llegue a diferencias menores de entre 2 a 5 milisegundos y con 1.1416 milisegundos de diferencia en el jitter, lo que representa una disminución del 45.92% tomando como referencia la medida del jitter obtenida con el enlace inalámbrico trabajando solo.

Sin duda los mejores tiempos tanto en latencia como en jitter son los del enlace óptico, sin balanceo de carga; en este caso, la estabilidad del enlace se presenta en 31 milisegundos de latencia y 1.16 milisegundos de jitter lo que representa una reducción de un 72.7% del jitter del enlace inalámbrico; un porcentaje considerable teniendo en cuenta que los números de este ya son bastante bajos.

El ancho de banda máximo de transmisión obtenido en la implementación de este proyecto ha sido uno más de los éxitos conjuntamente con los tiempos de respuesta. El proyecto estaba pensado para suplir alrededor de 300 Mbps sin embargo como se ha visto en los resultados este se ha elevado a cifras mayores, específicamente a más de 500 y 700 Mbps en los enlaces Chivato-Guadalupe y Chivato-28 de Mayo respectivamente, dando un ancho de banda general en todo el enlace de alrededor de 500 Mbps estables entre carga y descarga de datos.

En contraste con el trabajo realizado por Pardo (2016) considerado referente por la cercanía de la zona de estudio y por las condiciones geográficas parecidas, en el que se realiza

un estudio de una serie de radioenlaces en la zona de Yanzatza que pretende cubrir un ancho de banda de alrededor de 40 Mbps de clientes determinados por el autor. Uno de sus enlaces de mayor distancia es de 23 Km, con equipos que de manera inalámbrica pueden transportar hasta 54 Mbps por el estándar que manejan, se puede inferir que el enlace planteado en este proyecto está muy por encima de ese estudio y no se tiene referencias claras de ancho de banda que logro pasar en su enlace, aunque por la experiencia adquirida en la implementación física de los dos enlaces que se llevaron a cabo en este proyecto, es muy probable que con la potencia que obtiene en las simulaciones, no llegue a satisfacer las necesidades de sus clientes.

Por otra parte, en comparación con los enlaces mostrados en los casos de éxito de NetPoint Antennas (2021); se tiene enlaces reales, que se encuentran en funcionamiento y que han logrado obtener anchos de banda bastante amplios teniendo en cuenta las condiciones del espectro en las que se encuentran. Nuestro caso es privilegiado en lo que a saturación de espectro se refiere; el enlace en el que usamos la combinación Netpoint y Mimosa es entre Chivato y Guadalupe con 18.6 Km de distancia. Uno de sus enlaces por ejemplo con una alta saturación del espectro, usando el radio Mimosa C5c (que se está ocupando en este proyecto), en México logra pasar alrededor de 600 Mbps en 3.3 Km de distancia, aunque cabe recalcar que la antena es una Netpoint con radomo contra interferencia y al igual que la ocupada en el enlace Chivato-Guadalupe esta cuenta con 30 dBi de ganancia.

Por su parte, ALGcom (2022) como se muestra en la sección 4.1.4, ocupando los equipos Mimosa, sus antenas son realmente excelentes en la transmisión inalámbrica; en nuestro caso, el enlace que contiene antenas ALGcom es el enlace entre Chivato y 28 de Mayo con 6.3 Km de distancia. Pensar que se puede transmitir 400 Mbps a más de 100 Km es realmente un desafío de alineación y de rendimiento de la antena y en comparación con los 730 Mbps obtenidos en nuestro enlace de corta distancia, es realmente un hito lo que han logrado los integradores de ALGcom.

Los técnicos integradores de NetPoint Antennas (2021) recalcan que el verdadero trabajo de transmisión lo realiza el elemento radiante, el radio transmisor únicamente se encarga de enviar la señal a través de la línea de transmisión; el trabajo real lo realiza la antena y en el caso puntual del presente proyecto ambas marcas tanto Netpoint como ALGcom han superado las expectativas del enlace planteado.

Gracias al gran ancho de banda conseguido se ha podido experimentar con el balanceo de carga. El método aplicado en el presente proyecto es el de tipo PCC (Per Connection Classifier), que se encarga de distribuir la carga en base al residuo entre un hash asignado a cada conexión y un dividendo asignado por el administrador según el número de líneas de salida a internet disponibles. En nuestro caso, son dos líneas disponibles y la relación para la distribución de la carga se ha determinado como 1 a 1; es decir, de cada dos conexiones que lleguen al router de administración, una será enrutada por el enlace óptico y una por el enlace inalámbrico. Como se observa en los resultados en la **Figura 51**, **Figura 52**, **Figura 53**, **Figura 54**, **Figura 55** y **Figura 56**, RouterOS nos brinda la facilidad de poder visualizar el registro del tráfico de cada interfaz de forma diaria, semanal, mensual y anual, nuestro estudio contempla únicamente hasta la gráfica mensual, debido a que la puesta en marcha es reciente y aún no se ha generado la información suficiente como para obtener un diagnóstico de comportamiento anual.

Las imágenes de los registros históricos nos ayudan a validar el proceso del balanceo de carga; las dos interfaces virtuales dedicadas para esto son la VLAN102-WAN_PR y la VLAN1102-WAN_BK. Como se observa en el registro, en promedio pasan un rango de entre 60 a 75 Mbps de descarga en el caso de la VLAN1102 y de entre 70 a 80 Mbps en el caso de la VLAN102. De la misma forma en el caso de los picos máximos registrados en las interfaces se verifica un rango de entre 110 a 300 Mbps en la VLAN1102 y de entre 160 a 280 Mbps en la VLAN102. Los picos mínimos de transmisión se ven en rangos de entre 90 a 100 Mbps en la VLAN1102 y de entre 90 a 110 Mbps en la VLAN102. Las variaciones que se verifican se dan debido a la aleatoriedad de las conexiones de descarga y sobre todo debido a que el balanceo PCC no distribuye el tráfico de forma equitativa al 100% sin embargo es bastante cercano.

El tráfico de carga de datos por su parte se comporta de forma parecida lo que indica que el balanceo se realiza tanto en carga como en descarga de datos. El dato promedio observado está en un rango de entre 4 a 6 Mbps en el caso de la VLAN1102 y de entre 5 a 7 Mbps en el caso de la VLAN102. De la misma forma en el caso de los picos máximos registrados en las interfaces se verifica un rango de entre 17 a 31 Mbps en la VLAN1102 y de entre 28 a 31 Mbps en la VLAN102. Los picos mínimos de transmisión se ven en rangos de entre 8 a 24 Mbps en la VLAN1102 y de entre 7 a 17 Mbps en la VLAN102.

Cabe recalcar que de manera imprevista se pudo validar el funcionamiento de este enlace en su modo de backup o respaldo, debido a que en la semana del 2 al 9 de febrero del presente año se tuvo un evento de caída del enlace óptico que se solventó de forma sobresaliente, en la que estuvo funcionando como enlace principal, esto se puede visualizar de forma directa en la **Figura 55** y la **Figura 56** que corresponden al registro mensual del tráfico cursado por las VLANs del enlace de respaldo y principal respectivamente, en las que es evidente que hay una sección de registro en el que en el caso de la VLAN1102-WAN_BK se tiene niveles altos de tráfico, llegando a picos de hasta 300 Mbps registrados; mientras que, en el caso de la VLAN102-WAN_PR, el registro está vacío, sin información.

Esto se ha logrado mediante una alineación adecuada de las antenas y por lo tanto unos niveles de potencia muy buenos; en el caso del enlace entre Chivato y Yacuambi, se tiene una potencia de -43 dBm con un margen de ± 2 dB y en el caso del enlace entre Guadalupe y Chivato, una potencia de -63 dBm con un margen de ± 3 dBm debido a la presencia de vegetación que dificulta la línea de vista en el cerro Chivato.

Los resultados obtenidos de la implementación se contrastan con los que se han obtenido en los cálculos de presupuesto de enlace y en las simulaciones; en el caso de los cálculos para el enlace entre Chivato y Yacuambi, la potencia esperada es de -39 dBm; mientras que, en la simulación en el software de Radio Mobile la potencia esperada es de -47 dBm; en la práctica como ya se mencionó la potencia en recepción es de -43 dBm lo que nos deja un margen de ± 4 dB entre lo obtenido en la implementación y lo obtenido analíticamente. En el caso del enlace entre Guadalupe y Chivato se presenta un escenario distinto, la vegetación presente en la línea de vista hace que se tenga más atenuación de la señal, por lo que en el cálculo esperado de potencia se tiene un valor de -51 dBm; mientras que, en la simulación, el nivel de potencia esperado está en -54 dBm; sin embargo, por la presencia de estos obstáculos la potencia obtenida en la implementación como se mencionó anteriormente fue de -63 dBm, lo que nos da un margen de alrededor de ± 11 dB entre lo que se ha obtenido de manera analítica y lo obtenido en la implementación.

Los niveles de SNR y PER son importantes en la transmisión de información, de ello depende que un enlace inalámbrico sea confiable o no. En el caso de ambos enlaces implementados en la ejecución de este proyecto cuentan con buenos niveles de SNR; el enlace entre Chivato y Yacuambi tiene un SNR sobre los 43 dB lo que implica a una relación señal a

ruido extremadamente alta, sobre los requerimientos para la transmisión a 256-QAM. En el enlace entre Guadalupe y Chivato debido a la distancia y al nivel de señal en recepción se tiene un SNR sobre los 23 dB por lo que en el caso de este enlace se transmite únicamente a 64-QAM, por lo cual el ancho de banda máximo en todo el enlace se limita a la capacidad obtenida en este enlace. El PER por su parte, en ambos enlaces está bajo el límite de 1% que indica una buena capacidad de transmisión, un nivel crítico de este parámetro se da cuando sobrepasa el 2%; de presentarse el caso, se da la pérdida de paquetes en el enlace y sabiendo que es un enlace que maneja la mitad del tráfico de todos los usuarios de REDY en el cantón Yacuambi, la pérdida de información se deriva en lentitud del servicio.

La contribución de este proyecto además de solventar la problemática planteada es hacer un análisis de rendimiento de un sistema de 2 enlaces inalámbricos, validar su funcionamiento óptimo y las variables medibles dentro de un radioenlace. Conocer el rendimiento de diferentes marcas de antenas y aplicar un método de balanceo de carga al enlace principal que brinda el servicio de internet a los usuarios de REDY en el cantón Yacuambi. Otro punto importante a tener en cuenta, es la contribución a la información al proveer de una fuente real de resultados obtenidos con la implementación del presente proyecto para posibles implementaciones futuras.

8. Conclusiones

La saturación de espectro en el cerro Chivato es mínima; los servicios de telecomunicaciones operantes en el sitio son en su mayoría en el rango de frecuencias VHF y UHF, mientras que el rango de operación de 802.11ac se sitúa en las frecuencias SHF y la presencia de señales transmitiendo en este rango del espectro no es significativa como para generar inconvenientes.

Como en la mayoría de los países del mundo, las regulaciones de nuestro país se basan en las disposiciones de la ITU, lo que implica tener regulaciones de espectro parecidas a las de la mayoría de los países de Latinoamérica y Estados Unidos. Las regulaciones más importantes en temas inalámbricos de Ecuador, se encuentran en el Plan Nacional de Frecuencias y en la Norma Técnica de Espectro de Uso Libre y de Espectro para Uso Determinado en Bandas Libres, ambos documentos expedidos por la ARCOTEL.

La compatibilidad entre los productos Mimosa, ALGcom y Netpoint es garantizada, ofrecen un gran rendimiento frente a interferencias y estabilidad en los enlaces inalámbricos a largas distancias. La interfaz de Mimosa es intuitiva y de fácil acceso, nos brinda información valiosa del estado del enlace en tiempo real, además que pone a disposición su plataforma en la nube desde la que se puede gestionar todos los equipos asociados a una red y a su vez gestionar todas las redes asociadas a un mismo administrador.

Un radioenlace está compuesto por un conjunto de variables que dependen una de la otra para su rendimiento óptimo. El nivel de potencia en recepción influye en la capacidad de codificación y esta a su vez influye en la capacidad máxima de ancho de banda permisible; tener un buen nivel de potencia también implica una latencia mínima, una disponibilidad sobresaliente del enlace, un SNR capaz de permitir los mayores niveles de comunicación aprovechando toda la potencia del equipo transmisor. El trabajo más difícil al implementar un radioenlace de tipo PTP es el proceso de alineación para lograr un buen nivel de potencia en recepción.

El estándar 802.11ac, también llamado Gigabit WiFi ofrece grandes posibilidades de transmisión sin ocupar equipos costosos para la implementación de soluciones inalámbricas. Con su pico de transferencia nominal en 1.7 Gbps brinda un rango bastante amplio de ancho de banda sobre el que se puede trabajar en redes de bajo consumo, como se menciona en una de

las secciones anteriores el punto fuerte se encuentra en definir las antenas adecuadas para el tipo de escenario en que se implementará el enlace de modo que se pueda tener un rendimiento mayor al esperado.

La posibilidad que brinda 802.11ac de trabajar con canales MIMO y anchos de canal de hasta 160 MHz aumenta la expectativa de transmisión debido a que al combinar más de un canal sumado a un ancho de canal amplio se logra un mayor ancho de banda. En el caso particular del presente proyecto se usa un canal de 80 MHz y MIMO 2x2 con lo que se obtuvo resultados que superaron la expectativa, sin embargo para trabajar con canales más amplios se debe considerar la influencia de la interferencia presente en el ambiente, de otro modo se podría llegar a tener dificultades en la transmisión de la información.

El balanceo de carga PCC no es un algoritmo de balanceo de carga equitativo en la asignación de las conexiones a las líneas de salida a internet definidas, se basa en el residuo entre un hash y un dividendo determinado por el administrador según el número de salidas a internet; sin embargo, es el que mejor trabaja frente a los demás métodos. En el caso del presente proyecto ha trabajado de mejor manera en el balanceo 1 a 1; 50% de la carga a través del enlace óptico y 50% a través del enlace inalámbrico tanto en descarga como en carga de información.

El software de RouterOS nos ofrece un sinnúmero de herramientas de gestión de nuestras redes, una de ellas es la posibilidad de poder guardar un registro del tráfico cursado por cada una de las interfaces del equipo físico en cuestión, esto incluye a las interfaces virtuales adjuntas a cada interfaz física, por lo cual, se puede monitorear de manera directa las VLAN definidas en la implementación presente proyecto, lo que nos permite validar el balanceo que se ha realizado entre el enlace inalámbrico y el enlace óptico.

En líneas generales se ha podido cumplir con cada uno de los objetivos planteados para el efecto de este proyecto y sobre todo se ha solventado la problemática de la falta de disponibilidad del servicio de internet en las parroquias del cantón Yacuambi: 28 de Mayo y Tutupali.

9. Recomendaciones

Luego de haber culminado tanto el proceso de indagación y redacción como el de implementación y evaluación del presente proyecto, es propicio tener en cuenta las siguientes recomendaciones para posibles implementaciones a futuro, de modo que se genere un espacio de experiencia en base a lo aprendido en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

- Una de las primeras consideraciones a tomar en cuenta es el manejo de los softwares involucrados en el proceso de implementación de un proyecto, debemos tener conocimientos mínimos en el caso de redes de datos para poder realizar las configuraciones necesarias sin causar problemas dentro de una red en producción.
- También debemos considerar la investigación previa de los equipos que se van a ocupar, sus características técnicas, si hay casos de uso que validen su rendimiento para evitar tener implicaciones que van desde un excesivo gasto económico hasta redes poco competentes ante la demanda de carga.
- La revisión bibliográfica es una parte importante del proceso y entender cómo funcionan los estándares es fundamental para poderlos aplicar en los procesos de campo.
- En la implementación propiamente de este tipo de proyectos en muchas ocasiones se trabaja con el tiempo, por lo cual es recomendable tener una hoja de ruta clara, con una correcta planificación.
- Si los lugares de implementación son de difícil acceso es de vital importancia llevar planes de respaldo ante posibles fallas o imprevistos, considerar que cualquier sistema puede fallar y si estamos a kilómetros de un centro poblado para poder adquirir algún equipo o herramienta implicaría más tiempo y egreso económico para el proyecto.
- Considerar las herramientas necesarias y el personal necesario procurando la eficiencia en todo sentido.
- Se recomienda también realizar revisiones previas a los equipos a utilizar para descartar fallas de fábrica, en el caso de este proyecto uno de los radios Mimosa C5x llegó defectuoso de fábrica y por no reportarlo a tiempo se tuvo que adquirir uno nuevo sin derecho a garantía.

- También es necesario realizar una prueba de laboratorio con los equipos reales que estarán en producción para descubrir y analizar posibles fallas para aprender a corregir los errores que pudieran presentarse una vez en producción.
- La correcta alineación de un radioenlace es muy importante, como se ha visto, de esto depende el máximo rendimiento de los equipos involucrados, existen herramientas como medidores de potencia, brújulas, el mismo software de los equipos entre otros, que nos pueden facilitar la alineación correcta de nuestros enlaces, sobre todo cuando no se tiene línea de vista.
- El pochado de cables de red es otro punto débil de los enlaces y, en la implementación del presente proyecto ha resultado ser uno de los principales problemas que han estado presentes, esto debido a que para un enlace que tendrá que soportar un gran ancho de banda necesitamos en primer lugar cables y conectores categoría 6 y el patcheo también debe ser de categoría 6, es decir; sin detalles para evitar fallas en la negociación de las interfaces de los equipos transmisores que podrían repercutir en el bajo rendimiento de nuestros enlaces.
- En la solución de problemas cuando los enlaces ya están en producción, en base a la experiencia adquirida, siempre se recomienda aplicar las técnicas de análisis de red básicas como el ping o el traceroute y con ese resultado, escalar a la validación de respuesta de las interfaces gráficas de los equipos en la red para de este modo procurar el orden y eficiencia en la detección de inconvenientes.
- En cuanto a la configuración de los tipos de balanceo a realizar es recomendable primeramente analizar los requerimientos de la red, porque dependiendo de eso, se puede aplicar un método u otro, en este caso por la experimentación y la obtención de información se optó por el balanceo PCC, sin embargo se tiene métodos aplicables como ECMP, NTH, Round Robbin, entre otros disponibles sobre todo en MikroTik, que distribuyen la carga lo más equitativo posible.
- Se recomienda también realizar un análisis económico previo, para validar la relación costo/beneficio que se tendrá luego de la implementación de este tipo de proyectos de modo que se ocupen equipos y toda la planificación vaya acorde a las necesidades.

10. Bibliografía

- Abril, L. (19 de 01 de 2023). *Líderes*. Ecuador se prepara para enfrentar la digitalización en 2023: <https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-preparado-enfrentar-digitalizacion-informe.html#:~:text=Ecuador%20se%20prepara%20para%20enfrentar%20la%20digitalizaci%C3%B3n%20en%202023%20%7C%20Revista%20L%C3%ADderes&text=De%202019%20a%202022%20hubo,76%25%20>
- ALGcom. (29 de 03 de 2022). *Youtube*. ALGcom and Mimosa Webinar - Cases de Sucesso: https://www.youtube.com/watch?v=4VMX_Jm0ntQ
- Alvarez, D. (01 de 01 de 2023). *Netpoint*. Conocimiento: <https://www.netpointmexico.com/conocimiento-basicos-de-rf>
- Anguera, J., y Pérez, A. (2008). *TEORÍA DE ANTENAS*. Barcelona: Universidad Ramon Llull.
- ARCOTEL. (13 de 06 de 2017). *ARCOTEL*. Resolucion ARCOTEL-2017-0482: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/06/Resolucion-0482-ARCOTEL-2017.pdf>
- ARCOTEL. (04 de 2018). *NORMA TÉCNICA DE ESPECTRO DE USO LIBRE Y DE ESPECTRO PARA USO DETERMINADO EN BANDAS LIBRES*. Arcotel.gob.ec: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/NORMA-ESPECTRO-DE-USO-LIBRE-Y-ESPECTRO-PARA-USO-DETERMINADO-EN-BANDAS-LIBRES.pdf>
- ARCOTEL. (10 de 02 de 2021). *ARCOTEL*. Resolucion ARCOTEL-2021-239: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Resolucion-ARCOTEL-2021-0239.pdf>
- ARCOTEL. (03 de 2021). *ARCOTEL*. Registros administrativos ARCOTEL: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/1.2-Radiobases-por-operador-y-tecnologia-nivel-provincial_mar-2021.xlsx
- ARCOTEL. (06 de 2021). *PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS*. Arcotel.gob.ec: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0_14-07-21_v.1.pdf

- ARCOTEL. (22 de 12 de 2022). *ARCOTEL. RADIODIFUSIÓN SONORA Y TELEVISIÓN ABIERTA*: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/8.1.3.-Listado_RTV-Noviembre-2022.xls
- AxessNetworks. (27 de 02 de 2023). *AxessNetworks*. El balanceo de carga de red: <https://axessnet.com/el-balanceo-de-carga-de-red/>
- Bautista, E. (26 de 09 de 2005). *Catarina*. Propagación de Ondas Electromagnéticas: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo1.pdf
- Boto, M. S. (01 de 02 de 2022). *Upcommons.upc.edu*. Análisis y diseño de un radioenlace entre dos estaciones base con simulador de enlaces radio.: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/362589/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buettrich, S., Escudero Pascual, A., y Rodríguez, E. (09 de 04 de 2008). *Analfabeticos*. Cálculo de Radioenlace: <https://analfatecnicos.net/archivos/24.CalculoDeRadioenlace.pdf>
- Camara, M. (04 de 05 de 2023). *Fibraopticahoy*. Tendencias en la expansión creciente de las redes de fibra óptica: <https://www.fibraopticahoy.com/tendencias-en-la-expansion-creciente-de-las-redes-de-fibra-optica/>
- Cardama Aznar, Á., Roca, L. J., Rius Casals, J. M., Romeu Robert, J., Blanch Boris, S., y Bataller, M. F. (2002). *Antenas*. Barcelona: EDICIONS UPC.
- Cisco. (2018). The Fifth Generation of Wi-F. *Technical White Paper*, 1-20.
- Cordero Aguilar, A. E. (1 de 02 de 2024). *Tecnosinergia*. ¿Para qué sirve el analizador de espectro de Mimososa?: <https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/22072614796443--Para-qu%C3%A9-sirve-el-analizador-de-espectro-de-Mimososa>
- Cuadrado Tucker, L. P. (14 de 07 de 2023). *Abc Experts*. Importancia de la Zona de Fresnel en la implementación de enlaces inalámbricos: <https://abcxperts.com/importancia-de-la-zona-de-fresnel-en-la-implementacion-de-enlaces-inalambricos/>
- Duche Zabala, E., y Miñán Manrique, W. (12 de 2013). *Dspace.ups.edu.ec*. Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de telecomunicaciones

de Movistar.: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5724/1/UPS-GT000517.pdf>

Fibremex. (07 de 05 de 2021). *Fibremex*. Cosas que afectan el desempeño de la fibra óptica: <https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=43#:~:text=Pueden%20ocurrir%20p%C3%A9rdidas%20por%20la,los%20conectores%20antes%20de%20acoplarlos>.

Galeano, S. (26 de 01 de 2023). *Marketing4ecommerce*. El número de usuarios de internet en el mundo crece un 1,9% y alcanza los 5.160 millones (2023): <https://marketing4ecommerce.net/usuarios-de-internet-mundo/>

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Yacuambi. (2019). *GAD Yacuambi*. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Yacuambi 2019-2023: <https://normas-apa.org/citas/como-citar-un-trabajo-de-un-grupo-o-universidad/>

GoogleCloud. (2024). *GoogleCloud*. Balanceo de carga de red en Google Cloud: <https://cloud.google.com/use-cases/load-balancing?hl=es>

Hong, J. (6 de 12 de 2016). *Mimosa Blog*. Link Availability: <https://mimosa.co/blog/link-availability>

Huidobro, J. M. (2013). *Antenas de telecomunicaciones*. Cloufront: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39081826/020001-libre.pdf?1444454645=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dantenas.pdf&Expires=1700714665&Signature=Bx87zFalzSDyKpCAxp0O~fS-GPHzocYZTWrHnyJfQmkd6zWkNuSWfMEK6vzQ9afBwX0jdTeBvjQICQqY4gHhR6pE>

Intel. (2023a). *Intel*. ¿Qué es Wi-Fi 6?: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/gaming/resources/wifi-6.html>

Intel. (2023b). *Intel*. ¿Qué es Wi-Fi 7?: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/wi-fi-7.html>

- Ionos. (11 de 09 de 2023). *Ionos*. Balanceo de carga (Load Balancer): <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/balanceo-de-carga-conoce-a-fondo-sus-ventajas/>
- Iparraguirre Moreno, T. A. (2019). *Repositorio.uladech.edu.pe*. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE DATOS Y BALANCEO DE CARGA EN LA UNIDAD DE GESTIÓN EDUCATIVA LOCAL UGEL – CAJABAMBA; 2019.: https://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13032/12099/RED_SEGURIDAD_IPARRAGUIRRE_MORENO_TONY_ALBERTO.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- JuniperNetworks. (14 de 12 de 2015). *JuniperNetworks*. How to configure ECMP load balancing for EBGP traffic when the neighbors are in different autonomous systems: https://supportportal.juniper.net/s/article/SRX-How-to-configure-ECMP-load-balancing-for-EBGP-traffic-when-the-neighbors-are-in-different-autonomous-systems?language=en_US
- López, D. G. (05 de 2018). *Repositorio.uta.edu.ec*. EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11AC CON TECNOLOGÍA MU-MIMO EN COMPARACIÓN AL ESTÁNDAR DE FIBRA ÓPTICA EN REDES DE TRANSPORTE DE DATOS: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28008/1/Tesis_%20t1399ec.pdf
- Majumdar, A. K. (2019). *Science Direct*. Comunicación Óptica de Espacio Libre: <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/free-space-optical-communication>
- MimosaFirmware. (2024). *MimosaFirmware by Airspan*.
- Mundo Teleco. (10 de 04 de 2014). *Mundo Teleco*. Zona de Fresnel: <https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>
- NetPoint Antennas. (28 de 05 de 2021). *Youtube*. Los mejores casos de éxito con Mimosa y NetPoint | Mimosa C5C - B5C: <https://www.youtube.com/watch?v=qsJJTgkHD50&t=2759s>

- Novelec. (09 de 05 de 2024). *Novelec*. El futuro de las telecomunicaciones:
https://blog.gruponovelec.com/blog/el-futuro-de-las-telecomunicaciones/#La_llegada_del_6G_es_el_futuro_de_las_telecomunicaciones
- Paccha Tamay, E. A., y Ramón Armijos, W. O. (06 de 2009). *Dspace.unl.edu.ec*. ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CABECERA CANTONAL:
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16310/1/Paccha%20Tamay%2C%20Edu%20Alberto%2C%20Ram%C3%B3n%20Armijos%2C%20Wilmer%20Oswaldo.pdf>
- Quevedo, F. B. (09 de 12 de 2019). *MikroTik*. PCC y Balanceo de Carga en Mikrotik RouterOS:
https://mum.mikrotik.com/presentations/BO19/presentation_7109_1576153633.pdf
- Registro Oficial. (18 de 02 de 2015). *Telecomunicaciones.gob.ec*. LEY ORGÁNICA DE TELECOMUNICACIONES:
<https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- Registro Oficial. (25 de 01 de 2016). *Registro Oficial*. REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ORGANICA DE TELECOMUNICACIONES:
<https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/Reglamento-General-a-la-Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- Registro Oficial. (25 de 01 de 2021). *Defensa.gob.ec*. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR:
https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Rodas Ojeda, P. E., y Zumba Pérez, P. X. (04 de 2016). *Dspace Ups*. PROPUESTA VALORADA Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIONES INALÁMBRICA COMUNITARIA PARA LA PARROQUIA SAN RAFAEL DE SHARUG DEL CANTÓN PUCARÁ, PROVINCIA DEL AZUAY.:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12226/1/UPS-CT006289.pdf>

- Rodriguez, A. (26 de 05 de 2023). *Fibraopticahoy*. ¿Cuáles son los problemas de fibra óptica más comunes?: <https://www.fibraopticahoy.com/cuales-son-los-problemas-de-fibra-optica-mas-comunes/#:~:text=Los%20defectos%20de%20los%20extremos,causar%20importantes%20p%C3%A9rdidas%20de%20inserci%C3%B3n>.
- Román Maseres, C. (09 de 2021). *Repositorio UPCT*. Análisis de las pérdidas por propagación en la banda de 3.5 GHz en una plantación de cítricos a partir de medidas experimentales.: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10089/tfg-romana.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Las%20p%C3%A9rdidas%20en%20espacio%20libre,recibida%20por%20la%20antena%20receptora>.
- Viera Santana, J. G. (19 de 04 de 2005). *Ulpgc*. RADIOENLACES: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29328/apuntesderadioenlaces.pdf>
- Wacker, H. (09 de 06 de 2000). *ComputerWorld*. ¿Qué es el balanceo de carga?: <https://www.computerworld.es/tendencias/que-es-el-balanceo-de-carga>

11. Anexos

Anexo 1. Solicitud de cooperación con NODO CIA. LTDA.

Loja, 23 de noviembre de 2023

Ing. Jorge Antonio Barba Guamán

CEO DE NODO CIA. LTDA.

Ciudad. –

Yo **Edison Geovanny Cabrera Cabrera**, portador del documento de identidad Nro.: **1950053262**, mediante el presente me permito solicitarle de la manera más comedida la cooperación para el desarrollo de mi proyecto de titulación que versa: **Diseño e implementación de un radioenlace de redundancia para la empresa NODO CIA. y su filial REDY, utilizando el estándar 802.11ac, basado en la factibilidad mediante un estudio técnico de frecuencias en el cerro chivato perteneciente al cantón Yacuambi.** Con el fin de permitirme desarrollar dicho proyecto como recurso para la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones en la Universidad Nacional de Loja, además de brindar una alta disponibilidad a la red de internet que se encuentra distribuida en las parroquias 28 de Mayo y Tutupali, del cantón Yacuambi, bajo la denominación de **REDY**.

Se adjuntan los archivos:

- Anteproyecto aprobado
- Documento de pertinencia

Ambos archivos son archivos aprobados por la dirección de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

Seguro de contar con su respuesta positiva, le antelo mi agradecimiento.

Att:

Edison Geovanny Cabrera Cabrera
CI: 1950053262
Telf.: 0996553948
Email: edison.cabrera@unl.edu.ec



The Industry's Most Versatile, Modular Radio

Mimosa's integrated C5x radio and modular N5-X antennas provide the ultimate flexibility for PTP and PTMP extended frequency operation.

4.9–6.4 GHz

Key Features

- Four Twist-On, Flexible Antenna Options
- PTP or PTMP Modes (feature key may be required)
- Extended Frequency 4.9–6.4 GHz
- Best-in-Class Noise Immunity
- Ultra Rugged
- Low-Power Consumption
- Ultra Reliable



Technical Specifications

Performance

- **Max Throughput:**
PTP: 700 Mbps IP (866 PHY)
(requires PTP feature key)
PTMP: 500 Mbps IP (866 PHY)
(requires PTMP speed feature key to go faster than 100BASE-T)
- **Wireless Protocols:** Mimosa SRS; WiFi Interop
- **Modes:** PTP Backhaul (requires feature key); PTMP Client

Radio

- **MIMO and Modulation:** 2x2:2 MIMO OFDM, up to 256 QAM
- **Bandwidth:** 20/40/80 MHz channels, tunable to 5 MHz increments for Mimosa SRS and WiFi Interop mode
- **Frequency Range:** PTP/PTMP: 4900–6400 MHz (restricted by country of operation)
- **Max Output Power:** 27 dBm
- **Sensitivity (MCS0):**
-87 dBm @ 80 MHz
-90 dBm @ 40 MHz
-93 dBm @ 20 MHz

- **Smart Spectrum Management:** Active scan monitors/logs ongoing RF interference across channels with no service impact; Dynamic auto-optimization of channel and bandwidth use
- **Security:** WPA2 PSK and Enterprise 802.1x, Radius provisioning, COA, DM (from A5); 128-bit AES with hardware acceleration
- **VLANs:** Per subscriber, VLAN, Q-in-Q, triple tagging, management VLAN
- **QoS:** Supports 4 pre-configured QoS levels

Regulatory and Compliance

- **Approvals:** FCC Part 15.405 and Part 90Y CE/ETSI
- **EMI/Safety:**
FCC Part 15 Class B
EN 55022 Class B
IEC61000
UL/IEC 60950-2
IEC/EN 60905-1
- **WEEE/ROHS Compliance:** Yes

Power

- **Max Power Consumption:** 9.2 W average; 12.9 W max
- **System Power Method:** Passive POE (24-56 VDC)
- **PoE Power Supply:** Passive POE compliant, 24-56 V Power over Ethernet supply (not included)

Physical

- **Dimensions:**
 - Height: 175 mm (6.89")
 - Width: 70 mm (2.75")
 - Depth: 61 mm (2.40")
- **Weight:** 0.37 kg (0.82 lbs)
- **RF Connector Type:** Mimoso N5-X twist-on
- **Enclosure Characteristics:** Outdoor, die-cast aluminum, UV stabilized paint
- **Mounting:** Dual attached pole mount straps
- **Grounding:** Ground lug
- **Wind Survivability:** 200 km/h (125 mph)

Environmental

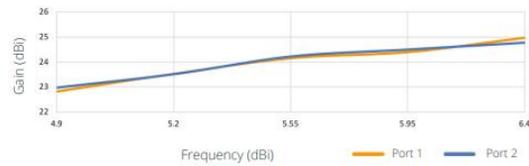
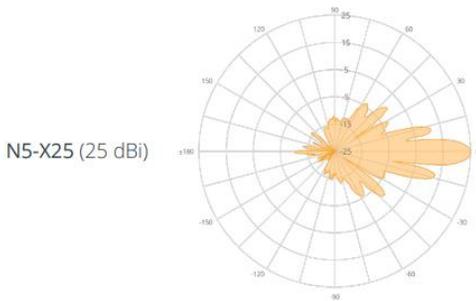
- **Outdoor Ingress Protection Rating:** IP55
- **Operating Temperature:** -40°C to +55°C (-40°F to 131°F)
- **Operating Humidity:** 5 to 100% condensing
- **Operating Altitude:** 4,420 m (14,500') max
- **Shock & Vibration:** ETS 300-019-2-4 class 4M5

Features

- **Gigabit Ethernet:** 10/100/1000-Base-T
- **Management Services:** Mimoso cloud monitoring and management; SNMPv2 & Syslog monitoring; HTTPS; HTML5-based web UI



C5x with No Antenna



Anexo 3. Datasheet Mimosa C5c.

Technical Specifications

Performance

- **Max Throughput:**
500+ Mbps IP (866 Mbps PHY)
- **Wireless Protocols:**
WiFi Interop
Mimosa GPS Sync (TDMA)**
- **Modes:**
Client Mode only

Radio

- **MIMO & Modulation:**
2x2:2 MIMO OFDM up to 256-QAM
- **Bandwidth*:**
20/40/80 MHz channels tunable to 5 MHz increments for GPS Sync;
Tunable to standard WiFi channels for WiFi Interop
- **Frequency Range:**
4900 - 6200 MHz restricted by country of operation ('new' US/FCC 5600-5650 support)
- **Max Output Power:**
20 dBm
- **Sensitivity (MCS 0):**
-87 dBm @ 80 MHz
-90 dBm @ 40 MHz
-93 dBm @ 20 MHz

Power

- **Max Power Consumption:**
15W
- **System Power Method:**
Passive PoE
- **PoE Power Supply:**
Passive PoE compliant, 48-56 V Power over Ethernet supply (sold separately)

Physical

- **Dimensions:**
Depth - 26.5 mm (1.04")
Width - 65 mm (2.56")
Height - 177 mm (6.97")
- **Weight:**
278 grams (9.80oz)
- **Mounting:**
Single pole strap
- **Connector Type:**
RP-SMA (x2)

Environmental

- **Operating Temperature:**
-40°C to +55°C (-40°F to 131°F)
- **Operating Humidity:**
5 to 100% condensing
- **Operating Altitude:**
4,420 m (14,500') maximum
- **Shock & Vibration:**
ETS 300-019-2-4 class 4M5

Features

- **Gigabit Ethernet:**
10/100/1000-BASE-T
- **Multi-User MIMO**:**
CPE is MU-MIMO capable
- **Management Services:**
Mimosa cloud monitoring and management SNMPv2 & Syslog legacy monitoring HTTPS HTML 5 based Web UI
- **Smart Spectrum Management:**
Active scan monitors/logs ongoing RF interference across channels (no service impact)
Dynamic auto-optimization of channel and bandwidth use
- **Security:**
WPA2 + Mimosa 802.1x Client
- **QoS:**
Supports 4 pre-configured QoS levels

Regulatory + Compliance

- **Approvals:**
FCC Part 15.407 and Part 90Y, IC RSS210, CE, ETSI 301 893/302 502
- **RoHS Compliance:** Yes
- **Safety:** UL/EC/EN/ 60950-1 + CSA-22.2

* 4.9 GHz uses 20 MHz channel widths (US only, regulations vary by region)

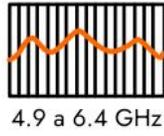
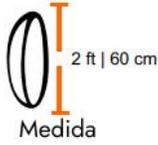
** Enabled in future software release



C5c on Pole

Anexo 4. Datasheet Netpoint NP1GEN2.

Antena de Alta Ganancia NP1GEN2



Antena abierta para enlace de hasta 30 km

Ficha técnica

NP1GEN2

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

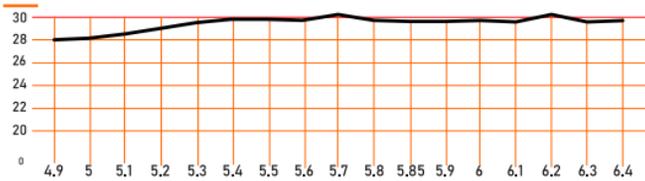
Tipo de antena	Antena parabólica abierta
Frecuencia	4.9 - 6.4 GHz
Tipo de Conector	Hembra N
Ganancia (dBi)	Baja 28 - Media 29 - Alta 30
VSWR HPOL	<1.5
Ancho de Haz VPOL	6.0°
Ancho de Haz HPOL	6.2°
Perdida de retorno	11
ISO (dB)	30
Radius F/B (dB)	38
Polarización	Dual

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

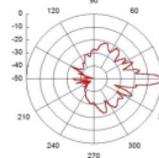
Resistencia al viento (k/h)	200
Ajuste de azimuth (°)	360
Ajuste de elevación (°)	+ - 15
Mástil compatible (mm)	50 - 70, 100 - 114
Temperatura de operación (C °)	De -45 to + 60
Peso bruto (Kg)	6.5
Peso Neto (Kg)	5.5

Incluye Jumper N a RPSMA

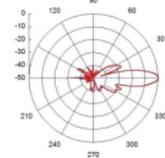
GRÁFICA DE GANANCIA (dBi)



Vertical



Horizontal



Anexo 5. Datasheet AlgCom UPH-5800-60-30 DP.

UHP-5800-30-06-DP
 UHP-5800-32-09-DP
 UHP-5800-35-12-DP

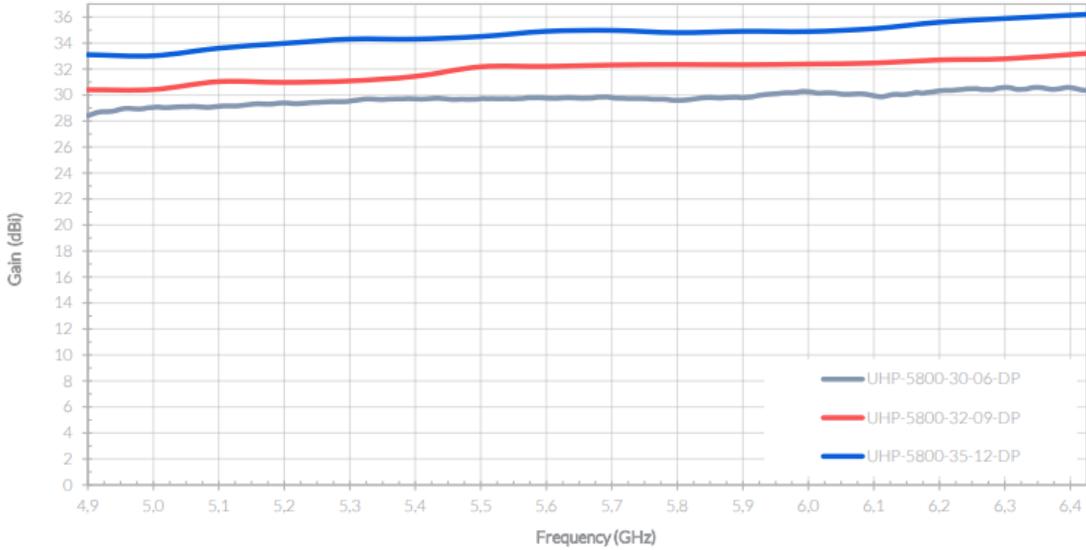


CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

ELECTRICAL SPECIFICATIONS/CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

UHP-5800-XX-XX-DP	30-06	32-09	35-12
Frequência de operação <i>Frequency range/Rango de frecuencia</i>	4.9 – 6.425 GHz		
Diâmetro <i>Diameter/Diámetro</i>	0.6 m	0.9 m	1.2 m
Ganho Banda Alta <i>Gain High Band/Ganancia banda alta</i>	30.5 dBi	33.2 dBi	36.0 dBi
Ganho Banda Média <i>Gain Mid band/ Ganancia Banda media</i>	29.5 dBi	32.5 dBi	34.8 dBi
Ganho Banda Baixa <i>Gain Low band/ Ganancia Banda baja</i>	28.5 dBi	30.0 dBi	33.1 dBi
Ângulo de meia potência <i>Beamwidth/Ángulo de media potencia</i>	5.8°	3.1°	2.4°
Relação frente-costas (165° - 180°) <i>Front-to-back ratio/Relación frente-dorso</i>	>50 dB	>55 dB	>57 dB
Isolação por polarização cruzada <i>XPD/Aislamiento por polarización cruzada</i>	>30 dB	>30 dB	>30 dB
Polarização <i>Polarization/Polarización</i>	Dupla (V e H ou +/- 45°) Double (V and H or +/- 45°) Doble (V y H o +/- 45°)		
Conexão <i>Antenna input/Conexión</i>	Mimosa c5x		

CURVA DE GANHO
GAIN OVER FREQUENCY/ GRÁFICA DE GANANCIA



Anexo 6. Datasheet del switch RB260GS.



RB260GS series

The RB260GS is a small SOHO switch. Two models are available, the RB260GS, and the RB260GSP, which features power output on it's ethernet ports. Ports 2-5 can power other PoE capable devices with the same voltage as applied to the unit.

Both devices have five Gigabit Ethernet ports and one SFP cage, switching is done by an Atheros Switch Chip.

The devices are running an operating system designed specifically for MikroTik Switch products - SwOS.

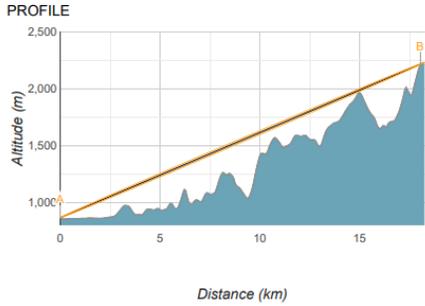
SwOS is configurable from your web browser. It gives you all the basic functionality for a managed switch, plus more: Allows to manage port-to-port forwarding, apply MAC filter, configure VLANs, mirror traffic, apply bandwidth limitation and even adjust some MAC and IP header fields.

Tested and recommended to use with MikroTik SFP modules: S-85DLC05D, S-31DLC20D and S-35/53LC20D (not included)

CPU	Taltech TF470
Memory	Embedded 96K SRAM
Ethernet	Five 10/100/1000 Ethernet ports, Atheros switch AR8327
PoE output	RB260GSP only, Passive PoE output on ports 2-5. Max current 1A per port
SFP	One fixed Gigabit Ethernet SFP cage with DDMI support (Mini-GBIC; SFP module not included)
Serial port	No serial port
LEDs	Power, NAND activity, 5 Ethernet activity LEDs
Extras	Hardware watchdog
Power options	PoE: 8-30V DC on Ether1 (Non 802.3af), Jack: 8-30V DC
Dimensions	113x138x29mm. Without packaging and PSU: 212g
Power consumption	Up to 6W
Operating Temperature	-25C . +65C
Operating System	MikroTik SwOS

Anexo 7. Enlace GUADALUPE-CHIVATO Mimosa Design Tool.

Installation Report



SNR

☁️ 36.36 dB
☀️ 37.15 dB



RSSI

☁️ -51.4 dBm
☀️ -50.6 dBm



PHY

☁️ 867 Mbps
☀️ 867 Mbps



AGGR IP

☁️ 693 Mbps
☀️ 693 Mbps



LINK TOPOGRAPHY



LINK SETTINGS

Channel Width	1 x 80 MHz
Center Frequency 1	5500 MHz
Power 1	22 dBm
Center Frequency 2	-
Power 2	-
Polarization	Horizontal
Ground Level Buffer	0 m
Target SNR	25 dB
Noise Figure	4.5 dB

LINK STATS

Line of Sight	Yes
Link Distance	18.25 km
Rain Reliability	99.9
Fresnel Obstruction	0 %
Noise Floor	-87.75 dBm
Rain Fade	0.80 dB
System Loss	0.00 dB
Free Space Path Loss	132.48 dB
Interference Loss	0.00 dB
Atmospheric Attenuation	0.12 dB

Site A

Site Name	AP_GUADALUPE-CHIVATO
Location	-3.841329/-78.890543
Address	5455+CQG Guadalupe Ecuador
Elevation	857m
Height	8m
Tilt	4.28 °
Heading	340.07 °

Site B

Site Name	STS_CHIVATO
Location	-3.687237/-78.946517
Address	8373+49 La Paz Ecuador
Elevation	2214m
Height	18m
Tilt	-4.28 °
Heading	160.08 °

Radio A



Radio Type	C5c
Radio Name	AP_GUADALUPE-CHIVATO RadioA
Noise Figure	4.5
Transmitter Power	+ 22 dBm
Mismatch/Cable Loss	0 dB
Antenna Gain	+ 30 dBi

Radio B



Radio Type	C5c
Radio Name	STS_CHIVATO RadioB
Noise Figure	4.5
Transmitter Power	+ 22 dBm
Mismatch/Cable Loss	0 dB
Antenna Gain	+ 30 dBi

Anexo 8. Enlace YACUAMBI-CHIVATO Mimosa Design Tool.



SNR

	38.15 dB
	38.55 dB

PHY

	400 Mbps
	400 Mbps

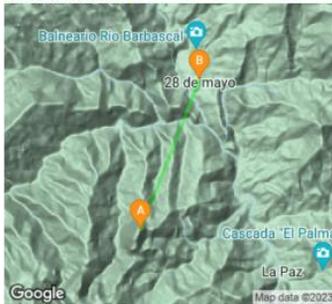
RSSI

	-53.62 dBm
	-53.22 dBm

AGGR IP

	320 Mbps
	320 Mbps

LINK TOPOGRAPHY



LINK SETTINGS

Channel Width	1 x 40 MHz
Center Frequency 1	5500 MHz
Power 1	20 dBm
Center Frequency 2	-
Power 2	-
Polarization	Both
Ground Level Buffer	0 m
Target SNR	25 dB
Noise Figure	3.5 dB

LINK STATS

Line of Sight	Yes
Link Distance	6.25 km
Rain Reliability	99.9
Fresnel Obstruction	0 %
Noise Floor	-91.76 dBm
Rain Fade	0.40 dB
System Loss	0.00 dB
Free Space Path Loss	123.18 dB
Interference Loss	0.00 dB
Atmospheric Attenuation	0.04 dB

Site A

Site Name	STS_CHIVATO
Location	-3.687237/-78.946517
Address	8373+49 La Paz Ecuador
Elevation	2214m
Height	18m
Tilt	-9.74 °
Heading	21.63 °

Site B

Site Name	AP_YACUAMBI-CHIVATO
Location	-3.635028/-78.925773
Address	937F+WPJ Via Tutupali 28 de mayo Ecuador
Elevation	1147m
Height	12m
Tilt	9.74 °
Heading	201.63 °

Anexo 9. Hoja de Ruta.

YACUAMBI

TÍTULO DEL PROYECTO	BACKUP YACUAMBI	NOMBRE DE LA EMPRESA	NODO CIA. LTDA.
DIRECCIÓN DEL PROYECTO	Tatiana Reyes	FECHA	8/2/2023
TECNICO RESPONSABLE DEL PROYECTO	Edison Cabrera		

DETALLES DEL PROYECTO							EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS		Presupuesto			
ESTADO	PRIORIDAD	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	UBICACIÓN	NOMBRE DE LA TAREA	PERSONA ASIGNADA	ENTREGABLES	ADQUIRIDO	POR ENVIAR A SITU	Equipos y materiales	Mano de Obra estimada	Mano de Obra real

0. COMPRA DE EQUIPOS Y MATERIALES - ACTIVIDADES PREVIAS

\$3.497.02 0 0

Completado	Alta	27/9/2023	31/10/2023	Loja	Compras	Tatiana Reyes	Compras de equipos y materiales para radioenlace	Envío de materiales		Radios, antenas, materiales de Elektros	\$3.337.02	
Completado	Alta	10/10/2023	11/10/2023	Yacuambi	Configuración es y pruebas	Edison Cabrera	Configuración de radios mimosa y pruebas de funcionamiento en laboratorio	Radios Mimosa configurados				

1. INICIO DE ACTIVIDADES- INSPECCIÓN TÉCNICA

Completado	Alta	18/6/2023	18/6/2023	Yacuambi Guadalupe	Inspección técnica	Edison Cabrera	Visita de revisión a los puntos seleccionados en Gadalupe y el cerro Chivato apra validar factibilidad	Puntos definidos y confirmación de arrendamiento de espacio			\$20.00	
Completado	Media	4/10/2023	4/10/2023	Guadalupe	Instalación de caja de equipos	Edison Cabrera	Instalación de caja de equipos y puesta en marcha del punto eléctrico	Registro fotográfico			\$20.00	
Completado	Media	4/10/2023	4/10/2023	Guadalupe	Instalación de torre tipo mástil en Guadalupe	Edison Cabrera	Instalación de torre tipo mástil en la vivienda del arrendatario en Guadalupe	Registro fotográfico			\$20.00	

2. RED INALÁMBRICA DE RESPALDO AVANCE 1

Completado	Alta	6/10/2023	6/10/2023	Guadalupe	Acometida de fibra óptica	FORED	Acometida de fibra óptica y activación de ONU bridge	Onu activada y registro fotográfico		Equipos de Fored		
Completado	Alta	6/11/2023	6/11/2023	Guadalupe	Instalación TX	Edison Cabrera	1. Instalación de la antena NP1GEN2 en la torre tipo mástil. 2. instalación y acoplamiento del radio Mimosa CSc. 3. Puesta en funcionamiento del AP. GUADALUPE-CHIVATO. 4. Alineación previa en base a la línea de vista.	Registro fotográfico			\$20.00	

3. RED INALÁMBRICA DE RESPALDO AVANCE 2

Completado	Alta	7/11/2023	7/11/2023	Yacuambi	Instalación TX	Edison Cabrera Jose Cabrera	1. Instalación de mástil tipo C en la torre de NODO.CIA. 2. Instalación de la antena ALGcom serie UPH en la torre tipo mástil. 3. Instalación y acoplamiento del radio Mimosa CSx. 4. Puesta en funcionamiento del AP. CHIVATO-YACUAMBI. 5. Alineación previa en base a la línea de vista.	Registro fotográfico				
------------	------	-----------	-----------	----------	----------------	-----------------------------	--	----------------------	--	--	--	--

4. RED INALÁMBRICA DE RESPALDO AVANCE 3

Completado	Alta	15/11/2023	16/11/2023	Yacuambi	Gestión de transporte	Edison Cabrera	Alquiler de acémilas para el transporte de equipos y materiales al cerro Chivato	Acémilas contratadas	\$60.00
Completado	Alta	17/11/2023	17/11/2023	Yacuambi	Instalación RX	Edison Cabrera Jose Cabrera	1. Instalación de caja de equipos y puesta en marcha del punto eléctrico. 2. Instalación de mástiles tipo C en la torre arrendada en el cerro. 3. Instalación de la antena ALGeom serie LPH en dirección a Yacuambi. 4. Instalación y acoplamiento del radio Mimosa C5x. 5. Puesta en funcionamiento del ST_CHIVATO-YACUAMBI. 6. Alineación del enlace. 7. Instalación de la antena NPIGEN2 en dirección a Guadalupe. 8. Instalación y acoplamiento del radio Mimosa C5c. 9. Puesta en funcionamiento del ST_GUADALUPE-CHIVATO. 10. Alineación previa en base a la línea de vista.	Registro fotográfico	

5. RED INALÁMBRICA DE RESPALDO AVANCE 4

Completado	Alta	25/11/2023	25/11/2023	Yacuambi Guadalupe	Alineación de enlace	Edison Cabrera Jose Cabrera	Alineación del enlace Guadalupe-Chivato	Nivel de potencia aceptable	\$20.00
------------	------	------------	------------	--------------------	----------------------	--	---	-----------------------------	---------

6. RED INALÁMBRICA DE RESPALDO AVANCE FINAL

Completado	Alta	1/12/2023	10/1/2024	Yacuambi	Configuración es	Edison Cabrera	Configuración final y puesta en marcha del enlace de respaldo y balanceo de carga.	Enlace y balanceo operativos	
------------	------	-----------	-----------	----------	------------------	-----------------------	--	------------------------------	--

7. INFORME Y DOCUMENTACIÓN

En curso	Alta	16/10/2023	29/2/2024	Yacuambi	Redacción de informe	Edison Cabrera	Redacción de la información y resultados obtenidos para la validación del trabajo de titulación	Informe final del trabajo de titulación	
----------	------	------------	-----------	----------	----------------------	-----------------------	---	---	--

Anexo 10. Certificación de traducción del Resumen.

Loja, 29 de Febrero, 2024

Yo, Mgtr. Marcela Angelita Ocampo Jaramillo, portadora de la cédula de identidad Nro. 1103125231, Coordinadora y Docente del Departamento de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad inglés, número de registro de SENESCYT 1031-07-755014,

CERTIFICO:

Que la traducción al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación, denominado "Diseño e implementación de un radioenlace de redundancia para la empresa NODO CIA., y su filial REDY, utilizando el estándar 802.11ac, basado en la factibilidad mediante un estudio técnico de frecuencias en el cerro chivato perteneciente al cantón Yacuambi", perteneciente al egresado Edison Geovanny Cabrera Cabrera, con Nro. de cédula 1950053262, corresponde al texto original en español.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que ella creyera conveniente.



Mgtr. Marcela Ocampo Jaramillo

Docente del Instituto de Idiomas de la UNL