



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIOENLACE PARA
EVALUAR EL RENDIMIENTO DE LOS PROTOCOLOS NV2 Y
NSTREME EN LA PROVISIÓN DE INTERNET EN LA
COMUNIDAD GUARGUALLÁ.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: FREDY SANTIAGO CUJILEMA CUJILEMA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIOENLACE PARA
EVALUAR EL RENDIMIENTO DE LOS PROTOCOLOS NV2 Y
NSTREME EN LA PROVISIÓN DE INTERNET EN LA
COMUNIDAD GUARGUALLÁ.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: FREDY SANTIAGO CUJILEMA CUJILEMA

DIRECTOR: Ing. DIEGO FERNANDO VELOZ CHERREZ MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

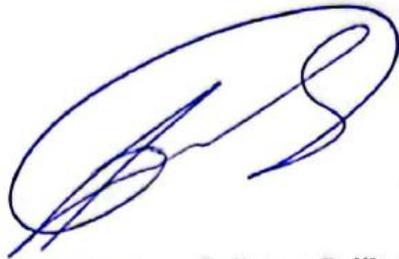
© 2023, Fredy Santiago Cujilema Cujilema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **FREDY SANTIAGO CUJILEMA CUJILEMA**, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de marzo de 2023



Fredy Santiago Cujilema Cujilema

060552965-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIOENLACE PARA EVALUAR EL RENDIMIENTO DE LOS PROTOCOLOS NV2 Y NSTREME EN LA PROVISIÓN DE INTERNET EN LA COMUNIDAD GUARGUALLÁ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

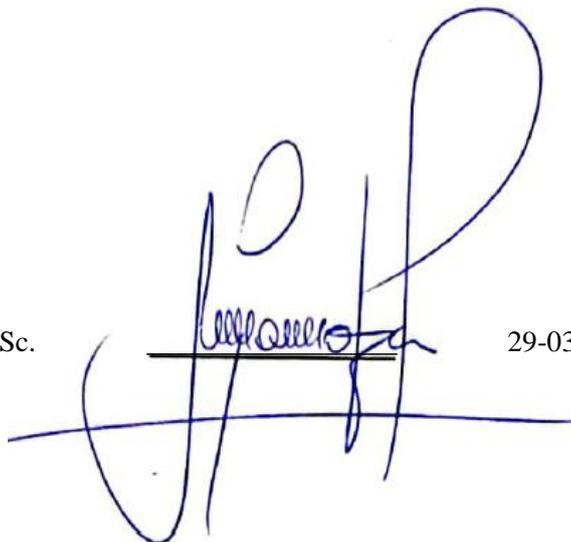
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro



29-03-2023

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Diego Fernando Veloz Cherrez MSc.



29-03-2023

**DIRECTOR DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Dr. Paúl David Moreno Aviles



29-03-2023

**ASESOR DEL TRABAJO DE —
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

DEDICATORIA

A mi madre por siempre haber creído en mí a pesar de las adversidades que se presentaron a lo largo del camino, mi hermana, mi familia y a los seres que se encuentran en el más allá, mi padre y todos los ángeles del terremoto, en especial mis abuelitos Manuel y Juana que fueron parte esencial en mi formación.

Fredy Cujilema

AGRADECIMIENTO

A mi madre por su apoyo y confianza constante, mis compañeros, a los profesores de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al cuerpo docente de la Facultad de Informática y Electrónica, en especial al Ing. Diego Veloz e Ing. David Moreno, y a la empresa proveedora de servicio de internet INTERTEC, quienes me brindaron su tiempo y conocimiento para la realización del presente trabajo de integración curricular.

Fredy Cujilema

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. Diagnóstico del problema	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Sistematización del problema.....	3
1.3. Justificación	4
1.3.1. Justificación teórica	4
1.3.2. Justificación aplicada	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Redes inalámbricas	8
2.1.1. Conceptos.....	8
2.1.2. Tipos de redes inalámbricas	8
2.1.3. Ventajas y Desventajas	10
2.2. Estándares IEEE 802.11x.....	11
2.3. Técnicas de Acceso Múltiple	13
2.3.1. FDMA	13
2.3.2. TDMA (Time Division Multiple Access)	14
2.3.3. CDMA	15
2.4. Radio Enlaces	16
2.4.1. Tipos de enlaces inalámbricos	16

2.4.1.1.	<i>Enlace Punto-Punto</i>	16
2.4.1.2.	<i>Enlace Punto-Multipunto</i>	17
2.4.1.3.	Conexión de Rejilla o Malla	18
2.4.2.	<i>Características de Propagación</i>	18
2.4.2.1.	<i>Reflexión</i>	18
2.4.2.2.	<i>Refracción</i>	19
2.4.2.3.	<i>Difracción</i>	19
2.4.2.4.	<i>Zonas de Fresnel</i>	19
2.5.	Analítica de los efectos de atenuación	20
2.5.1.	<i>Fading</i>	21
2.5.2.	<i>Atenuación en el espacio libre</i>	21
2.5.3.	<i>Atenuación Ambiental</i>	21
2.5.3.1.	<i>Atenuación por vegetación</i>	21
2.5.3.2.	<i>Atenuación por gases atmosféricos</i>	22
2.5.3.3.	<i>Atenuación por lluvia</i>	22
2.5.4.	<i>Umbral de ruido en el receptor</i>	22
2.5.5.	<i>Sensibilidad del Receptor</i>	23
2.5.6.	<i>Ecuación del enlace</i>	23
2.6.	Antenas	24
2.6.1.	<i>Impedancia</i>	24
2.6.2.	<i>Ancho de Banda</i>	25
2.6.3.	<i>Diagrama de radiación</i>	25
2.6.4.	<i>Ancho del Haz</i>	25
2.6.5.	<i>Directividad</i>	26
2.6.6.	<i>Ganancia</i>	27
2.6.7.	<i>Polarización</i>	27
2.7.	Bandas UNII	27
2.8.	Parámetros de rendimiento de una red	28
2.8.1.	<i>Ancho de Banda</i>	29
2.8.2.	<i>Jitter</i>	29
2.8.3.	<i>Throughput</i>	29
2.8.4.	<i>Tasas de pérdida de paquetes</i>	29
2.8.5.	<i>Latencia</i>	30
2.9.	Protocolos Inalámbricos de MikroTik	30
2.9.1.	Nv2	30
2.9.1.1.	<i>Funcionamiento</i>	31
2.9.1.2.	<i>Características</i>	31

2.9.2.	<i>Nstreme</i>	31
2.9.2.1.	<i>Funcionamiento</i>	32
2.9.2.2.	<i>Características</i>	32

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1.	Intertec	34
3.2.	Ubicación geográfica	36
3.2.1.	<i>Ubicación geográfica de los nodos</i>	36
3.3.	Herramientas de administración y monitoreo de equipos Mikrotik	38
3.3.1.	<i>Wimbox</i>	38
3.3.2.	<i>Dude</i>	38
3.3.3.	<i>Netinstall</i>	38
3.3.4.	<i>Bandwidth Test</i>	39
3.3.5.	<i>Ping</i>	40
3.4.	Situación actual	40
3.4.1.	<i>Abonados</i>	41
3.4.2.	<i>Tráfico de abonados actuales</i>	41
3.4.3.	<i>Capacidad del enlace actual</i>	45
3.5.	Topología del radio enlace Rayoloma-Guarguallá	48
3.6.	Elección de equipos y materiales	49
3.6.1.	<i>Enlace punto a punto</i>	49
3.6.1.1.	<i>Especificaciones del equipo</i>	50
3.6.2.	<i>Sectoriales</i>	52
3.6.3.	<i>Abonados</i>	54
3.6.4.	<i>Concentradores</i>	55
3.6.5.	<i>Materiales</i>	58
3.7.	Barrido de Frecuencias	58
3.7.1.	<i>Medición del barrido de frecuencias nodo Rayoloma</i>	60
3.8.	Simulación mediante Radio Mobile	65
3.8.1.	<i>Enlace Punto a Punto</i>	65
3.8.2.	<i>Cobertura Sectorial Nodo Guarguallá</i>	72
3.8.2.1.	<i>Cobertura de la RB_GLL_SO</i>	77
3.8.2.2.	<i>Cobertura de la RB_GLL_EE</i>	80
3.9.	Cálculo de indisponibilidad del radioenlace por efectos de lluvia	83
3.9.1.	<i>Indisponibilidad del Radioenlace Rayoloma-Guarguallá</i>	84

3.9.2.	<i>Indisponibilidad del Radioenlace RB-GLL_EE</i>	86
3.9.3.	<i>Indisponibilidad en Radioenlace RB-GLL_SO</i>	87
3.10.	Configuración de los equipos	88
3.10.1.	<i>Concentradores</i>	89
3.10.1.1.	<i>Router Rayoloma</i>	89
3.10.1.2.	<i>Router Guarguallá</i>	91
3.10.1.3.	<i>SNMP</i> 94	
3.10.2.	Enlace Punto a Punto	94
3.10.2.1.	<i>BH Rayoloma – Guarguallá</i>	95
3.10.2.2.	<i>Interfaz Wireless</i>	96
3.10.2.3.	<i>BH Guarguallá – Rayoloma</i>	100
3.10.2.4.	<i>Interfaz Wireless</i>	101
3.11.	Configuración NV2	103
3.11.1.	<i>BH Rayoloma – Guarguallá</i>	103
3.11.2.	<i>BH Guarguallá – Rayoloma</i>	106
3.12.	Configuración Nstreme	107
3.12.1.	<i>BH Rayoloma – Guarguallá</i>	107
3.12.2.	<i>BH Guarguallá - Rayoloma</i>	108
3.13.	Implementación y validación del radioenlace Rayoloma-Guarguallá	109
3.13.1.	<i>Implementación en el nodo Rayoloma</i>	110
3.13.2.	<i>Implementación en el nodo Guarguallá</i>	112
3.13.3.	<i>Validación del enlace</i>	114

CAPITULO IV

4.	Resultados	116
4.1.	Introducción	116
4.2.	Comparación de los protocolos Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda	120
4.2.1.	<i>Análisis de resultados en la banda 5GHZ-A/N</i>	120
4.2.1.1.	<i>Ancho de Canales vs Download</i>	120
4.2.2.	<i>Análisis de resultados en la banda 5GHZ-A/N/AC</i>	122
4.2.2.1.	<i>Ancho de canales vs Download</i>	122
4.2.2.2.	<i>Ancho de canales vs Upload</i>	123
4.2.3.	<i>Análisis de resultados en la banda en la banda 5GHZ only – AC</i>	124
4.2.3.1.	<i>Ancho de canales vs Download</i>	124
4.2.3.2.	<i>Ancho de canales vs Upload</i>	125

4.3.	Comparación los protocolo Nv2 y Nstreme en términos de tiempo de respuesta	126
4.3.1.	<i>Análisis de resultados en la banda de 5Ghz – A/N</i>	126
4.3.1.1.	<i>Ancho de canales vs el tiempo de respuesta promedio</i>	126
4.3.2.	<i>Análisis de resultados en la banda de 5Ghz – A/N/AC</i>	127
4.3.2.1.	<i>Ancho de canales vs el tiempo de respuesta promedio</i>	127
4.3.3.	<i>Análisis de resultados en la anda only – AC</i>	128
4.3.3.1.	<i>Ancho de canales vs el tiempo de respuesta promedio</i>	128
4.4.	Comparación los protocolo Nv2 y Nstreme en términos de porcentaje de paquetes perdidos.	130
4.4.1.	<i>Banda de 5GHz – A/N</i>	130
4.4.1.1.	<i>Ancho de canal vs porcentaje de paquetes perdidos</i>	130
4.4.2.	<i>Banda de 5GHz – A/N/AC</i>	131
4.4.2.1.	<i>Ancho de canal vs porcentaje de paquetes perdidos</i>	131
4.4.3.	<i>Banda de 5GHz only – AC</i>	132
4.4.3.1.	<i>Ancho de canal vs porcentaje de paquetes perdidos</i>	132
4.5.	Comparación de consumo de CPU tanto en el protocolo Nv2 y Nstreme	133
4.5.1.	<i>Comparación en la banda de Banda de 5GHz – A/N</i>	133
4.5.2.	<i>Comparación en la banda de 5GHz – A/N/AC</i>	134
4.5.3.	<i>Comparación en la banda de 5GHz only – AC</i>	135
4.6.	Discusión de resultados	136
CONCLUSIONES		137
RECOMENDACIONES		139
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Diferencias de los tipos de redes inalámbricas WPAN, WLAN, WMAN y WWAN.	10
Tabla 2-2:	Comparación de la familia del estándar IEE 802.11 en término de velocidad, año de desarrollo y rango de alcance.....	12
Tabla 1-3:	Ubicación de los nodos de estudio en coordenadas rectangulares de los nodos Guarguallá y Rayoloma.....	36
Tabla 2-3:	Resumen del consumo de ancho de banda de los abonados del sector Guarguallá, diariamente, semanalmente, mensualmente y anualmente.	45
Tabla 3-3:	Direccionamiento del radio enlace Rayoloma - Guarguallá.....	45
Tabla 4-3:	Capacidad disponible del enlace Rayoloma-Guarguallá, una vez realizada las mediciones con la herramienta Bandwidth Test y en análisis del tráfico diario generado, en el nodo Guarguallá.....	48
Tabla 5-3:	Especificaciones del equipo LHG XL 5 ac, para el enlace punto a punto, tanto de hardware como de software.....	50
Tabla 6-3:	Especificaciones de la antena sectorial mANTBox, detalles de características inalámbricas, potencia de transmisión y sensibilidad de recepción.	53
Tabla 7-3:	Descripción de las especificaciones del dispositivo LHG 5, elegida como uso en los abonados para los enlaces inalámbricos, en la provisión de internet del sector Guarguallá.....	54
Tabla 8-3:	Especificaciones del concentrador RB3011 UiAS-RM, descripción del sistema operativo, alimentación, puertos, arquitectura, temperatura ambiente, consumo de energía, entre otras.	56
Tabla 9-3:	Especificaciones del router hEX, descripción del sistema operativo, alimentación, puertos, arquitectura, temperatura ambiente, consumo de energía, entre otras.	57
Tabla 10-3:	Materiales utilizados para la implementación.....	58
Tabla 11-3:	Especificaciones de la Antena HiperLOG 30180, usada para el barrido de frecuencias.....	59
Tabla 12-3:	Resultados en potencias del barrido de frecuencias con saltos de 10Mhz, en el nodo Rayoloma.	62
Tabla 13-3:	Resultados en potencias del barrido de frecuencias con saltos de 20Mhz, en el nodo Guarguallá.....	64
Tabla 14-3:	Frecuencias utilizadas en los diferentes tipos de enlace.....	64

Tabla 15-3:	Valores de Frecuencia, ubicación y altitud de unidades, para el enlace sectorial de Guarguallá.	73
Tabla 16-3:	Políticas de direccionamiento de la empresa de internet Intertec.....	89
Tabla 17-3:	Direccionamiento indefinido para la provisión de internet en el sector Guargualla.	89
Tabla 1-4:	Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz -A/N en Download.	120
Tabla 3-4:	Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz -A/N/AC en Download.....	122
Tabla 4-4:	Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz -A/N/AC en Upload.	123
Tabla 5-4:	Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz only - AC en Download.	124
Tabla 6-4:	Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz – only - AC en Upload.	125
Tabla 7-4:	Comparación del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N.....	126
Tabla 8-4:	Comparación del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N/AC.....	127
Tabla 9-4:	Comparación del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5GHz only - AC.....	128
Tabla 10-4:	Comparación del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N	130
Tabla 11-4.	Comparación del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N/AC	131
Tabla 12-4:	Comparación de Nv2 y Nstreme en referencia al porcentaje de paquetes perdidos a 5GHz only -AC.....	132
Tabla 13-4:	Comparación del consumo de CPU a 5GHz - A/N.....	133
Tabla 14-4:	Comparación del consumo de CPU a 5GHz - A/N/AC	134
Tabla 15-4:	Comparación del consumo de CPU a 5GHz only AC.....	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Diagrama de estudio para los protocolos nv2 y nstreme.	5
Ilustración 1-2:	Tipos de redes inalámbricas por su Tecnología/ Alcance/Servicios	9
Ilustración 2-2:	Capas del modelo OSI definida por el estándar IEEE 802.11	12
Ilustración 3-2:	Representación de acceso múltiple por división de frecuencia (TDMA) de k usuarios.	13
Ilustración 4-2:	Esquema de la Tecnología de Acceso Múltiple por División de Tiempo. ...	14
Ilustración 5-2:	Campos pertenecientes al Time Slot	14
Ilustración 6-2:	Representación de la topología de un enlace inalámbrico Punto a Punto. ...	17
Ilustración 7-2:	Representación de la topología de un enlace punto-multipunto.....	17
Ilustración 8-2:	Representación de la Topología de comunicación inalámbrica tipo estrella.	18
Ilustración 9-2:	Gráfica de representación de la primera zona de fresnel.....	20
Ilustración 10-2:	Diagrama del umbral de la señal a ruido en el receptor.	22
Ilustración 11-2:	Representación de los elementos que intervienen en la ecuación del enlace.	23
Ilustración 12-2:	Ejemplo del patrón de radiación de una antena en coordenadas polares (izq.) y cartesianas (der.).....	25
Ilustración 13-2:	Ancho de haz de una antena a 3 dB.....	26
Ilustración 14-2:	Tipos de polarización de una antena, horizontal, vertical y circular.	27
Ilustración 15-2:	Distribución de las bandas UNII.	28
Ilustración 1-3:	Topología de red de la empresa Intertec.	35
Ilustración 2-3:	Enlaces existentes que sigue el nodo Guarguallá para su salida hacia internet.	36
Ilustración 3-3:	Ubicación geográfica de los nodos Rayoloma y Guarguallá de la empresa Intertec.....	37
Ilustración 4-3:	Ubicación Geográfica del sector Guarguallá.....	37
Ilustración 5-3:	Entorno de la herramienta Bandwidth Test de Mikrotik.	39
Ilustración 6-3:	Herramienta Ping en Mikrotik.....	40
Ilustración 7-3:	Abonados de la empresa Intertec, conectados al nodo Guarguallá.	41
Ilustración 8-3:	Interfaces del concentrador del nodo Guarguallá.....	41
Ilustración 9-3:	Estadísticas del tráfico generado por los abonados, diariamente.	42
Ilustración 10-3:	Estadísticas del tráfico generado por los abonados, semanalmente.	43
Ilustración 11-3:	Estadísticas del tráfico generado por los abonados, mensualmente.	43
Ilustración 12-3:	Estadísticas del tráfico generado por los abonados, anualmente.....	44

Ilustración 13-3: Medición de la capacidad de enlace entre el nodo Guarguallá-Rayoloma, mediante la herramienta Bandwidth Test, mediante el protocolo tcp.	46
Ilustración 14-3: Medición de la capacidad de enlace entre el nodo Guarguallá-Rayoloma, mediante la herramienta Bandwidth Test, mediante el protocolo udp.	47
Ilustración 15-3: Topología y componentes del enlace inalámbrico Rayoloma-Guarguallá...	49
Ilustración 16-3: Equipo LHG XL 5 AC de MikroTik.....	50
Ilustración 17-3: Patrón de radiación de la antena a usar para el enlace punto a punto.....	52
Ilustración 18-3: Equipo mANTBox, para el enlace sectorial del nodo Guarguallá.	52
Ilustración 19-3: Patrones de radiación de la radio base mANTBox.....	54
Ilustración 20-3: Router RB4011, fabricada por Mikrotik.	56
Ilustración 21-3: RouterBOARD hEX.....	57
Ilustración 22-3: Antena HiperLOG 30180.....	59
Ilustración 23-3: Analizador de espectros Deviser E8600B	60
Ilustración 24-3: Barrido de frecuencia con el analizador de espectros Deviser E8600B en el nodo Rayoloma.	61
Ilustración 25-3: Medición espectral en el rango de 5Ghz a 6Ghz, nodo Rayoloma.	61
Ilustración 26-3: Barrido de frecuencia con el analizador de espectros Deviser E8600B en el nodo Guarguallá.	63
Ilustración 27-3: Medición espectral en el rango de 5Ghz-6Ghz, nodo Guarguallá.....	63
Ilustración 28-3: Creación de la unidad para el nodo Rayoloma.....	65
Ilustración 29-3: Creación de la unidad para el nodo Guarguallá.	66
Ilustración 30-3: Ubicación de los puntos en Radio Mobile de los nodos Rayoloma y Guarguallá.	66
Ilustración 31-3: Parámetros de la red BH-RAY-GLL, en el simulador Radio Mobile.	67
Ilustración 32-3: Topología para la red de datos, entre el nodo Rayoloma y Guarguallá.....	68
Ilustración 33-3: Asignación de rol en la topología de datos tanto al nodo Rayoloma y Guarguallá.	68
Ilustración 34-3: Patrón de radiación de la antena LHG XL 5 ac, en el simulador radio Mobile.	69
Ilustración 35-3: Patrón de radiación en cada una de las antenas, tanto en el nodo Rayoloma y Guarguallá.	69
Ilustración 36-3: Configuración de parámetros del sistema, para el enlace punto a punto.....	70
Ilustración 37-3: Estado de simulación del enlace Rayoloma - Guarguallá.	71
Ilustración 38-3: Estado de simulación del enlace Guarguallá – Rayoloma.....	71
Ilustración 39-3: Creación de las unidades para los enlaces punto a multipunto.	72
Ilustración 40-3: Ubicación de las unidades, para la simulación de la cobertura sectorial en el sector de Guarguallá.....	73

Ilustración 41-3: Creación de las redes punto a multipunto, para la simulación de cada Radio Base.....	74
Ilustración 42-3: Patrón de radiación del arreglo de antenas usadas en la radio bases.....	75
Ilustración 43-3: Sistema para la radio bases mANTBOX utilizada para las coberturas sectoriales.....	76
Ilustración 44-3: Sistema de Abonados para la simulación de coberturas sectoriales del nodo Guarguallá.....	77
Ilustración 45-3: Escenario de cobertura sectorial de la radio base RB_GLL_SO con el abonado ABN_SO.....	78
Ilustración 46-3: Simulación de enlace de radio entre la RB_GLL_SO y el ABN_SO mediante Radio Mobile.....	78
Ilustración 47-3: Cobertura sectorial de la radio base RB_GLL_SO, mediante Radio Mobile.....	79
Ilustración 48-3: Indicador del nivel de potencia de recepción mediante código de colores. .	79
Ilustración 49-3: Cobertura sectorial de la radio base RB_GLL_SO, mostrada sobre el mapa de Google Earth.....	80
Ilustración 50-3: Escenario de cobertura sectorial para la simulación de la RB_GLL_EE y el abonado ABN_EE.....	81
Ilustración 51-3: Simulación de enlace de radio entre la RB_GLL_EE y el abonado ABN_EE mediante Radio Mobile.....	81
Ilustración 52-3: Mapa de calor de cobertura sectorial de la RB_GLL_EE.....	82
Ilustración 53-3: Mapa de calor de la cobertura sectorial de la RB_GLL_EE, mostrada en Google Earth.....	83
Ilustración 54-3: Asignación de la interfaz física para el BH-RAY-GLL.....	90
Ilustración 55-3: Configuración del nombre y el ID de la Vlan en el concentrador RIO-RAYOLOMA-01.....	90
Ilustración 56-3: Configuración del direccionamiento IP para la gestión y conmutación del tráfico en el concentrador Rayoloma.....	91
Ilustración 57-3: Enrutamiento de las redes de gestión y wan, en el concentrador de Rayoloma.....	91
Ilustración 58-3: Configuración y asignación de interfaces en el concentrador Guarguallá. .	92
Ilustración 59-3: Configuración de la Vlan en la interfaz del BH-GLL-RAY.....	92
Ilustración 60-3: Direccionamiento del concentrador Guarguallá.....	93
Ilustración 61-3: Configuración del protocolo de enrutamiento OSPF de los segmentos de red en el concentrador Guarguallá.....	94
Ilustración 62-3: Configuración del protocolo snmp, para el monitoreo de los equipos.....	94
Ilustración 63-3: Creación de la interfaz lógica, bridge, en el BH de Rayoloma-Guarguallá.....	95

Ilustración 64-3:	Asignación de interfaces físicas y lógicas a la antena BH-RAY-GLL.	95
Ilustración 65-3:	Direccionamiento ip en el BH-RAY_GLL.	95
Ilustración 66-3:	Configuración del apartado general de la interfaz inalámbrica.	96
Ilustración 67-3:	Configuración inalámbrica del BH-RAY-GLL.	98
Ilustración 68-3:	Configuración de Data Rates en el BH-RAY-GLL.	98
Ilustración 69-3:	Configuración de wds en el BH-RAY_GLL.	99
Ilustración 70-3:	Configuración de la potencia en el BH-RAY_GLL.	100
Ilustración 71-3:	Creación y asociación de la interfaz física ether1 al modo bridge.	100
Ilustración 72-3:	de la interfaz física e inalámbrica del equipo.	100
Ilustración 73-3:	Direccionamiento ip para la gestión del equipo BH-GLL_RAY.	101
Ilustración 74-3:	Configuración de parámetros inalámbricos del BH-GLL_RAY.	102
Ilustración 75-3:	Configuración del sistema de distribución inalámbrico en el BH-GLL_RAY	103
Ilustración 76-3:	Configuración del protocolo inalámbrico Nv2 en el BH- RAY_GLL.	105
Ilustración 77-3:	Elección del protocolo inalámbrico Nv2 en el BH-RAY_GLL.	106
Ilustración 78-3:	Configuración del protocolo inalámbrico Nv2 2 en el BH-GLL_RAY.	106
Ilustración 79-3:	Configuración de los parámetros Nstreme en el BH-RAY_GLL.	108
Ilustración 80-3:	Selección del protocolo Nstreme en la interfaz inalámbrica del BH- RAY_GLL.	108
Ilustración 81-3:	Habilitación del protocolo Nstreme en el BH-GLL_RAY.	108
Ilustración 82-3:	Selección del protocolo Nstreme en la interfaz Wireless del BH-GLL_RAY	109
Ilustración 83-3:	Etiquetado de postes tanto para el nodo Rayoloma y Guarguallá.	109
Ilustración 84-3:	Preparación y carga de configuración de los equipos en oficina.	110
Ilustración 85-3:	Identificación del puerto físico para la conexión del BH-RAY_GLL.	110
Ilustración 86-3:	Reserva de cable FTP Cat 6, para la conexión al BH-RAY_GLL.	111
Ilustración 87-3:	Conexión y alimentación al BH-RAY_GLL.	111
Ilustración 88-3:	Colocación del BH-RAY_GLL y conexión hacia el router.	112
Ilustración 89-3:	Identificación del puerto y conexión del BH-GLL_RAY.	113
Ilustración 90-3:	Colocación del BH-GLL_RAY en el nodo Guarguallá.	113
Ilustración 91-3:	Verificación de ping entre el nodo Rayoloma a Guarguallá, mediante ping.	114
Ilustración 92-3:	Verificación de la potencia enganchada, del radioenlace Rayoloma- Guarguallá tanto en Tx/Rx.	114
Ilustración 93-3:	Agregación de elementos del radioenlace al servidor Dude.	115
Ilustración 1-4:	Herramienta de medición del ancho de banda, y verificación en la interfaz del equipo, para Downlink.	117

Ilustración 2-4:	Herramienta de medición del ancho de banda, verificación en la interfaz del equipo, para Uplink y verificación del consumo del CPU en el equipo master.	117
Ilustración 3-4:	Forma de medición del tiempo de respuesta mediante la herramienta Ping, en Nv2.	118
Ilustración 4-4:	Forma de medición del tiempo de respuesta mediante la herramienta Ping, en Nstreme.	118
Ilustración 5-4:	Verificación de la cantidad de paquetes enviados y recibidos, en el BH- GLL- RAY.	119
Ilustración 6-4:	Comparación gráfica del ancho de canal vs Download en la banda de 5GHz- A/N.....	120
Ilustración 7-4:	Comparación gráfica del ancho de canal vs Upload en la banda de 5GHz- A/N	121
Ilustración 8-4:	Comparación gráfica del ancho de canal vs Download en la banda de 5GHz- A/N/AC	122
Ilustración 9-4:	Comparación gráfica del ancho de canal vs Upload en la banda de 5GHz- A/N/AC	123
Ilustración 10-4:	Comparación gráfica del ancho de canal vs Download en la banda de 5GHz- only – Ac	124
Ilustración 11-4:	Comparación gráfica del ancho de canal vs Upload en la banda de 5GHz-only – AC	125
Ilustración 12-4:	Comparación gráfica del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N	127
Ilustración 13-4:	Comparación gráfica del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N/AC.....	128
Ilustración 14-4:	Comparación gráfica del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz – only AC.....	129
Ilustración 15-4:	Comparación del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N	130
Ilustración 16-4:	Comparación gráfica del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N/AC	131
Ilustración 17-4:	Comparación gráfica de Nv2 y Nstreme en referencia al porcentaje de paquetes perdidos a 5GHz only -AC.....	132
Ilustración 18-4:	Comparación gráfica del consumo de CPU a 5GHz - A/N.....	133
Ilustración 19-4:	Comparación gráfica del consumo de CPU a 5GHz - A/N/AC	134
Ilustración 20-4:	Comparación gráfica del consumo de CPU a 5GHz only AC.....	135

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOMENDACIÓN UIT-R PN.837

ANEXO B: RECOMENDACIÓN UIT-R P..838

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de integración curricular, fue la evaluación de rendimiento de los protocolos inalámbricos, nv2 y nstreme, mediante herramientas propias de la empresa Mikrotik, en términos de ancho de banda, tiempo de respuesta y porcentaje de pérdida de paquetes, para lo cual fue necesario el diseño e implementación de un radioenlace, comprendida desde el nodo Rayoloma a Guarguallá, pertenecientes a la empresa proveedora de servicio de internet Intertec. El diseño del radioenlace se inició mediante un barrido de frecuencias con el analizador de espectros en la banda libre de 5GHz, posterior a ello se simuló mediante Radio Mobile, considerando detalles técnicos de los equipos seleccionados, lo cual brindó parámetros esenciales para la implementación, finalmente en el diseño se calculó la disponibilidad del enlace por efectos de atenuación causados por lluvia, teniendo una alta disponibilidad. La implementación se ejecutó previa planificación y configuración de equipos, la cual validada el enlace permitió la aplicación y evaluación de los protocolos Nv2 y Nstreme, realizada en diferentes estándares y canales. Evaluada con herramientas propias de Mikrotik se tuvo como resultado en ancho de banda mejor comportamiento con Nv2, llegando a tener una capacidad máxima de 143.3 Mbps de carga y 112,4 Mbps de descarga, un tiempo de respuesta menor en Nv2 con latencias menor a los 20 ms y verificando una menor cantidad de pérdida de paquete en Nv2 con un canal saturado. Se concluye que el protocolo Nv2 ofrece mejores prestaciones con respecto al protocolo Nstreme en cada una de las variables evaluadas, a pesar que se identificó un consumo mayor de CPU en los equipos de medición. Se recomienda utilizar herramientas de evaluación diferentes a la propia marca, que permitan evaluar parámetros de red, sin comprometer el consumo de procesamiento de los equipos de radioenlace.

Palabras clave: <RADIOENLACE>, <BARRIDO DE FRECUENCIA>, <ANCHO DE BANDA>, <TIEMPO DE RESPUESTA>, <PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PAQUETES>, <ATENUACIÓN POR LLUVIA>, <NV2>, <NSTREME>.



SUMMARY

The objective of this curricular integration work was the evaluation of the performance of the wireless protocols, NV2 and Nstreme, by means of the Mikrotik company's own tools, in terms of bandwidth, response time and percentage of packet loss, for which It was necessary to design and implement a radio link, from the Rayoloma to Guarguallá node, belonging to the Internet service provider company Intertec. The radio link design began with a frequency sweep with the spectrum analyzer in the free 5GHz band, after which it was simulated using Radio Mobile, considering technical details of the selected equipment, which provided essential parameters for the implementation, finally In the design, the availability of the link was calculated due to attenuation effects caused by rain, having a high availability. The implementation was carried out after planning and configuring the equipment, which, once the link was validated, allowed the application and evaluation of the Nv2 and Nstreme protocols in different standards and channels. The two protocols were evaluated with Mikrotik's own tools, resulting in a better behavior with Nv2 in bandwidth, reaching a maximum capacity of 143.3 Mbps upload and 112.4 Mbps download, a lower response time in Nv2 with latencies of less than 20 ms and verifying a lower amount of packet loss in Nv2 with a saturated channel. It is concluded that the Nv2 protocol offers better performance compared to the Nstreme protocol in each of the evaluated variables, despite the fact that a higher CPU consumption was identified in the measurement equipment. It is recommended to use evaluation tools other than the brand itself, which allow the evaluation of network parameters, without compromising the processing consumption of the radio link equipment.

Keywords: <RADIO LINK>, <FREQUENCY SWEEP>, <BANDWIDTH>, <RESPONSE TIME>, <PERCENTAGE OF PACKET LOSS>, <RAIN ATTENUATION>, <NV2 PROTOCOL>, <NSTREME PROTOCOL>.



MSc. Wilson G. Rojas
CI: 0602361842

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas a pesar del surgimiento de nuevas tecnologías de conectividad como la Fibra Óptica para el acceso a internet, presentan grandes ventajas al ser vital para conectar sectores remotos de difícil acceso y por ende el despliegue de nuevas tecnologías, con lo cual permitan alivianar la necesidad de interconectarse al mundo digital y abastecer a diferentes ámbitos del saber y facilitar el estilo de vida de los usuarios. Diferentes empresas proveedoras de servicio de Internet, preocupados por brindar un servicio eficiente y de calidad buscan realizar estudios técnicos que respalden el uso de diferentes protocolos inalámbricos, tal es el caso de la empresa de servicio de internet Intertec.

Es por ello que en el presente proyecto se ejecuta la comparación del rendimiento de protocolos inalámbricos patentados por la empresa Mikrotik, Nv2 y Nstreme, teniendo en cuenta que la marca debido al bajo costo y buen desempeño varias empresas han optado por utilizarlo.

Se analiza en 3 variables de medición de calidad de red, ancho de banda, tiempo de respuesta y porcentaje de paquetes perdidos, previo diseño, implementación y evaluación del radioenlace. Todo el estudio se evalúa con recursos pertenecientes a la infraestructura de red de la empresa proveedora de servicio de internet mencionada, lo cual permita brindar eficientemente el servicio de acceso a internet a habitantes de la comunidad Guarguallá y sectores aledaños.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La necesidad de conectividad en los últimos años ha dado paso a los grandes avances en cuanto a las comunicaciones, específicamente a las comunicaciones inalámbricas, ya que mediante esta se ha permitido facilitar el estilo de vida del ser humano en diferentes ámbitos, por ejemplo, en el ámbito de IoT y de conectividad hacia internet en lugares muy remotos, de esa manera facilitando el estilo de vida del ser humano.

Aunque en la actualidad se ha desarrollado en gran magnitud la tecnología de acceso de comunicación por fibra óptica, la comunicación inalámbrica aún sigue manteniendo sus grandes ventajas, tales como para los dispositivos fijos en ciertas circunstancias, tales como, por ejemplo, si es difícil tender fibras hasta un edificio debido al terreno montañoso, selvas, o pantanos, podría ser preferible un sistema inalámbrico. Es importante recalcar que la comunicación digital inalámbrica moderna comenzó en las islas de Hawái, permitiendo conectar a usuarios que separaban del océano Pacífico, y el sistema telefónico era inadecuado (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Muchas empresas de desarrollo han enfocado sus esfuerzos para crear métodos y protocolos que permitan mejor la interconectividad de los enlaces inalámbricos, una de estas empresas es Mikrotik. Fundada en 1995 para desarrollar routers y sistemas Wireless ISP. En la actualidad ofrece hardware y software para la conexión a internet en la mayoría de los países del mundo, y así también ha desarrollado protocolos inalámbricos como nv2 y nstreme los cuales han sido extensamente utilizados en proyectos que involucran las comunicaciones inalámbricas(SIA Mikrotikls, 2017).

Algunos de los proyectos que han sido desarrolladas poniendo énfasis en los protocolos inalámbricos desarrollados por Mikrotik es la “IMPLEMENTASI JARINGAN WIRELESS POINT TO POINT ANTARA KANTOR PUSAT DAN KANTOR CABANG DI PT. SINAR MULIA PLASINDO LESTARI MENGGUNAKAN MIKROTIK” realizado en Indonesia, en donde los autores sugieren construir una red con topología inalámbrica punto a punto utilizando el protocolo nstreme versión 2 (NV2) (Ichsan, et al., 2021).

Regionalmente se ha realizado algunos trabajos de levantamiento de información que involucran el uso de los protocolos inalámbricos como en el país de Bolivia, donde se ejecutó un modelo de gestión de servicio de red con Mikrotik estudiada en la base de datos de la escuela de sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica donde se manifiesta que el protocolo Nstreme permite a un RouterOS extender el alcance y la velocidad de la conexión inalámbrica cuando se utiliza los router de Mikrotik en cada extremo (Dávila Limpe, 2019).

En cuanto al ámbito local se ha desarrollado un sin número de proyectos de diseño e implementación de red WISP con equipos MikroTik, pero en cuanto a la particularidad del análisis de protocolos inalámbricos sobre la tecnología MikroTik se ha realizado un “ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PROTOCOLOS NSTREME Y NV2 PARA UN ENLACE INALÁMBRICO A 2.4GHZ Y 5.8 GHZ” en la ciudad de Latacunga, donde determinan que el rendimiento de un enlace inalámbrico no solo depende de factores lógicos como el ancho de canal, banda de frecuencia, protocolo, etc.; sino también de las condiciones atmosféricas y climáticas en las que esté funcionando el enlace, como el viento, la lluvia y la niebla. (Bonilla Fernández & Reyes Aguirre, 2015).

1.2. Formulación del problema

¿Es posible diseñar e implementar un radioenlace para evaluar el rendimiento de los protocolos nv2 y nstreme en la provisión de internet a la comunidad de Guarguallá por parte de la empresa Intertec?

1.2.1. Sistematización del problema

¿Cómo funcionan y cuáles son las características de los protocolos nv2 y nstreme en equipos MikroTik?

¿Existe un radioenlace entre la zona de Rayoloma-Guargualla que permita el tráfico de datos de los habitantes de Guargualla?

¿Es posible configurar el protocolo nv2 y nstreme en equipos con tecnología MikroTik?

¿Con herramientas propias de MikroTik es posible determinar el análisis de rendimiento ya sea del protocolo nv2 o nstreme?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

Las comunicaciones inalámbricas durante las últimas décadas han sido utilizadas en gran escala debido a que son medios no guiados y también por el crecimiento exponencial en cuanto al uso de dispositivos que usan las ondas electromagnéticas para entrar en conectividad. Especialmente las comunicaciones inalámbricas han sido desarrolladas en gran parte para brindar acceso de conectividad a internet en zonas rurales en estos últimos tiempos debido a la proliferación de nuevas tecnologías.

En las comunidades de la parroquia Cebadas ubicada a más de 3400 msnm y perteneciente al cantón Guamote se ha determinado que tan solo el 1% de los habitantes tienen acceso a internet (GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GUAMOTE 2019) pero debido a la pandemia del Covid-19 ha existido una mayor necesidad del servicio de internet, especialmente en el campo educativo.

Es por ello que el proveedor de servicio de internet Intertec constituida en el año 2019, teniendo como su principal giro de negocio brindar servicio de internet a los sectores más remotos de la provincia de Chimborazo, ha decidido brindar sus servicios a la comunidad de Guargualla la cual es perteneciente a la parroquia de Cebadas mediante radioenlaces, teniendo en cuenta que es una de las comunidades más habitadas de la parroquia mencionada. Además, debido a que por su ubicación geográfica y por el acceso vial hacia la comunidad difícilmente se llegue a implementar otro tipo de tecnología que permita el acceso hacia internet, como la fibra óptica.

Se ha decidido diseñar e implementar el radio enlace, así como también el análisis de rendimiento de los protocolos inalámbricos nv2 y nstreme en equipos con tecnología MikroTik debido a la robustez de sus equipos, estabilidad, controles y flexibilidad que ofrece para todo tipo de interfaces de datos y enrutamiento (SIA Mikrotiks 2017). También por el bajo costo que representa implementarlo con respecto a diferentes marcas.

MikroTik como empresa desarrolladora de enrutadores y sistemas ISP inalámbricos, ha implementado diferentes protocolos inalámbricos propios de su empresa, tales como Nv2 y Nstreme. Por lo cual se propone que mediante el diseño e implementación de radioenlace Rayoloma-Guargualla analizar el rendimiento de los protocolos inalámbricos descritos, en términos de ancho de banda, tasa de pérdidas de paquetes y tiempos de respuesta, para determinar el mejor protocolo a usar para una comunicación más eficiente.

1.3.2. Justificación aplicativa

El diseño e implementación del radio enlace de comunicaciones inalámbricas entre la zona Rayoloma-Guargualla se realizará de acuerdo al diagrama que se presenta la ilustración 1-1, y una vez que se establezca el enlace se evaluará el análisis de rendimiento de los protocolos nv2 y nstreme.

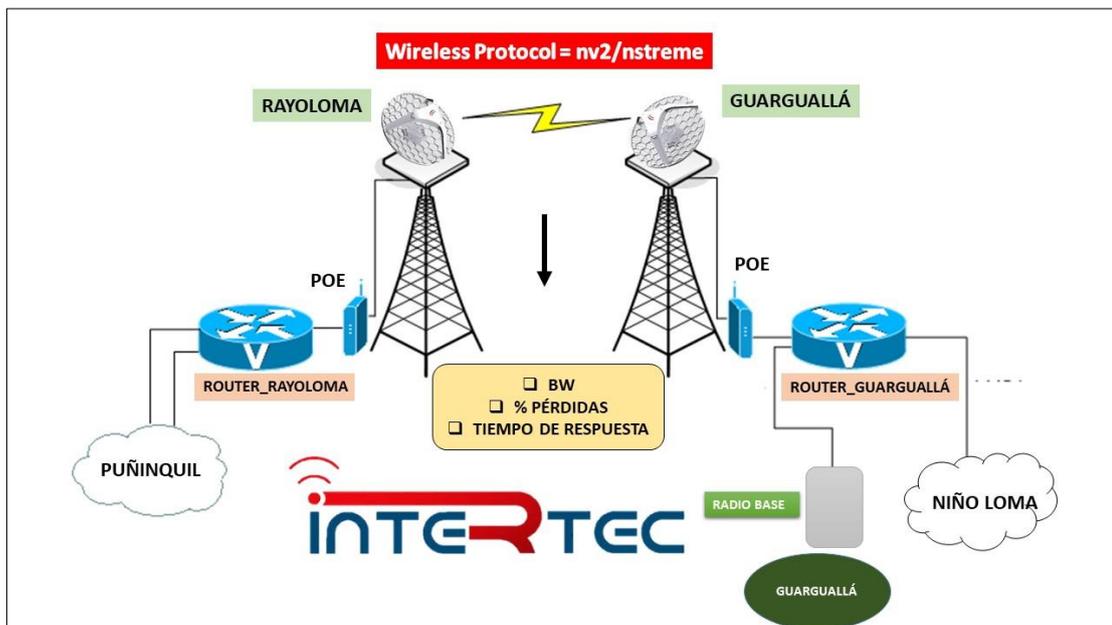


Ilustración 1-1: Diagrama de estudio para los protocolos nv2 y nstreme.

Realizado por: Cujilema, Fredy; 2022.

El diseño del radioenlace se iniciará con una simulación mediante el software radio Mobile, teniendo claro que previamente se analizará y elegirá los equipos con las cuales se va a trabajar dependiendo de la disponibilidad de la empresa.

Posterior a la realización del diseño se procederá a la implementación en donde se considera primordial configurar los equipos necesarios para el radioenlace, tales como:

- Router en la zona de Rayoloma
- Router en la zona de Guarguallá
- Antena en la zona de Rayoloma
- Antena en la zona de Guarguallá
- Radio base en la zona de Guarguallá

Establecido el radio enlace se procederá a realizar las configuraciones de los protocolos nv2 y nstreme en los equipos MikroTik y comparación del rendimiento, en términos de:

- **Ancho de Banda.** - Se lo realizará con la herramienta informática Bandwidth Test, la cual permitirá medir la capacidad de tráfico existente entre los dos equipos del radioenlace, en donde se realizará el test tanto con el tráfico TCP y UDP generado por los abonados.
- **Tasa de pérdida de paquetes.** – Se lo realizará con la herramienta ping, en donde se enviará una gran cantidad de paquetes icmp, y con la información generada por la herramienta en un tiempo prolongado, se podrá conocer los paquetes recibidos correctamente, o paquetes perdidos, permitiendo el cálculo porcentual de pérdida de paquetes.
- **Tiempo de respuesta.** - Se lo realizará al igual con la herramienta ping durante tiempos prolongados, ofrecerá el estatus de la conexión en los tiempos aproximados entre ida y vuelta, y con ella conocer el tiempo promedio de respuesta.

Y finalmente una vez realizada la documentación y comparación de los protocolos se determinará el mejor protocolo que permita una mayor eficiencia en el tráfico de datos generado por los abonados de la comunidad Guarguallá.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un radioenlace para evaluar el rendimiento de los protocolos nv2 y nstreme en la provisión de internet en la comunidad de Guarguallá para la empresa proveedora de servicio de internet Intertec de la ciudad de Riobamba.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los protocolos inalámbricos nv2 y nstreme en equipos MikroTik para comprender su funcionamiento y sus características en comunicaciones por radioenlaces.
- Diseñar, implementar y configurar el radio enlace con equipos MikroTik en la banda libre de 5Ghz entre las zonas de Rayoloma-Guargualla para la provisión de internet en la comunidad de Guarguallá.

- Aplicar los protocolos inalámbricos nv2 y nstreme en los equipos Mikrotik para la comunicación de radio enlace.
- Evaluar el rendimiento del radio enlace en términos de ancho de banda, tasa de pérdidas de paquetes y tiempo de respuesta entre los protocolos nv2 y nstreme usando herramientas propias de la tecnología MikroTik.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se explicará los temas primordiales a tener en cuenta para la ejecución del presente trabajo, dando a conocer los aspectos teóricos que describan las características y funcionamiento, desde la Redes Inalámbricas, Radio enlaces, Protocolos de Acceso Múltiple, parámetros de rendimiento de una red y los protocolos de estudio, nv2 y nstreme.

2.1. Redes inalámbricas

2.1.1. *Conceptos*

A continuación, se da a conocer conceptos recabados de diferentes fuentes, en las cuales detallan el concepto general de las redes inalámbricas.

- Es un sistema de comunicación de datos que permite una conexión sin cables entre equipos, a través de ondas electromagnéticas usando el aire como medio de transmisión. En la cual para su comunicación constan de un transmisor (Tx) y un receptor (Rx) los cuales son dos antenas respectivamente quienes realizan tales funciones. Los modos de transmisión puede ser simplex, half y full dúplex. Estas pueden transmitir ya sea tráfico de datos, tv, telefonía, entre otras (Andreu, 2011).
- Son redes que utilizan ondas de radio para conectar dispositivos, sin utilizar cables de ningún tipo para brindar conectividad (Salazar, 2016).

2.1.2. *Tipos de redes inalámbricas*

En cuanto a los tipos de redes inalámbricas, se clasifican por su tecnología, área de aplicación y por su alcance, tal y como se muestra en la ilustración 1-2.

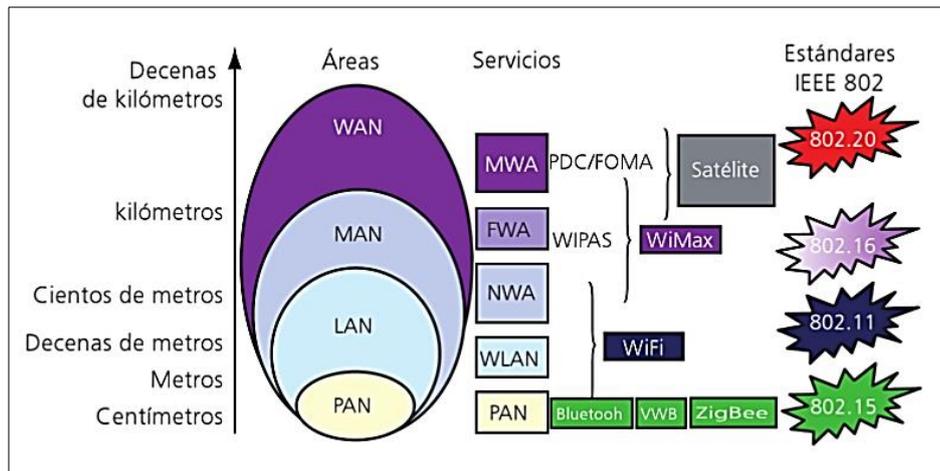


Ilustración 1-2:Tipos de redes inalámbricas por su Tecnología/
Alcance/Servicios

Fuente:(Joaquín Andreu, 2011)

Como se puede apreciar en la figura 2-2 la clasificación por áreas de los tipos de redes inalámbricas se puede dividir en 4, WAN, MAN, LAN y PAN, las mismas que se detallan a continuación a cerca de sus principales características.

- WPAN (Wireless Personal Area Network). – Redes inalámbricas de área personal, se caracteriza por brindar una comunicación a corto alcance en una red de dispositivos, ya sea estas computadoras. Se enfoca directamente a dar soluciones pequeñas, de mínimos requerimientos tanto en costo como en especificaciones técnicas, como el consumo mínimo de energía en dispositivos y una baja velocidad de transmisión. En cuanto a la tecnología que maneja, se puede detallar tal y como se aprecia en la figura 2-2, Bluetooth, VWB, Zigbee o IrDA.
- WLAN (Wireless Local Area Network). – Redes inalámbricas de área local, se caracteriza por brindar la comunicación inalámbrica entre dispositivos o computadoras en áreas aproximadas de hasta 100m, ya sea esta una casa, edificio, comedor, etc. Este tipo de redes inalámbricas se basan en el estándar 802.11 del IEEE y son comercializadas como Wi-Fi.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). – Redes inalámbricas de área metropolitana, este tipo de redes brinda una mayor cobertura y ancho de banda en su comunicación, directamente se basa en la tecnología WiMAX y en el estándar 802.16 del IEEE.
- WWMAN (Wireless Wide Area Network). – Redes inalámbricas de área amplia, este tipo de redes permiten una comunicación superior a los 50 kilómetros basándose en el estándar 802.20 del IEEE. Es aplicado generalmente en tecnologías de comunicaciones móviles, y así como también en la comunicación satelital.

A continuación, en la tabla 1-2 se da a conocer las diferencias de los tipos de redes inalámbricas, tomando en consideración parámetros como: rango de cobertura, tecnología, banda de frecuencia y la velocidad de transmisión de cada tecnología.

Tabla 1-2: Diferencias de los tipos de redes inalámbricas WPAN, WLAN, WMAN y WWAN.

Tipo de red	Nombre	Estándar	Banda de frecuencia	Rango	Máxima Velocidad Transmisión
WPAN	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	10 m	720 kbps
	IrDA	IrDA	Ventana Infrarrojo 850-900 nm longitud de onda	1 m	16 Mbps
	ZigBee	IEEE 802.15.4	868 MHz, 900 MHz, 2.4 GHz	10 m	250 kbps
	UWB	IEEE 802.15.3	3.1-10.6 GHz (USA) 3.4-4.8 GHz & 6-8.5 GHz (Europa)	10 m	480 Mbps
WLAN	Wi-Fi	IEEE 802.11	2.4 / 5 GHz	100 m	1 Mbps
		IEEE 802.11 ^a	5 GHz	100 m	48 Mbps
		IEEE 802.11b	2.4 GHz	100 m	11 Mbps
		IEEE 802.11g	2.4 GHz	100 m	54 Mbps
		IEEE 802.11n	2.4 / 5 GHz	250 m	600 Mbps
		IEEE 802.11ac	5 GHz	250 m	1.3 Gbps
WMAN	WiMAX	IEEE 802.16	2-11 GHz y 10-66 GHz	50 km	70 Mbps
WWAN	Móvil	AMPS, GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE	700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz	> 50 km	1 Gbps
	Satélite	DVB-S2	3-30 GHz	> 50 km	60 Mbps

Fuente: Andreu, 2011.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

2.1.3. Ventajas y Desventajas

Las redes inalámbricas presentan sus ventajas y desventajas, las cuales son importantes para tomar en cuenta en desarrollos de este tipo de redes, las cuales se detallan a continuación.

- Ventajas
 - ✓ Flexibilidad, debido a que permite la comunicación en zonas remotas, en donde el cableado es una limitación tanto por costo y accesibilidad.
 - ✓ Poca planificación, en relación a las estructuras cableadas que requieren de una estructura previa de análisis de distribución física, en las redes inalámbricas

basta con que se abarque las zonas requeridas, y en algunos de los casos que se disponga de línea de vista, para establecer la comunicación.

- ✓ Bajo costo de mantenimiento.
- ✓ Robustez, una red inalámbrica brinda mayor tolerancia a percances inesperados. (Varela & Domínguez 2002).
- Desventajas
 - ✓ Calidad de servicio, las velocidades en algunos casos no superan los 10Mbps, además son más susceptibles a interferencias generadas por las condiciones atmosféricas o interferencias externas como emisores de microondas.
 - ✓ Coste, para la implantación los dispositivos que serán usados en las redes inalámbricas, ya sea antenas, módulos, etc., son más caros.
 - ✓ Restricciones, esta desventaja hace relación directamente al uso del espectro radioeléctrico, debido a que con el avance de las comunicaciones inalámbricas se ha saturado significativamente a pesar de las regulaciones existentes en el uso del ancho de banda de cada país.
 - ✓ Seguridad, por el hecho de propagarse en el espacio libre, pueden sufrir algún tipo de interceptación de información, por lo cual es necesario la encriptación de la información que se maneja.

2.2. Estándares IEEE 802.11x

La familia 802.11 de IEEE, formada por varios estándares que se han ido desarrollando como mejoras al estándar inicial 802.11a, la cual fue desarrollada en el año de 1999, Posteriormente surgirían versiones mejoradas: 802.11a, 802.11g, 802.11n y 802.11ac, y otras normas desarrolladas con inclusión de correcciones de una versión anterior. En esta familia de 802.11 definen la frecuencia modular de transmisión y la velocidad de comunicación en los dispositivos de distribución de una red WLAN, así como también se centra directamente en los dos niveles inferiores del modelo OSI, la capa física y capa de enlace de datos, tal y como se aprecia en la ilustración 2-2. Para resumir las características y especificaciones principales de la familia 802.11 se muestra la Tabla 2-2 donde se aprecia una comparación de estándares de las tecnologías inalámbricas 802.11x, basadas en el año de desarrollo, la frecuencia de operación, la máxima transferencia de datos, y el máximo rango para el que fue desarrollado.

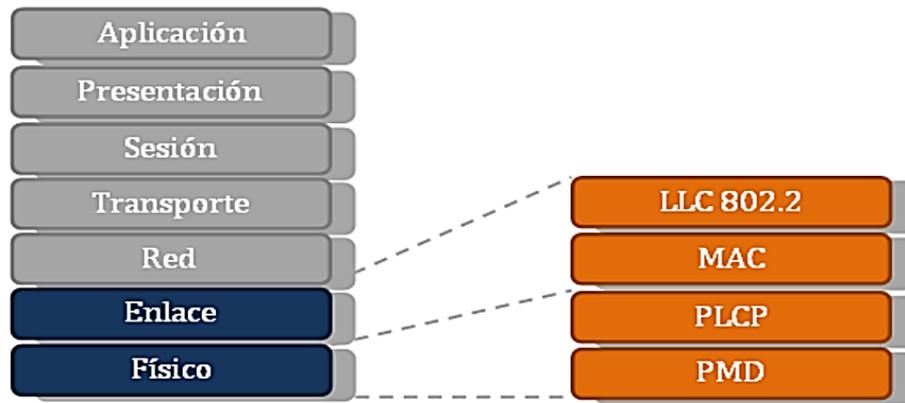


Ilustración 2-2: Capas del modelo OSI definida por el estándar IEEE 802.11

Fuente: Lardiés & Los Santos, 2009.

Tabla 2-2: Comparación de la familia del estándar IEE 802.11 en término de velocidad, año de desarrollo y rango de alcance.

EEE Estándar	Año	Frecuencia	Max. Data Rate	Max. Range
802.11a	1999	5 GHZ	54 Mbps	400 ft
802.11g	1999	2.4GHZ	11 Mbps	450 ft
802.11g	2003	2.4GHZ	54 Mbps	450 ft
802.11n	2009	2.4/5 GHZ	600 Mbps	825 ft
802.11ac	2014	5GHZ	1 Gbps	1,000 ft
802.11ac Wave 2	2015	5GHZ	3.47 Gbps	10 m
802.11ad	2016	60 GHZ	7 Gbps	30 ft
802.11af	2014	2.4/5 GHZ	26.7 Mbps	1,000 m
802.11ah	2016	2.4/5 GHZ	347 Mbps	1,000 m
802.11ax	2019	2.4/5 GHZ	10 Gbps	1,000 ft
802.11ay	Last 2019	60 GHZ	100 Gbps	300-500m
802.11az	2021	60 GHZ	Device tracking refresh rate 0.1-0.5 Hz	Accuracy <1m to 0.1m>

Fuente: Lardiés & Los Santos, 2009

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De toda la familia del estándar IEEE 802.11 mostrada en la tabla 2-2, es importante para el presente trabajo tomar en consideración las especificaciones del estándar 802.11 ac, debido a que esta se usará para el análisis de rendimiento de protocolos inalámbricos nv2 y nstreme, se aprecia que el estándar 802.11 ac es una mejora del 802.11n, ofreciendo una velocidad de datos teóricas de 1 Gbps y trabajando en la banda de 5GHz.

2.3. Técnicas de Acceso Múltiple

Las técnicas de acceso múltiple surgen de la necesidad de permitir a usuarios diferentes compartir un mismo medio físico de transmisión como el interfaz aire dentro del ámbito de las comunicaciones, ofreciendo capacidad de separación que debe existir en el extremo receptor entre las señales provenientes de cada uno de los usuarios, para que puedan ser recuperadas de forma independiente. En términos matemáticos es preciso que las señales transmitidas por los diferentes usuarios que comparten el mismo medio físico sean ortogonales entre sí, la misma que garantiza su capacidad de separación (Pérez Romero, 2001a). A partir de este término matemático, se generan diferentes técnicas de acceso a los sistemas de comunicación, las cuales son:

2.3.1. FDMA

El principio de esta técnica consiste en ortogonalizar las señales en banda base por medio de su traslación a bandas frecuenciales diferentes del espectro radioeléctrico, permitiendo que los diferentes usuarios transmitan simultáneamente. En el receptor, es necesario sintonizar la frecuencia empleada por transmisor deseado y filtrar la señal recibida la cual permita diferenciar la señal del usuario con el resto teniendo en cuenta su ancho de banda ocupado (Pérez Romero, 2001b). En la ilustración 3-2 se muestra el funcionamiento de la técnica de acceso por FDMA, en donde los diferentes usuarios comparten el medio de transmisión.

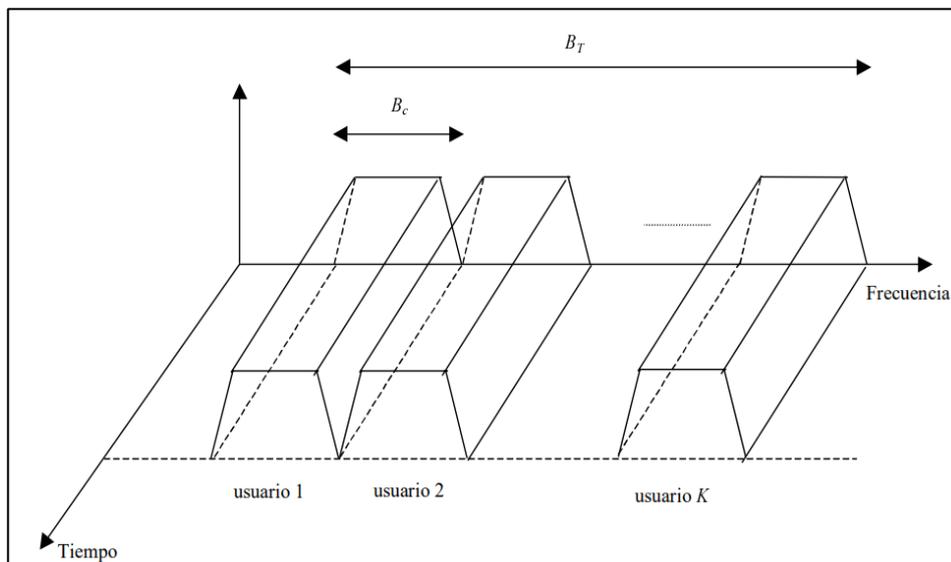


Ilustración 3-2: Representación de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) de k usuarios.

Fuente: Pérez Romero, 2001.

2.3.2. TDMA (Time Division Multiple Access)

La técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo, se basa en la compartición de un mismo canal para la comunicación de varios usuarios, en donde el tráfico de datos se distribuyen en varias ranuras de tiempo, generalmente estos canales de comunicación se pueden dividir, hasta en 8 slots distintos. Así como también proporciona soluciones a la correlación de tráfico, colisión, contención y problemas de cambio de canal en la base.

Como se muestra en la ilustración 4-2, son tres elementos claves de esta técnica de multiplexación (Ayala López, 2008):

- **Burst.** - También conocida como ráfaga de datos que son los bits propiamente dichos.
- **Time Slot.** - Asigna un intervalo de tiempo a cada usuario y contiene al burst.
- **Frame.** - Es el intervalo de tiempo que contiene N time slots cuando el sistema tiene N usuarios.

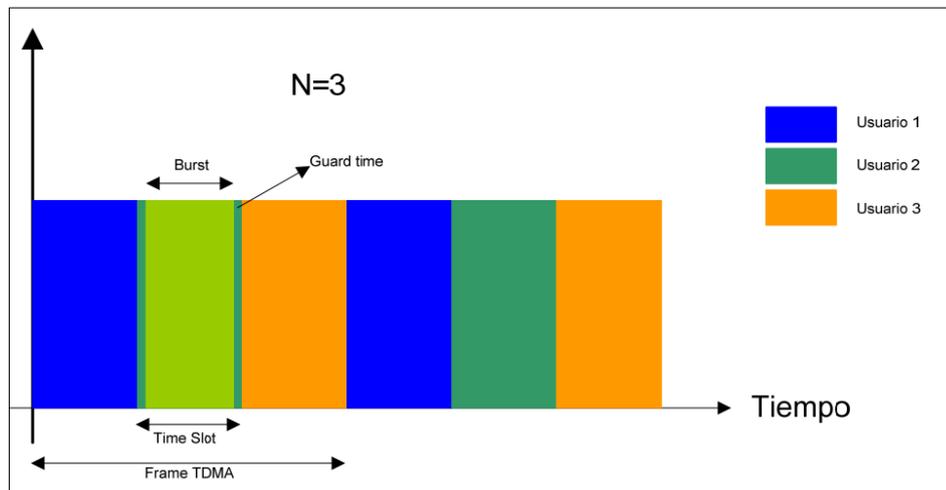


Ilustración 4-2: Esquema de la Tecnología de Acceso Múltiple por División de Tiempo.

Fuente: Ayala López, 2008.

De acuerdo a la ilustración 4-2 se aprecia algunos elementos que contiene los Time Slot, los cuales se detalla en la ilustración 5-2.

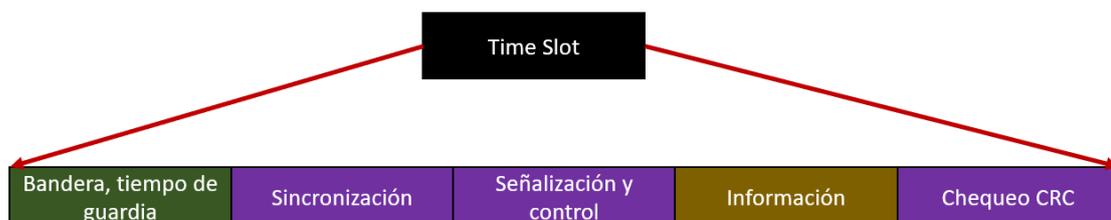


Ilustración 5-2: Campos pertenecientes al Time Slot

Fuente: Melgarejo Lomelin, 1998.

Los campos mostrados en la ilustración 5-2, pueden ser algunas de ellas omitidas al momento de ser usadas, teniendo en cuenta que campos como el tiempo de guardia son esenciales para evitar interferencias entre usuarios al conectarse a una estación base.

Una vez revisada esta tecnología, es importante dar a conocer algunas de las ventajas que ofrece, lo cual permitirá comprender las razones por las cuales son usadas con mayor frecuencia (Melgarejo,1998):

- ✓ Permite una tasa de bit flexible, no únicamente por múltiplos de una tasa de canal básica, sino que también por submúltiplos a tasas de bit más bajas dependiendo del tipo de tráfico, asignando más o menos slot de tiempo al usuario.
- ✓ Es posible monitorear trama por slot la potencia de la señal y la tasa de error.
- ✓ Utiliza la banda de frecuencias eficientemente porque no requiere bandas de guardia entre canales o portadoras.
- ✓ Transmite cada señal con suficiente tiempo de guardia entre slots.
- ✓ Con respecto a CDMA, TDMA es mucho menos estricto en los requerimientos de control de potencia, ya que la interferencia entre usuarios es controlada por la asignación de un slot de tiempo y de frecuencia en lugar del procesamiento de ganancia que resulta del ancho de banda codificado expandido.
- ✓ TDMA es menos caro en su implementación.

2.3.3. *CDMA*

La técnica de acceso múltiple por división de código basa su funcionamiento en que todos los usuarios pueden utilizar el mismo canal de comunicaciones al mismo tiempo, sin existir división de tiempo o frecuencia, esta técnica logra diferenciar las señales de cada usuario mediante diferentes códigos, estos códigos son asignados exclusivamente una para cada usuario, la misma que contiene propiedades de autocorrelación y ortogonalidad. Por lo tanto, se puede definir a CDMA como una técnica de acceso múltiple basada en la asignación de diferentes códigos para señales en espectro expandido y limitado por interferencia (Lara Rodríguez et al., 2002a).

Debido a que esta técnica se basa en la diferenciación de cada usuario mediante códigos, en base a la modulación y demodulación que puede emplearse en los códigos, se pueden presentar en 4 tipos bien diferenciados, CDMA por: Secuencia directa, por saltos de frecuencia, por saltos de tiempo, e híbrido que es una combinación de las 3 anteriores descritas.

Las ventajas que presenta esta técnica son principalmente (Lara Rodríguez et al., 2002b).

- ✓ Ofrecen reducción del efecto de desvanecimiento por multitrayectoria.
- ✓ Eliminan la interferencia destructiva o jamming.
- ✓ Incrementan la capacidad del sistema hasta 4 veces comparado con TDMA y 20 veces con FDMA.
- ✓ No se requieren bandas de tiempo para protección, como en TDMA.

2.4. Radio Enlaces

Los radios enlaces se definen como interconexiones simples o múltiples entre estaciones de telecomunicaciones, donde estas se encuentran formadas por elementos activos y pasivos que permiten brindar una comunicación por medio de ondas electromagnéticas mediante el espacio libre. Se encuentran formadas por una antena que constituye el elemento pasivo, un radio que es aquella que se encarga de tratar a la información que se desea enviar, ya sea esta el tipo de modulación, la frecuencia que se emplea, el tipo de comunicación (simplex, dúplex, full dúplex), etc. Han sido usadas con mucha frecuencia para aplicar a la provisión de internet en lugares de difícil acceso, entendiéndose que previo a la implementación de radio enlaces es imprescindible realizar un estudio de ingeniería.

2.4.1. Tipos de enlaces inalámbricos

En cuanto a los tipos de enlaces inalámbricos, se define 3 tipos de enlaces más comunes que son empleadas en el ámbito de telecomunicaciones, en especial las aplicadas a la provisión de internet en lugares de difícil acceso, estos 3 tipos de enlaces o topologías se los detalla a continuación.

2.4.1.1. Enlace Punto-Punto

Es un tipo de arquitectura de red, que usa los canales de datos para comunicar únicamente dos nodos (ver ilustración 6-2), donde los dispositivos en red actúan como socios iguales, o pares entre sí (Suqui Carchipulla 2010) . Según el sentido de la comunicación se pueden clasificar en 3 modos de transmisión:

- **Simplex.** – La transmisión se genera solo en un solo sentido. Ej.: Emisoras de radiodifusión.
- **Semidúplex.** – La transmisión se genera en ambos sentidos de una forma alternada. Ej.: Transmisiones por radioaficionados.

- **Dúplex.** – La transmisión se genera en ambos sentidos de manera simultánea, esta forma de transmisión es más eficiente. Ej.: Comunicaciones telefónicas.

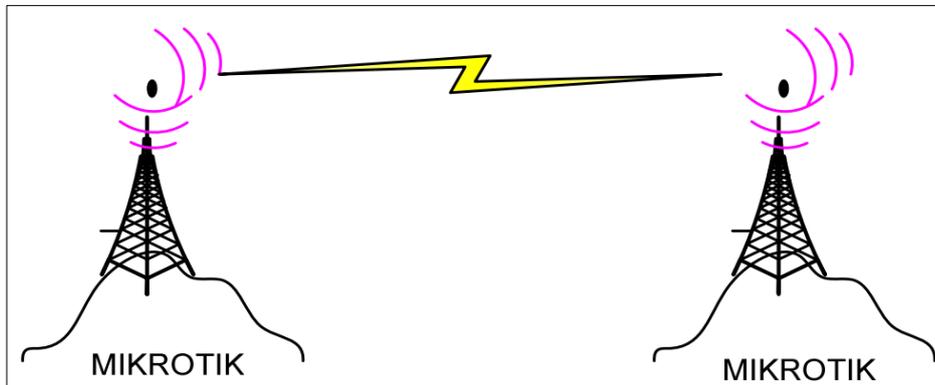


Ilustración 6-2: Representación de la topología de un enlace inalámbrico Punto a Punto.

Fuente: Suqui Carchipulla, 2010.

2.4.1.2. Enlace Punto-Multipunto

Un enlace punto a multipunto se caracteriza por tener un nodo central, formada por una antena multidireccional que se encarga de centralizar la comunicación, esta centralización se da en base a diferentes nodos o estaciones, en donde las estaciones no poseen comunicación entre ellas (ver ilustración 7-2), tan solo se centra en la comunicación mediante el nodo central. Es ampliamente usado este tipo de topologías debido a que reduce mucho el tema de costos.

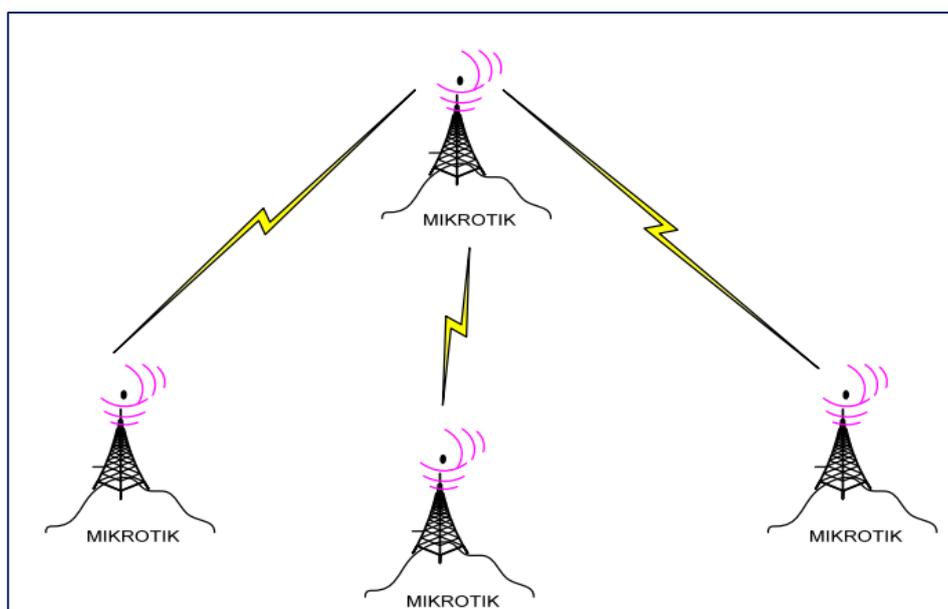


Ilustración 7-2: Representación de la topología de un enlace punto-multipunto.

Fuente: Suqui Carchipulla, 2010.

2.4.1.3. Conexión de Rejilla o Malla

Esta topología de enlaces inalámbricos es una combinación de las dos anteriores topologías descritas, pues cada estación o nodo permite comunicarse entre sí con todos los nodos existentes (ver ilustración 8-2), permitiendo así abarcar una mayor área de comunicación y también ofreciendo más de una ruta de comunicación a un nodo, de tal forma convirtiéndola en una topología robusta, frente a fallos que pudiesen presentarse.

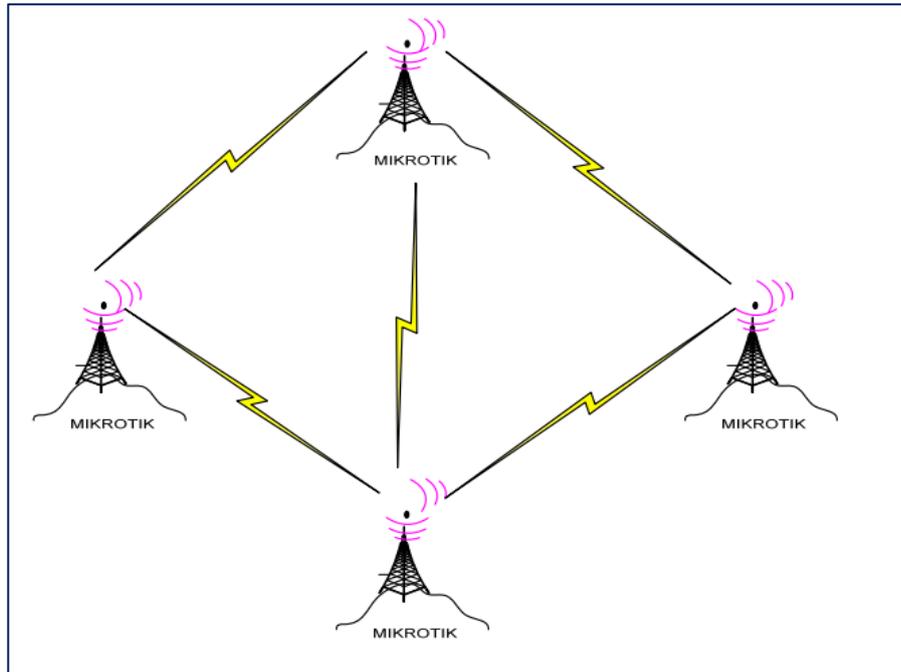


Ilustración 8-2: Representación de la Topología de comunicación inalámbrica tipo estrella.

Fuente: (Suqui Carchipulla, 2010.)

2.4.2. Características de Propagación

En este apartado se da a conocer de manera general los conceptos relacionados a la propagación de radioondas, detallando los efectos que esta puede sufrir en la propagación, ya sea de reflexión, difracción, refracción, absorción o dispersión. Así como también se sintetizará los cálculos referentes a la zona de Fresnel y atenuación.

2.4.2.1. Reflexión

Este efecto en la propagación de radioondas ocurre cuando la onda ataca una barrera de dos medios, donde la onda no puede entrar toda o en parte al otro medio, por lo que la onda se refleja total o parcialmente (Danizio, 2019a, p.30).

La velocidad de la onda incidente y el de la reflejada es la misma, y por lo tanto ambos ángulos, tanto el de incidencia y de reflexión son iguales, pero la potencia reflejada es casi menor que el incidente. La relación entre el voltaje incidente y el reflejado se llama coeficiente de reflexión, cuando el conductor es ideal este coeficiente vale 1 (Danizio, 2019b, p.30).

2.4.2.2. *Refracción*

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo conforme pasa de un medio a otro, con diferentes velocidades de propagación. Esta velocidad de propagación es inversamente proporcional a la densidad del medio por el cual se propaga. Esto implica que solo habrá refracción si hay variación del índice de refracción del medio y esto es lo que ocurre en la troposfera (Danizio, 2019c, p.23).

2.4.2.3. *Difracción*

El efecto de la difracción suele definirse como la redistribución de energía dentro de un frente de onda, cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. Es decir, cuando una onda electromagnética encuentra un obstáculo se afecta su propagación, sin embargo, tras el obstáculo aparece intensidad de campo (Danizio, 2019d, p.36).

El principio de difracción indica que cada punto de un frente de onda esférico se puede considerar como una fuente secundaria de ondas electromagnéticas. Desde donde se irradian hacia fuera ondas pequeñas, es decir ondas secundarias. La difracción es una ventaja ya que es posible obtener comunicación en valles detrás de montañas (Danizio, 2019e, p.36).

2.4.2.4. *Zonas de Fresnel*

En términos sencillos la zona de fresnel es generada a partir de la difracción de las ondas electromagnéticas que establecen comunicación tanto entre el transmisor y el receptor del radio enlace, formando una familia de elipsoides que se generan en el medio de propagación por donde las señales de RF viajan.

Está definida por los límites donde las ondas interiores llegan al receptor con la misma fase de la señal transmitida, tomando su valor de fase como cero, en la ilustración 9-2 se muestra la línea de color verde que indica la fase mínima en una zona de fresnel (Hernández et al., 2014a).

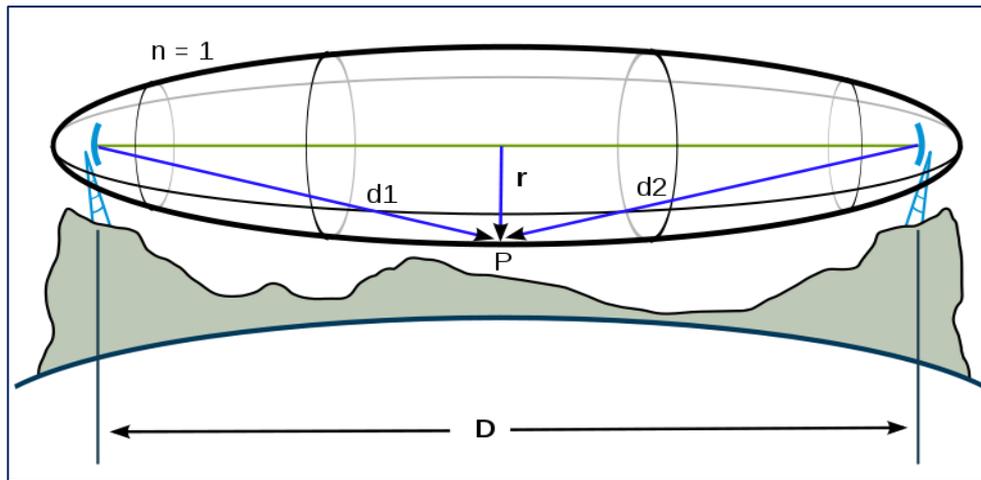


Ilustración 9-2: Gráfica de representación de la primera zona de fresnel.

Fuente: (MUNDO TELCO, 2014)

Depende de la longitud de onda (λ) y de la distancia entre las antenas. Para señales con longitud de onda baja la diferencia entre distintos caminos dará una zona de contrafase más rápidamente y con ello el radio de Fresnel será menor (Hernández et al., 2014b).

Teniendo en cuenta el obstáculo más pronunciado que se presenta en la figura 10-1, representada con la letra P, es posible determinar las distancias tanto desde el Tx hacia el obstáculo como (d_1) y desde el obstáculo hasta el Rx como (d_2), la cual permitirá conocer el radio de la primera zona de fresnel, mediante la siguiente fórmula:

$$rf = 574 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}}$$

Donde:

- $d=d_1+d_2$, en Kilómetros.
- f , es la frecuencia en MHz.

En la parte aplicativa lo ideal es que se tenga el 100% de primera zona de fresnel libre de obstáculos, y un mínimo de 60% libre en la primera zona.

2.5. Análisis de los efectos de atenuación

En este apartado se da a conocer los aspectos principales para el análisis de la ecuación de un enlace, partiendo desde los efectos de un radio enlace, hasta interpretación de la sensibilidad y el umbral de ruido en la ecuación de un radio enlace.

2.5.1. Fading

El efecto de fading se presenta cuando las condiciones climáticas del medio por la cual se propaga la onda, presentan variaciones, ya sea esta, lluvias, tormentas, etc. Por las variaciones que se presentan en el medio, la onda tiende a sufrir cambios, lo cual provoca un desvanecimiento temporal y cambio en el índice de refracción.

El fading puede actuar de dos formas, el primero de los casos se presenta cuando las antenas de transmisor son más directivas, en donde se altera directamente al lóbulo de radiación, desviando la dirección de la energía emitida por el dispositivo. El otro de los casos se da cuando se presentan las variaciones de las fases, ya sea por la distancia o los cambios del índice de refracción.

2.5.2. Atenuación en el espacio libre

La atenuación en el espacio libre se considera a la pérdida de energía resultante desde la antena transmisora hasta la antena receptora de un radio enlace, suponiendo claramente que el enlace se encuentra despejado, en una atmosfera homogénea. Considerando parámetros principales la distancia y la frecuencia para su análisis matemático.

Lo que ocurre en realidad, es que la onda de salida al avanzar va aumentando su superficie, tiendo en claro que la señal tiene una densidad de potencia al momento de salir, es decir una potencia distribuída sobre un área y al avanzar la onda esta área crece y la densidad disminuye. Donde la antena receptora debe ofrecer un patrón de radiación adecuado para recibir la mayor potencia posible (Danizio, 2019f, p.48).

Para el cálculo matemático de la atenuación en el espacio libre, se aplica la siguiente fórmula:

$$A_{0db} = -20 \cdot \log(f) - 20 \cdot \log(d) - 32.44$$

En donde la frecuencia está en MHz y la distancia en Kilómetros.

2.5.3. Atenuación Ambiental

2.5.3.1. Atenuación por vegetación

Se presenta en sistemas de radiocomunicación en la que el receptor se encuentra ubicada en interiores de terrenos boscosos, presentándose una pérdida adicional por penetración de las

ondas a través de la vegetación. La evaluación se lo realiza en base a la Recomendación UIT-R P.833 (Figuras de curvas), que proporcionan la atenuación específica, o atenuación por unidad de longitud, en función de la frecuencia y de la polarización. Las curvas representan un promedio aproximado para todo tipo de bosque, en frecuencias de hasta 3.000 MHz. Si la atenuación es alta (> 30 dB), debe considerarse la posibilidad de difracción, en obstáculo agudo o el modelo de tierra esférica (Hernando, 2008a, p.175).

2.5.3.2. *Atenuación por gases atmosféricos*

Se presentan en trayectos troposféricos, en donde las moléculas de O_2 y H_2O absorben energía electromagnética, produciendo una atenuación que puede ser muy elevada en frecuencias superiores a 10 GHz. Los cálculos y expresiones de atenuación específica para gases atmosféricos, es proporcionada por la Recomendación UIT-R P.676 (Hernando, 2008b, p.177).

2.5.3.3. *Atenuación por lluvia*

La atenuación por efectos de lluvia, nieve y granizo, se evalúa por lluvia excedida durante un porcentaje de tiempos pequeños es posible medir en frecuencias superiores a 1GHz. En los radioenlaces terrenales los cálculos son posible de realizar en base a las expresiones de la Recomendación IUT-R P.530 conjuntamente con las Recomendaciones UIT-R 838 y UIT-R 837, que en este último emite los valores de intensidad de lluvia, dependiendo las zonas de estudio (Hernando, 2008c, pp. 179-182).

2.5.4. *Umbral de ruido en el receptor*

El umbral de ruido se define a partir del concepto de la figura de ruido (ver ilustración 10-2), que es el cociente entre la relación señal ruido a la entrada y la relación señal ruido a la salida, en términos de potencia (Danizio, 2019g, p.52).



Ilustración 10-2: Diagrama del umbral de la señal a ruido en el receptor.

Fuente: Danizio, 2019.

En síntesis, la fórmula que permite calcular el umbral de ruido en el receptor es:

$$N_r = (F_s - 1)K \cdot T_s \cdot B = K \cdot T_e \cdot B$$

En donde:

- K= Constante de Boltzman $1,38.1010^{-23} \frac{\text{Joules}}{^\circ\text{K}}$
- T= Temperatura en grados Kelvin.
- B= Ancho de banda

2.5.5. Sensibilidad del Receptor

Es el nivel mínimo nivel de señal en potencia que hace funcionar al receptor, y la cual permite establecer o enganchar un radio enlace para su comunicación utilizable y una calidad aceptable.

Las unidades en la cual puede venir especificado son $\frac{mV}{\Omega}$, mW y dBm .

2.5.6. Ecuación del enlace

La ecuación del enlace entre un transmisor y un receptor, permite expresar matemáticamente, la ecuación de equilibrio desde el punto de vista de potencia que rige en un enlace, en donde se toma en cuenta los elementos que intervienen directamente, tal y como se muestra en la ilustración 11-2.

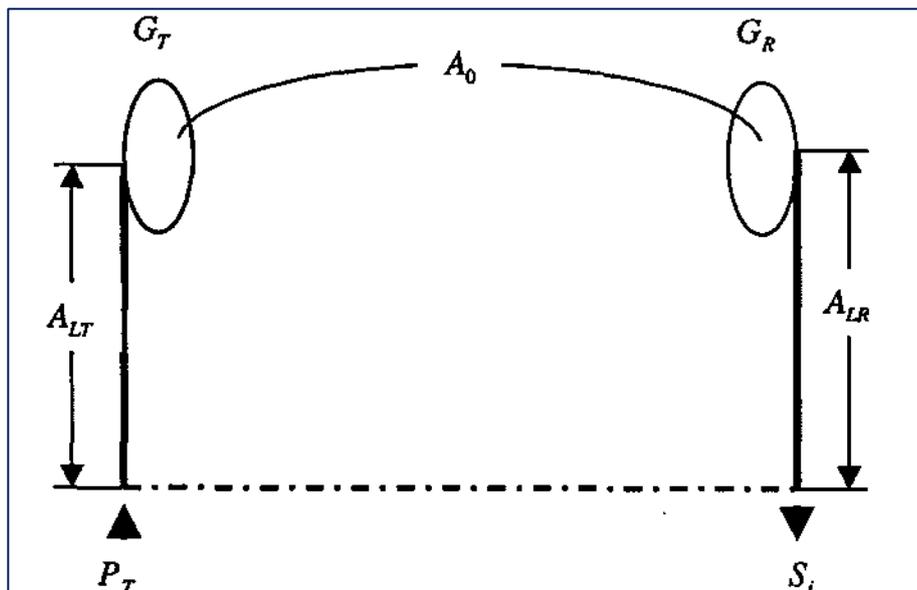


Ilustración 11-2: Representación de los elementos que intervienen en la ecuación del enlace.

Fuente: (Danizio, 2019, pg.55)

En relación a la ilustración 11-2, los elementos que intervienen en la ecuación del enlace principalmente son 7, donde se representa la potencia de transmisión como P_t , la sensibilidad como S_i , la pérdida por línea de transmisión (cable) como A_{LT} , y de la antena receptora como A_{LR} , la ganancia de la antena transmisora como G_T , la ganancia de antena receptora como G_R , las pérdidas en el espacio libre como A_0 y el margen de fading como M_F . Es importante tomar en cuenta la pérdida que se produce en los conectores de los dispositivos a usar, la cual se representa como A_{CT} para el transmisor y A_{CR} para el receptor. Con estos elementos, la ecuación del enlace es:

$$S_i = P_t - A_{CT} + G_T - A_0 + G_R - A_{CR} - M_F$$

Para tener conocimiento de alguno de los datos, para el cálculo del enlace, es importante partir de los equipos con los que se va a trabajar, teniendo sus especificaciones.

2.6. Antenas

Una antena se define como un dispositivo pasivo que es capaz de convertir las señales eléctricas variables en ondas electromagnéticas, y así como también las ondas electromagnéticas en señales eléctricas, por lo que se hace relación a una antena transmisora y receptora respectivamente. Es importante definir algunos términos que caracterizan a este dispositivo metálico, que permitirá comprender de mejor manera su funcionamiento y sus características.

2.6.1. Impedancia

Se define como el cociente entre el voltaje aplicado a los terminales de entrada de la antena y la corriente resultante. Compuesta por un componente resistivo y un reactivo; sin embargo, la impedancia de entrada es igual a la suma de la resistencia de radiación más la resistencia de pérdida. Si la impedancia no presenta una parte reactiva es decir es puramente resistiva a una frecuencia determinada se denomina como antena resonante (Monachesi, et al., 2011a, p.10).

La impedancia de entrada por tanto se representa matemáticamente de la siguiente manera:

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$$

Donde:

- Z_{in} Impedancia
- R_{in} Resistencia
- X_{in} Reactancia

2.6.2. Ancho de Banda

El ancho de banda de una antena se define como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central, en donde dicha relación es posible expresarlo en forma de porcentaje, de la siguiente manera (Cardama, et al., 2002):

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_o}$$

2.6.3. Diagrama de radiación

Representación gráfica de la forma de distribución de la energía electromagnética en el espacio. Es posible medir mediante la ubicación de una antena fija y otra ubicada en el entorno de medición del diagrama, también por la rotación de la antena en torno a sus ejes, donde las señales enviadas son recibidas en un receptor capaz de discriminar con precisión la frecuencia y la potencia recibidas (Monachesi, et al., 2011b, p.9).

El patrón de radiación se puede representar en forma cartesiana o polar, tal y como se muestra en la ilustración 12-2.

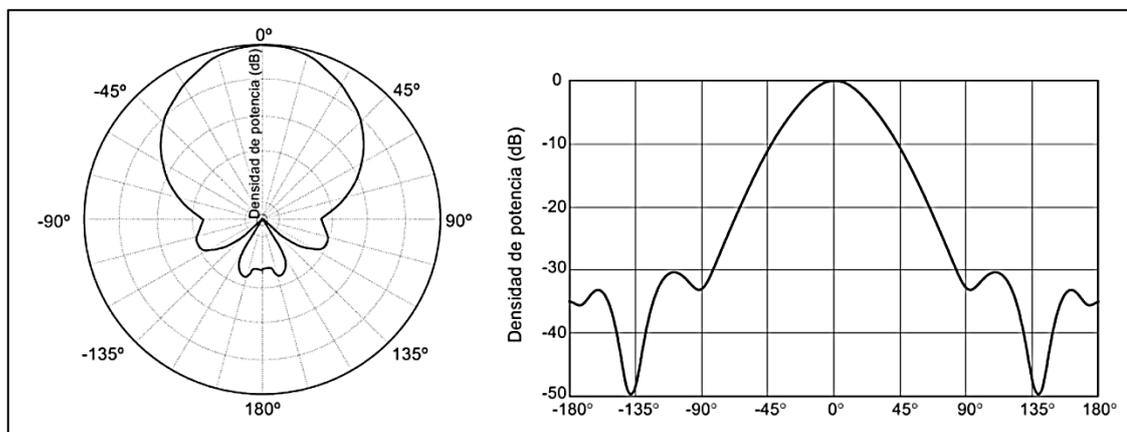


Ilustración 12-2: Ejemplo del patrón de radiación de una antena en coordenadas polares (izq.) y cartesianas (der.).

Fuente: Ángel Cardama Aznar et al., 2002.

2.6.4. Ancho del Haz

El ancho de haz se relaciona con el diagrama de radiación, ligado al diagrama de radiación. De define el ancho a -3 dB, que es el intervalo angular donde la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la máxima. También es posible definir el intervalo angular del haz principal

del diagrama de radiación, entre los dos ceros adyacentes al máximo que se conoce como el ancho de haz entre ceros (Huidobro, 2013a). En la ilustración 13-2 se muestra un ejemplo de representación de ancho del haz de una antena de 3 dB.

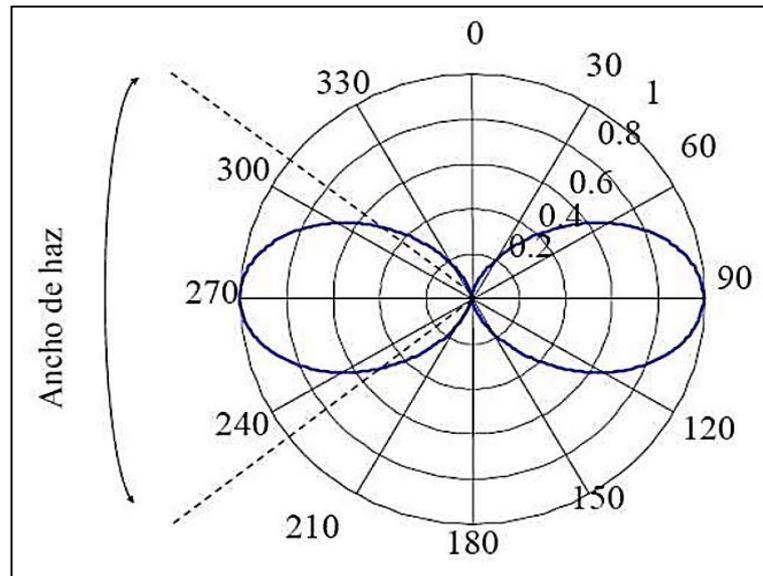


Ilustración 13-2: Ancho de haz de una antena a 3 dB.

Fuente: Huidobro, 2013.

2.6.5. Directividad

Propiedad de una antena para transmitir o recibir la energía irradiada en una dirección única. Para un enlace inalámbrico que utiliza antenas fijas en ambos extremos, se puede utilizar esta directividad para concentrar la radiación en la dirección deseada. En casos que la antena receptora no se encuentre fija es posible utilizar una antena omnidireccional (Monachesi, et al., 2011c, p.7).

El ángulo que se hace referencia al diagrama de radiación del lóbulo principal en el plano horizontal de la antena se denomina “azimut”, mientras que para el diagrama de radiación vertical se denomina “ángulo de elevación”, con lo cual se pretende concentrar la mayor energía de radiación (Huidobro, 2013b, p.7).

La directividad se puede medir ya sea en dBi o dBd, teniendo en cuenta que esta se relaciona directamente con la potencia de radiación.

2.6.6. Ganancia

La ganancia es una relación o cociente entre dos magnitudes físicas iguales, es decir adimensional, que puede ser mayor, menor o igual a la unidad. Se expresa tomando como referencia la energía radiada de una antena estándar, ya una antena isotrópica o la antena dipolo resonante de media longitud de onda. La antena isotrópica irradia en todas las direcciones con la misma intensidad (Monachesi, et al., 2011d, p.7).

2.6.7. Polarización

La polarización puede ser lineal, circular y elíptica, donde la polarización lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical, +45°, -45°). Las polarizaciones circular o elíptica pueden ser a derechas o izquierdas, según el sentido de giro del campo (Huidobro, 2013c). En la ilustración 14-2 se representa estos 3 principales de polarización de una antena.

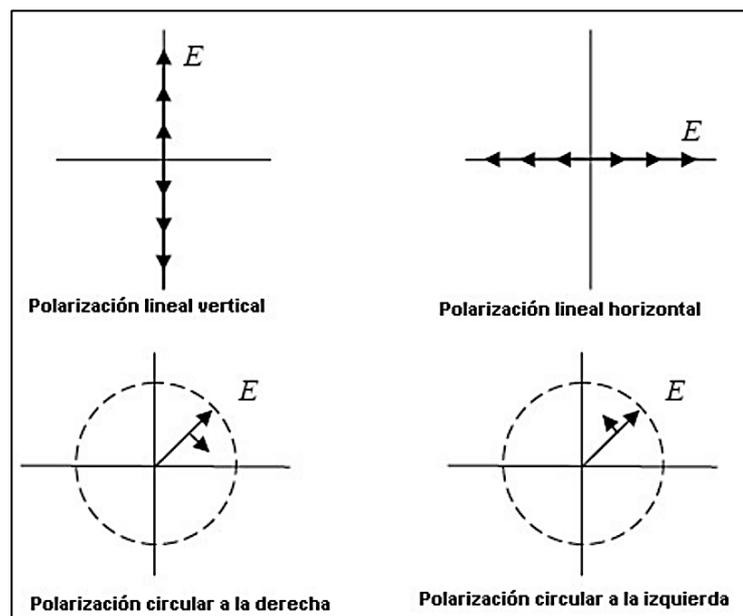


Ilustración 14-2: Tipos de polarización de una antena, horizontal, vertical y circular.

Fuente: Vielma, 2005.

2.7. Bandas UNII

La banda de 5 GHz UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) está formada por tres sub bandas:

- UNII-1 (5.15 – 5.25 GHz),

- UNII-2 (5.25 – 5.35 GHz) y
- UNII-3 (5.725 – 5.825 GHz).

Existen 8 canales sin solapamiento disponibles si se usan UNI-1 o UNII-2. El ancho de banda total disponible en la banda de 5 GHz también es mayor que en la banda de 2,4 GHz (300 MHz por 73 MHz). Donde se puede exceptuar conflictos al usar una WLAN basada en el 802.11^a que admita un gran número de usuarios de alta velocidad. Un inconveniente de utilizar la banda de 5 GHz es que las frecuencias utilizadas no están estandarizadas internacionalmente (Amaya Mantilla, 2007, p.49).

La elección de canales y anchos en la banda de 5 GHz es sencilla, donde 802.11a permite el uso de canales de 20 MHz, 802.11n de 40 MHz, y 802.11ac de 80 MHz o 160 MHz, en la siguiente ilustración 15-2 que se muestra a continuación se muestra la segmentación de canales y su correspondencia con la banda UNII.

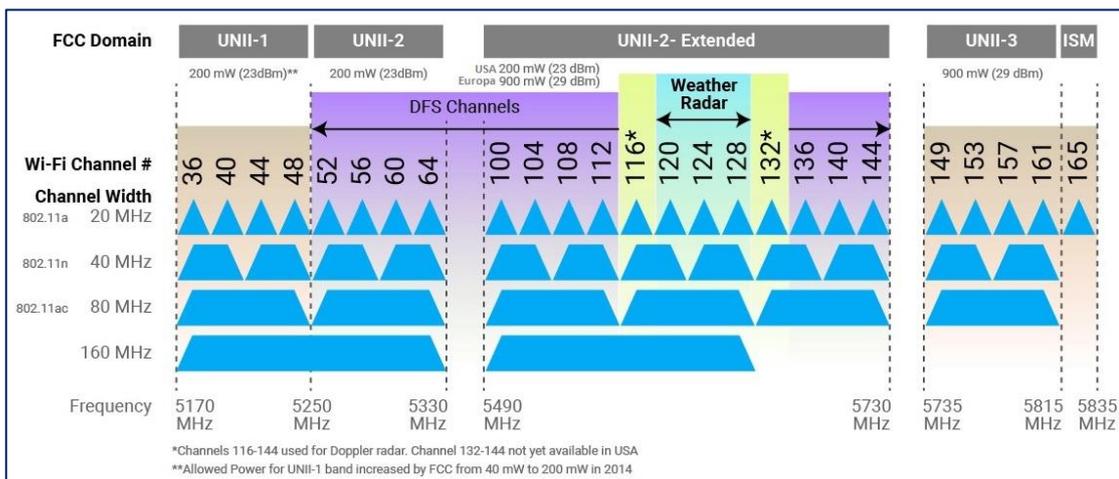


Ilustración 15-2: Distribución de las bandas UNII.

Fuente: (ZTE, 2018)

Algunas frecuencias de la banda 2 y 2e aún están en uso por los sistemas de radar meteorológicos militares y comerciales heredados, lo cual induce al uso de la selección de frecuencia dinámica DFS, que permitan medir periódicamente sistemas de radar heredados u otra señal de interferencia.

2.8. Parámetros de rendimiento de una red

El rendimiento de red hace referencia desde el punto del cliente, a las mediciones de diferentes parámetros para determinar la calidad de servicio de telecomunicaciones que se ofrece. En

donde es indispensable analizar parámetros de capacidad, la cual involucra el ancho de banda, Jitter, Throughput, Pérdida de paquetes y latencia.

2.8.1. Ancho de Banda

El ancho de banda en redes, se define como la capacidad máxima de transmisión de información en un determinado tiempo. La capacidad de transmisión se encuentra limitada por diferentes motivos, tales como, la tecnología que usan los equipos que procesan la información, los medios de transmisión que usan para el tráfico de datos, ya sea este, cobre, fibra, inalámbrico, entre otras.

La medición del ancho de banda, debido a que se realiza en un determinado intervalo de tiempo, en sistemas digitales generalmente son representados como: Kbps, Mbps, y Gbps, en los sistemas más comunes que se conoce. Esta capacidad de ancho de banda está ligada directamente a las tecnologías que se usan, ya sea ethernet, ADSL, GPON, etc.

2.8.2. Jitter

El Jitter en redes de comunicaciones, es una variación en el retraso del tránsito de paquetes causada por los efectos de cola, contención y serialización en la ruta a través de la red. En general, es más probable que se produzcan niveles más altos de fluctuación en enlaces lentos o muy congestionados (ITU, 2003, p.1).

Para disminuir el impacto de Jitter se aplica generalmente QoS, en donde aplican mecanismos de control de colas, tales como E3/T3 y SDH.

2.8.3. Throughput

Definida como la tasa de datos reales existentes en un medio de comunicación, sin considerar los encabezados del paquete, ACK, retransmisiones, etc., por lo que quedan sólo los datos puros del usuario (Tamariz Flore et al., 2017, p.4).

2.8.4. Tasas de pérdida de paquetes

El parámetro de medición de pérdidas de paquetes en la calidad de servicio de una red, hace referencia a los paquetes perdidos durante una comunicación entre el transmisor y el receptor, en donde algunos paquetes enviados por el transmisor no llegan a su destino final, esta se puede

dar debido a varios factores, ya sea el medio de transmisión por la cual se comunica, o por la inundación de paquetes a la capacidad admisible del buffer de una interfaz, en momentos de congestión. La tasa de pérdidas de paquetes permitidas para que una comunicación debe ser lo más mínima posible, en la telefonía IP, debido a los protocolos de comunicación que utiliza, es admitido hasta el 5%.

2.8.5. Latencia

Este parámetro se enfoca en realizar la medición del tiempo empleado que un paquete toma para llegar desde el transmisor hacia su destino, mientras el paquete emplee menos tiempo, es mucho más eficiente la comunicación. Es decir, es el retardo temporal que toma un paquete de información, en llegar hacia el receptor.

La latencia depende de varios factores, pues en muchas ocasiones el medio de transmisión no es favorable, la capacidad de memoria es superada por paquetes de tamaño superior al que está permitido procesar, generando un cuello de botella, así como también dependiendo el protocolo de transporte que se use, ya que tcp o udp, y también los diferentes equipos que se encuentran interconectados dentro de la red, pues cada una de ellas producen un retardos, que al final terminan afectado, al rendimiento de la red.

2.9. Protocolos Inalámbricos de MikroTik

Nv2 y Nstreme son protocolos inalámbricos desarrollados por la marca Mikrotik para establecer la comunicación entre nodos que disponen de acceso a una red en común, las cuales están basadas en TDMA (Acceso múltiple por división de Tiempo), comparten algunas funcionalidades con respecto a protocolos inalámbricos de otras marcas. En el presente apartado se dará a conocer el funcionamiento y las características principales de ambos protocolos.

2.9.1. Nv2

Es un protocolo inalámbrico creado por Mikrotik, que principalmente en su funcionamiento usa el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), con lo cual es posible controlar el acceso de los abonados en relación al tiempo, con esta técnica de acceso este protocolo permite evitar problemas de nodos ocultos, por ende, brinda mayor eficiencia en la comunicación y mejorando la latencia.

2.9.1.1. *Funcionamiento*

El acceso al medio en redes inalámbricas mediante Nv2 es controlado por el Access Point Nv2, el cual se encarga de dividir el tiempo en períodos de tamaño fijo denominados slots de tiempo, los cuales son dinámicamente fraccionados en segmentos de downlink y uplink, utilizando el estado de colas en el AP y clientes. El tiempo de uplink es fragmentado entre los clientes conectados, teniendo en cuenta sus requerimientos de ancho de banda. Al inicio de cada ciclo, el AP transmite su agenda de transmisión, la cual muestra a los clientes cuando pueden transmitir y que cantidad de tiempo pueden utilizar (Bonilla Fernández & Reyes Aguirre, 2015a, p.25).

Para conectar nuevos clientes al AP, Nv2 fija periódicamente un tiempo de enlace ascendente para los "clientes no especificados". Este intervalo de tiempo se utiliza para que los nuevos clientes puedan comenzar a registrarse, después el AP realiza un retardo de propagación entre él mismo y el cliente con lo cual inicia periódicamente la programación de tiempo de enlace ascendente para que el cliente pueda completar el registro y recibir datos (Bonilla Fernández & Reyes Aguirre, 2015b, p.25).

2.9.1.2. *Características*

Las características que presenta nv2, entre las más importantes son las siguientes:

- ✓ Soporta WDS (Sistema de Distribución Wireless).
- ✓ Soporta QoS.
- ✓ En cuanto a la seguridad dispone de una encriptación de datos.
- ✓ Autenticación de RADIUS.

En cuanto a la compatibilidad es importante definir los siguientes puntos (Bonilla Fernández and Reyes Aguirre 2015, pg.26) :

- ✓ Tan solo RouterOS podrá ser compatible con el protocolo nv2 y podrá realizar el escaneo del AP.
- ✓ Nv2 tendrá interferencia con otras redes en cuanto se encuentre en el mismo canal.

2.9.2. *Nstreme*

Al igual que nv2 este protocolo es desarrollado por Mikrotik, así como también utilizando el método de acceso al medio por división de tiempo (TDMA), permitiendo corregir el problema del nodo oculto, y brinda mayor eficiencia en la comunicación.

Es utilizado para tipo de redes punto a punto y punto a multipunto. Posee un pequeño encabezado de trama, lo que permite una alta velocidad de transmisión y limita el retardo, por lo que se lo puede utilizar en enlaces de larga distancia. Es compatible con los chips Atheros 802.11a/b/g/n; en los modelos AR5211 y AR5212 únicamente (Bonilla Fernández & Reyes Aguirre, 2015c, p.22).

2.9.2.1. *Funcionamiento*

El funcionamiento de nstreme, entendiéndose que principalmente se basa en TDMA, posee un Access Point, que realiza la segmentación tanto en uplink como en downlink, medios por el cual el usuario o abonado enviará y receptorá la información. Este Access Point, se encarga de crear una agenda que permita controlar el flujo de datos de cada cliente, con lo cual también controla las interferencias entre clientes.

Los tipos de enlaces inalámbricos que se puede establecer con Nstreme, son el modo punto a punto, punto a punto de radio dual y punto-multipunto. De estos 3 modos, el propicio para un radioenlace es el modo punto a punto, el cual consta de dos estaciones, en la cual la una funciona como master y el otro como esclavo, mientras que en modo punto-multipunto, consta de un Access Point, que se encarga de realizar una consulta constante a los clientes o abonados de la red para generar sincronismo de transmisión y con ella evitar colisiones.

2.9.2.2. *Características*

En cuanto a las características del protocolo inalámbrico nstreme, se detalla las siguientes (Bonilla Fernández & Reyes Aguirre, 2015d, p.24).

- ✓ Posee una forma de control para el acceso de los clientes denominado polling, según el cual cada Access Point (AP) pide, de acuerdo con su agenda de programación determinada si ha de enviar alguna información.
- ✓ El polling de cliente reduce los tiempos de acceso al medio.
- ✓ Posee un ajuste dinámico, dependiendo del tipo de tráfico y el uso de recursos
- ✓ Posee muy baja sobrecarga de encabezado en su trama lo que permite velocidades de datos muy altas.
- ✓ No posee degradación de velocidad en enlaces de larga distancia.
- ✓ Soporte WDS (Sistema de distribución Wireless).

- ✓ La compatibilidad de nstreme con diferentes fabricantes es mínima, tan solo es compatible con los equipos RouterOS, propios de Mikrotik.

2.9.3. Diferencias entre Nv2 y Nstreme

Las diferencias entre los protocolos Nv2 y Nstreme se basan principalmente en variables de comportamiento de ancho de banda y tiempo de respuesta, tal y como se detallan a continuación (Mikrotik, 2018).

- Reducción de la sobrecarga de sondeo: en lugar de sondear a cada cliente, Nv2 AP transmite un programa de enlace ascendente que asigna tiempo a múltiples clientes, esto puede considerarse "sondeo grupal": no se pierde tiempo para sondear a cada cliente individualmente, lo que deja más tiempo para la transmisión de datos real. Esto mejora el rendimiento, especialmente en configuraciones de enlaces punto a multipunto.
- Reducción de la sobrecarga de demora de propagación: Nv2 no debe sondear a cada cliente individualmente, esto permite crear un programa de enlace ascendente basado en la distancia estimada (retraso de propagación) a los clientes de modo que el uso de medios sea más efectivo.
- Más control sobre la latencia: la sobrecarga reducida, el tamaño del período ajustable y las características de QoS permiten un mayor control sobre la latencia en la red.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se documenta el diseño e implementación del radio enlace entre el nodo Rayoloma y Guarguallá, que son partes de la red de la empresa Intertec. En cuanto al diseño, se inició con la elección de los equipos, barrido de frecuencias, simulación en Radio Mobile y cálculo de indisponibilidad del radio enlace por efectos de atenuación por lluvia. Una vez diseñado se realizó la implementación y validación del radioenlace en los nodos asignados, con el cual se comparó el desempeño de los protocolos inalámbricos Nv2 y Nstreme con el tráfico generado por los abonados del nodo Guarguallá.

3.1. Intertec

Empresa Riobambeña dedicada a ofrecer servicios de telecomunicaciones desde el año 2019, en la actualidad ofrece con mayor despliegue servicio de internet a zonas rurales y urbanas de la provincia de Chimborazo, logrando dar cobertura en la actualidad a 5 cantones de la provincia. El servicio de internet se ofrece mediante medios guiados y no guiados, dependiendo del sector. Con el objetivo de brindar un servicio de calidad a los abonados, se han levantado estudios de calidad de red, tanto en servicios de internet por radio enlaces como por fibra óptica.

Los estudios de calidad de red para mejorar el servicio de acceso a internet en la empresa Intertec en lo referente al servicio por radioenlaces fue la razón principal para determinar un protocolo que ofrezca las mejores prestaciones en cuanto a los parámetros que miden la calidad de red.

Para el diseño del radioenlace, es importante recalcar que los nodos Rayoloma y Guarguallá, estuvieron operativos antes del presente estudio, pero sin presentar ningún respaldo técnico. Por lo cual fue necesario revisar la topología de red de la empresa y el tráfico de abonados generado. A continuación, en la ilustración 1-3, se muestra la topología de red de Intertec.

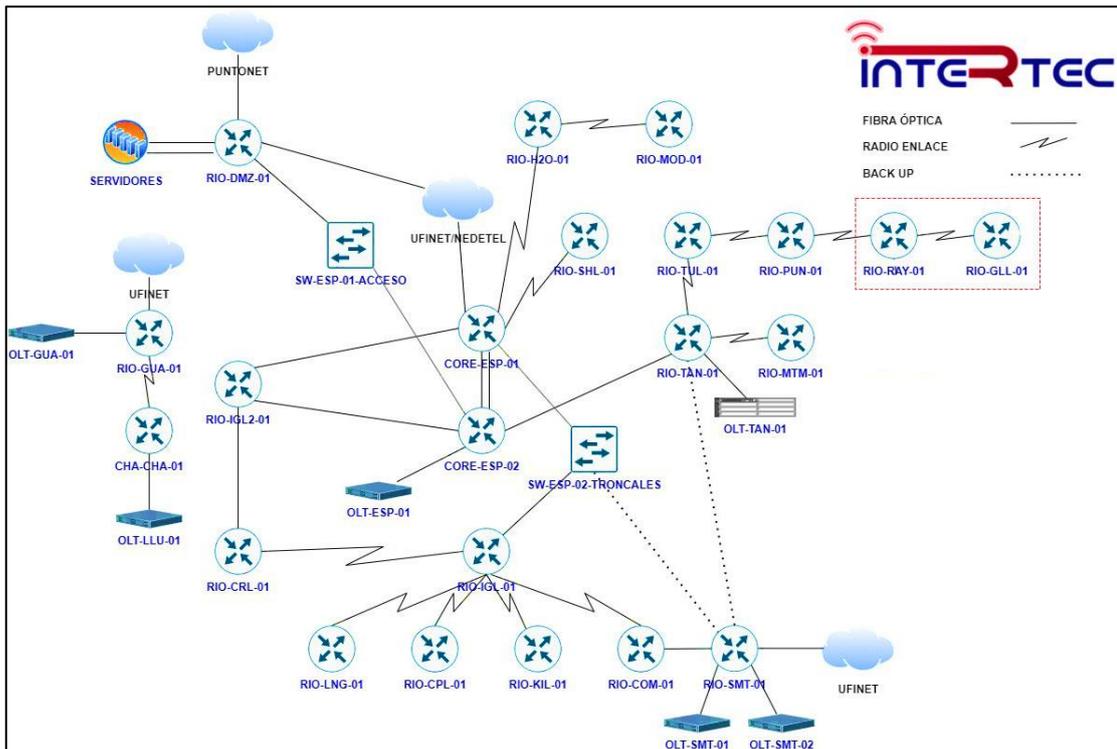


Ilustración 1-3: Topología de red de la empresa Intertec.

Fuente: (Intertec, 2022)

En la ilustración 1-3 se aprecia la topología de la red completa, en donde se indica mediante el recuadro rojo, los nodos tanto de Rayoloma y Guarguallá, donde se aplicarán los estudios de los protocolos inalámbricos. Por otro lado, en la ilustración 2-3 se muestra los enlaces que establecen la comunicación desde el nodo Guarguallá, hasta su salida a internet, en donde se puede verificar que presenta 7 saltos entre nodos, entre las cuales 4 enlaces se dan por medios no guiados, y 3 por enlaces guiados. Así también se da a conocer la topología en donde se encuentra el servidor, la misma que permite monitorear y tener gestión de la red.

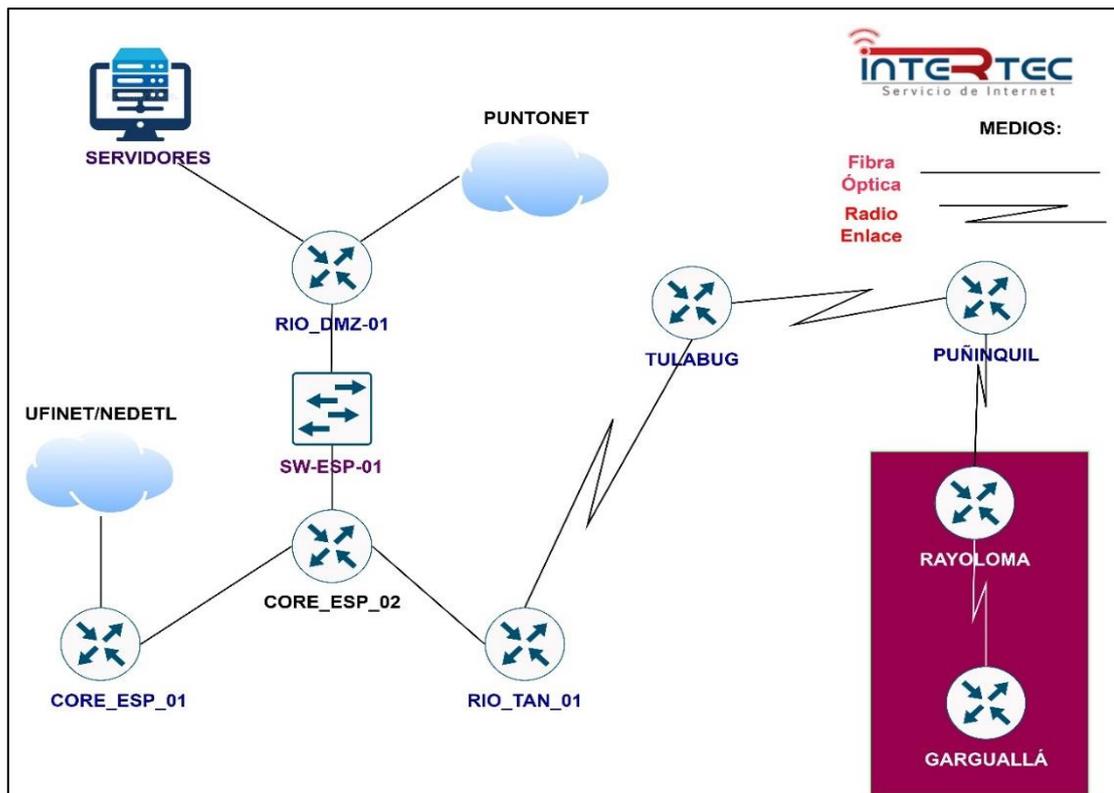


Ilustración 2-3: Enlaces existentes que sigue el nodo Guarguallá para su salida hacia internet.

Fuente: Intertec, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.2. Ubicación geográfica

Se muestra la ubicación geográfica de los nodos y la ubicación geográfica del sector que de la provisión de Intertec, que es la comunidad Guarguallá.

3.2.1. Ubicación geográfica de los nodos

Los nodos donde se implementó el radioenlace se encuentran ubicada aproximadamente a 3395 msnm, estas pertenecen a la parroquia de cebadas, cantón Guamote. Las coordenadas se muestran en la tabla 1-3, y así como también en la ilustración 3-3.

Tabla 1-3: Ubicación de los nodos de estudio en coordenadas rectangulares de los nodos Guarguallá y Rayoloma.

Nodos	Coordenadas
GUARGUALLÁ	-1.897918, -78.556062
RAYOLOMA	-1.868703, -78.582489

Fuente: Coordenadas obtenida desde Google maps.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.



Ilustración 3-3: Ubicación geográfica de los nodos Rayoloma y Guarguallá de la empresa Intertec.

Fuente: Google Earth, 2017.

En la ilustración 4-3 se muestra una zona sombreada que indica las áreas pobladas del sector Guarguallá, en donde se pretende que cada uno de los habitantes, una vez concluida los estudios e implementaciones tengan una accesibilidad de mejor calidad hacia internet.



Ilustración 4-3: Ubicación Geográfica del sector Guarguallá.

Fuente: Google Earth, 2019.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2019.

3.3. Herramientas de administración y monitoreo de equipos Mikrotik

3.3.1. Wimbox

Es un software creado para la administración y gestión de equipos Mikrotik, esta permite que cualquier acción, ya sea esta configuración, o manipulación lógica, se lo realice con una interfaz gráfica. Es un software gratuito, la cual puede ser descargada desde la página oficial del fabricante, y compatible con sistemas operativos como Windows, Linux y Mac OSX.

3.3.2. Dude

El monitor de red Dude es una aplicación de MikroTik que puede mejorar drásticamente la forma en que se administra un entorno de red. Escanea automáticamente todos los dispositivos dentro de subredes específicas, dibuja y diseña un mapa de las redes, monitorea los servicios de los dispositivos y lo alerta en caso de que algún servicio tenga problemas (Mikrotik, 2019).

3.3.2.1. Características (Mikrotik, 2019).

- ✓ Diseño y descubrimiento automático de redes
- ✓ Descubre cualquier tipo o marca de dispositivo
- ✓ Dispositivo, monitoreo de enlaces y notificaciones
- ✓ Incluye íconos SVG para dispositivos y admite íconos y fondos personalizados
- ✓ Fácil instalación y uso
- ✓ Le permite dibujar sus propios mapas y agregar dispositivos personalizados
- ✓ Admite monitoreo de SNMP, ICMP, DNS y TCP para dispositivos que lo admitan
- ✓ Monitoreo y gráficos de uso de enlaces individuales
- ✓ Acceso directo a herramientas de control remoto para la gestión de dispositivos
- ✓ Admite servidor Dude remoto y cliente local
- ✓ Se ejecuta en el entorno Linux Wine, MacOS Darwine y Windows

3.3.3. Netinstall

Es una herramienta de Mikrotik, que permite recuperar y reinstalar el sistema operativo de fábrica en equipos Mikrotik, es importante ponerlo en funcionamiento, una vez que los dispositivos o equipos presenten problemas de autenticación o inicio de sesión.

3.3.4. *Bandwidth Test*

Es una herramienta que permite medir la capacidad de tráfico entre equipos de la marca mencionada, es sumamente útil para definir la capacidad real entre dos enlaces previamente establecidos. El entorno de la herramienta se aprecia en la ilustración 5-3.

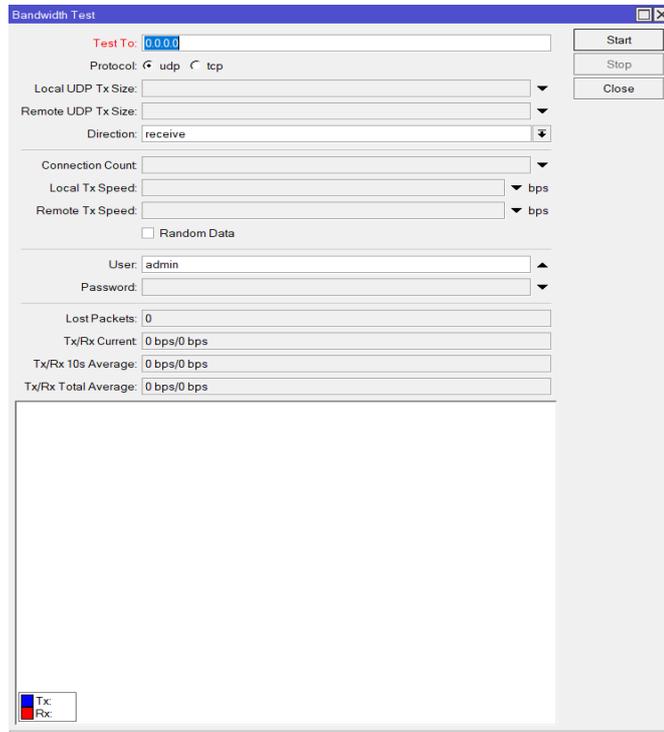


Ilustración 5-3: Entorno de la herramienta Bandwidth Test de Mikrotik.

Fuente: Mikrotik, 2019

La herramienta Bandwidth Test, tal y como se indica en la ilustración 5-3, para su funcionamiento es vital que llene los siguientes elementos principalmente para su funcionamiento.

- Test To. – Dirección IP del equipo de destino.
- Protocol. – Elección del tipo de tráfico, ya sea udp o tcp para el testeo de la capacidad de ancho de banda.
- Local Tx y Remote Tx Speed. – Este apartado es opcional, ya que se define para incluir un límite de velocidad tanto en la transmisión como en la recepción.
- Direction. – En este apartado se puede definir si se realiza el test de transmisión, de recepción o en ambas direcciones.

- User and Password. - En este apartado se define el usuario y la clave del dispositivo, con ella permitiendo la saturación de la red mediante la herramienta.

3.3.5. Ping

La herramienta Ping de Mikrotik permite comprobar la conexión entre dos dispositivos, en donde el dispositivo origen envía un paquete mediante el protocolo icmp, y el dispositivo destino le responde con un paquete del mismo tipo. Mediante la herramienta es posible contabilizar estadísticamente el número de paquetes enviados, recibidos, y perdidos en un tiempo determinado, que se conoce como tiempo de vida y es medida en milisegundos. La interfaz gráfica de la herramienta, se lo puede apreciar en la ilustración 6-3.

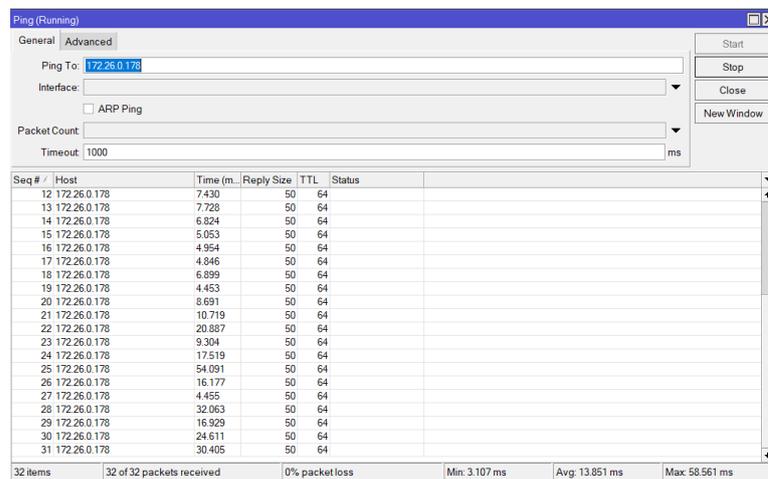


Ilustración 6-3:Herramienta Ping en Mikrotik.

Fuente: Intertec, 2022.

3.4. Situación actual

En la actualidad el sector Guarguallá cuenta con servicio de internet provista por la empresa Intertec de la ciudad de Riobamba, en donde las prestaciones de servicio se encuentran saturadas por el tráfico generado de los clientes, una de las razones principales es debido a que la implementación no se realizó previo un estudio técnico el cual haya permitido ser escalable al servicio, así como también la aplicación de protocolos inalámbricos sin un estudio de experimentación real.

3.4.1. Abonados

En la ilustración 7-3 se muestra mediante símbolos de color celeste, los abonados actuales que cuentan con servicio de internet, quienes se conectan hacia el nodo Guarguallá de la empresa Intertec.



Ilustración 7-3: Abonados de la empresa Intertec, conectados al nodo Guarguallá.

Fuente: Google Earth, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.4.2. Tráfico de abonados actuales

El tráfico generado actualmente en el enlace Rayoloma-Guarguallá, de acuerdo al levantamiento de información en el NOC de Intertec, con los equipos implementados, se puede detallar lo siguiente.

Ingresando al concentrador del nodo Guarguallá, que se aprecia en la ilustración 8-3, la interfaz asignada para el enlace punto a punto de Guarguallá a Rayoloma, ether1. En donde muestra la capacidad de transmisión y recepción de tráfico en ese instante en la interfaz. Detallando que se tiene una capacidad de 9.9 Mbps en la transmisión y 23.1 Mbps en la recepción.

Interface	Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx	Tx Packet (p/s)	Rx Packet (p/s)	FP Tx	FP Rx	FP Tx Packet (p/s)	FP Rx Packet (p/s)	Comment
R	Lo	Bridge	1500	65535	0 bps	0 bps	0	0	0	0 bps	0 bps	0	0
R	bridge-FBis	Bridge	1500	1596	12.1 kbps	9.5 kbps	14	13	0 bps	0 bps	9.5 kbps	0	13
RS	ether1-BH-GLL	Ethernet	1500	1596	88.4 kbps	28.8 kbps	32	34	0 bps	0 bps	27.7 kbps	0	35
R	vlan25-WIA	VLAN	1500	1592	86.4 kbps	26.1 kbps	32	34	0 bps	0 bps	26.1 kbps	0	34
RS	ether2-SW-GLL	Ethernet	1500	1596	13.2 kbps	10.5 kbps	15	14	0 bps	0 bps	10.6 kbps	0	15
R	ether3	Ethernet	1500	1596	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps	0 bps	0	0
R	ether4-CE-GLL	Ethernet	1500	1596	744 bps	0 bps	1	0	0 bps	0 bps	0 bps	0	0
R	ether5-BH-GLL	Ethernet	1500	1596	12.2 kbps	12.0 kbps	17	16	0 bps	0 bps	11.4 kbps	0	17

Ilustración 8-3: Interfaces del concentrador del nodo Guarguallá.

Fuente: Intertec, 2022.

Sin embargo, para un estudio más profundo, se revisó el historial de tráfico que han generado los abonados del sector, para la cual se ha realizado un levantamiento de información, mediante gráficas estadísticas del tráfico generado, diariamente, semanalmente, mensualmente y anualmente. Tal y como se muestra en las ilustraciones 9-3 hasta el 12-3.

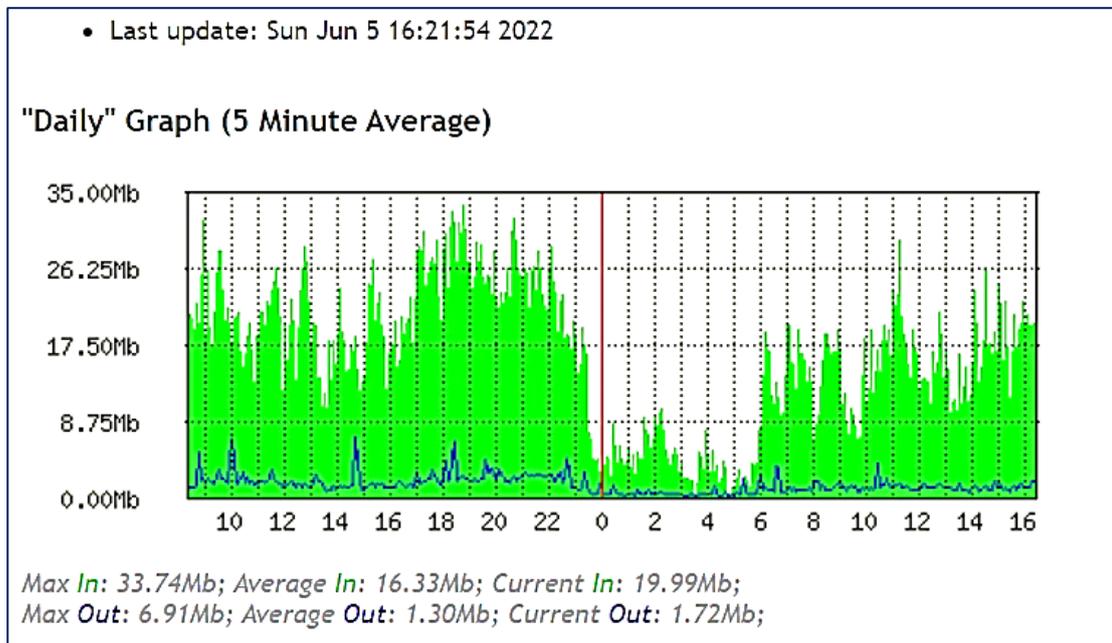


Ilustración 9-3: Estadísticas del tráfico generado por los abonados, diariamente.

Fuente: Intertec, 2022.

En la ilustración 9.3 se presenta la gráfica estadística del tráfico generado el domingo 5 de junio a las 16 horas con 21 minutos por los abonados del nodo Guarguallá, la cual es muestreada cada 5 minutos, durante un día. Se puede apreciar que los picos más altos de consumo de ancho de banda se dan desde aproximadamente a partir de las 5 de la tarde, hasta aproximadamente las 10 de la noche. Logrando un pico máximo de 33.74 Mbps y 6.91 Mbps, tanto en la recepción como en la transmisión respectivamente.

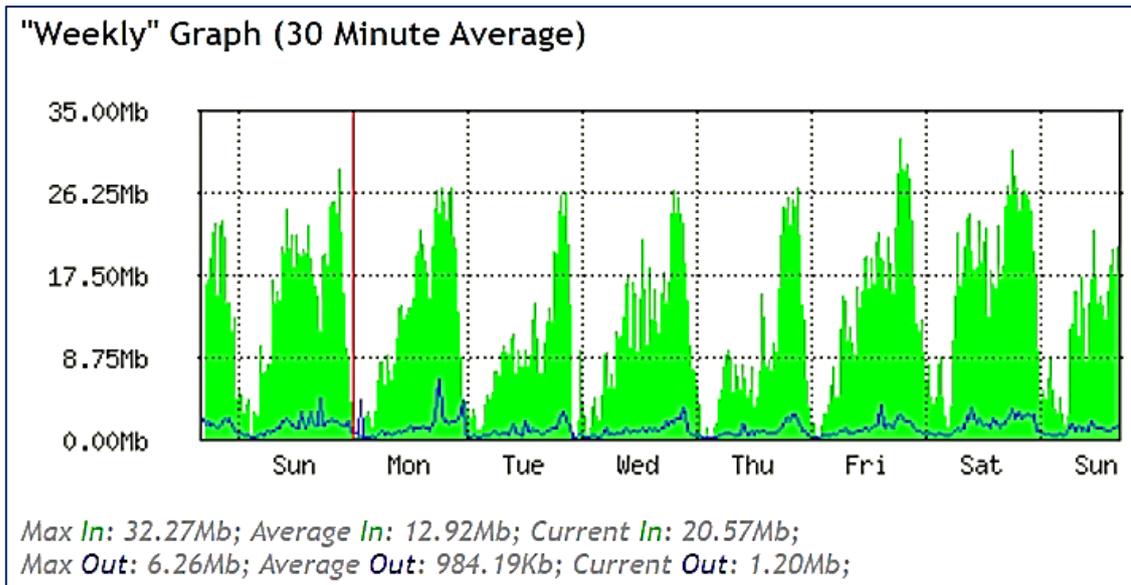


Ilustración 10-3: Estadísticas del tráfico generado por los abonados, semanalmente.

Fuente: Intertec, 2022.

En la ilustración 10-3 se muestra una gráfica estadística semanal, extraída en la fecha descrita en la ilustración 9-3, en esta ocasión el tiempo de muestreo se lo realiza durante 30 min, en el lapso de una semana. En la cual se aprecia, que el día que con que tiene el pico más alto de consumo de ancho de banda es viernes, sábado y domingo, alcanzando aproximadamente a generar 32.27 Mbps y 6.26 Mbps, tanto en la recepción y transmisión respectivamente.

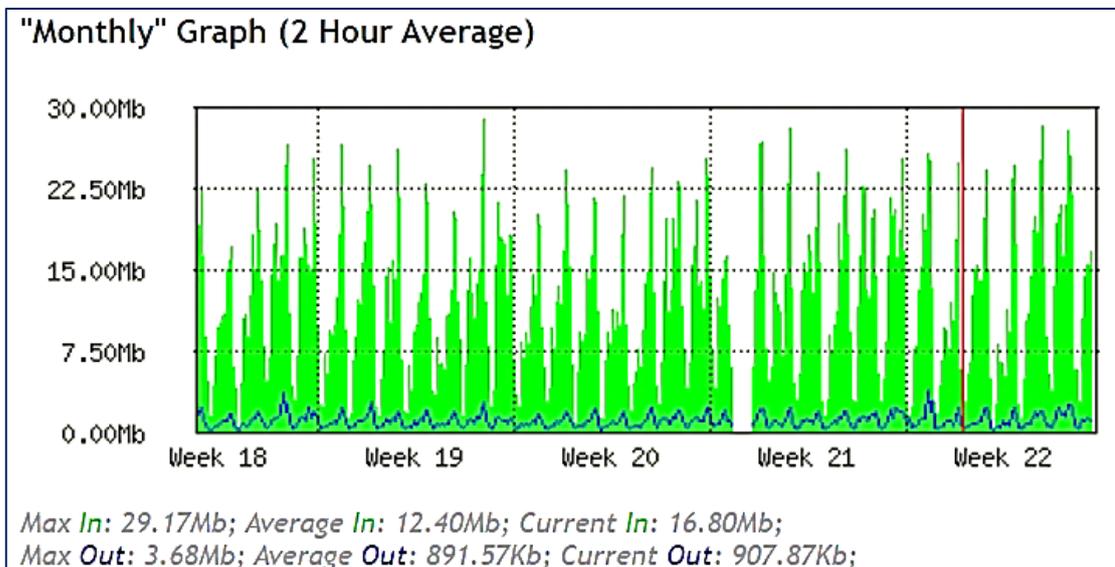


Ilustración 11-3: Estadísticas del tráfico generado por los abonados, mensualmente.

Fuente: Intertec, 2022.

En la ilustración 11-3 se presenta una estadística gráfica del tráfico generado por los abonados del sector Guarguallá, por el lapso de una semana, se muestra el reporte de la última semana,

hasta la fecha especificada en la descripción de la ilustración 9-3, en donde se puede apreciar que entre la semana 20 a la semana 21 existe un tiempo considerable de caída del enlace, lo cual influye directamente en el promedio del cálculo estadístico del tráfico generado por los abonados. En esta gráfica se aprecia que el máximo ancho de banda consumido por los clientes es de 29.17 Mbps y 3.68 Mbps, tanto en la recepción y transmisión respectivamente.

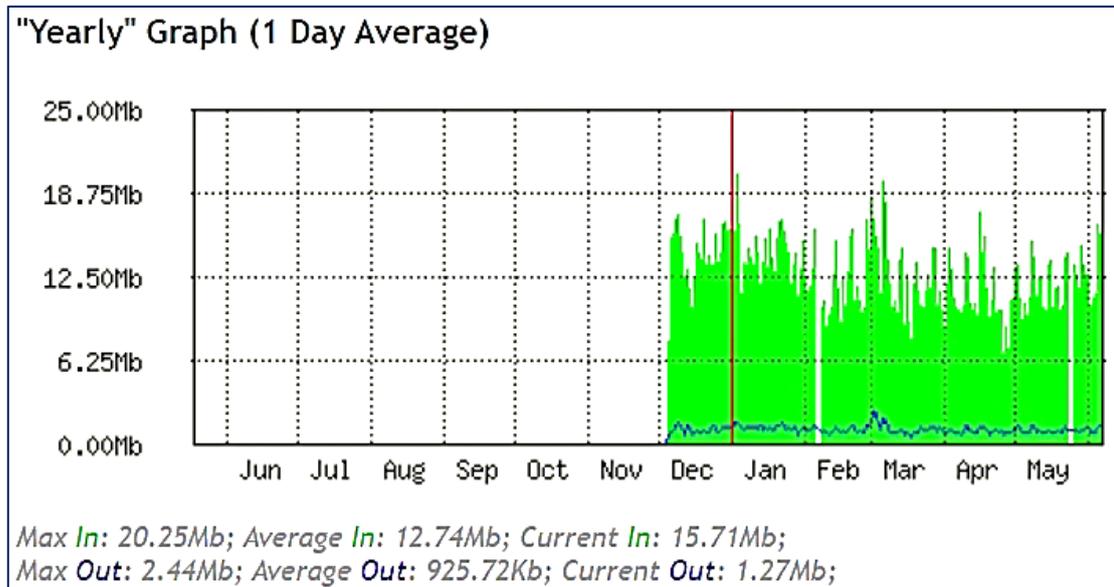


Ilustración 12-3: Estadísticas del tráfico generado por los abonados, anualmente.

Fuente: Intertec, 2022.

En la ilustración 12-3 se muestra una gráfica estadística desde el tiempo de implementación del nodo, en la cual se aprecia que desde el mes de diciembre hasta la actualidad ha existido dos caídas de servicio en un lapso considerable. Así como también se puede notar que los meses que se ha generado la mayor cantidad de tráfico ha sido diciembre y marzo, alcanzando en promedio picos de 20.25 Mbps y 2.44 Mbps, tanto en la recepción y transmisión respectivamente. Es importante considerar que las caídas que se aprecian en la figura influyen directamente en los valores estadístico otorgados, donde estos valores han sido muestreados en intervalos de 1 día.

A continuación, en la tabla 2-3 se presenta un resumen del consumo de ancho de banda, de los abonados del nodo Guarguallá, tanto en Tx y Rx.

Tabla 2-3: Resumen del consumo de ancho de banda de los abonados del sector Guarguallá, diariamente, semanalmente, mensualmente y anualmente.

Nodo Guarguallá					
Tráfico		Diario (Muestreo de 5 min)	Semanal (Muestreo de 30 min)	Mensual (Muestreo de 2 h)	Anual (6 meses) (Muestreo de 1 día)
Rx	Max	33.74 Mbps	32.27 Mbps	29.17 Mbps	20.25 Mbps
	Average	16.33 Mbps	12.92 Mbps	12.40 Mbps	12.74 Mbps
	Current	19.99 Mbps	20.57 Mbps	16.80 Mbps	15.71 Mbps
Tx	Max	6.91 Mbps	6.26 Mbps	3.68 Mbps	2.44 Mbps
	Average	1.30 Mbps	984.19 Kbps	891.57 Kbps	925.72 Kbps
	Current	1.72 Mbps	1.20 Mbps	907.87 Kbps	1.27 Mbps

Fuente: Intertec, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De acuerdo a la tabla 4-3 se deduce que los abonados consumen mayor ancho de banda para recibir información que para transmitir, es decir ocupan mayor ancho de banda de bajada que de subida.

3.4.3. Capacidad del enlace actual

Para medir la capacidad actual del enlace entre el nodo Rayoloma-Guarguallá, se utilizó la herramienta de Mikrotik Bandwidth Test, pero antes es necesario detallar el direccionamiento actual entre los dos dispositivos del enlace punto a punto, tal y como se aprecia en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Direccionamiento del radio enlace Rayoloma - Guarguallá.

NODO GUARGUALLÁ			
Network	Gateway	BH_RAY_GLL	BH_GLL_RAY
172.26.0.176/29	172.26.0.177/29	172.26.0.178 /29	172.26.0.179 /29

Fuente: Intertec, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Se asignó la dirección IP: 172.26.0.178 en herramienta Bandwidth Test, utilizando el protocolo tcp y udp, y en ambas direcciones, es decir incluyendo el funcionamiento de la antena de Guarguallá para la transmisión y recepción, las mismas que se aprecian en las ilustraciones 13-3 y 14-3.

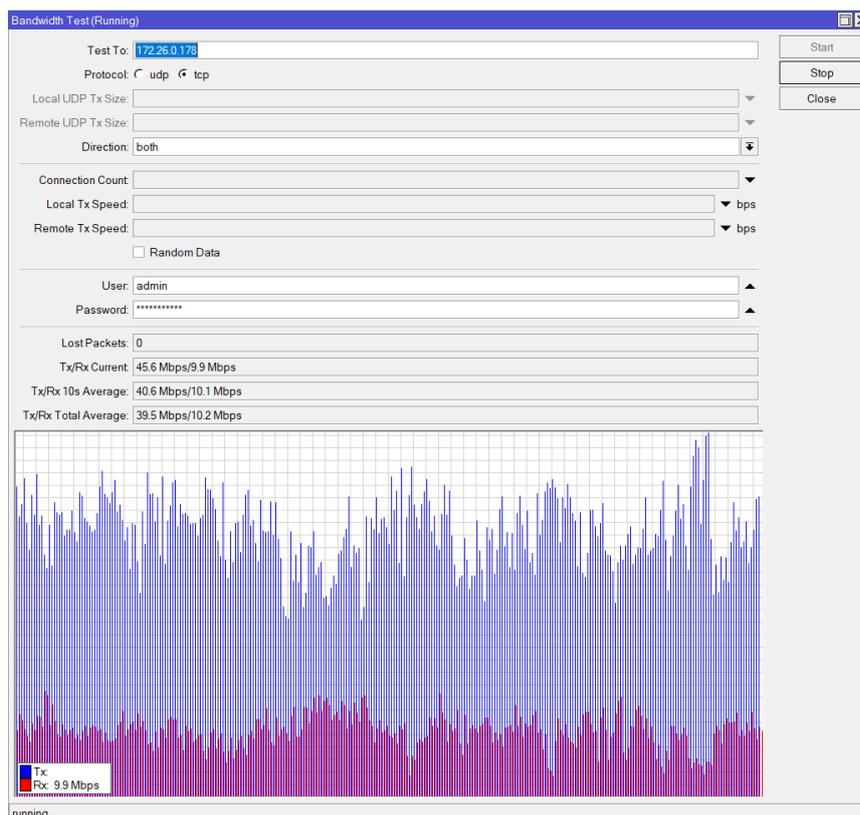


Ilustración 13-3: Medición de la capacidad de enlace entre el nodo Guarguallá-Rayoloma, mediante la herramienta Bandwidth Test, mediante el protocolo tcp.

Fuente: Intertec, 2022.

En la ilustración 13-3 se muestra la medición de la capacidad del enlace entre Guarguallá-Rayoloma, usando el protocolo tcp, en donde se puede apreciar que la capacidad del canal oscila entre 45.6 Mbps en la transmisión y 9.9 Mbps en la recepción, mientras que durante el tiempo evaluado se tiene como promedio a 39.5 Mbps y 10.2 Mbps, tanto en la transmisión y recepción promedio respectivamente.

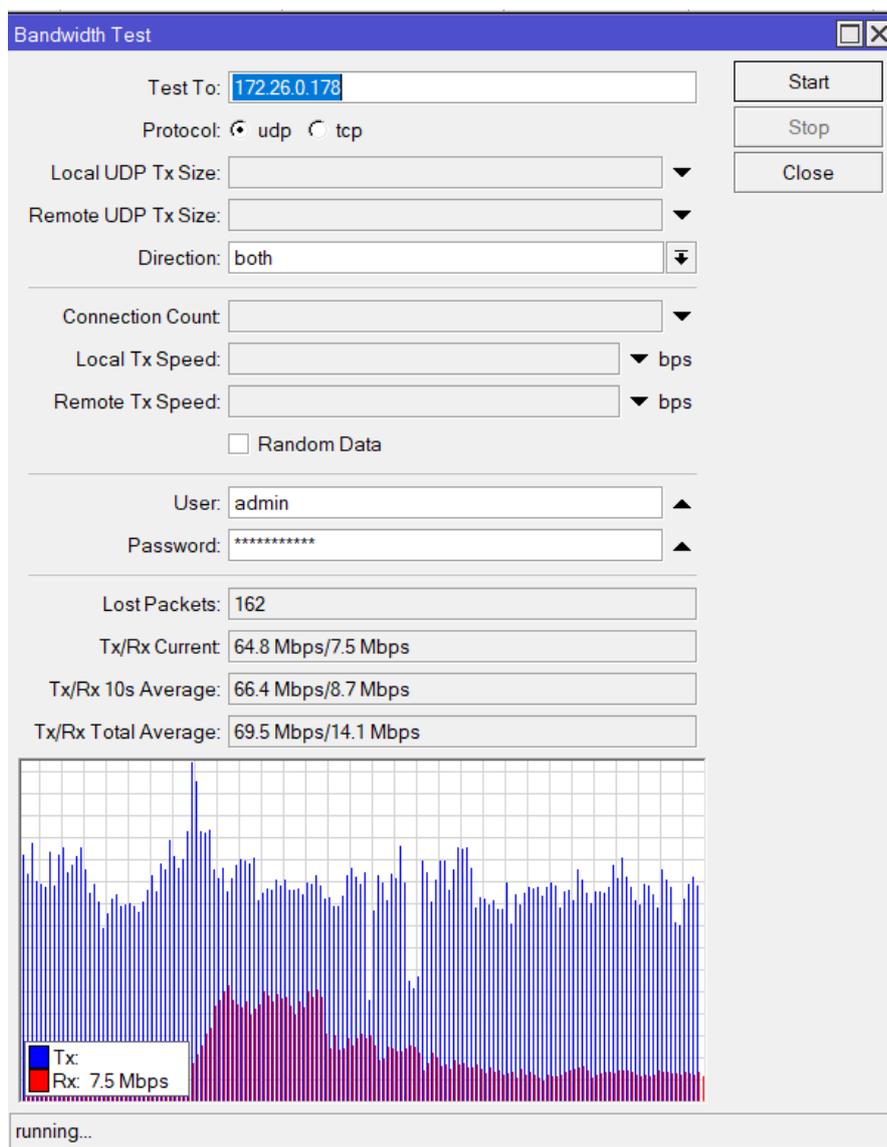


Ilustración 14-3: Medición de la capacidad de enlace entre el nodo Guarguallá-Rayoloma, mediante la herramienta Bandwidth Test, mediante el protocolo udp.

Fuente: Intertec, 2022.

En la ilustración 14-3 se aprecia la medición del enlace entre Guarguallá -Rayoloma, mediante el protocolo udp, verificando que alcanza una capacidad máxima de 69.5 Mbps en la transmisión y 14.1 Mbps en la recepción, pero teniendo en cuenta que existen 162 paquetes perdidos, esta debida al protocolo que se utiliza.

Tabla 4-3: Capacidad disponible del enlace Rayoloma-Guarguallá, una vez realizada las mediciones con la herramienta Bandwidth Test y en análisis del tráfico diario generado, en el nodo Guarguallá.

Nodo Guarguallá								
Tráfico	Diario (Muestreo de 5 min)		Bandwidth Test (tcp)		Bandwidth Test (udp)		Capacidad Disponible	
							Tcp	Udp
Rx	Max	33.74 Mbps	Prm	39.5 Mbps	Prm	69.5 Mbps	5.76 Mbps	35.76 Mbps
Tx	Max	6.91 Mbps	Prm	10.2 Mbps	Prm	14.1 Mbps	3.29 Mbps	7.19 Mbps

Fuente: Intertec, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la tabla 4-3, se da a conocer la capacidad disponible en el enlace Rayoloma-Guarguallá, una vez que se ha analizado el tráfico diario generado en el nodo. Se ha tomado como referencia el tráfico diario generado, debido a que muestran datos más reales con respecto a una comparación de varios días o semana, ya que en este intervalo de tiempo es posible que el nodo haya sufrido caídas o indisponibilidad por factores externos. Por lo cual el análisis el tráfico máximo diario generado, una vez medida, es tomada en consideración para la comparación con los resultados promedios obtenido mediante el Bandwidth test, tanto con los protocolos udp y tcp. En donde una vez analizado se deduce que la capacidad disponible en tráfico tcp de bajada es de 5.76 Mbps, y para la transmisión 3.29 Mbps. Por otro lado, la capacidad disponible con tráfico udp, se tiene 35.76 Mbps disponibles para la recepción y 7.19 Mbps para la transmisión.

3.5. Topología del radio enlace Rayoloma-Guarguallá

En cuanto a la topología del radioenlace, mediante la ilustración 15-3 se muestra los componentes principales que forman parte de ella, en donde mediante imágenes se muestra los modelos y marcas de los equipos.

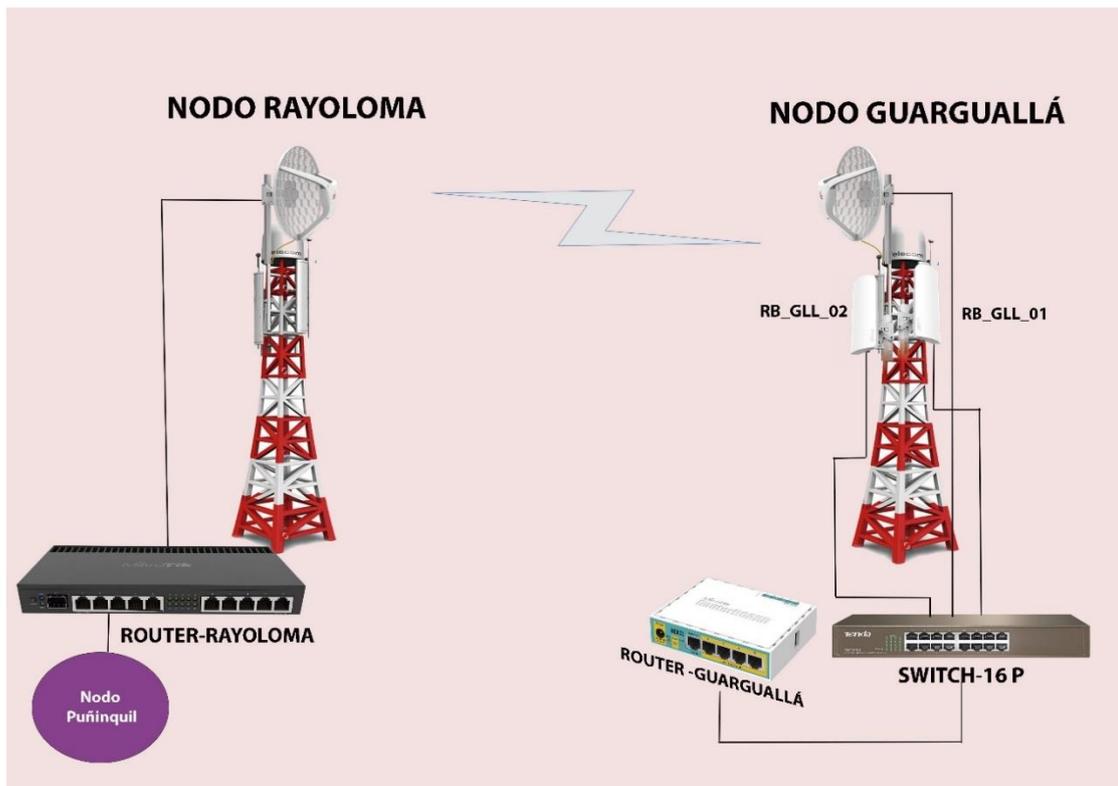


Ilustración 15-3: Topología y componentes del enlace inalámbrico Rayoloma-Guarguallá.

Fuente: Intertec, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.6. Elección de equipos y materiales

Para la elección de los equipos se tomó en consideración el inventario que maneja la empresa, analizando las mejores especificaciones de cada uno de los equipos. En este contexto se eligió equipos con características para enlaces punto a punto, sectoriales y los concentradores, que son los routers. A continuación, se detalla cada una de ellas.

3.6.1. Enlace punto a punto

El equipo elegido para la implementación del enlace punto a punto, de acuerdo a la disponibilidad de la empresa, es:

- **LHG XL 5 ac**

Es un dispositivo inalámbrico 802.11ac de 5 GHz de largo alcance con una antena de rejilla de 27 dBi de polarización dual, tal y como se indica en la ilustración 16-3. Es perfecto para enlaces punto a punto o para usar como CPE en distancias más largas y admite el protocolo Nv2 y

Nstreme TDMA. El dispositivo incluye un puerto Ethernet de 10/100/1000 Mbit para aprovechar al máximo las velocidades que proporciona el protocolo 802.11ac (Mikrotik).

LHG XL 5 ac-US (EE. UU.) viene bloqueado de fábrica para frecuencias de 5170-5250 MHz y 5725-5835 MHz, mientras que LHG XL 5 ac (internacional) admite un rango de 5150MHz-5875MHz (Mikrotik, 2022).



Ilustración 16-3: Equipo LHG XL 5 AC de MikroTik.

Fuente: (Mikrotik, 2022)

3.6.1.1. Especificaciones del equipo

En la Tabla 5-3 se muestra las especificaciones del dispositivo para el enlace punto a punto, en donde se resalta la arquitectura, ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad de recepción entre las más importantes, así como también el patrón de radiación que maneja este dispositivo.

Tabla 5-3: Especificaciones del equipo LHG XL 5 ac, para el enlace punto a punto, tanto de hardware como de software.

Especificaciones Generales	
Código de producto	RBLHGG-5acD-XL
Arquitectura	brazo de 32 bits
UPC	IPQ-4018
Recuento de núcleos de CPU	4
Frecuencia nominal de la CPU	716 MHz
Dimensiones	Ø 550 x 245 mm;
Licencia del sistema operativo del enrutador	3
Sistema operativo	Enrutador OS
Tamaño de RAM	256 MB

Tamaño de almacenamiento	16 MB	
Tipo de almacenamiento	DESTELLO	
MTBF	Aproximadamente 100'000 horas a 25C	
Temperatura ambiente probada	-40°C a 70°C	
Aceleración de hardware Ipsec	Sí	
Alimentado		
Número de entradas de CC	1 (PoE-IN)	
Consumo máximo de energía	8 vatios	
Tipo de refrigeración	Pasivo	
PoE	PoE pasivo	
PoE en voltaje de entrada	10-30 V	
Especificaciones inalámbricas		
Velocidad de datos inalámbrica máxima de 5 GHz	867 Mbit/s	
Estándares inalámbricos de 5 GHz	802.11a/n/ac	
Ganancia de antena dBi para 5 GHz	27	
Modelo de chip inalámbrico de 5 GHz	IPQ-4018	
Generación inalámbrica de 5 GHz	WiFi 5	
5 GHz	Transmitir (dBm)	Sensibilidad de recepción (dBm)
6 MBit/s	25	-96
54 MBit/s	21	-80
MCS0	25	-96
MCS7	20	-75
MCS9	18	-70

Fuente: (Mikrotik, s.f)

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

El patrón de radiación del equipo a usar para el enlace punto a punto se aprecia en la ilustración 17-3, en donde se da a conocer el patrón de radiación en horizontal y vertical, posicionado tanto en 0 y 90 grados.

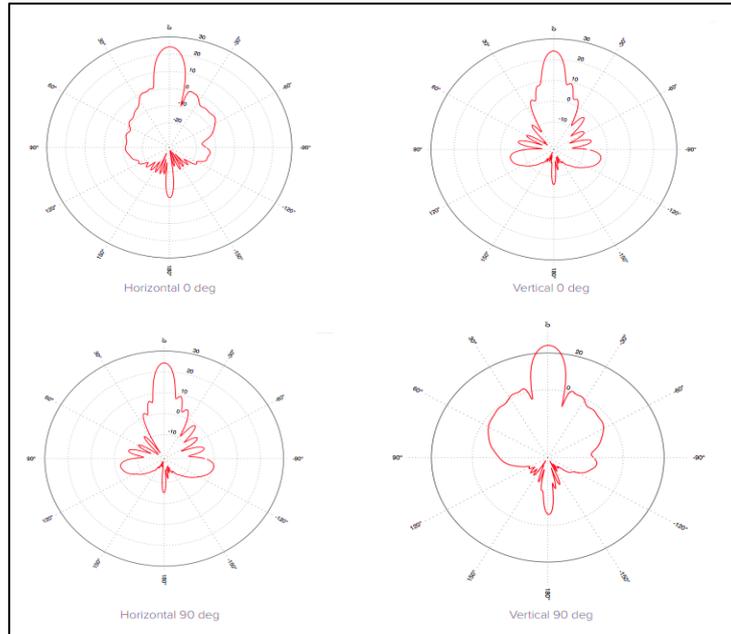


Ilustración 17-3: Patrón de radiación de la antena a usar para el enlace punto a punto.

Fuente: Mikrotik, 2022, p.3.

De la ilustración 17-3, la posición más apropiada para la simulación en el software a utilizar es la vertical a 0 grados.

3.6.2. Sectoriales

Para las coberturas sectoriales se ha elegido el equipo con nombre comercial mANTBox 19S, la razón principal se debe a que en la actualidad son los equipos que dispone la empresa.



Ilustración 18-3: Equipo mANTBox, para el enlace sectorial del nodo Guarguallá.

Fuente: (Mikrotik)

Entre alguna de las características que presenta este equipo es que se basa en antenas sectoriales mANT, pero también tiene un enrutador inalámbrico incorporado. Alimentado por el dispositivo

RB92. El dispositivo utiliza una CPU de alta velocidad de 720 MHz y tiene un dispositivo inalámbrico 802.11 ac/a/n integrado con una potencia de salida de hasta 31 dBm además viene integrado con una antena de sector de 120 grados de 19dBi, admite un rango de 5,17 a 5,835 GHz (Mikrotik).

Tabla 6-3: Especificaciones de la antena sectorial mANTBox, detalles de características inalámbricas, potencia de transmisión y sensibilidad de recepción.

Especificaciones Generales		
Código de producto	RB921GS-5HPacD-19S	
Arquitectura	MIPSBE	
UPC	QCA9557	
Recuento de núcleos de CPU	1	
Frecuencia nominal de la CPU	720 MHz	
Dimensiones	152x598x78mm	
Licencia del sistema operativo del enrutador	4	
Sistema operativo	enrutadorOS	
Tamaño de RAM	128 MB	
Tamaño de almacenamiento	128 MB	
Tipo de almacenamiento	NAND	
MTBF	Aproximadamente 200'000 horas a 25C	
Temperatura ambiente probada	-40°C a 70°C	
Alimentado		
Número de entradas de CC	2 (toma de CC, PoE-IN)	
Voltaje de entrada del conector de CC	8-30 V	
Consumo máximo de energía	13W	
Tipo de refrigeración	Pasivo	
PoE en	PoE pasivo	
Especificaciones inalámbricas		
Velocidad de datos inalámbrica máxima de 5 GHz	867 Mbit/s	
Estándares inalámbricos de 5 GHz	802.11a/n/ac	
Ganancia de antena dBi para 5 GHz	19	
Modelo de chip inalámbrico de 5 GHz	QCA9892	
Generación inalámbrica de 5 GHz	WiFi 5	
5 GHz	Transmitir (dBm)	Sensibilidad de recepción (dBm)
6 MBit/s	31	-96
54 MBit/s	27	-81
MCS0	30	-96
MCS7	27	-77
MCS9	22	-72

Fuente: Mikrotik, s.f.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración 19-3, se muestra los patrones de radiación de la radio base mANTBox, tanto en el ángulo de azimut como el de elevación, así como también para la polarización horizontal como la vertical, de estos patrones de radiación se eligió la más óptima y eficiente.

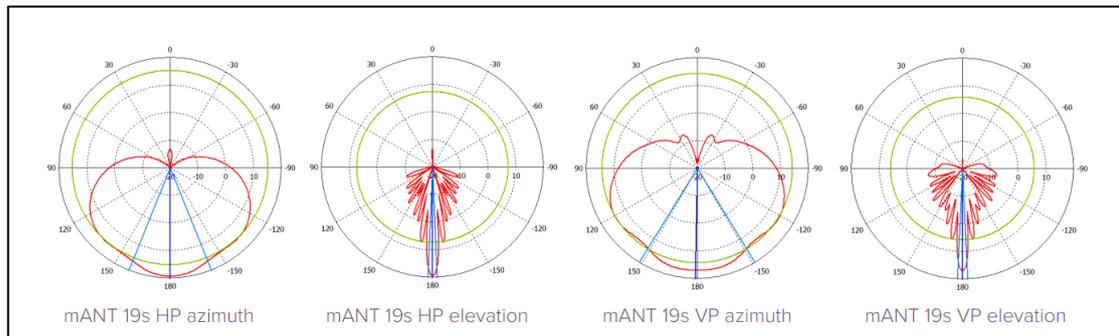


Ilustración 19-3: Patrones de radiación de la radio base mANTBox.

Fuente: Mikrotik

3.6.3. Abonados

Las antenas designadas para el uso de los abonados, de acuerdo a la disponibilidad de la empresa, se opta por usar LHG 5, la cual presenta una ganancia de 24.5 dBi. Entre los parámetros importantes es la frecuencia de operación, que admite desde 5150 MHz-5875 MHz. En la tabla 7.4 se detalla las especificaciones de este equipo.

Tabla 7-3: Descripción de las especificaciones del dispositivo LHG 5, elegida como uso en los abonados para los enlaces inalámbricos, en la provisión de internet del sector Guarguallá.

Especificaciones Generales	
Código de producto	RBLHG-5nD
Arquitectura	MIPSBE
UPC	AR9344
Recuento de núcleos de CPU	1
Frecuencia nominal de la CPU	600 MHz
Dimensiones	Ø 391 x 222 mm; paquete 450 x 450 x 145 mm
Licencia del sistema operativo del enrutador	3
Sistema operativo	enrutador OS
Tamaño de RAM	64 MB
Tamaño de almacenamiento	16 MB
Tipo de almacenamiento	DESTELLO
MTBF	Aproximadamente 100'000 horas a 25C
Temperatura ambiente probada	-40°C a 70°C
Alimentado	

Número de entradas de CC	1 (PoE-IN)	
Consumo máximo de energía	6 vatios	
Tipo de refrigeración	Pasivo	
PoE en	PoE pasivo	
PoE en voltaje de entrada	11-30 V	
Especificaciones inalámbricas		
Velocidad de datos inalámbrica máxima de 5 GHz	300 Mbit/s	
Número de cadenas inalámbricas de 5 GHz	2	
Estándares inalámbricos de 5 GHz	802.11a/n	
Ganancia de antena dBi para 5 GHz	24.5	
Modelo de chip inalámbrico de 5 GHz	AR9344	
Generación inalámbrica de 5 GHz	WiFi 4	
5 GHz	Transmitir (dBm)	Sensibilidad de recepción (dBm)
6 MBit/s	25	-96
54 MBit/s	20	-80
MCS0	25	-96
MCS7	19	-75

Fuente: Mikrotik, s.f.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Es importante mencionar que tanto el patrón de radiación como la imagen de este dispositivo, es prácticamente similar a la antena LHG XL 5 ac, diferenciando un parámetro principal que es la ganancia, y adicional a ella en el aspecto físico la antena LHG XI 5 ac, es más grande que el dispositivo en descripción.

3.6.4. Concentradores

En cuanto a la elección de los concentradores a utilizar tanto en el nodo Rayoloma como en el nodo Guarguallá, el concentrador utilizado en el nodo Rayoloma es un RB4011UiAS, mientras que en el nodo Guarguallá se utilizó un hEX.

Las especificaciones del concentrador a utilizar en el nodo Rayoloma se puede apreciar en la Tabla 8-3, mientras que las que se va a usar en el nodo Guarguallá en la tabla 9-3.

- RB4011 IGS+RM



Ilustración 20-3: Router RB4011, fabricada por Mikrotik.

Fuente: Mikrotik, 2022.

El RB4011 es un dispositivo multipuerto con diez puertos Gigabit, interfaz SFP+ de 10 Gbps y aceleración de hardware Isec, utiliza una CPU Cortex A15 de cuatro núcleos. La unidad está equipada con 1 GB de RAM, puede proporcionar salida PoE en el puerto n.º 10 y viene con una carcasa de metal sólido compacta y de aspecto profesional en negro mate (Mikrotik, 2022). Las especificaciones de este dispositivo se muestran en la tabla 8.3.

Tabla 8-3: Especificaciones del concentrador RB3011 UiAS-RM, descripción del sistema operativo, alimentación, puertos, arquitectura, temperatura ambiente, consumo de energía, entre otras.

Especificaciones Generales	
Código de producto	RB4011iGS+RM
Arquitectura	brazo de 32 bits
CPU	AL21400
Recuento de núcleos de CPU	4
Frecuencia nominal de la CPU	1,4 GHz
Dimensiones	228 x 120 x 30 mm
Licencia del sistema operativo del enrutador	5
Sistema operativo	RouterOS
Tamaño de RAM	1GB
Tamaño de almacenamiento	512 MB
Tipo de almacenamiento	NAND
MTBF	Aproximadamente 200'000 horas a 25C
Temperatura ambiente probada	-40°C a 70°C
Alimentado	
Número de entradas de CC	2 (PoE-IN, DC jack)
Voltaje de entrada del conector de CC	12-57 V
Consumo máximo de energía	303 W
Consumo máximo de energía sin accesorios	18 W
Tipo de refrigeración	Pasivo
PoE en	PoE pasivo
PoE en voltaje de entrada	18-57 V

Puertos	
Ethernet 10/100/1000	10
SFP (Fibra)+ports	1

Fuente: (Mikrotik, s.f)

Realizado por: Fredy Cujilema, 2022.

- hEX

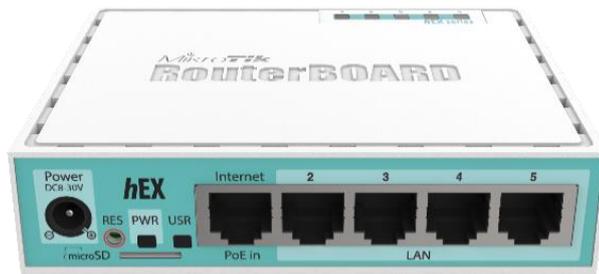


Ilustración 21-3: RouterBOARD hEX.

Fuente: Mikrotik, 2022.

hEX es un enrutador Gigabit Ethernet de cinco puertos, tiene un puerto USB de tamaño completo. Es asequible, pequeño y fácil de usar, pero al mismo tiempo viene con una CPU dual core de 880 MHz muy potente y 256 MB de RAM, capaz de todas las configuraciones avanzadas que admite RouterOS. Se admite el cifrado de hardware IPsec (~ 470 Mbps) y el paquete de servidor The Dude, la ranura microSD proporciona una velocidad de lectura y escritura mejorada para el almacenamiento de archivos y Dude (Mikrotik). Las especificaciones de este concentrador se detallan en la tabla 9.3.

Tabla 9-3. Especificaciones del router hEX, descripción del sistema operativo, alimentación, puertos, arquitectura, temperatura ambiente, consumo de energía, entre otras.

Especificaciones Generales	
Código de producto	RB750Gr3
Arquitectura	MMIPS
UPC	MT7621A
Recuento de núcleos de CPU	2
Frecuencia nominal de la CPU	880 MHz
Recuento de subprocesos de CPU	4
Dimensiones	113x89x28mm
Licencia del sistema operativo del enrutador	4
Sistema operativo	<u>enrutadorOS</u>
Tamaño de RAM	256 MB
Tamaño de almacenamiento	16 MB

Tipo de almacenamiento	DESTELLO
MTBF	Aproximadamente 100'000 horas a 25C
Temperatura ambiente probada	-40°C a 60°C
Alimentado	
Número de entradas de CC	2 (toma de CC, PoE-IN)
Voltaje de entrada del conector de CC	8-30 V
Consumo máximo de energía	10 vatios
Consumo máximo de energía sin accesorios	5 vatios
PoE en	PoE pasivo
PoE en voltaje de entrada	8-30 V
Periféricos	
Tipo de tarjeta de memoria	MicroSD
Tarjetas de memoria	1
Número de puertos USB	1
Restablecimiento de energía USB	Sí
Tipo de ranura USB	USB tipo A
Corriente USB máxima (A)	1
Puertos	
Puertos Ethernet 10/100/1000	5

Fuente: Mikrotik

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.6.5. *Materiales*

La elección de materiales para la implementación del proyecto se describe en la tabla 10-3, teniendo en cuenta que son para el enlace punto a punto, y las radio bases.

Tabla 10-3: Materiales utilizados para la implementación.

Material	Cant.
Cable SFTP CAT6	21 metros
Conectores RJ45 blindados	8
Tubos metálicos	1

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.7. **Barrido de Frecuencias**

Para el diseño del radioenlace se inició con el barrido de frecuencias, tanto en el nodo Rayoloma como en el nodo Guarguallá. Utilizando una antena HiperLOG30180, y el analizador de espectros Deviser E8600B, las mismas que presentan las siguientes especificaciones:

- HiperLOG 30180



Ilustración 22-3: Antena HiperLOG 30180

Fuente: (AARONIA AG, 2022)

La Antena HiperLOG 30180, es usada generalmente para medición de AF (RF) profesional con características direccionales, en combinación con un analizador de espectros es ideal para mediciones EMC de alta calidad. Este dispositivo principalmente presenta las siguientes características, que se pueden apreciar en la tabla 11-3.

Tabla 11-3: Especificaciones de la Antena HiperLOG 30180, usada para el barrido de frecuencias.

Especificaciones	
País de fabricación	Alemania
Dimensiones	590x360x30 mm (L/A/A)
Diseño	logarítmica periódica
Rango de frecuencias	380MHz - 18GHz
Peso	1000gr
Ganancia (típ.)	5dBi
Conexión RF	SMA (18GHz)
Potencia de transmisión máx.	100W CW (400MHz)
Impedancia nominal	50 ohm
Polarización	lineal: vertical y horizontal
Pérdida de retorno	Mejor que -10dB
Conector de trípode	rosca de trípode 1/4"

Fuente: (AARONIA AG, s.f.)

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

- DEVISER E8600B



Ilustración 23-3: Analizador de espectros Deviser E8600B

Fuente: (Deviser, 2014).

El analizador de espectros DEVISER E8600B trabaja en el rango de frecuencias de 9Khz-6.0 Ghz, proporciona todas las funciones de medición y el rendimiento necesario para caracterizar con precisión el entorno de la señal, además de aprender, detectar, identificar y ubicar la interferencia de la señal. Entre las principales medidas que toma el analizador de espectro, se encuentra la medición de: análisis de espectro, potencia de canal, ancho de banda ocupado, relación de fuga de canal adyacente, campo de fuerza, FM/AM, entre otras (Deviser, 2014).

3.7.1. Medición del barrido de frecuencias nodo Rayoloma

Para la medición espectral en el nodo Rayoloma y Guarguallá se inició calibrando el analizador de espectros en un rango de frecuencias de 5Ghz a 6Ghz, entendiéndose que es el rango de interés para la implementación del radioenlace debido a los equipos que se utilizaran operan en el mismo rango. Una vez conectada la Antena Hiper LOG con el analizador de espectro se tuvo los resultados mostrados en la ilustración 25-3 para el nodo Rayoloma y 27-3 para el nodo Guarguallá.



Ilustración 24-3: Barrido de frecuencia con el analizador de espectros Deviser E8600B en el nodo Rayoloma.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

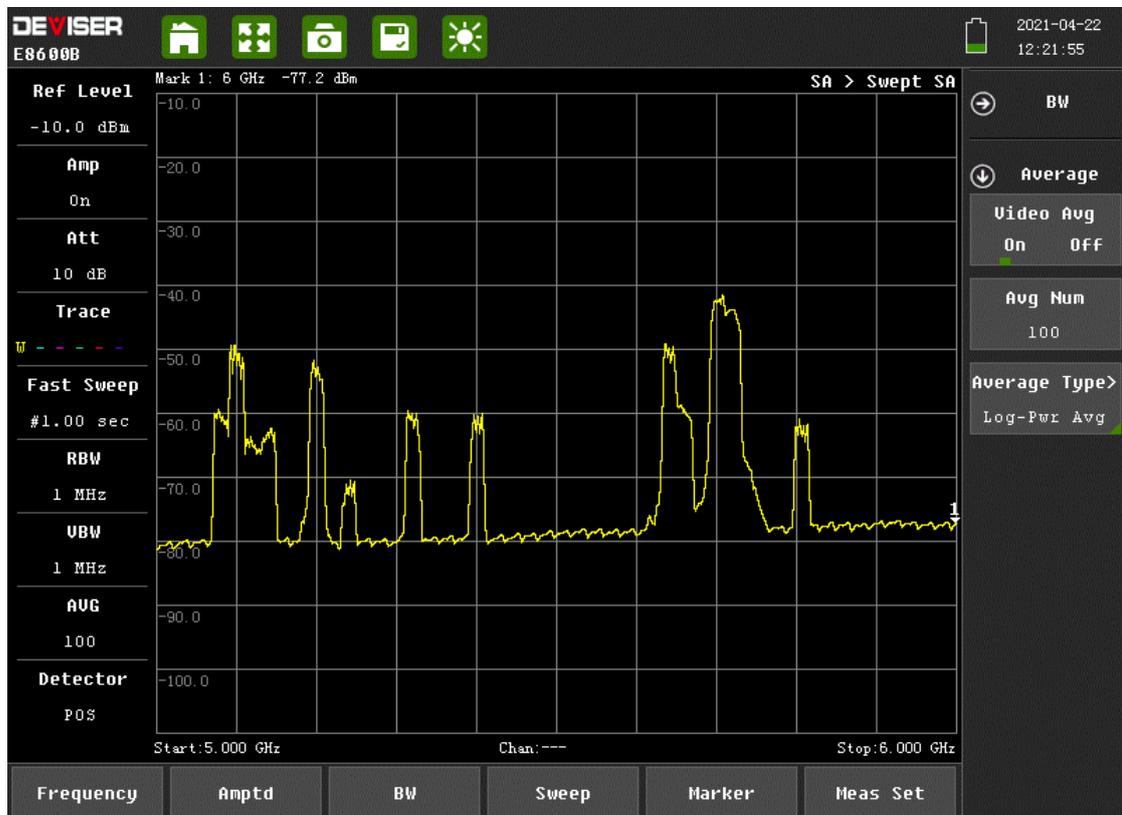


Ilustración 25-3: Medición espectral en el rango de 5Ghz a 6Ghz, nodo Rayoloma.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Para el nodo Rayoloma en vista de que gráficamente se puede apreciar varios espectros de frecuencias, se realizó un barrido con saltos de 10Mhz, para determinar con mayor eficiencia las frecuencias más óptimas para la implementación del radio enlace. En donde se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 12-3.

Tabla 12-3: Resultados en potencias del barrido de frecuencias con saltos de 10Mhz, en el nodo Rayoloma.

Barrido de Frecuencias – Nodo Rayoloma							
F(Ghz)	Prx(dBm)	F(Ghz)	Prx(dBm)	F(Ghz)	Prx(dBm)	F(Ghz)	Prx(dBm)
5	-81,3	5,26	-79,6	5,52	-79,2	5,78	-77,7
5,01	-80,6	5,27	-80,7	5,53	-78,4	5,79	-78,2
5,02	-80,9	5,28	-79,9	5,54	-79,1	5,8	-63,1
5,03	-80,5	5,29	-80,9	5,55	-78,4	5,81	-64,1
5,04	-80,8	5,3	-80,2	5,56	-79,2	5,82	-77,5
5,05	-80,02	5,31	-73,7	5,57	-78,5	5,83	-78,2
5,06	-79,8	5,32	-60,1	5,58	-79,3	5,84	-77,5
5,07	-73,3	5,33	-66,9	5,59	-78,5	5,85	-77,8
5,08	-61,7	5,34	-79,8	5,6	-79,1	5,86	-77,6
5,09	-62,5	5,35	-79,7	5,61	-78,5	5,87	-78,2
5,1	-47,8	5,36	-79,7	5,62	-78,4	5,88	-77,7
5,11	-63,8	5,37	-79,4	5,63	-71	5,89	-78,2
5,12	-61,1	5,38	-79,6	5,64	-50,4	5,9	-77,3
5,13	-64	5,39	-79	5,65	-65,2	5,91	-77,9
5,14	-62,2	5,4	-62,5	5,66	-73,1	5,92	-77,9
5,15	-79,3	5,41	-78,3	5,67	-74,4	5,93	-77,3
5,16	-79,8	5,42	-79,8	5,68	-71,8	5,94	-77,3
5,17	-80,3	5,43	-79,3	5,69	-63,3	5,95	-78,3
5,18	-75,8	5,44	-79,6	5,7	-40,5	5,96	-77,5
5,19	-69,4	5,45	-79	5,71	-45,3	5,97	-77,7
5,2	-51,5	5,46	-79,4	5,72	-44,3	5,98	-77,5
5,21	-69,1	5,47	-78,7	5,73	-48,4	5,99	-77,1
5,22	-79,9	5,48	-79,2	5,74	-69,9	6	-77,3
5,23	-80,9	5,49	-78,6	5,75	-74,8		
5,24	-72,2	5,5	-79,2	5,76	-76,9		
5,25	-80,6	5,51	-78,6	5,77	-77,9		

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez analizada la tabla 12-3, se dedujo que el rango de frecuencias libre para la implementación del radio enlace es desde 5.41 Ghz-5.62 Ghz, además el rango de 5.82 Ghz - 6Ghz, en el nodo Rayoloma, es importante mencionar que se debe tomó en cuenta el rango de frecuencia en la que opera el equipo a utilizar para el enlace.



Ilustración 26-3: Barrido de frecuencia con el analizador de espectros Deviser E8600B en el nodo Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

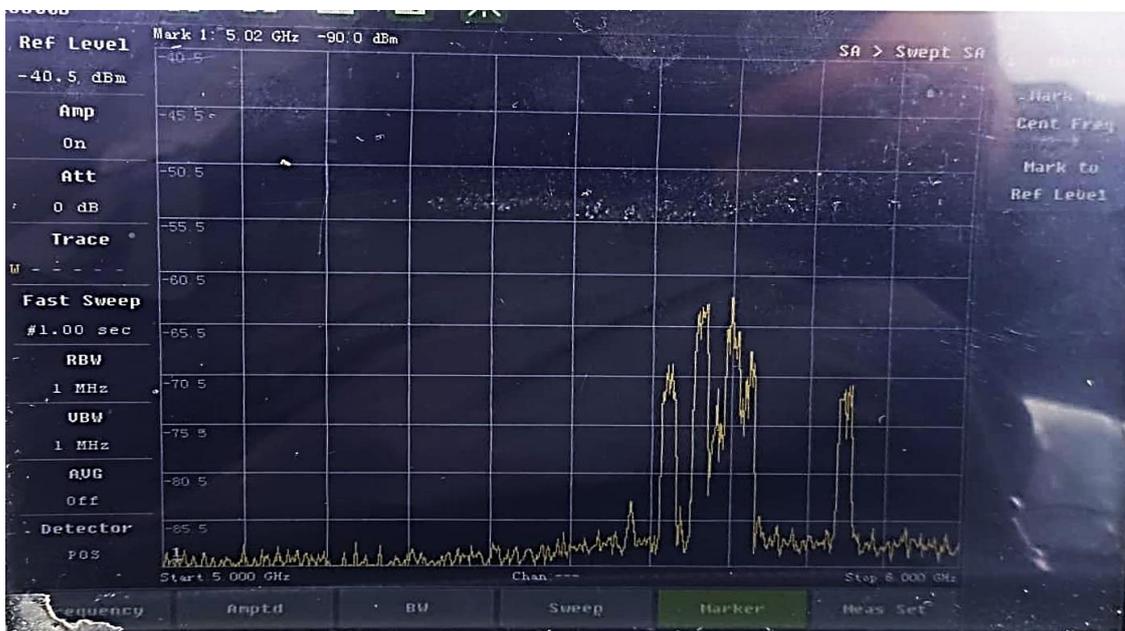


Ilustración 27-3: Medición espectral en el rango de 5Ghz-6Ghz, nodo Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

El barrido de frecuencias mostrado en la ilustración 25-3, da a conocer cómo se encuentra el espectro radioeléctrico del nodo, en donde se presenció la utilización de pocas frecuencias, es

por ello que se realizó un barrido de frecuencias con un salto cada 20Mhz, determinando las potencias recibidas por la antena HiperLOG, estos datos se dan a conocer en la tabla 13-3.

Tabla 13-3: Resultados en potencias del barrido de frecuencias con saltos de 20Mhz, en el nodo Guarguallá.

Barrido de Frecuencias-Nodo Guarguallá					
F(Ghz)	Prx(dBm)	F(Ghz)	Prx(dBm)	F(Ghz)	Prx(dBm)
5	-86,12	5,34	-89,5	5,68	-76
5,02	-87,09	5,36	-86,3	5,7	-62,5
5,04	-86,3	5,38	-89,3	5,72	-70,1
5,06	-87,3	5,4	-89,5	5,74	-87
5,08	-86,5	5,42	-88	5,76	-88
5,1	-87,2	5,44	-89,8	5,78	-88
5,12	-88,3	5,46	-89,2	5,8	-89
5,14	-89,1	5,48	-89,5	5,82	-88
5,16	-87,5	5,5	-88	5,84	-71,2
5,18	-88,3	5,52	-89,1	5,86	-88
5,2	-89,4	5,54	-88,9	5,88	-87
5,22	-81,1	5,56	-89,1	5,9	-88
5,24	-80	5,58	-83,5	5,92	-88,2
5,26	-79,4	5,6	-87	5,94	-88,3
5,28	-80	5,62	-70	5,96	-89
5,3	-79,5	5,64	-76	5,98	-89
5,32	-80,1	5,66	-64,5	6	-89,2

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Por otro lado, en el nodo Guarguallá teniendo en cuenta que se ocupa 3 frecuencias, la primera para el enlace punto a punto con el nodo Rayoloma, y la dos restantes para el uso de las Radio Bases, se determinó que el rango de frecuencias utilizables más óptimos van desde los 5 Ghz a 5,6 Ghz. Con estos antecedentes, se procedió a seleccionar las frecuencias, que se muestran en la ilustración 14-3, al igual que la nomenclatura a utilizar.

Tabla 14-3: Frecuencias utilizadas en los diferentes tipos de enlace.

FRECUENCIAS A UTILIZAR		
Tipo enlace	Nomenclatura	Frecuencia (Mhz)
Enlace punto a punto	BH-RAY_GLL	5500
Sectoriales	RB_GLL_SO	5250
	RB_GLL_EE	5350

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.8. Simulación mediante Radio Mobile

Radio Mobile es un software libre que permitió simular radio enlaces, en frecuencias desde los 20Mhz hasta los 40HGz, en donde fue posible insertar parámetros de equipos que se utilizaran en una implementación real, tales parámetros como: ganancia de una antena, potencia, sensibilidad pérdidas de cables, etc. En el presente proyecto se utilizó para la simulación del radio enlace de Rayoloma-Guarguallá y las coberturas sectoriales desde el nodo Guarguallá para la provisión del internet en el sector con el mismo nombre.

3.8.1. Enlace Punto a Punto

Para la simulación del enlace punto a punto desde Rayoloma a Guarguallá se inició por la creación de las unidades, denominada por un lado Nodo Rayoloma y otro Guarguallá, incluyendo la posición geográfica de cada una, la misma que se indica en la ilustración 28-3 y 29-3.

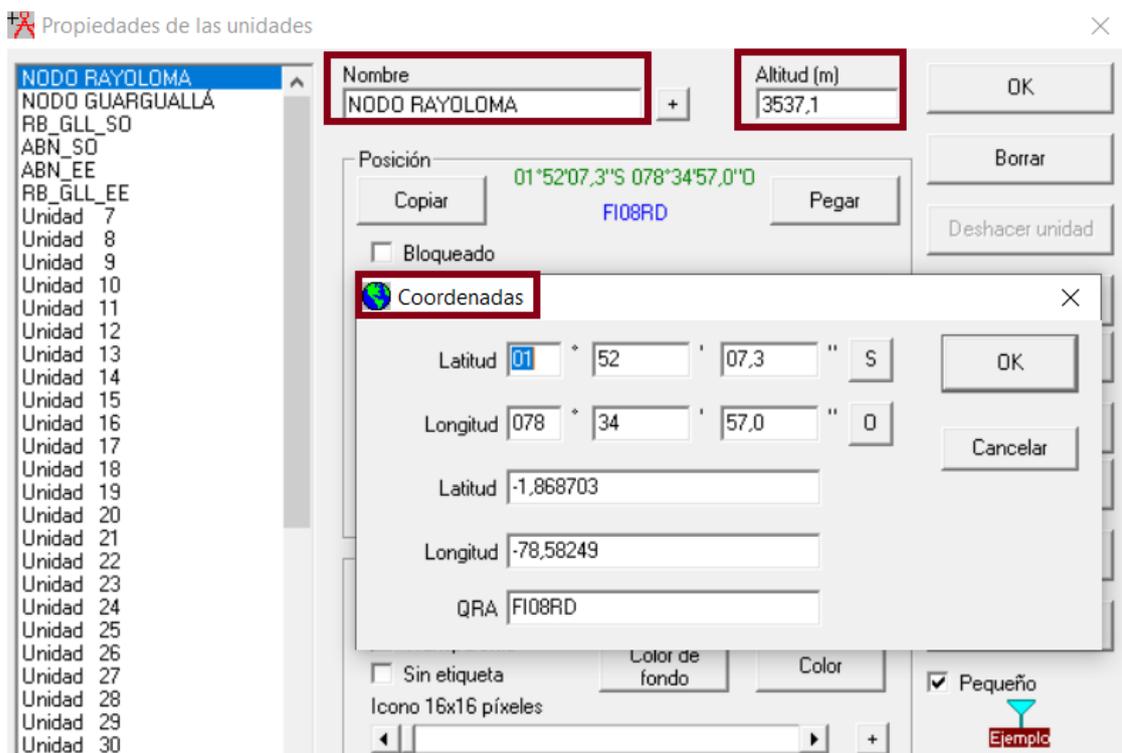


Ilustración 28-3: Creación de la unidad para el nodo Rayoloma

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

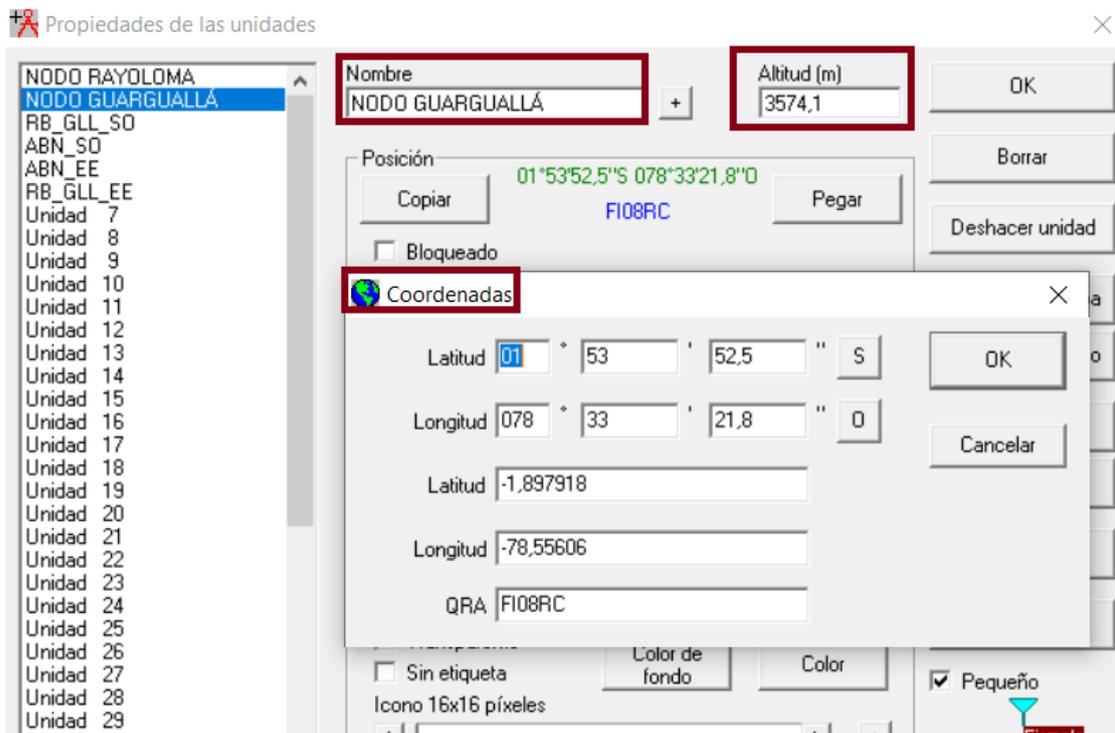


Ilustración 29-3: Creación de la unidad para el nodo Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022

Tanto en la ilustración 28-3 y 29-3 se aprecia la altitud que el software asigna de acuerdo a las coordenadas geográficas de ubicación, lo cual permitió determinar que el nodo Guarguallá se encuentra con más altitud respecto al nodo Rayoloma, con 3574,1 msnm respecto a 3537,1 msnm de Rayoloma. A continuación, en la ilustración 30-3 se muestra los puntos tanto del nodo Rayoloma como de Guarguallá insertados como unidades en el software de Radio Mobile.

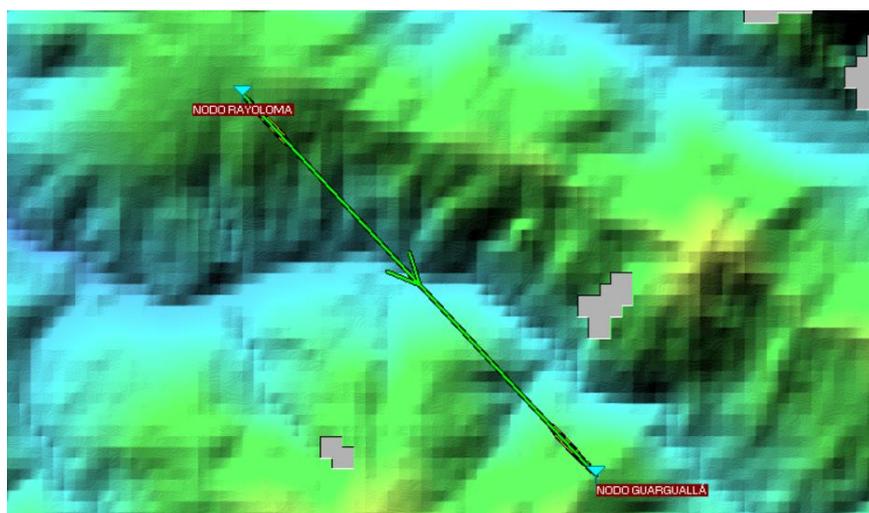


Ilustración 30-3: Ubicación de los puntos en Radio Mobile de los nodos Rayoloma y Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Creada las unidades se creó una red que permita simular el radio enlace propuesta, para la cual se tomó en consideración cada uno de los parámetros, tal y como se muestra en la ilustración 31-3.

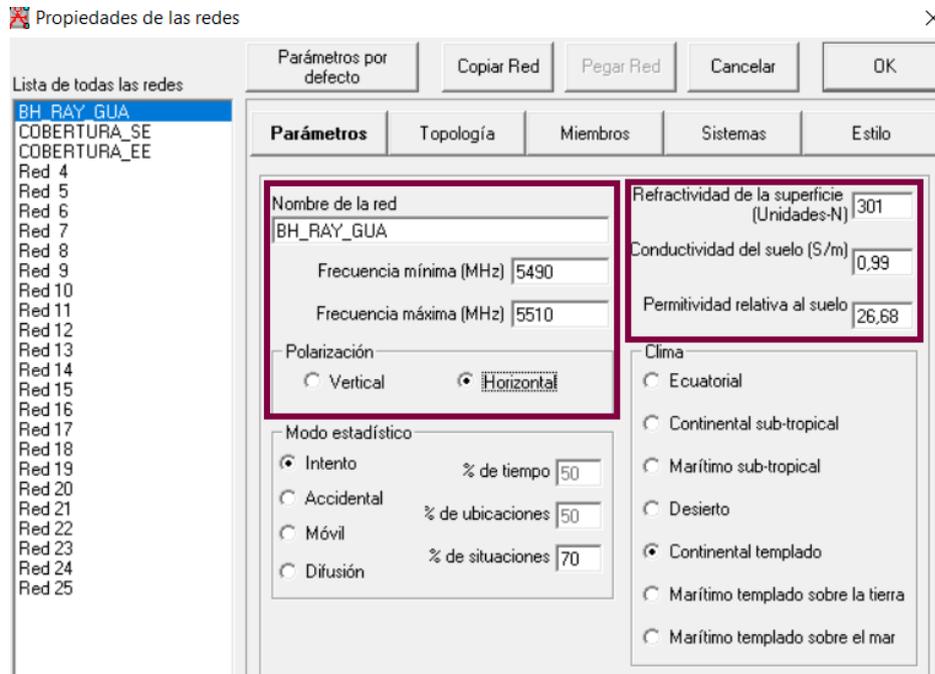


Ilustración 31-3:Parámetros de la red BH-RAY-GLL, en el simulador Radio Mobile.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Se eligió la polarización horizontal para simular, ya que en los equipos Mikrotik la polaridad horizontal es preferida y asignada al tráfico de bajada. Los valores de permitividad y conductividad se asignaron en referencia a una región con bastante viento y tierra húmeda, extraídas desde el trabajo de investigación realizada en la Sierra Ecuatoriana (Sanchez, 1991), específicamente en la provincia de Ibarra.

Se utilizó la topología estrella, donde el master es la antena ubicada en Rayoloma y esclava la antena ubicada en el nodo Guarguallá.

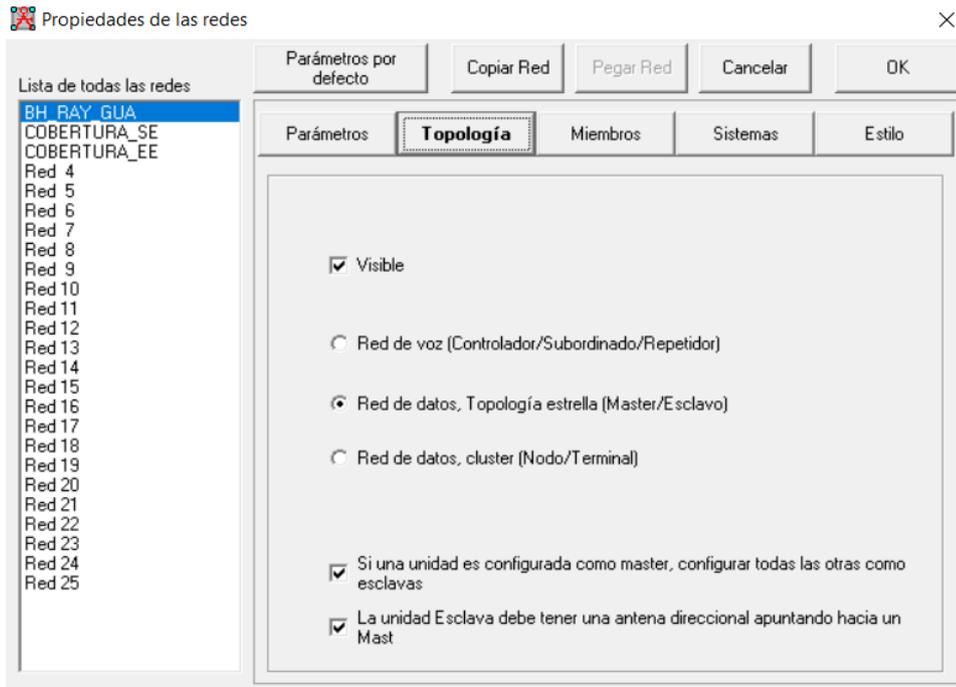


Ilustración 32-3: Topología para la red de datos, entre el nodo Rayoloma y Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la Ilustración 33-3 se muestra la asignación de roles para cada nodo, en donde se asignó al nodo Rayoloma como master y el nodo Guarguallá como esclavo, especificando en cada apartado a la altura de la antena en cada una. También se le asigna el sistema que utilizará que en este caso es el enlace POINT_TO_POINT, que muestra las especificaciones en la ilustración 35-3.

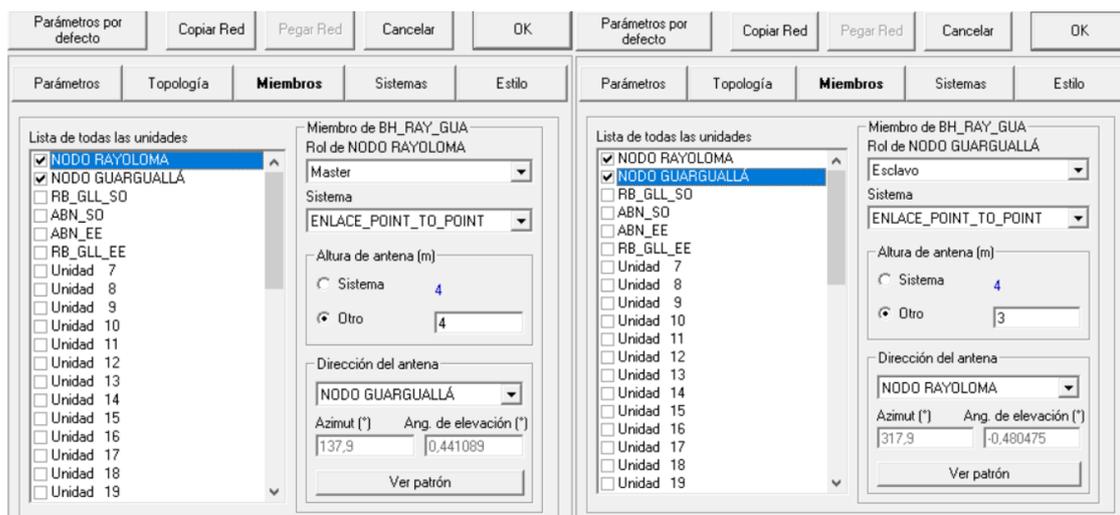


Ilustración 33-3: Asignación de rol en la topología de datos tanto al nodo Rayoloma y Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

El patrón de radiación utilizada para el enlace punto a punto se obtuvo desde los archivos ant de la página oficial de Mikrotik e incluida en el simulador, la mismas que se muestran en la ilustración 32-3, tanto en 2D y 3D.

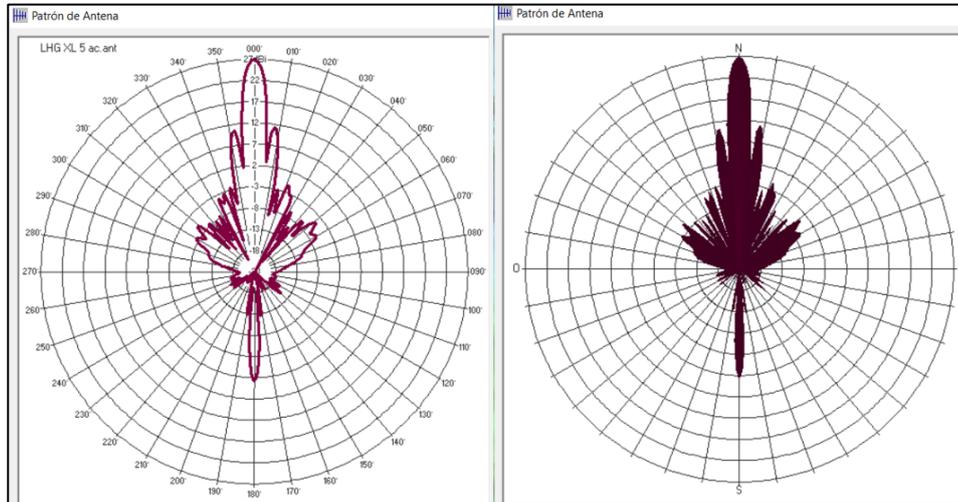


Ilustración 34-3: Patrón de radiación de la antena LHG XL 5 ac, en el simulador radio Mobile.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Asignada los roles para cada en antena en su respectivo nodo, fue posible conocer el ángulo elevación y azimut que cada una debe tener para engancharse con la mejor potencia posible. En la ilustración 35-3, se puede apreciar el patrón de radiación ideal en cada una de las antenas y su direccionamiento.

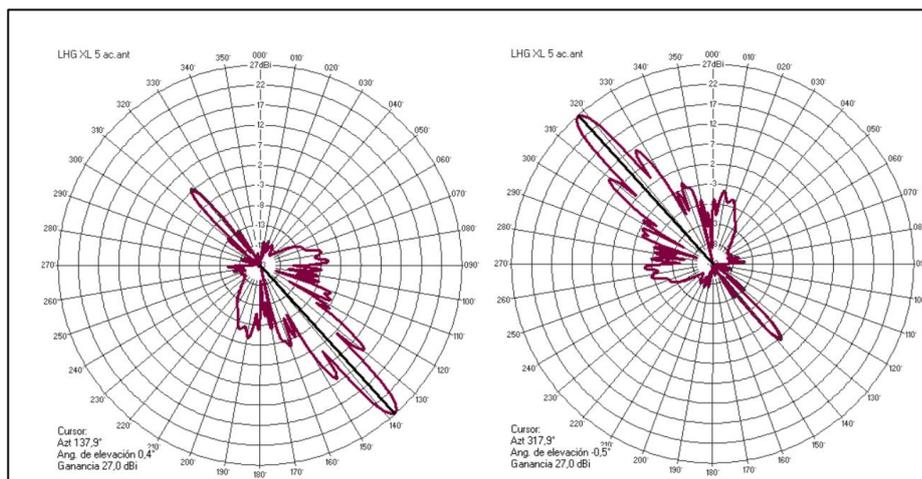


Ilustración 35-3: Patrón de radiación en cada una de las antenas, tanto en el nodo Rayoloma y Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

En cuanto a la configuración del sistema introduce la potencia del transmisor, el umbral de recepción, la ganancia de la antena, y la pérdida de línea, todos los parámetros a se basan en las especificaciones de los equipos descritos en el capítulo anterior, a excepción de la pérdida de línea que se calculó de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \text{Pérdida línea (dB)} &= (4(\text{conectores}) * 0,2[\text{db}]) + (11(\text{metros de cable}) * 0.1[\text{db/m}]) \\ &= 1.9 \text{ dB} \end{aligned}$$

Una vez calculada la pérdida de línea, se procedió a aplicar todos los cambios.

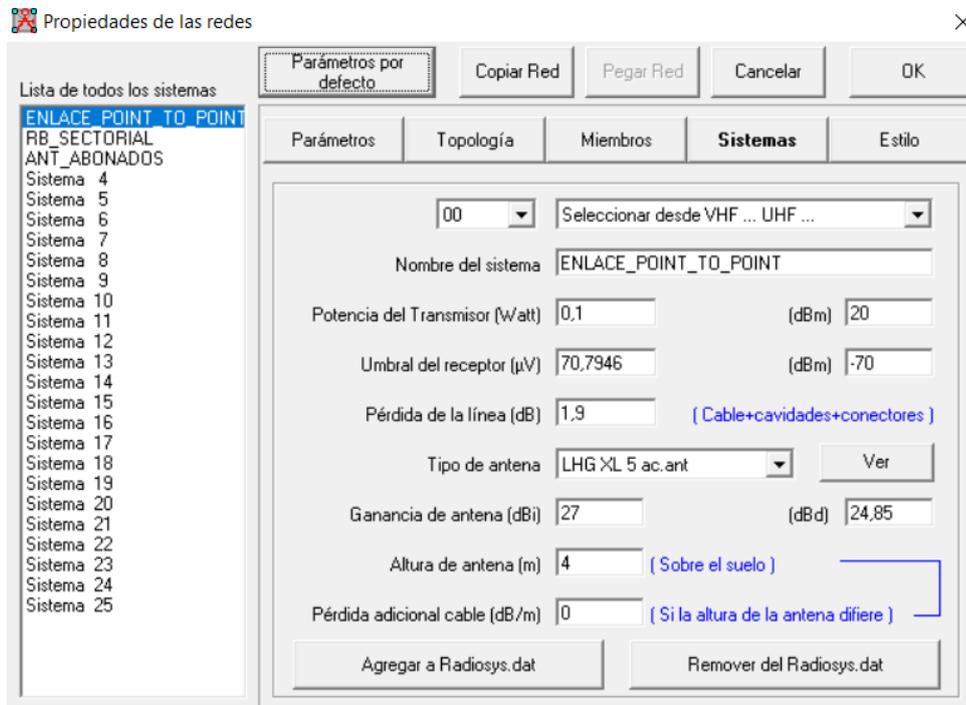


Ilustración 36-3: Configuración de parámetros del sistema, para el enlace punto a punto.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Configurada las unidades, redes y el sistema para la simulación del radioenlace, se verificó el estado, la misma que se aprecia en la ilustración 37-3 y 38-3, en donde se aprecia los resultados de cada parámetro de simulación que ofrece radio Mobile tanto del nodo Rayoloma a Guarguallá, como de Guarguallá a Rayoloma.

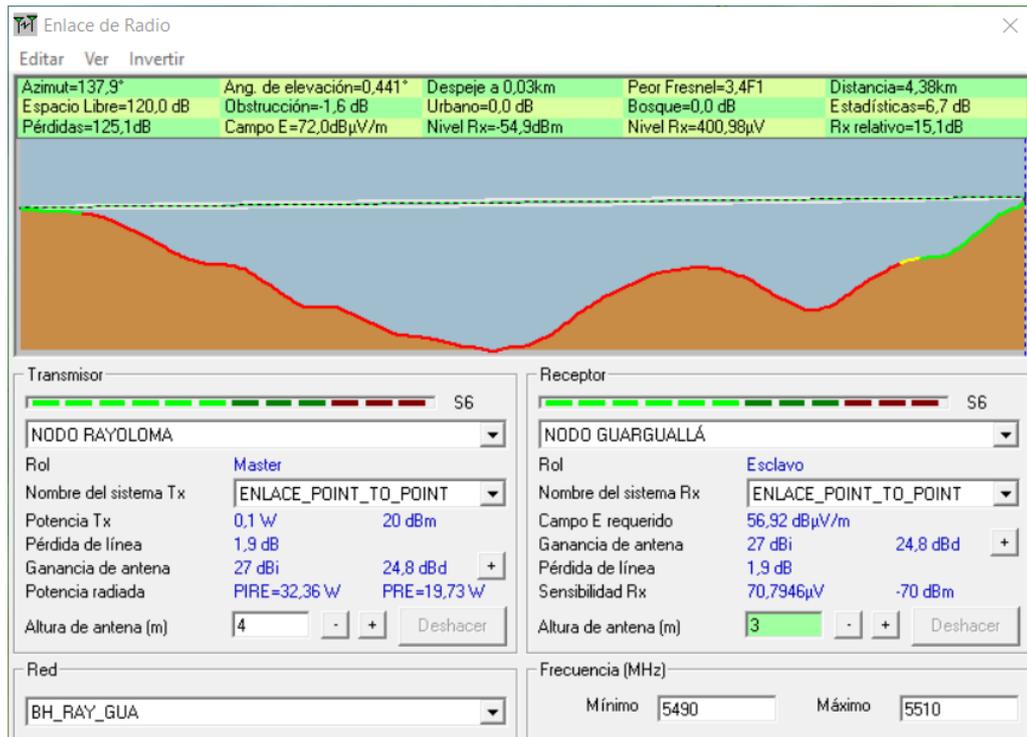


Ilustración 37-3: Estado de simulación del enlace Rayoloma - Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

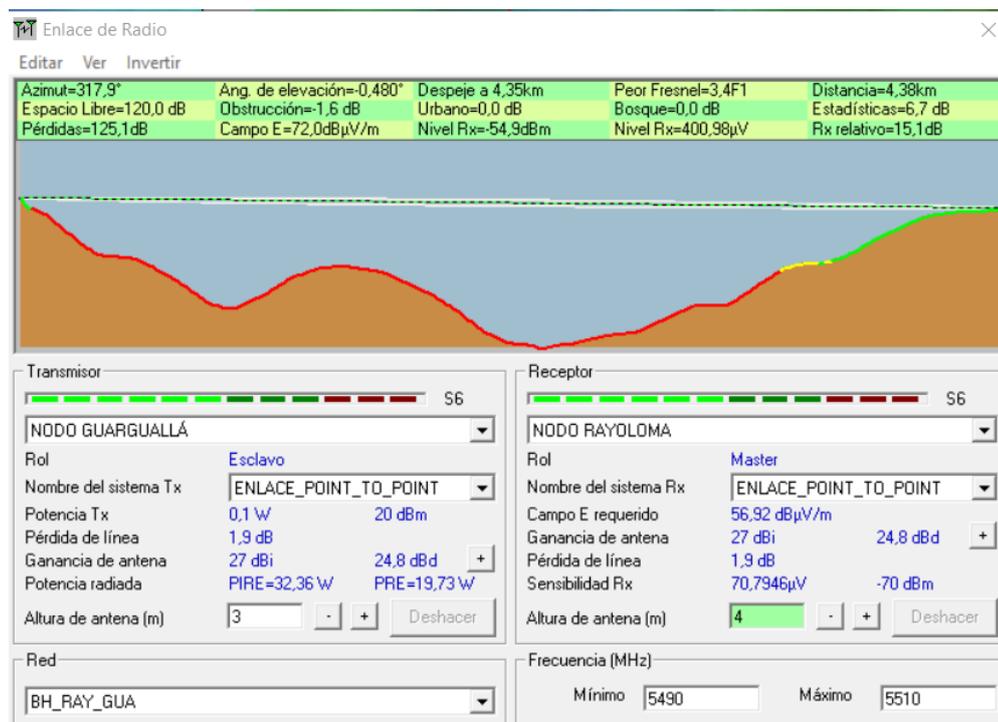


Ilustración 38-3: Estado de simulación del enlace Guarguallá – Rayoloma.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Los parámetros mostrados en la ilustración 37-3 y 38-3 influyeron para la implementación del radio enlace de 4.38 km, como los parámetros de: ángulo de azimut y elevación, debido a que

una vez ubicada la antena en los lugares correspondientes, esta será la dirección a la que con mejor potencia se enganche las antenas. Por otro lado, es importante considerar que el nivel de recepción de la antena es de -54.9 dBm.

3.8.2. Cobertura Sectorial Nodo Guarguallá

Se consideraron 2 Radio bases que permitan cubrir todo el sector de Guarguallá. A pesar que las radio bases simuladas no solamente abarcan el sector de Guarguallá, sino también sectores de alrededores.

Para la simulación de las coberturas sectoriales, se recabaron información de la ubicación de los clientes más críticos, la cual se permitió obtener el mejor direccionamiento de la radio base a los abonados y adicionalmente abarcar la máxima área posible para los distintos clientes.

Para la creación de las unidades y redes, se basó en la nomenclatura indicada en la tabla 14-3, para lo cual se creó inicialmente las unidades de la RB y los dos abonados más críticos, tal y como se indica en la ilustración 39-3.

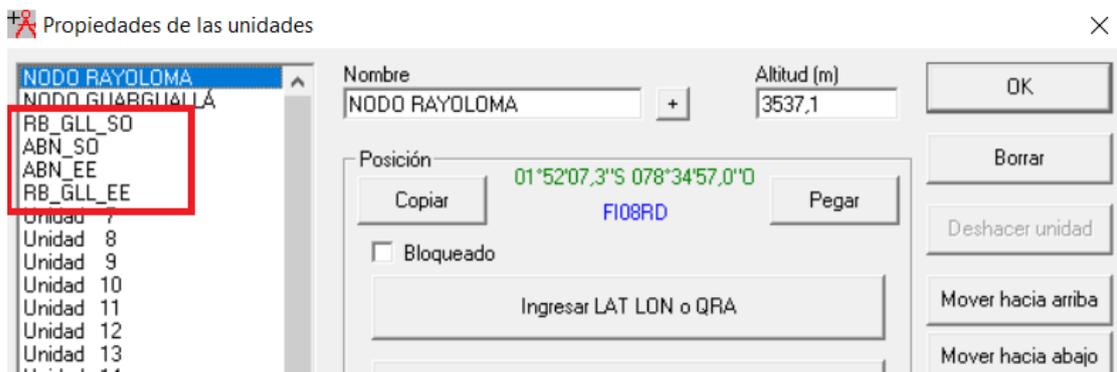


Ilustración 39-3: Creación de las unidades para los enlaces punto a multipunto.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Se realizó la creación de cuatro unidades, tanto 2 para radio bases que apunten a cada sector de Guarguallá y 2 unidades que simulen a clientes. La RB_GLL_SO posee tal nomenclatura debido a que pertenece a una radio base del nodo Guarguallá y cómo última sigla es la georreferenciación de la misma, así también de igual manera para la RB_GLL_EE, de estas 2 unidades se han creado las 2 unidades de clientes que tienen la nomenclatura en el mismo sentido que de la radio base, tanto el ABN_SO y el ABN_EE, en donde ABN indica que hace referencia a abonado.

Una vez creada las unidades se ubicó las coordenadas, frecuencia y altitud de cada una, las cuales son mostradas en la tabla 15-3 en Radio Mobile.

Tabla 15-3: Valores de Frecuencia, ubicación y altitud de unidades, para el enlace sectorial de Guarguallá.

Unidades y Redes para el enlace sectorial				
Tipo enlace	Nomenclatura	Frecuencia (MHz)	Coordenadas	Altitud (msnm)
Punto a	RB_GLL_SO	5250	-1.897918, -78,55606	3547
	RB_GLL_EE	5350	-1.897918, -78,55606	
Multipunto	ABN_SO	5250	-1,876099, -78,58885	3266,8
	ABN_EE	5350	-1,900721, -78,53902	3253,2

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Cada una de las unidades creadas y los enlaces se puede apreciar en la ilustración 40-3. En la ilustración se muestra con ícono de una casa, la ubicación de los abonados más críticos usadas para la ejecución de la simulación del enlace punto a multipunto.

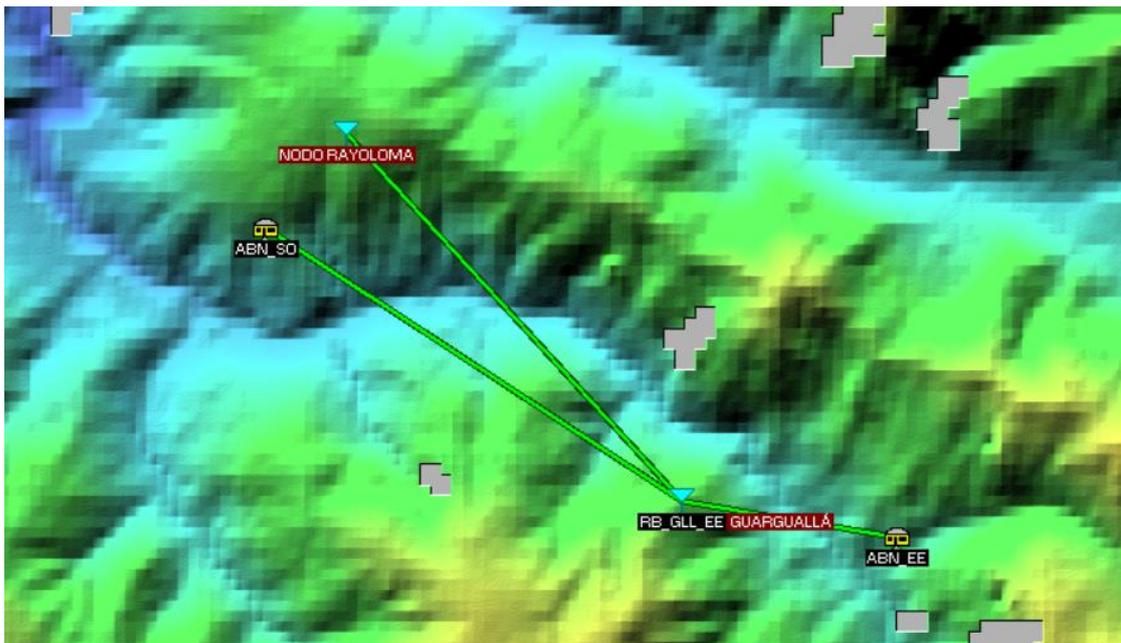


Ilustración 40-3: Ubicación de las unidades, para la simulación de la cobertura sectorial en el sector de Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez creada cada una de las unidades necesarias para la simulación, lo siguiente fue la creación de las redes, para la cual se necesitó 2 redes, cada una para la simulación de una radio base, la misma que se simuló con valores de las especificaciones de cada uno de los equipos. Además de la creación de las 2 redes, para la simulación bastó con la creación de un solo sistema,

debido a que se utilizará equipos del mismo tipo para las radios bases y en la misma ubicación, por lo cual los valores son los mismos. Mientras que, para la simulación del lado del abonado, de igual manera bastó con la creación de un solo sistema, debido a que se especificará los parámetros de un mismo equipo para los dos escenarios, Finalmente la creación de las 2 redes se muestra en la ilustración 39-3.

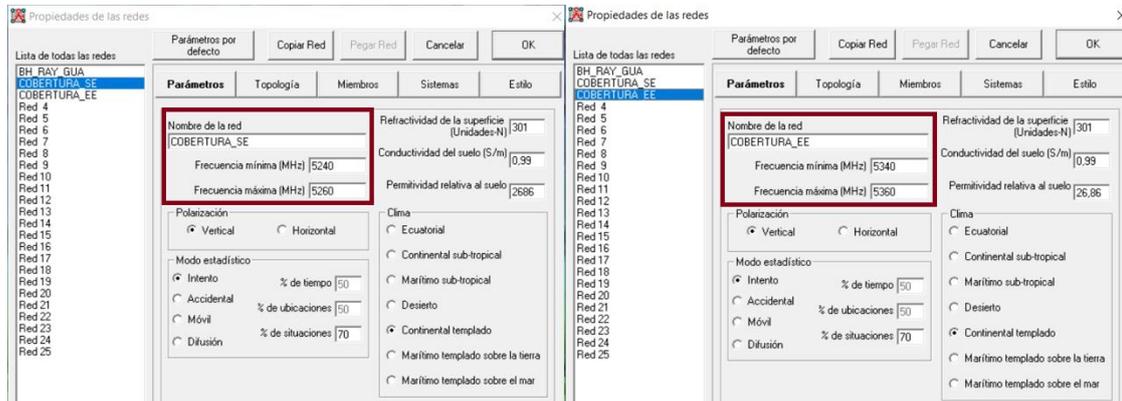


Ilustración 41-3: Creación de las redes punto a multipunto, para la simulación de cada Radio Base.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración 41-3, se muestra la creación de las dos redes necesarias para el enlace punto a multipunto, en donde se especifica los parámetros más acordes a la ubicación de los nodos, como las frecuencias de operación, refractividad, conductividad y permitividad, estas 3 últimas electas de acuerdo a la consulta bibliográfica, mencionada en el apartado de simulación punto a punto. Se utilizó la topología estrella para la simulación de las 2 radio bases, donde el master se asignó a la Radio Base y esclavo al abonado más crítico usado para cada radio base.

El patrón de radiación usada en cada una de las radios bases son iguales, las cuales una vez extraída el archivo ant de las páginas oficiales de Mikrotik se introdujeron al simulador, la misma que se muestra el lóbulo de radiación de estas antenas en la ilustración 42-3.

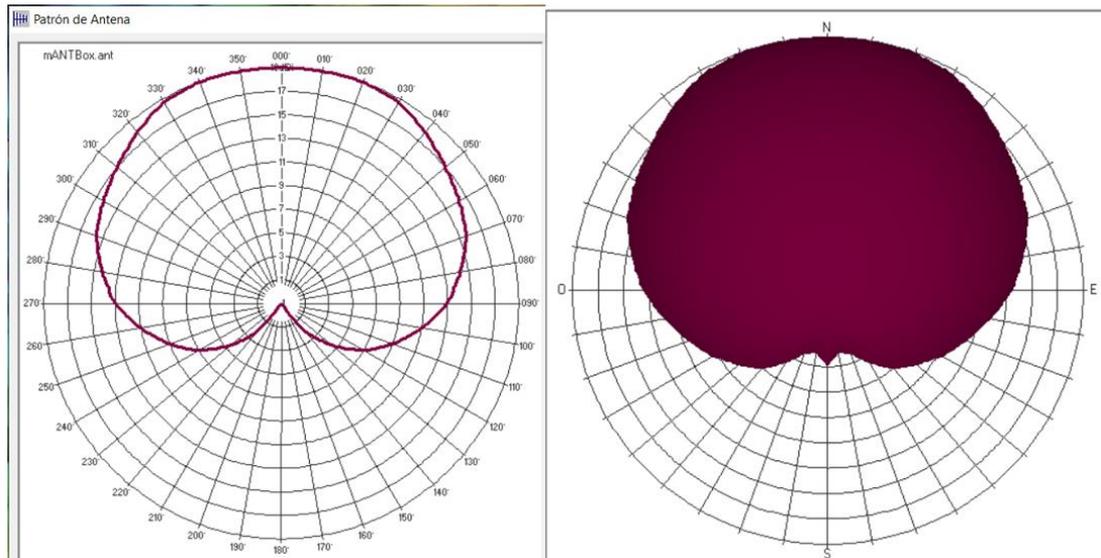


Ilustración 42-3: Patrón de radiación del arreglo de antenas usadas en la radio bases.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En cuanto al patrón de radiación de las antenas usadas para clientes para la simulación de igual manera que para el enlace punto a punto es la misma, a diferencia que la ganancia es menor con 2.5 dBi, y teniendo en cuenta que su patrón de radiación es directiva, fue propicia para utilizar como cliente para la conexión a la radio base.

Para la simulación de las coberturas, fue necesario la creación de dos sistemas, una para la radio base y otra para los abonados.

- Creación de sistema para Radio Bases

Para las radios bases se tomó en cuenta las especificaciones de cada equipo propuesto para los enlaces punto a multipunto, la misma que se puede apreciar en la ilustración 43-3, sin embargo, para el cálculo de pérdida de línea existente, se realizó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida línea (dB)} &= (2(\text{conectores}) * 0,2[\text{dB}]) + (5(\text{metros de cable}) * 0.1[\text{db/m}]) \\ &= 0.9 \text{ dB} \end{aligned}$$

Una vez realizada el cálculo de pérdida de línea se obtuvo 0.9 dB de pérdida, en donde se tomó en cuenta 4 conectores, 2 para la radio base y 2 en la antena del abonado, y considerando que 2.5 metros de cable se utiliza para cada estación. Calculada la pérdida de la línea se procedió a aplicar el sistema para la simulación.

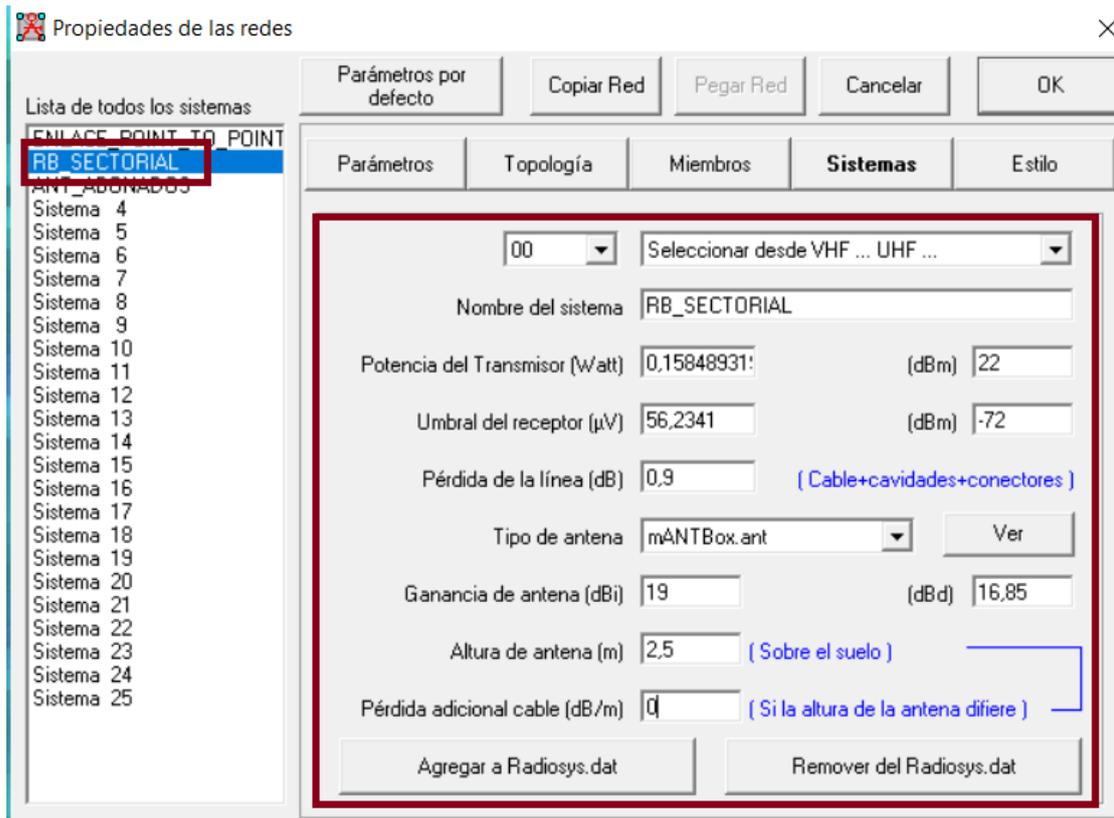


Ilustración 43-3: Sistema para la radio bases mANTBOX utilizada para las coberturas sectoriales.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

El sistema creado simuló la RB_GLL_SO y la RB_GLL_EE, en donde se verificó la cobertura más real posible una vez incluida los parámetros de los equipos reales a implementar, conjuntamente con el sistema de abonados que se crea a continuación.

- Creación de sistema para Abonados

El sistema de abonados creado para la simulación de cobertura de la radio bases contempla los parámetros de especificación del equipo usado mostrada en la tabla 7-3, en donde se da a conocer los valores de ganancia de la radio base, potencia de transmisión, umbral de recepción, el patrón de radiación y pérdida de línea, este último parámetro se calculó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida línea (dB)} &= (2(\text{conectores}) * 0,2[\text{db}]) + (5(\text{metros de cable}) * 0.1[\text{db/m}]) \\ &= 0.9 \text{ dB} \end{aligned}$$

Mediante el cálculo se obtiene un total de 0.9 dB de pérdida, la cual se incluyó en el sistema mostrado en la ilustración 44-3, para la respectiva simulación de un abonado, se utilizará el mismo sistema tanto para la simulación de las 2 Radio Bases del nodo Guarguallá.

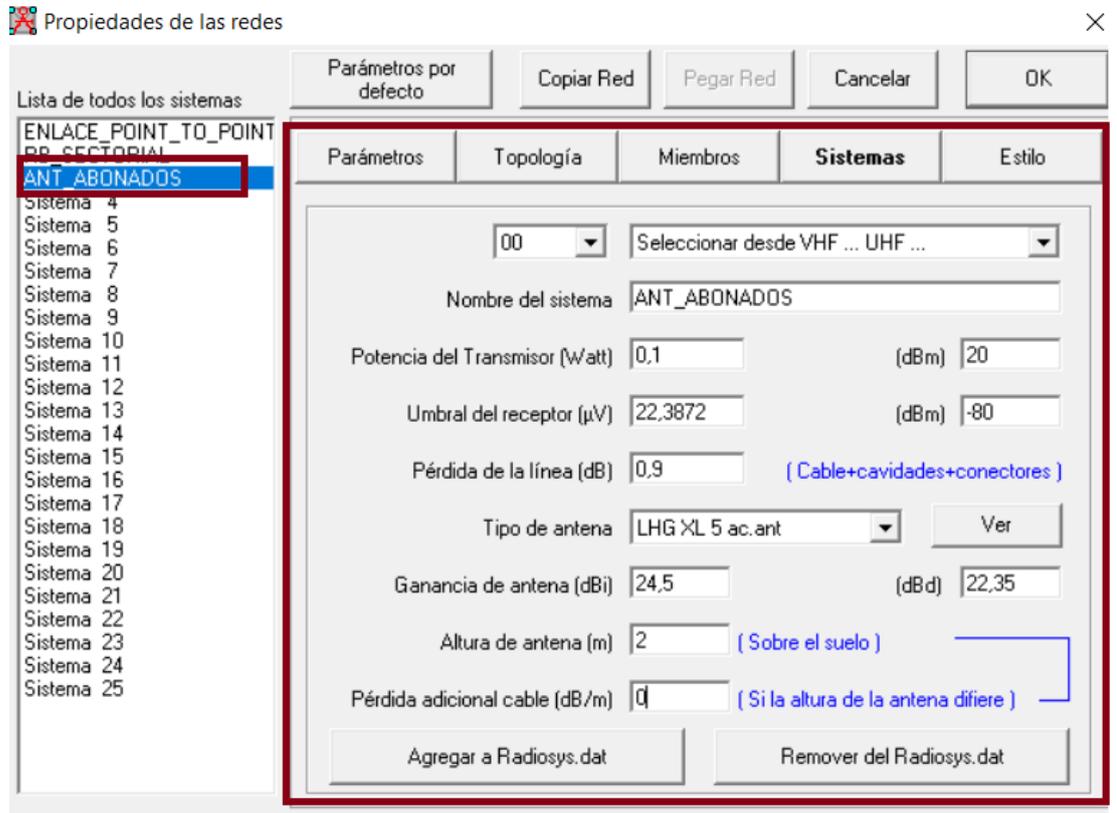


Ilustración 44-3: Sistema de Abonados para la simulación de coberturas sectoriales del nodo Guarguallá.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez descrita el sistema que se utilizó para la simulación de coberturas sectoriales, se evaluó la línea de vista de los puntos críticos, una para cada radio base.

3.8.2.1. Cobertura de la RB_GLL_SO

Para el análisis de cobertura se verificó en primera instancia la línea de vista de las coordenadas del cliente más crítico que se podría brindar el servicio de internet, con la cual se tenga un diagnóstico más específico de las áreas que abarcaría cada radio base.

El escenario de la radio base RB_GLL_SO en relación con el cliente más crítico se presenta en la ilustración 45-3, en donde además se muestra el lóbulo de radiación entre el sistema de abonados y la de radio bases.

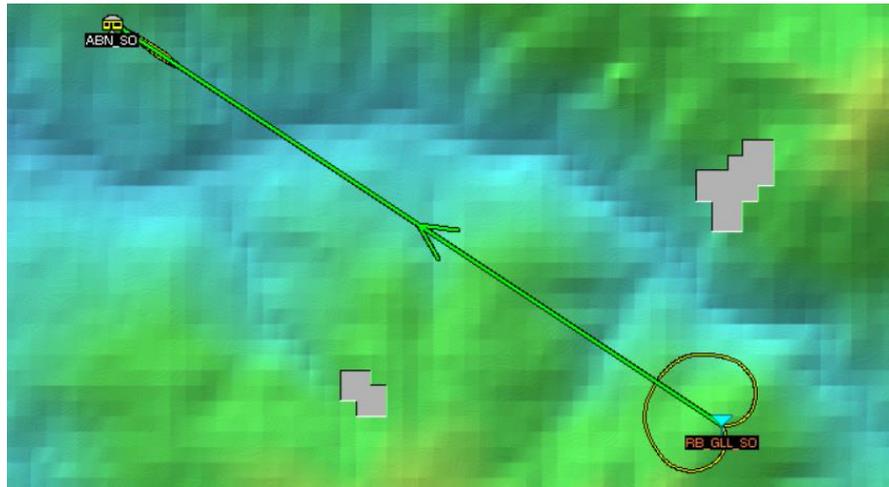


Ilustración 45-3: Escenario de cobertura sectorial de la radio base RB_GLL_SO con el abonado ABN_SO.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez mostrada el escenario para la simulación de la cobertura sectorial, se analizó el enlace en parámetros de potencia, ángulos de elevación y azimut, y la zona de fresnel entre las más importantes, tal y como se muestra en la ilustración 46-3.

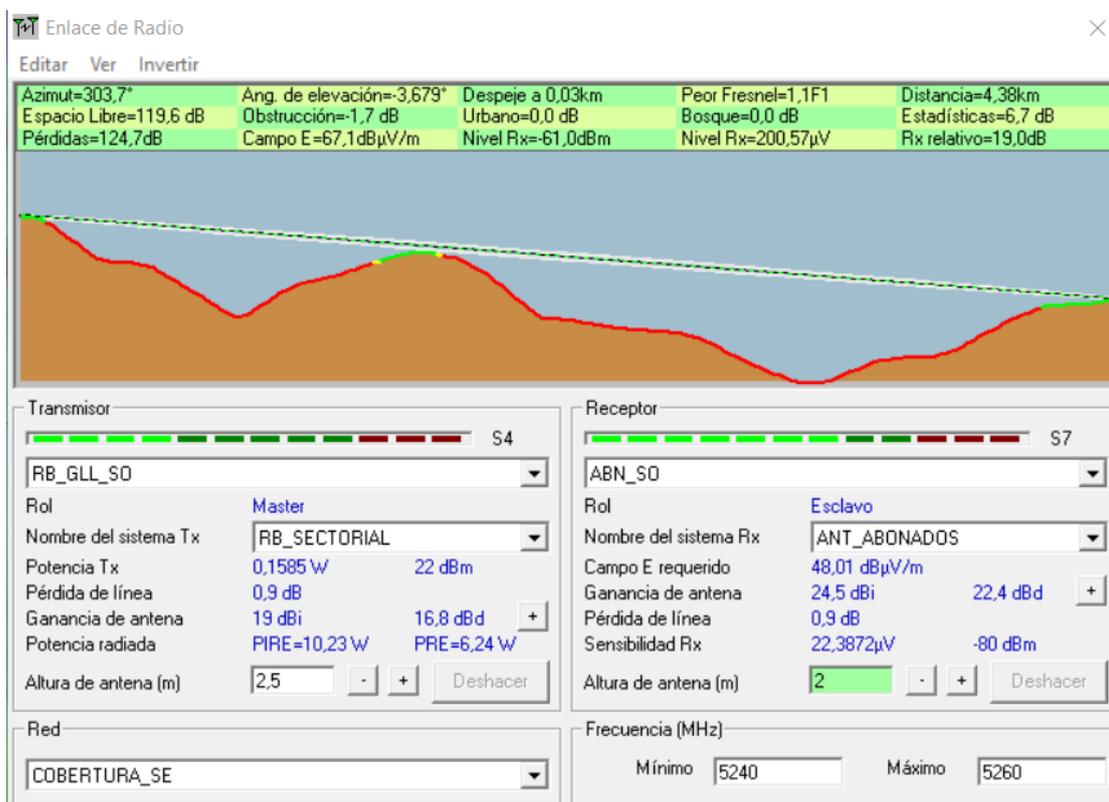


Ilustración 46-3: Simulación de enlace de radio entre la RB_GLL_SO y el ABN_SO mediante Radio Mobile.

Realizo por: Cujilema, Fredy, 2022.

Se evidenció en los resultados de simulación mostradas en la ilustración 46-3, que el nivel de recepción en potencia es de $-61,0$ dBm, necesitándose desde el lado de la radio base una inclinación en ángulos de azimut de 303.7 grados y de elevación de -3.679 grados. Por tanto, el punto más crítico elegido para la simulación es posible brindar servicio. Ahora, en relación al cliente más crítico se muestra el análisis de cobertura sectorial mediante código de colores mostradas en la ilustración 47-3.

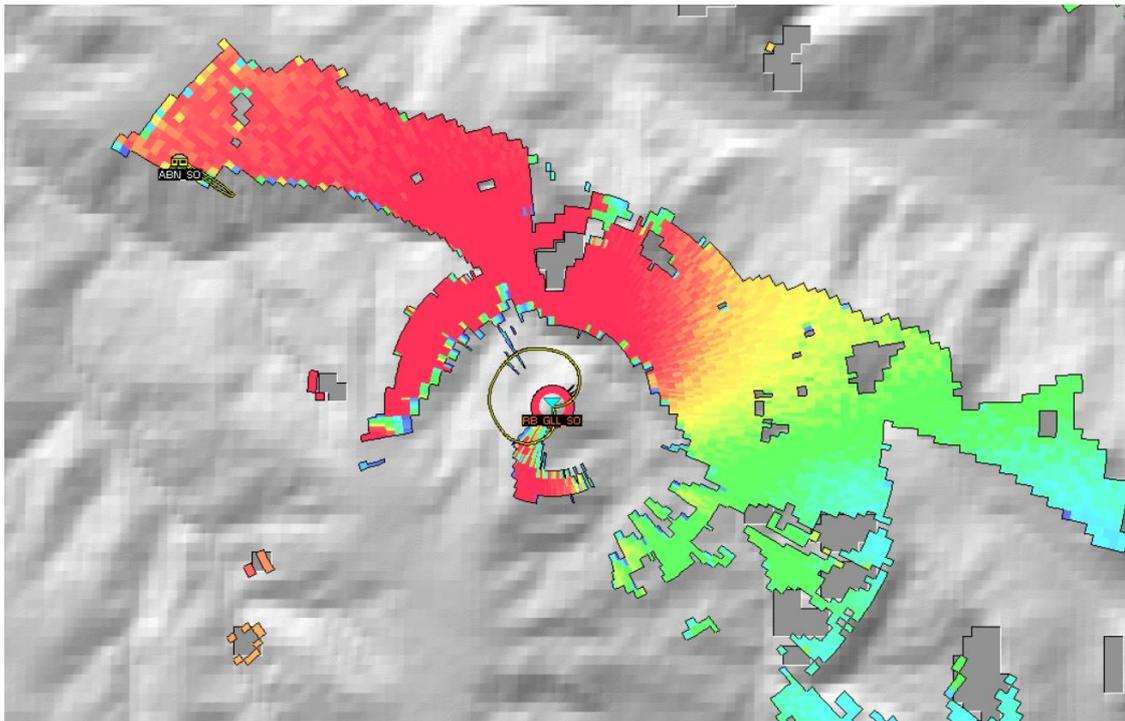


Ilustración 47-3: Cobertura sectorial de la radio base RB_GLL_SO, mediante Radio Mobile.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración 47-3, se observa la cobertura otorgada por la RB_GLL_SO, en donde se aprecia mediante un diagrama de calor la intensidad de señal con la que llega a tales puntos, la cual se convierte en la sensibilidad del receptor. El nivel de potencia de la señal de recepción relacionada con los colores mostradas en el diagrama de calor, se dan a conocer la figura 48-3, en términos de dBm.



Ilustración 48-3: Indicador del nivel de potencia de recepción mediante código de colores.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De acuerdo a la escala de colores mostrada en la ilustración 48-3, y haciendo relación con la ilustración 47-3, se aprecia la cobertura de la radio base, en este sentido las áreas que se encuentran dentro del diagrama de calor indicado entre el rango de color amarillo y rojo son factibles para brindar el servicio de internet, entendiéndose que el nivel de recepción de las antenas para un óptimo servicio es desde -56 dBm a -68 dBm. El área de cobertura, diferenciada por las escalas de colores, se indica en la ilustración 49-3, en donde se muestra sobre un mapa, de Google Earth, en la cual es posible apreciar con mayor detalle las viviendas existentes.

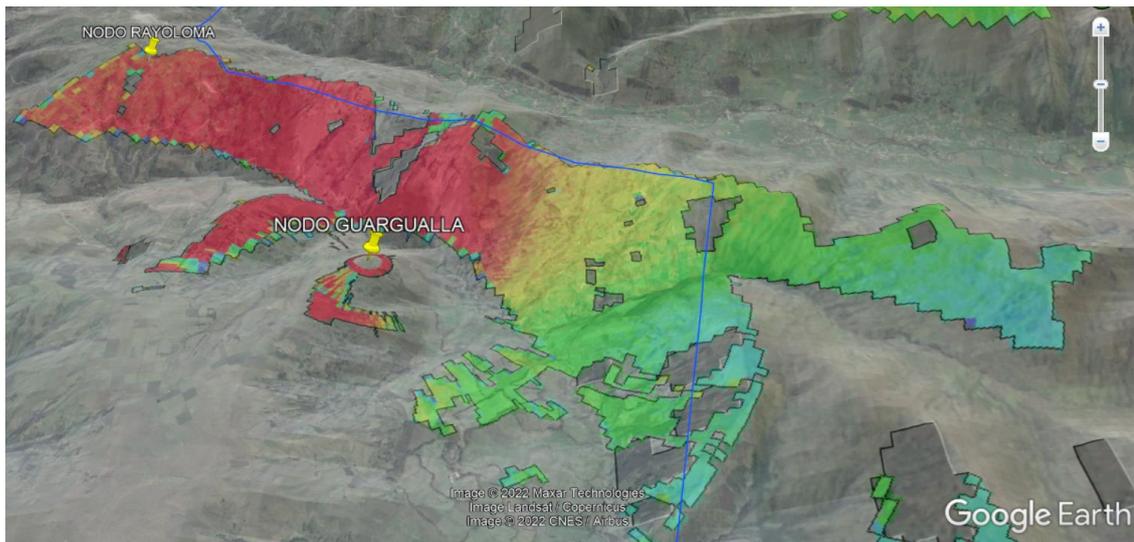


Ilustración 49-3: Cobertura sectorial de la radio base RB_GLL_SO, mostrada sobre el mapa de Google Earth.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Fuente: Google Earth, 2022.

3.8.2.2. Cobertura de la RB_GLL_EE

En cuanto a la simulación de cobertura de la radio base RB_GLL_EE, se eligió al igual que en el apartado anterior de la radio base RB_GLL_SS, el punto más crítico a considerar, en donde una vez simulada se visualizó el mapa de calor, indicando las áreas que se puede abarcar para brindar servicio. En la ilustración 50-3 se muestra los puntos mencionados, de tanto la radio base como el abonado más crítico. Además, se muestra el lóbulo de radiación de ambos tanto de la antena transmisora y receptora, radio base y abonado respectivamente.

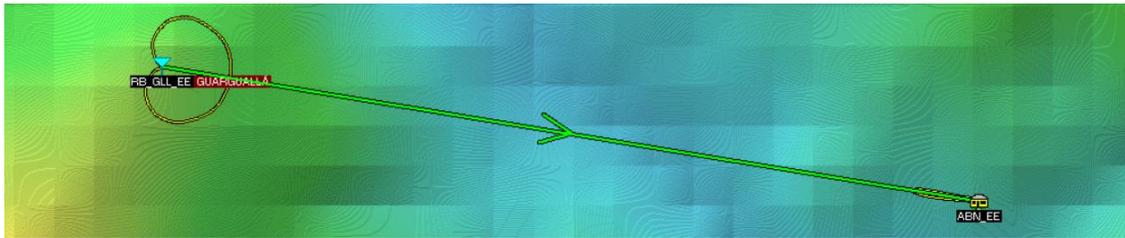


Ilustración 50-3: Escenario de cobertura sectorial para la simulación de la RB_GLL_EE y el abonado ABN_EE.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez establecida el escenario de simulación para la radio base RB_GLL_EE, se procedió a realizar el enlace de radio considerado en su punto más crítico a una distancia de 1,92 km desde el nodo central de Guarguallá, en donde se analizó los parámetros de potencia en el nivel de rx, la peor zona de fresnel y los ángulos de inclinación necesaria para establecer el radioenlace. Es así que en la ilustración 51-3, se muestra los resultados de simulación del enlace de radio, para la radio base mencionada.

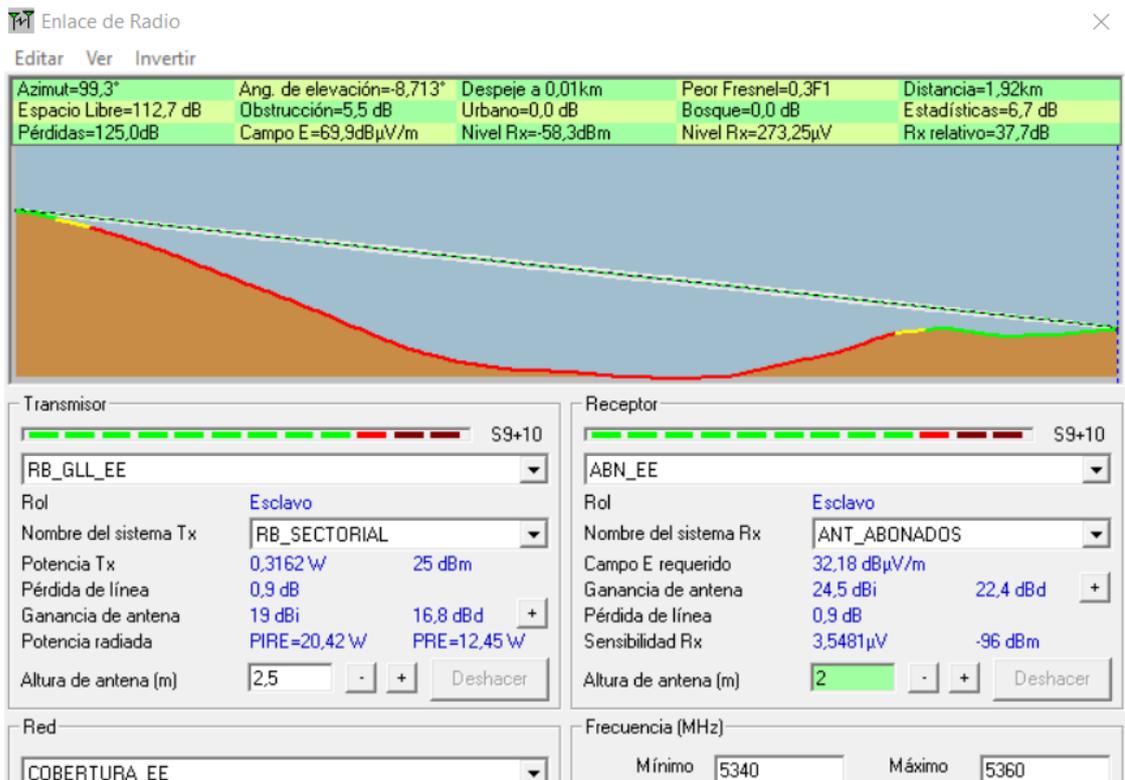


Ilustración 51-3: Simulación de enlace de radio entre la RB_GLL_EE y el abonado ABN_EE mediante Radio Mobile.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Los resultados de la simulación de acuerdo a la ilustración 51-3, muestran que en el punto más crítico del enlace se establece en el receptor con un nivel de potencia de -58,3 dBm, con un

despeje de 0,02 km, así como también indicando que es necesario brindar un ángulo de elevación de -8.713 grados, con respecto al abonado y con un ángulo de azimut de 99.3 grados, mientras que de la forma inversa es desde el abonado se necesita ubicar la antena con un ángulo de elevación de 8,695 grados y de azimut 279,3 grados con respecto a la radio base.

El mapa de calor de la RB_GLL_EE, muestra el área que abarca el patrón de radiación de la radio base, en este contexto se muestra en la ilustración 52-3, tomando en cuenta que el código de colores es el mismo que se indica en la ilustración 48-3.

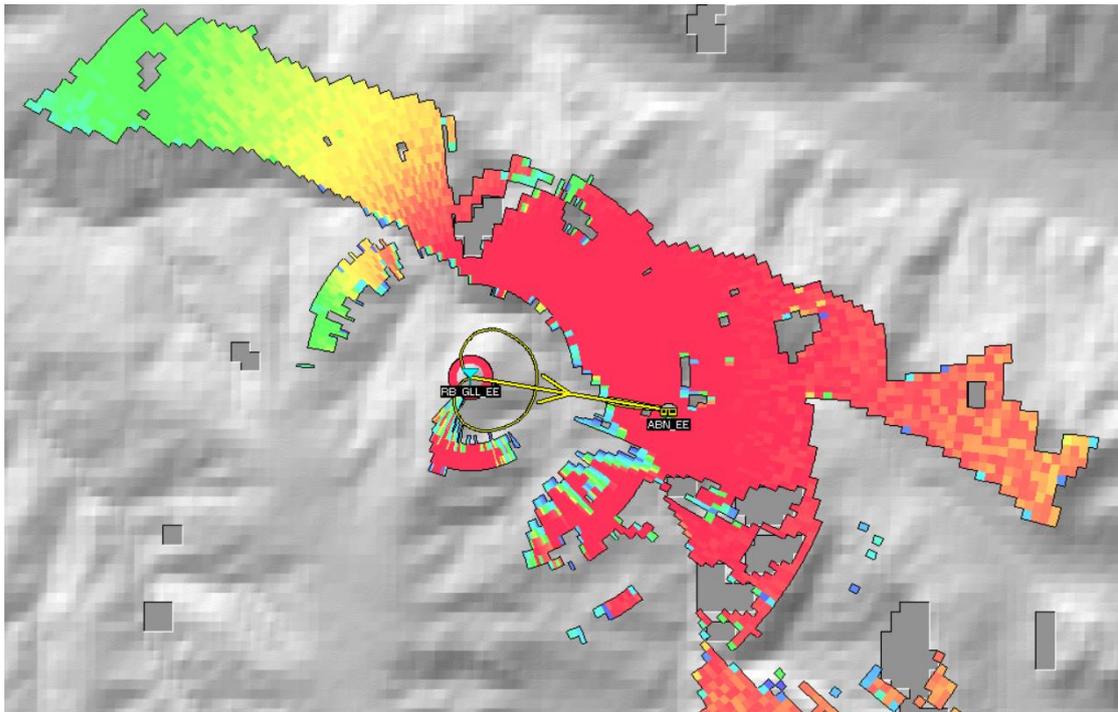


Ilustración 52-3: Mapa de calor de cobertura sectorial de la RB_GLL_EE.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

El mismo mapa de calor es posible visualizar de mejor manera mediante Google earth (ilustración 53-3), la cual brinda un panorama más claro de las áreas que abarcan.

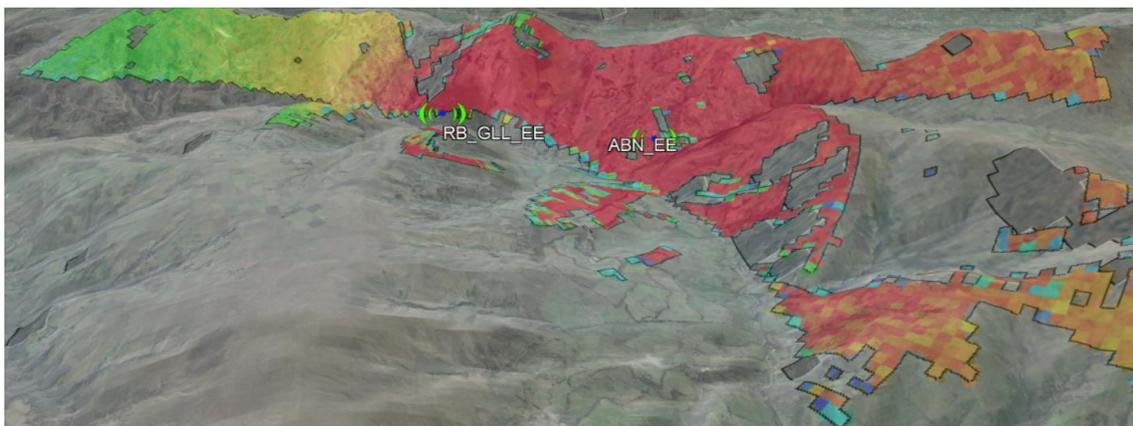


Ilustración 53-3: Mapa de calor de la cobertura sectorial de la RB_GLL_EE, mostrada en Google Earth.

Fuente: Google Earth, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez realizada la simulación y verificación de cobertura de cada radio base, es importante mencionar que con los dos elementos abarca el área deseada del sector de Guarguallá y comunidades aledañas.

3.9. Cálculo de indisponibilidad del radioenlace por efectos de lluvia

La indisponibilidad del radioenlace se calculó tomando en cuenta causas provocadas por efectos de desvanecimiento por lluvia (larga), debido a que por este motivo es posible provocar un corte total o parcial de la señal, potencia de ruido o BER excesivo, fuerte discontinuidad de la señal e intensa distorsión en la señal (Hernando, 2008a, p. 357):

Para el cálculo del desvanecimiento por efectos de lluvia se basó en la recomendación UIT-R P.530 que establece el siguiente procedimiento para evaluar la atenuación por lluvia rebasada durante un porcentaje de tiempo igual al $p\%$. Tal atenuación es (Hernando, 2008b, p. 179):

$$A(R, p) = \gamma(R, p)L_{ef}$$

En donde:

- $\gamma(R, p) = \text{Atenuación específica} \left[\frac{dB}{km} \right]$
- $R_p = \text{Intensidad de lluvia} \left[\frac{mm}{h} \right]$
- $p(\%) = \text{porcentaje del tiempo}$
- $L_{ef} = \text{Longitud efectiva del trayecto} [km]$

Para el cálculo de la atenuación específica se basó en la recomendación UIT-R P.838-3, la misma que se encuentra en el Anexo del presente documento, en donde la recomendación establece:

$$\gamma = kR_p^\alpha$$

Donde k y α , se determinan en función de la polarización, frecuencia, f (GHz), en la gama de 1 a 100 GHz, a partir de las ecuaciones que se han obtenido mediante el ajuste de curvas a los coeficientes de la ley potencial derivados de cálculos de dispersión, indicadas en la Recomendación UIT-R P.838-3.

La Longitud efectiva se calculó mediante (Hernando, 2008c, p. 181):

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

Donde para el 0.01% de tiempo y una intensidad de lluvia menor que 100 mm/h:

$$d_0 = 35e^{-0,015R_{0,01}}$$

Mientras que para una intensidad de lluvia superior a 100 mm/h se toma el valor de $R_{0,01} > 100 \text{ mm/h}$ (Hernando, 2008d, p. 181).

Una vez calcula la atenuación por efectos de lluvia para el 0.01% y relacionada con el Rx relativo, se aplicó la corrección de probabilidad que rebase el Rx relativo simulado en cada radioenlace, con la cual se permitió calcular la probabilidad de indisponibilidad mediante (Hernando, 2008e, p. 182).

$$A_p = 0,07A_{0,01}p^{-(0,855+0,139\log p)} \quad Lat < 30^\circ N/S$$

3.9.1. *Indisponibilidad del Radioenlace Rayoloma-Guarguallá*

El cálculo se realizó tomando en cuenta los siguientes datos:

- Distancia del radioenlace $d = 4.38 \text{ km}$ (ver ilustración 37.3)
- Frecuencia $f=5.5 \text{ GHz}$.
- Polarización horizontal (Recomendación UIT-R P.838-3, pg. 5); $k_H = 0,0003909$; $\alpha_H = 1,6469$

- Intensidad de lluvia para la región N (Sierra Ecuatoriana) para un porcentaje de tiempo del 0,01% $R = 95$ (Recomendación UIT-R PN.837-1, pg. 1-2).

$$A(R, p) = \gamma(R, p)L_{ef}$$

Cálculo de la atenuación específica:

$$\gamma = kR_p^\alpha$$

$$\gamma = (0,0003909)(95)_{0,01}^{1,6469}$$

$$\gamma = 0.7163 \text{ [dB/km]}$$

Cálculo de la longitud efectiva:

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

$$L_{ef} = \frac{4.38}{1 + \frac{4.38}{35e^{-0,015(95)_{0,01}}}}$$

$$L_{ef} = 2.88096 \text{ [km]}$$

Cálculo de la atenuación por lluvia para el 0,01%:

$$A(R, p) = \gamma(R, p)L_{ef}$$

$$A(R, p) = 0.7163 \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] * 2.88096 \text{ [km]}$$

$$A(R, p) = 2.06371 \text{ [dB]}$$

Una vez conocida la atenuación excedida el 0,01% del tiempo, se calculó el valor porcentual de tiempo, en la gama de 0,001% a 1% con la cual se conoció la disponibilidad del radioenlace, mediante:

$$\text{Para, } p = 0.001$$

$$A_p = (2.06371) * 0,07 * (0,001)^{-(0,855+0,139 \log(0,001))}$$

$$A_p = 2,9767 \text{ [dB]}$$

Se evidenció que para un porcentaje del 0,001% la atenuación es menor al Rx relativo simulado que se aprecia en la ilustración 37.3; $2,9767 \text{ [dB]} < 15.1 \text{ [dB]}$. Entendiéndose que con el porcentaje mínimo calculado no supera el margen del rx relativo del sistema, asegurando de esa manera un gran nivel de disponibilidad de operatividad del radioenlace.

3.9.2. *Indisponibilidad del Radioenlace RB-GLL_EE*

Datos:

- Distancia del radioenlace $d = 4.38 \text{ km}$ (ver ilustración 46.3)
- Frecuencia $f=5.25 \text{ GHz}$
- Polarización horizontal;
- Cálculo de k_H y α_H
- Intensidad de lluvia para la región N (Sierra Ecuatoriana) para un porcentaje de tiempo del 0,01% $R = 95$ (UIT, pp. 1-2).

El cálculo de k y α se lo realizó mediante el ajuste de curvas a los coeficientes de la ley potencial derivados de cálculos de dispersión de acuerdo a la recomendación UIT-R P.838-3, que se muestran a continuación:

$$\log(k) = \sum_{j=1}^4 (a_j \exp[-(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j})^2]) + m_k \log_{10}(f) + c_k$$
$$\alpha = \sum_{j=1}^5 (a_j \exp[-(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j})^2]) + m_\alpha \log(f) + c_\alpha$$

En donde reemplazando los valores de los subíndices del cuadro 1 y cuadro 3 de la Recomendación UIT-R P.383, se obtuvo los siguientes resultados:

$$k = 0,00028906$$

$$\alpha = 1.6768$$

A continuación, se muestra el cálculo realizado de la atenuación por efectos de lluvia al 0.01%.

$$A(R, p) = \gamma(R, p)L_{ef}$$

Cálculo de la atenuación específica:

$$\gamma = 0.5988 \text{ [dB/km]}$$

Cálculo de la longitud efectiva:

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

$$L_{ef} = 2.8810 [km]$$

Cálculo de la atenuación por lluvia para el 0,01%:

$$A(R, p) = \gamma(R, p)L_{ef}$$

$$A(R, p) = \mathbf{1.7251 [dB]}$$

Una vez conocida la atenuación excedida el 0,01% del tiempo, se calculó el valor porcentual de tiempo, en la gama de 0,001% a 1% con la cual se conoció la disponibilidad del radioenlace, mediante:

$$\text{Para, } p = 0.001$$

$$A_p = 2.4883 [dB]$$

Se evidenció que para un porcentaje del 0,001% la atenuación es menor al Rx relativo simulado que se aprecia en la ilustración 46.3; $2.4883 [dB] < 19.1 [dB]$. Teniendo de esa manera un alto nivel de disponibilidad.

3.9.3. *Indisponibilidad en Radioenlace RB-GLL_SO*

Para los cálculos de atenuación por efectos de lluvia se siguió el mismo procedimiento detallado en el apartado 3.9.2, principalmente para el cálculo de k_H y α_H , mediante los siguientes datos:

- Distancia del radioenlace $d = 1.92 \text{ km}$ (ver ilustración 51.3)
- Frecuencia $f=5.35 \text{ GHz}$
- Polarización horizontal;
- Cálculo de k_H y α_H
- Intensidad de lluvia para la región N (Sierra Ecuatoriana) para un porcentaje de tiempo del 0,01% $R = 95$ (Recomendación UIT – R PN. 837 – 1, pg. 1 – 2).

Calculado k y α , se obtuvo los siguientes resultados.

$$k = 0,00032599$$

$$\alpha = 1.6666$$

Atenuación específica:

$$\gamma = 0.6447 [dB/km]$$

Longitud efectiva:

$$L_{ef} = 1.5634[km]$$

Cálculo de la atenuación por lluvia para el 0,01%:

$$A(R, p) = \gamma(R, p)L_{ef}$$

$$A(R, p) = 1.0079 [dB]$$

Una vez conocida la atenuación excedida el 0,01% del tiempo, se calculó el valor porcentual de tiempo, en la gama de 0,001% a 1% con la cual se conoció la disponibilidad del radioenlace, mediante:

$$\text{Para, } p = 0.001$$

$$A_p = 1.4538 [dB]$$

Se evidenció que para un porcentaje del 0,001% la atenuación es menor al Rx relativo simulado que se aprecia en la ilustración 51.3; al igual que en los casos anteriores calculados, $1.4538 [dB] < 19.1 [dB]$. Entendiéndose que se tiene un alto nivel de disponibilidad.

3.10. Configuración de los equipos

Una vez realizada la simulación tanto del radio enlace entre Rayoloma y Guarguallá, y las radio bases correspondientes, se dio paso para la implementación donde se inició configurando los equipos de red necesarios, cuyas especificaciones se han descrito en apartados anteriores. Para la configuración de los equipos se dividió se inició configurando equipos concentradores y los equipos de Backhaul.

Dentro de las políticas de red de la empresa Intertec, se maneja la segmentación de red mostrada en la tabla 16.3.

Tabla 16-3: Políticas de direccionamiento de la empresa de internet Intertec.

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	SEGMENTO	RANGO	ASIGNACIÓN
RED IPv4	Interfaces Loopback	172.16.0.0/24	172.16.0.1-254	172.16.0.X/32
	Redes WAN	172.16.10.0/23	172.16.10.1-11.254	172.16.X.X/30
	Redes de acceso WAN BACK HAULs	172.26.0.0/23	172.26.0.1-1.254	172.26.X.X/29
	Red distribución RBs	172.28.2.0/24	172.28.2.1-254	172.28.2.X/28
Asignación clientes finales	Clientes	10.0.0.0/8	10.0.0.1-255.255.254	10.X.X.X/X
	CEs	172.30.0.0/24	172.30.0.1-254	172.30.0.X/30

Fuente: Intertec, 2022.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Por lo que de acuerdo a ello en la tabla 16-3 se asignó las IPs utilizadas para los direccionamientos de cada equipo, teniendo en cuenta que la misma se lo realizado de acuerdo a la necesidad que se presenta dentro de la red de internet.

Tabla 17-3: Direccionamiento indefinido para la provisión de internet en el sector Guargualla.

DIRECCIONAMIENTO					
CONCENTRADOR	Nombre		Loopback	Subred wan	Vlan
	RIO_GUARGUALLÁ_01		172.16.0.23	172.16.10.100/30	25
BHs	Nombre	Network	Gateway	Master	Slave
	BH- RAY_GLL y BH- GLL_RAY	172.26.0.176/29	172.26.0.177/29	172.26.0.178/29	172.26.0.179/29
RBs	Nombre		Network	Gateway	
	RB_GLL_EE y RB_GLL_SO		172.28.2.48/28	172.28.2.49/28	

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.1. Concentradores

En los concentradores, se configuró todo lo correspondiente a la parte lógica, es decir direccionamiento tanto para la gestión y para la segmentación de tráfico que se lo realizó mediante vlans para la wan y posterior a ella el enrutamiento respectivo con la red. En lo referente a la vlan usada para la gestión y acceso hacia los equipos, de acuerdo a las políticas manejadas por la empresa, se lo ha definido por defecto, vlan 1, lo cual por motivos de seguridad no es seguro, es recomendable revisar tal política para una segmentación por una vlan distinta a la de defecto, en un futuro uso.

3.10.1.1. Router Rayoloma

Se inició asignando una interfaz física del router para la antena master, a la cual se declaró con el nombre de BH-RAY_GLL, y se integró en el ether3, tal y como se aprecia en la ilustración 54-3.

Interface	Interface List	Ethernet	EoIP Tunnel	IP Tunnel	GRE Tunnel	VLAN	VXLAN	VRRP	VE
R	Lo								
R	bridge-RBs								
R	ether1-BH-RAY-PUN								
R	vlan24-WAN-PUN-01-P								
R	ether2-BH-RAY-CEB								
R	vlan26-WAN-CEB-01-BKP								
R	ether3-BH-RAY-GLL								
R	vlan25-WAN-GLL-01								

Ilustración 54-3: Asignación de la interfaz física para el BH-RAY-GLL.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez asignada la interfaz física en el router de Rayoloma se incluyó una vlan a la interfaz para conmutar puramente el tráfico generado por los abonados, la cual se le asignó con los parámetros mostrados en la ilustración 55-3.

Ilustración 55-3: Configuración del nombre y el ID de la Vlan en el concentrador RIO-RAYOLOMA-01.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez configurada la interfaz y la vlan en el ether3 del concentrador de Rayoloma, se configuró el direccionamiento IP, asignando un direccionamiento para la gestión de los BHs y otra para la wan, este procedimiento se aprecia en el a ilustración 56-3.

Address	Network	Interface
172.16.0.22	172.16.0.22	Lo
10.0.21.144/24	10.0.21.0	bridge-RBs
172.28.2.33/28	172.28.2.32	bridge-RBs
172.26.0.185/29	172.26.0.184	ether2-BH-RAY-CEB
172.26.0.177/29	172.26.0.176	ether3-BH-RAY-GLL
10.0.1.144/24	10.0.1.0	ether5-BH-RAY-NAU
172.26.0.41/29	172.26.0.40	ether5-BH-RAY-NAU
172.28.0.17/28	172.28.0.16	ether5-BH-RAY-NAU
172.30.0.37/30	172.30.0.36	ether5-BH-RAY-NAU
172.30.0.9/30	172.30.0.8	ether7-CE-RAY
172.16.10.98/30	172.16.10.96	vlan24-WAN-PUN-01-P
172.16.10.101/30	172.16.10.100	vlan25-WAN-GLL-01-P
172.16.10.105/30	172.16.10.104	vlan26-WAN-CEB-01-P
172.16.20.42/30	172.16.20.40	vlan1003-WAN-NAU-01-P

Ilustración 56-3: Configuración del direccionamiento IP para la gestión y conmutación del tráfico en el concentrador Rayoloma.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Finalmente, para culminar con la configuración en el concentrador de Rayoloma, se procedió a enrutar mediante OSPF las redes de gestión del BH con un costo de 10 y la WAN con un costo de 1000, usando el tipo de red broadcast y PTP respectivamente. Tal y como se aprecia en la ilustración 57-3.

#	Interfaces	Area	Networks	Network Type	Cost	Priority	A
0	Lo	nodos-v2	172.16.0.22	broadcast	10	1	
1	bridge-RBs	nodos-v2	10.0.21.0/24	broadcast	10	1	
2	vlan24-WAN-PUN-01-P	nodos-v2	172.16.10.96/30	ptp	10000	1	
3	bridge-RBs	nodos-v2	172.28.2.32/28	broadcast	10	1	
4	ether2-BH-RAY-CEB	nodos-v2	172.26.0.184/29	broadcast	10	1	
5	vlan26-WAN-CEB-01-RKP	nodos-v2	172.16.10.104/30	ptp	1000	1	
6	vlan25-WAN-GLL-01	nodos-v2	172.16.10.100/30	ptp	1000	1	
7	ether7-CE-RAY	nodos-v2	172.30.0.8/30	broadcast	10	1	
8	ether3-BH-RAY-GLL	nodos-v2	172.26.0.176/29	broadcast	10	1	
9	vlan1003-WAN-NAU-01-P	nodos-v2	172.16.20.40/30	ptp	1000	1	

Ilustración 57-3: Enrutamiento de las redes de gestión y wan, en el concentrador de Rayoloma.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.1.2. Router Guarguallá

La configuración del concentrador Guarguallá, contempla inicialmente la configuración y la asignación de interfaces físicas y lógicas en el equipo para los elementos de red a poner en funcionamiento, tal y como se aprecia en la ilustración 58-3.

	Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
R	Lo	Bridge	1500	65535	0 bps	0 bps
R	bridge-RBs	Bridge	1500	1596	7.9 Mbps	414.8 kbps
R	ether1-BH-GLL-RAY	Ethernet	1500	1596	884.9 kbps	22.8 Mbps
R	vlan25-WAN-RAY-01-P	VLAN	1500	1592	723.6 kbps	15.3 Mbps
RS	ether2-SW-GLL-01-RBs	Ethernet	1500	1596	16.8 Mbps	487.9 kbps
	ether3	Ethernet	1500	1596	0 bps	0 bps
R	ether4-CE-GLL	Ethernet	1500	1596	0 bps	0 bps

Ilustración 58-3: Configuración y asignación de interfaces en el concentrador Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022

Se creó 2 interfaces lógicas mediante bridge, una para la gestión del equipo mediante el dudu denominada Lo por loopback y por otro lado para la administración de radio bases, denominada bridge-RBs. En cuanto a la asignación de interfaces físicas, se asignó el ether1 para la conexión del BH del enlace punto a punto hacia Rayoloma, denominado como BH-GLL-RAY. El ether2 se asigna para la conexión de radio bases mediante un switch, y finalmente el ether4 se asigna para el control energético del nodo.

En cada interfaz se encuentra designada para la unidad de transferencia máxima, tramas de 1500 bytes, teniendo en cuenta que es el tamaño de un paquete máximo admitido en aplicaciones que utilizan internet. Por otro lado, el L2 MTU varía desde los 1592 a 1596 bytes, entendiéndose que es la unidad máxima de trama sin encabezado MAC que puede enviar cada una de las interfaces.

Ilustración 59-3: Configuración de la Vlan en la interfaz del BH-GLL-RAY.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración 59-3 se muestra la creación de la VLAN para la conmutación del tráfico generado por los abonados del nodo Guarguallá, la misma que se asoció al ether1 del concentrador, en donde a la misma se asignó para la antena del enlace punto a punto con el nodo Rayoloma. Se asignó el ID de la Vlan a utilizar, la misma que se encuentra definida en la tabla 16-3.

Una vez asignada las interfaces del concentrador y creada la vlans tanto para administración y conmutación del tráfico, se procedió a configurar el direccionamiento, en el apartado de address list del concentrador, se definió el direccionamiento del segmento de red para clientes, radio bases, wan, loopback, y el control energético.

Address	Network	Interface
... CLIENTES_GUARGUALLA 10.0.22.144/24	10.0.22.0	bridge-RBs
... CLIENTES NINOLOMA 10.0.24.144/24	10.0.24.0	ether5-BH-GLL-NIN
172.16.0.23	172.16.0.23	Lo
172.16.10.102/30	172.16.10.100	vlan25-WAN-RAY-01-P
... GESTION BH NINOLOMA 172.26.0.193/29	172.26.0.192	ether5-BH-GLL-NIN
... GESTION_RB_GUARGUALLA 172.28.2.49/28	172.28.2.48	bridge-RBs
... GESTION RB NIÑOLOMA 172.28.2.81/28	172.28.2.80	ether5-BH-GLL-NIN
... CE 172.30.0.41/30	172.30.0.40	ether4-CE-GLL

Ilustración 60-3: Direccionamiento del concentrador Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Mediante la ilustración 60-3 se aprecia el direccionamiento en el concentrador, en donde los direccionamientos de los abonados y las radio bases se encuentran asociados a mismo bridge, es decir a una misma interfaz lógica.

Finalmente, en cuanto a la parte de red, es necesario publicar las redes creadas en el concentrador mediante el protocolo de enrutamiento OSPF la cual se muestra en la ilustración 61-3, en donde se define un costo de 1000 para la WAN, tal y como en el concentrador de Rayoloma como PTP en el tipo de red. Y por otro lado para la publicación del segmento de red de la radio base para los clientes y la loopback se encuentra definido un costo de 10 y como broadcast en el tipo de red.

OSPF							
Instances	Interface Templates	Interfaces	Areas	Area Ranges	Static Neighbors	Neighbors	LSA
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> + - ↕ ⊗ 📄 🔍 </div>							
Interfaces	Area	Networks	Network Type	Cost	Priority		
Lo	nodos	172.16.0.23	broadcast	10	1		
bridge-RBs	nodos	10.0.22.0/24	broadcast	10	1		
vlan25-WAN-RAY-P-01	nodos	172.16.10.100/30	ptp	1000	1		
bridge-RBs	nodos	172.28.2.48/28	broadcast	10	1		

Ilustración 61-3: Configuración del protocolo de enrutamiento OSPF de los segmentos de red en el concentrador Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.1.3. SNMP

En el concentrador además se configuró el protocolo snmp, la cual permitió monitorear el estado de los equipos mediante el servidor DUDE, así como también que permita verificar el tráfico generado por el equipo. El protocolo de monitoreo, se aplica en todos los equipos del nodo, tanto concentradores, BHs y radio bases. En la ilustración 62-3 se aprecia la configuración de la comunidad asignada para el protocolo.

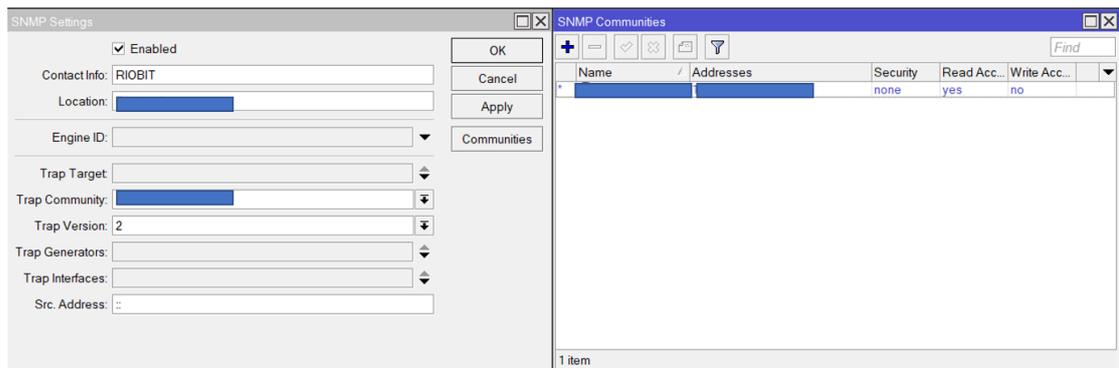


Ilustración 62-3: Configuración del protocolo snmp, para el monitoreo de los equipos.

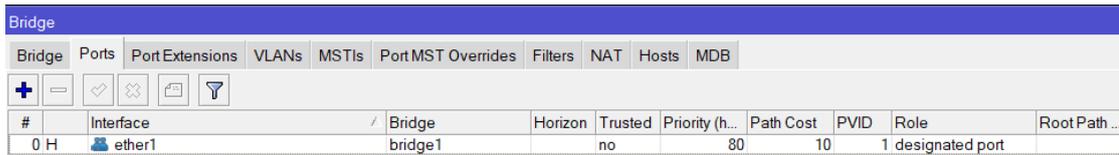
Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.2. Enlace Punto a Punto

La configuración de los equipos para el enlace punto a punto desde el nodo de Rayoloma a Guarguallá, contempla dos apartados bien definidos, iniciando por la configuración para el direccionamiento y con ella tener la gestión y monitoreo de los equipos, y por otro lado la configuración inalámbrica de las antenas de Backhaul.

3.10.2.1. BH Rayoloma – Guarguallá

BH Rayoloma-Guarguallá, se inicia creando una interfaz lógica mediante el protocolo Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), bridge en la cual se asociará el puerto ether1 de la antena, y posterior a ella asignando el direccionamiento respectivo, tal y como se muestra en la ilustración 63-3.

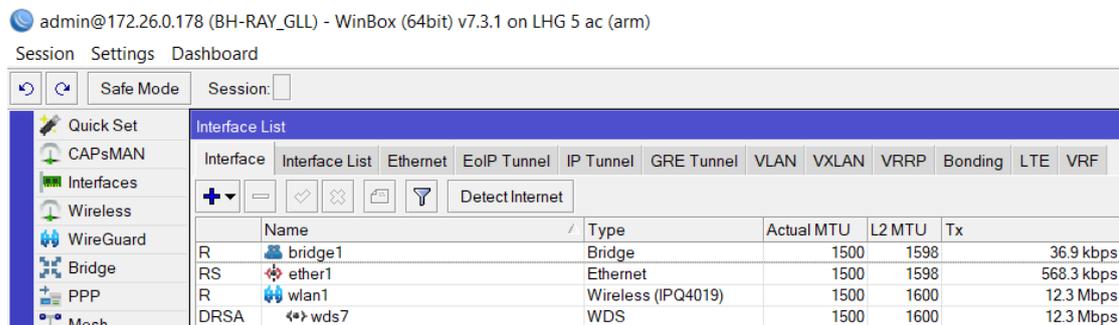


#	Interface	Bridge	Horizon	Trusted	Priority (h...	Path Cost	PVID	Role	Root Path...
0 H	ether1	bridge1		no	80	10	1	designated port	

Ilustración 63-3: Creación de la interfaz lógica, bridge, en el BH de Rayoloma-Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

En cuanto a la configuración de interfaz del equipo, se asignó al modo bridge la interfaz ether1 y la misma se conectó físicamente al router del concentrador correspondiente. Y por otro lado se activó la interfaz wlan, para la conectividad inalámbrica del radioenlace, la asignación de las interfaces mencionadas se muestra en la ilustración 64-3.



Interface	Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx
R	bridge1	Bridge	1500	1598	36.9 kbps
RS	ether1	Ethernet	1500	1598	568.3 kbps
R	wlan1	Wireless (IPQ4019)	1500	1600	12.3 Mbps
DRSA	wds7	WDS	1500	1600	12.3 Mbps

Ilustración 64-3: Asignación de interfaces físicas y lógicas a la antena BH-RAY-GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Definida las interfaces del equipo, se procedió a configurar el direccionamiento IP en el apartado de Address List, la cual permitió tener acceso y monitoreo de la misma, se muestra el apartado en la ilustración 65-3.



Address	Network	Interface
172.26.0.178/29	172.26.0.176	bridge1

Ilustración 65-3: Direccionamiento ip en el BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.2.2. Interfaz Wireless

La configuración de la interfaz inalámbrica es el apartado central de estudio del presente documento, es por ello que se dará a conocer detalladamente. Se inició mostrando el panel general de la interfaz inalámbrica, en donde se definió el nombre de la interfaz, el tamaño de la unidad máxima de transferencia y la habilitación el protocolo de resolución de direcciones, tal y como se aprecia en la ilustración 66-3.

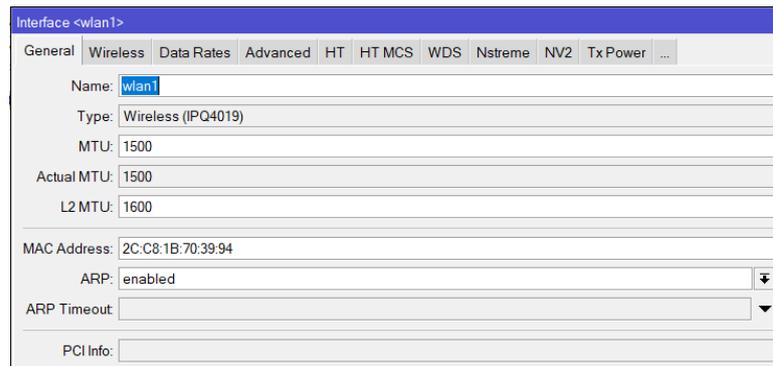


Ilustración 66-3: Configuración del apartado general de la interfaz inalámbrica.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

El RouterOS inalámbrico estrictamente se basa en el cumplimiento a los estándares 802.11, brindando protocolos inalámbricos propios de la marca y funciones como wds, wpa, etc. Es por ello que se describe a continuación los parámetros necesarios utilizados para el establecimiento del radio enlace, en este caso para el BH-RAY-GLL, que tomó el rol de maestro en el modo de operación del enlace.

En el modo de trabajo de la antena es posible asignar los siguientes tipos (Mikrotik, 2022) :

Station modes:

- Station. - Modo de estación básica que encuentra y se conecta a un AP aceptable.
- Station-wds. - Similar al station, pero crea un enlace sistema de distribución inalámbrica (WDS) con AP, usando una extensión propietaria.
- Station-pseudobridge. - Realiza la traducción de direcciones MAC de todo el tráfico y permite puentear la interfaz.
- Station-pseudobridge-clone. - Igual que station-pseudobridge, pero use la dirección station-bridge-clone-mac para conectarse al AP.

- Station-bridge. - RouterOS AP acepta clientes en modo puente de estación cuando se habilita mediante el parámetro de modo puente, mantiene una tabla de reenvío con información sobre qué direcciones MAC son permitidas.

AP modes:

- AP-bridge. - Punto de acceso.
- Bridge. – Punto de acceso limitado exclusivamente a un cliente asociado.
- Wds-slave. - Igual que ap-bridge, pero busca AP con el mismo ssid y establece un enlace WDS. Si este enlace se pierde o no se puede establecer, continúa escaneando.

Una vez revisada los modos en los que puede trabajar las antenas, se asignó a la antena máster BH-RAY-GLL, en modo bridge, con la cual permita asociarlo exclusivamente a un cliente asociado, que sería con el BH-GLL-RAY.

Se definió las bandas de operación de 5GHz-A/N, pero es posible probar con las bandas de 5GHz-a/n/ac y 5GHz-onlyac, en donde cada una de ellas definirán una velocidad determinada y frecuencias de canal disponibles.

El ancho de canal se definió de acuerdo a las bandas en la que se trabajó, eligiéndose anchos de canal de 20/40/80 Mhz-XXXX, 20/40Mhz-Ce, 20/40mhz-eC y 20/40mhz- XX. El uso de canales de extensión (por ejemplo, Ce, eC, etc.) permite canales de extensión adicionales de 20 MHz y si debe ubicarse debajo o encima del canal de control (principal). El canal de extensión permite que los dispositivos 802.11n usen hasta 40 MHz (802.11ac hasta 160 MHz) de espectro en total, lo que aumenta el rendimiento máximo. Los anchos de canal con extensiones XX y XXXX buscan automáticamente una frecuencia del canal de control menos concurrida en función de la cantidad de dispositivos simultáneos que se ejecutan en cada frecuencia y elige la "C" Frecuencia de canal de control automáticamente (Mikrotik, 2022).

El SSID, es un nombre que permite identificar a la red inalámbrica, en el caso del nodo master el identificativo se asignó como BH-RAY_GLL. El protocolo inalámbrico, se define los diferentes protocolos inalámbricos disponibles que se puede configurar, ya sea Nv2, Nstreme, 802.11, etc.

Se configuró el modo de frecuencia, la misma que se apega a órganos regulatorios de acuerdo a cada país, en tanto que la configuración del modo super canal, admite todos los canales

permitidos por la tarjeta. Cada uno de los campos descritos del apartado inalámbrico, se muestra en la ilustración 67-3.

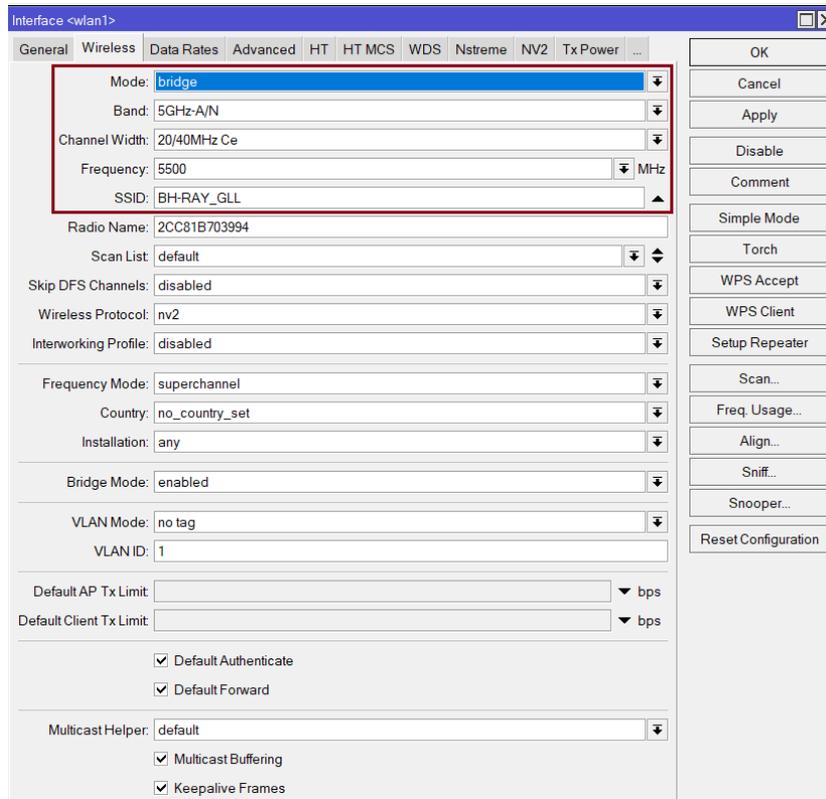


Ilustración 67-3: Configuración inalámbrica del BH-RAY-GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

La velocidad de datos es posible configurarlo o asignar que trabaje en modo predeterminado, en el caso que se proceda a configurar esta dependerá directamente de la banda en la que el equipo trabaje, mientras que el predeterminado toma valores de conjuntos de tarifas compatibles. En el proyecto, para ambos BHs, se configuró todas las opciones de velocidad de datos permitidas, desde el mínimo de 6Mbps a 54Mbps como el máximo configurable. En la ilustración 68-3 se muestra el apartado de Data Rates del equipo.

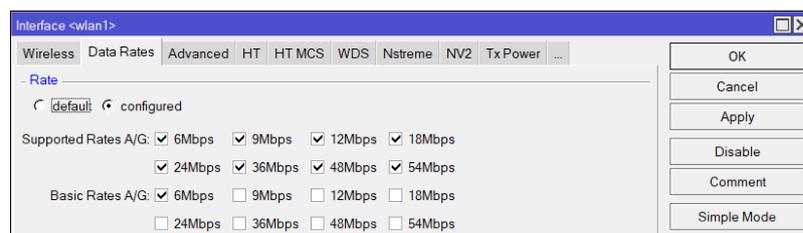


Ilustración 68-3: Configuración de Data Rates en el BH-RAY-GLL

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

En cuanto a la configuración del sistema de distribución inalámbrica, existen 5 modos en las que puede trabajar, para la antena ubicada en el nodo Rayoloma, se asignó para que trabaje en el modo dinámico, con la cual pueda admitir conexiones de equipos que no estén configurados como wds y así también se eliminan entradas wds dinámicas después de que la conexión se pierda. El costo y rango de wds se adecúa de manera automática dependiendo del rendimiento del enlace medido.

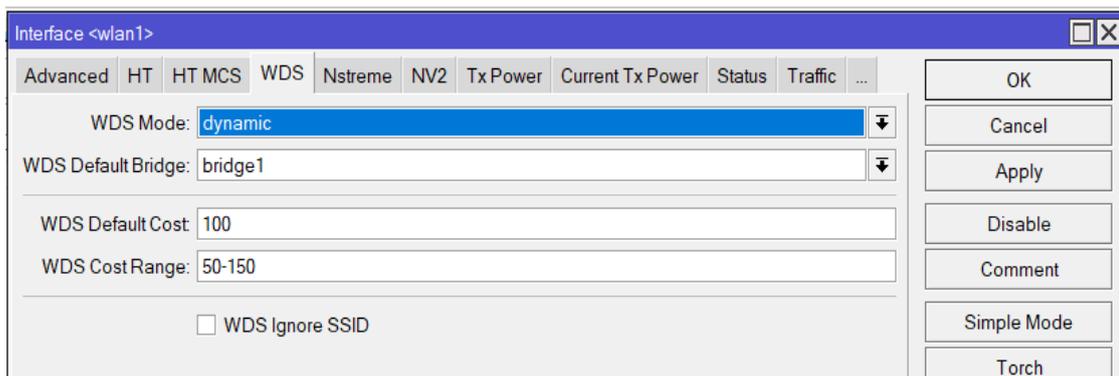


Ilustración 69-3: Configuración de wds en el BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

La potencia de transmisión del equipo ofrece los siguientes modos de configuración (Mikrotik, 2022) :

- *default* - usar valores almacenados en la tarjeta.
- *all-rates-fixed*. - utiliza la misma potencia de transmisión para todas las velocidades de datos.
- *manual-table*. - define la potencia de transmisión para cada tasa por separado.
- *card-rates*. - usa la potencia de transmisión calculada para cada tarifa basada en el valor del parámetro tx-power.

Se asignó el modo por defecto, para que pueda usar valores de potencia almacenados en la tarjeta del equipo, ya que si en caso se asigna una potencia mayor a la nominal en el equipo es posible que se pueda dañar la tarjeta. En la ilustración 70-3, se muestra el apartado de configuración de la potencia.

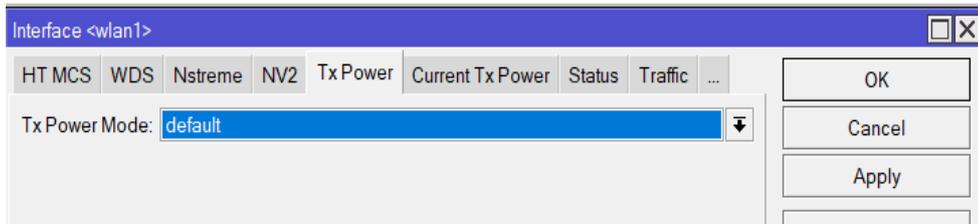


Ilustración 70-3: Configuración de la potencia en el BH-RAY_GLL

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.2.3. BH Guarguallá – Rayoloma

La configuración de la antena ubicada en el nodo Guarguallá al igual que la antena master ubicada en el nodo Rayoloma para el enlace punto a punto en cuanto a la gestión y la interfaz inalámbrica son iguales en su mayoría, diferenciando las condiciones para que la antena funcione como esclavo.

Se asignó la interfaz de la antena el ether1 como bridge, con la cual se asignó un direccionamiento lógico y desde el router del nodo Guarguallá asignar a la misma interfaz un direccionamiento para la WAN para el envío de tráfico generado por los abonados. En la ilustración 70-3 se da a conocer la interfaz física de la antena asociada al bridge1, mientras que en la ilustración 71-3, se muestra tanto la interfaz física e inalámbrica habilitadas.

#	Interface	Bridge	Horizon	Trusted	Priority (h...	Path Cost	PVID	Role	Root Path ...
0 H	ether1	bridge1		no	80	10	1	designated port	
1	wlan1	bridge1		no	80	10	1	root port	10

Ilustración 71-3: Creación y asociación de la interfaz física ether1 al modo bridge.

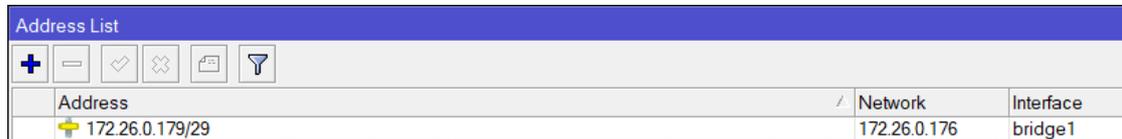
Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx
R bridge1	Bridge	1500	1598	1872 bps
RS ether1	Ethernet	1500	1598	131.7 kbps
RS wlan1	Wireless (IPQ4019)	1500	1600	363.5 kbps

Ilustración 72-3: de la interfaz física e inalámbrica del equipo.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez creada y asignada la interfaz física al modo bridge, se asignó el direccionamiento ip detallada en la tabla 72-3 que permita tener gestión del equipo desde el servidor dude, con la cual sea monitoreada y acceder remotamente. En la ilustración 73-3 se muestra el direccionamiento asignado.



Address	Network	Interface
172.26.0.179/29	172.26.0.176	bridge1

Ilustración 73-3: Direccionamiento ip para la gestión del equipo BH-GLL_RAY

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.10.2.4. Interfaz Wireless

La configuración inalámbrica del equipo que se ejecutó para el establecimiento del enlace se inició por la asignación del modo de trabajo, en donde se definió el modo *station wds*, la cual permitió conectarse a un equipo master y de esa manera establecer el enlace. El parámetro de la banda y la frecuencia que utilizan son las mismas para que los equipos puedan engancharse, así como también el identificar inalámbrico ssid.

En caso de que el equipo no logre engancharse, en una frecuencia asignada, MikroTik presenta la herramienta de *Scan List*, la cual permite integrar un conjunto de frecuencias que pueden ser utilizados para poder establecer el enlace. El funcionamiento de equipo parte principalmente de verificar las frecuencias asignadas en la lista de escáner, e ir verificando frecuencias por frecuencia hasta lograr establecer un enlace que trabaje en las mismas condiciones. La configuración de los parámetros mencionados se muestra en la ilustración 74-3.

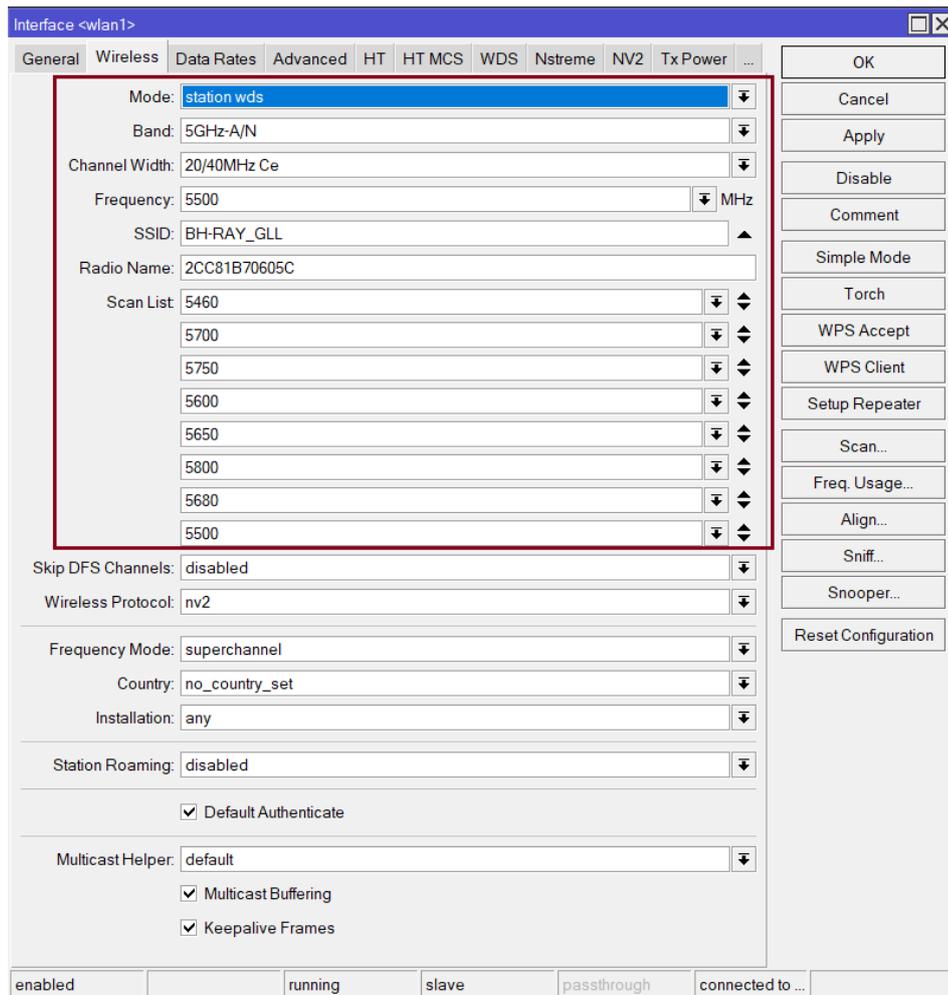


Ilustración 74-3: Configuración de parámetros inalámbricos del BH-GLL_RAY

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

La configuración de la velocidad de datos, se configuró en forma predeterminada, a medida de los cambios en banda y canales disponibles para las pruebas, ésta tomará la más apropiada. En cuanto a la configuración del sistema de distribución inalámbrica, tomará la opción de predeterminada, debido a que la antena trabajará en modo esclavo al conectarse al equipo master, ésta será la encargada de registrar la conexión del enlace dinámicamente mas no el equipo esclavo, tal configuración se muestra en la ilustración 75-3.

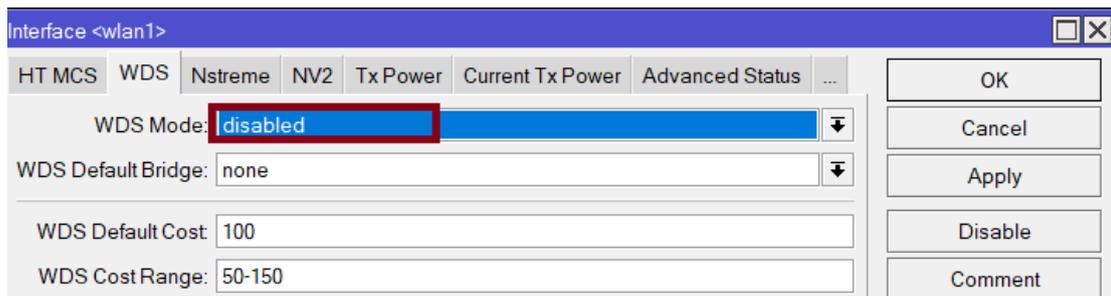


Ilustración 75-3: Configuración del sistema de distribución inalámbrico en el BH-GLL_RAY

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.11. Configuración NV2

Nv2 es un protocolo inalámbrico desarrollado por la empresa Mikrotik que a partir de la versión 5.0rc1 se ha incluido la interfaz de configuración de diferentes protocolos inalámbricos, donde se encuentra implementada para que exclusivamente los puntos de acceso y clientes tengan coexistencia entre ellas. La configuración varía dependiendo si el equipo es master o esclavo, por lo cual en el presente apartado se dará a conocer las configuraciones ejecutadas tanto para el BH-RAY_GLL como para BH-GLL_RAY.

3.11.1. BH Rayoloma – Guarguallá

La configuración en el nodo master contempla y define la mayoría de parámetros inalámbricos nv2 por lo que la antena esclava solamente se encargará de heredar la mayoría de ellas. A continuación, se describe las opciones que brinda el protocolo nv2, de las cuales se ha seleccionado las más óptimas.

- TDMA Period Size. - Especifica el tamaño en ms de los períodos de tiempo que Nv2 AP usa para la programación de acceso a los medios, en donde la división en time slots permite la segmentación tanto para uplink y downlink basándose en el estado de colas en el AP y clientes. Un período más pequeño puede disminuir potencialmente la latencia (porque el AP puede asignar tiempo al cliente antes), pero aumentará la sobrecarga del protocolo y, por lo tanto, disminuirá el rendimiento. Por otro lado, aumentar el período aumentará el rendimiento, pero también aumentará la latencia (Mikrotik, 2018). Se asignó un tiempo de 2ms en la configuración del presente trabajo de estudio, ya que la distancia del enlace es considerablemente corta de 5km y con lo cual se prefiere cuidar y disminuir lo mejor posible la latencia en la comunicación.

- Cell Radius. – Especifica la distancia peor posible a la que se encuentra el equipo esclavo en magnitud de kilómetros. Se asignó la distancia de 10km para el estudio, debido a que mediante el diseño se pudo verificar 5km de distancia en el enlace.
- Security. – Especifica la habilitación o des habilitación y el modo de seguridad a utilizar en el protocolo. Para el presente proyecto, se estableció el modo de seguridad con clave pre compartida, en donde el nodo master acepte únicamente a conexiones habilitadas la seguridad nv2.
- Preshared Key. – Permite introducir una clave o contraseña de autenticación, tanto en la antena master como en el esclavo para que se establezca la comunicación. Esta contraseña se encuentra cifrado mediante AES-CCM con claves de 128 bits.
- Mode. – El modo nv2 ofrece determinar la relación del enlace ascendente/descendente dinámica o fija, permitiendo además elegir fixed downlink, Sync master y Sync slave. El modo predeterminado es descendente dinámico, usada para el presente estudio.
- Downlink Ratio. – Se especifica la relación del enlace downlink con uplink, en la cual se especifica el porcentaje de downlink y mientras que para el uplink se lo realiza automáticamente, es útil para poder administrar las cargas de tráfico en el enlace, en caso sufra saturación y sea necesario asignar mayor relación ya sea a downlink o uplink. Se especificó una relación del 50%, existe la opción desde 20% a 80%.
- Sync Secret. – Especifica una clave de sincronización en el modo de trabajo nv2, en la cual los equipos esclavos deben necesariamente coincidir con tal clave. Debido a que ya se encuentra especificada una clave pre compartida como seguridad y salvaguardando la sobrecarga del protocolo, se asigna sin clave a este campo.

Y Finalmente QoS en Nv2, la cual se implementa mediante un número variable de colas de prioridad. La cola se considera para la transmisión según la regla recomendada por 802.1D-2004, solo si todas las colas de mayor prioridad están vacías. En la práctica, esto significa que al principio se enviarán todos los marcos de la cola con mayor prioridad, y solo entonces se considerará la siguiente cola (Mikrotik, 2018). Es posible configurar los siguientes campos en cuanto a Qos:

- Queue Count. – Hace relación al número de colas a usar, en donde pueden ser comúnmente 2, 4 o 8, dependiendo la política que se encuentre implementado en toda la red.
- QoS. – En este campo es posible definir ya sea QoS por prioridad de cuadro por de forma predeterminada. Se eligió la forma predeterminada en donde la trama saliente primero es inspeccionada por un algoritmo de política QoS incorporado que selecciona

la cola según el tipo y el tamaño del paquete. Si las reglas integradas no coinciden, la cola se selecciona en función del campo de prioridad de fotogramas (Mikrotik, 2018).

En la ilustración 76-3, se muestra la ilustración de las configuraciones de los parámetros Nv2 descritos en este apartado.

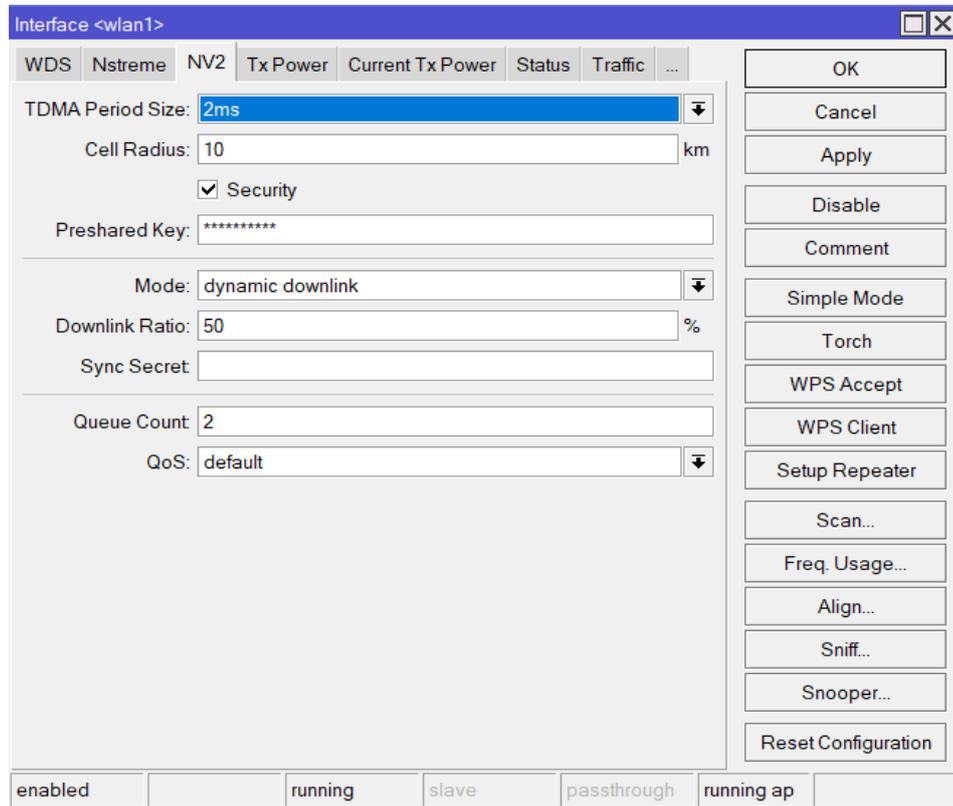


Ilustración 76-3: Configuración del protocolo inalámbrico Nv2 en el BH-RAY_GLL

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

El protocolo que usará el equipo, es posible seleccionar en el apartado Wireless de la interfaz inalámbrica del equipo, tal y como se muestra en la ilustración 77-3.

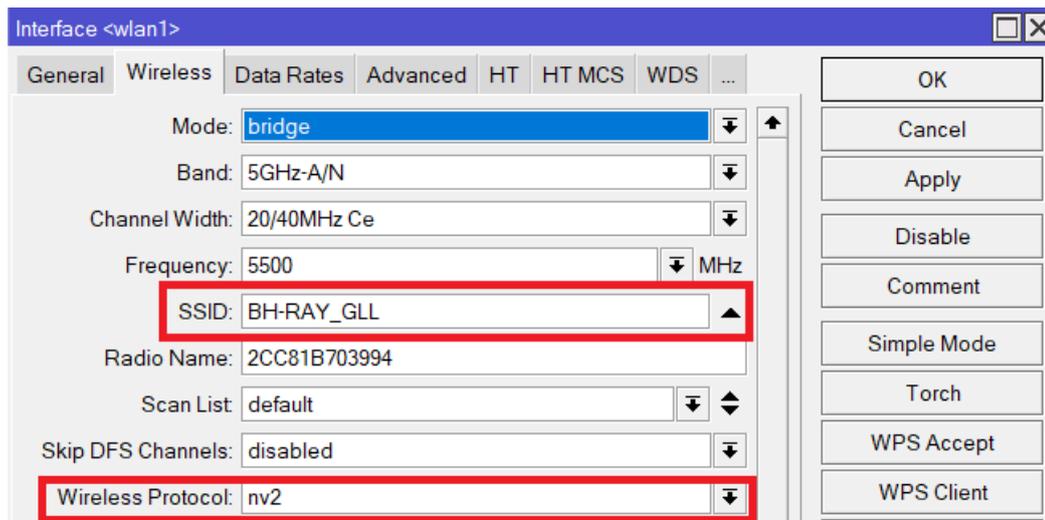


Ilustración 77-3: Elección del protocolo inalámbrico Nv2 en el BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.11.2. BH Guarguallá – Rayoloma

En cuanto a la configuración del protocolo inalámbrico Nv2 en el BH-GLL_RAY, únicamente se habilita la seguridad del protocolo, y la clave pre compartida para que pueda autenticarse al equipo master. El BH debido a que trabaja como esclavo, ésta heredará todos los parámetros del protocolo asignado en el nodo master, tales como el tipo de acceso al medio, la relación de uplink/downlink, entre otros. Además, en el equipo, para la selección del protocolo a trabajar se lo ejecuta en el apartado de Wireless de la interfaz inalámbrica. En la ilustración 78-3, se muestra la configuración respectiva.

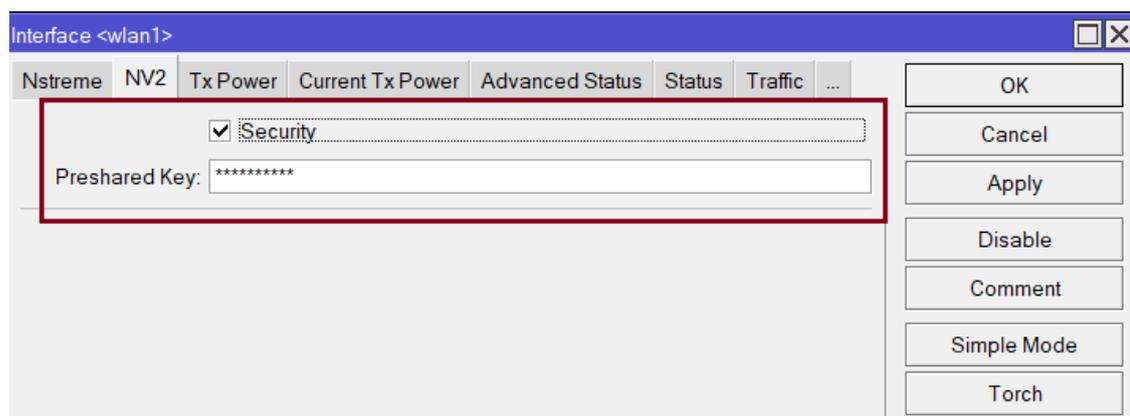


Ilustración 78-3: Configuración del protocolo inalámbrico Nv2 2 en el BH-GLL_RAY.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.12. Configuración Nstreme

La configuración del protocolo Nstreme al igual que en el protocolo Nv2, se centra en asignar parámetros del protocolo en el equipo master, por lo que el equipo que se encuentra en el nodo esclavo, hereda las configuraciones efectuadas en el nodo master. En el presente apartado se da a conocer las opciones de configuración que presenta el protocolo, y la configuración más optima realizada para el presente caso de estudio, desde el punto de vista de optimizar el ancho de banda, el tiempo de respuesta y el porcentaje de paquetes perdidos.

3.12.1. BH Rayoloma – Guarguallá

En el BH-RAY_GLL como corresponde al nodo master del radioenlace, se define los parámetros del protocolo nstreme, los cuales se detallan a continuación:

- **Enable Nstreme.** – Permite habilitar o deshabilitar el protocolo.
- **Enable Polling.** – Hace relación a un conjunto de políticas del protocolo que controla la conexión de clientes hacia el nodo master, mediante sondeo, en donde se verifica de acuerdo a una agenda si se encuentra o no ocupado el medio, si en caso un cliente desee enviar alguna información, de esta manera reduciendo el tiempo de acceso al medio.
- **Disable CSMA.** – La habilitación del acceso al medio con detección de portadora, permite controlar el problema del nodo oculto con el equipo master, con la cual se evite cualquier colisión posible.
- **Framer Policy.** – Con esta opción es posible combinar varias tramas que se encuentren encoladas mediante diferentes técnicas en una más grande con lo cual se logre una mayor velocidad en la comunicación. Entre las técnicas que esta política presenta son: best fit, dynamic size y exact size las cuales principalmente se centran en dimensionar el límite del marco para la combinación de paquetes, cabe mencionar que el límite de marco en 802.11 es de 2346, por lo cual, en caso de disponer de problemas de nodo oculto, es importante definir un valor cerca o menor que el umbral, en el apartado de Framer Limit.

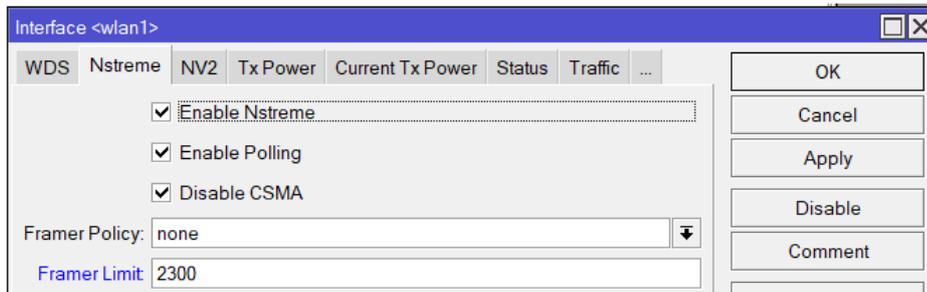


Ilustración 79-3: Configuración de los parámetros Nstreme en el BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Para la aplicación del protocolo Nstreme se seleccionó tal opción en el apartado de Wireless de la interfaz inalámbrica, tal y como se indica en la ilustración 80-3.

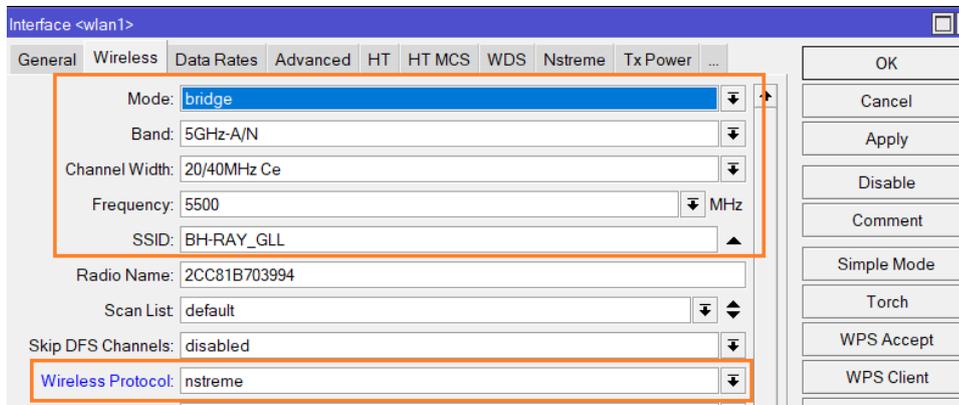


Ilustración 80-3: Selección del protocolo Nstreme en la interfaz inalámbrica del BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.12.2. BH Guarguallá - Rayoloma

La configuración en el BH-GLL_RAY, bastó con habilitar la opción del protocolo Nstreme y la selección de la misma para su puesta en marcha. Tal configuración se puede apreciar en la ilustración 81-3 y 82-3.

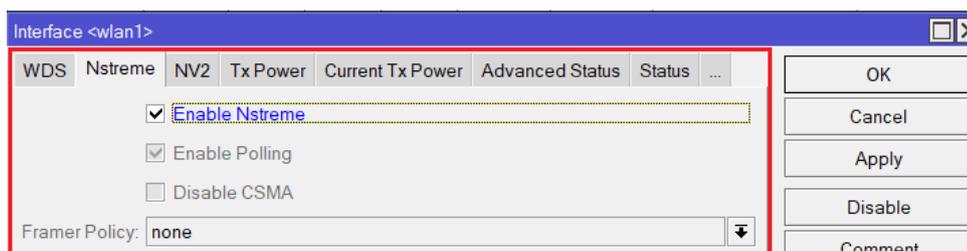


Ilustración 81-3: Habilidad del protocolo Nstreme en el BH-GLL_RAY.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

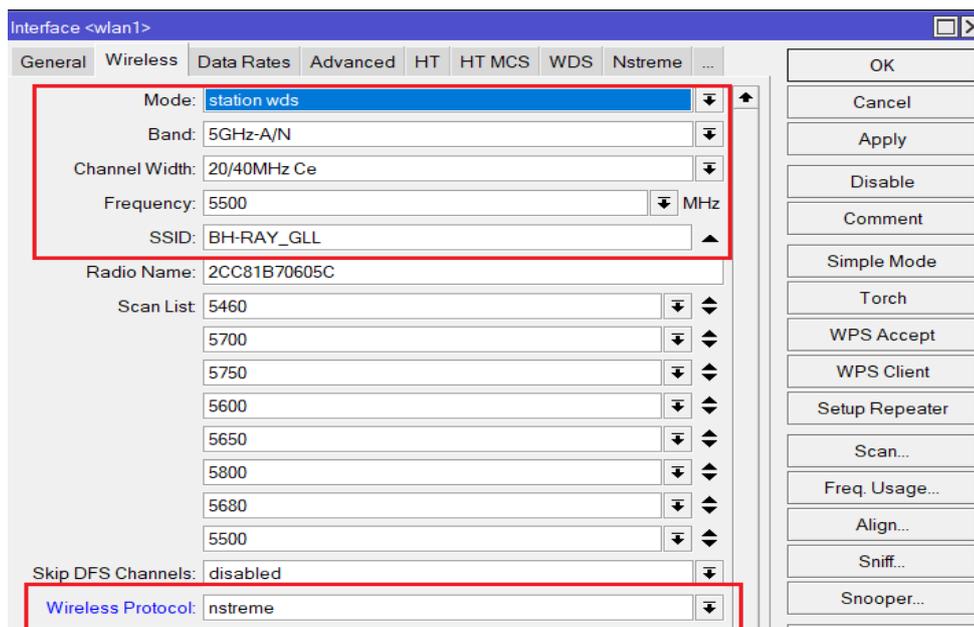


Ilustración 82-3: Selección del protocolo Nstreme en la interfaz Wireless del BH-GLL_RAY

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.13. Implementación y validación del radioenlace Rayoloma-Guarguallá.

Para la implementación de las antenas se tomó en cuenta los datos más importantes del diseño, tal y como son los ángulos de azimut y elevación, en el cual de manera precisa los equipos del radioenlace puedan engancharse a una buena potencia, entre otros parámetros definidos en la sección de diseño, los cuales se encuentran definidos en el apartado 3.8.1.

Por otro lado, se configuró previamente los equipos, así como también etiquetados cada una de ellas que permitan determinar el equipo master y esclavo una vez que se encuentre en campo, ya que la implementación se realizó con dos grupos de trabajo, uno en el nodo Rayoloma y otro en el nodo Guarguallá.



Ilustración 83-3: Etiquetado de cables tanto para el nodo Rayoloma y Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.



Ilustración 84-3: Preparación y carga de configuración de los equipos en oficina.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

A continuación, se muestra en dos apartados distintos de la instalación de los BHs, tanto en el nodo Rayoloma como en el nodo Guargullá.

3.13.1. Implementación en el nodo Rayoloma

Se inició identificando el puerto asignado del router el cual se asignó para el BH-RAY_GLL, ether3, tal y como se muestra en la ilustración 85-3.

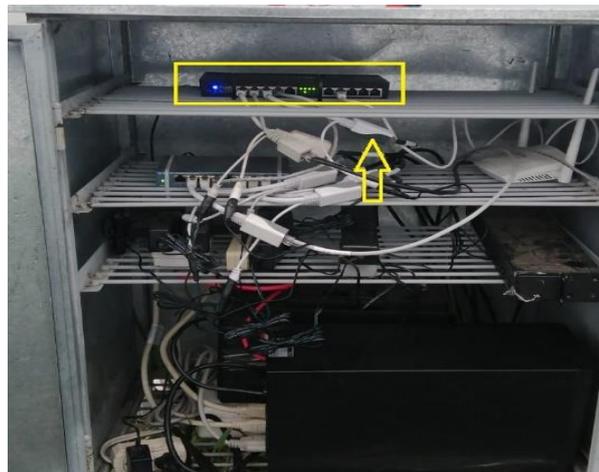


Ilustración 85-3: Identificación del puerto físico para la conexión del BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Una vez identificada el puerto, se procedió a realizar el despliegue del cable ethernet y ponchado en ambos lados con los materiales definidos en la sección 3.6.5, donde se consideró una reserva de 1 metro para posibles eventos a futuro que se pueda utilizar, tal y como se muestra en la ilustración 86-3.



Ilustración 86-3: Reserva de cable FTP Cat 6, para la conexión al BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Finalmente, se realizó la conexión cableada desde el router hasta el BH-RAY_GLL ubicado ya en la torre. Las mismas se muestran en la ilustración 87-3 e ilustración 88-3.



Ilustración 87-3: Conexión y alimentación al BH-RAY_GLL.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.



Ilustración 88-3: Colocación del BH-RAY_GLL y conexión hacia el router.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.13.2. Implementación en el nodo Guarguallá

La implementación en el nodo Guarguallá, BH-GLL_RAY, se realizó similar a la implementación en el nodo Rayoloma, ambas ubicaciones de antenas se lo realizaron al mismo tiempo, y se verificó su estado inmediatamente con el centro de operaciones de red de la empresa Intertec.

Se inició identificando en el router hEX el puerto a utilizar (ver ilustración 89-3) para la conexión del BH-GLL_RAY, tendiendo el cable de red con su reserva correspondiente a la altura asignada y conectando en ambos lados con los parámetros correspondientes descritos en la sección 3.8.1.



Ilustración 89-3: Identificación del puerto y conexión del BH-GLL_RAY.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Finalmente se colocó el BH-GLL_RAY en el mástil asignado para el nodo Guarguallá, tal y como se muestra en la ilustración 90-3.



Ilustración 90-3: Colocación del BH-GLL_RAY en el nodo Guarguallá.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

3.13.3. Validación del enlace

La validación del enlace se lo realizó inicialmente mediante ping, para comprobar la conexión desde el BH-RAY_GLL al BH-GLL_RAY, tal y como se muestra en la ilustración 91-3.

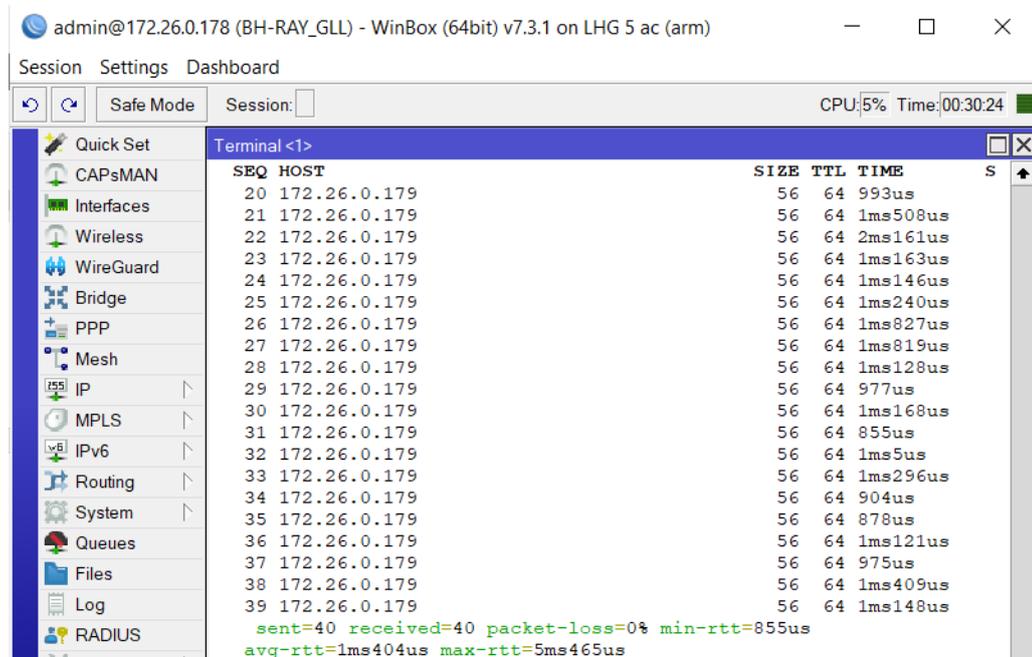


Ilustración 91-3: Verificación de ping entre el nodo Rayoloma a Guarguallá, mediante ping.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Posteriormente se verificó la mejor potencia con la que se engancha los BHs, considerando los rangos admisibles de potencia para los enlaces punto a punto, en la ilustración 98-3 se muestra la convergencia entre el nodo Rayoloma y Guarguallá tal y como se muestra en la ilustración 92-3.

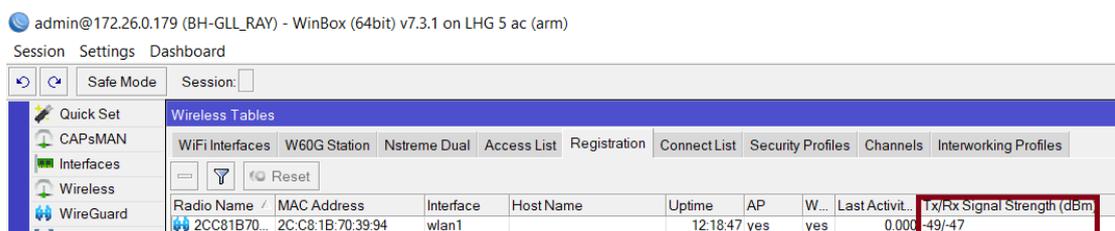


Ilustración 92-3: Verificación de la potencia enganchada, del radioenlace Rayoloma-Guarguallá tanto en Tx/Rx.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Finalmente, como método de verificación del estado del radioenlace una vez implementado y puesta en producción, se añade los elementos al servidor dude, en donde se aprecie el tráfico de comunicación, el porcentaje de CPU, y su monitoreo en cuanto a su operatividad en general, tal y como se muestra en la ilustración 93-3.

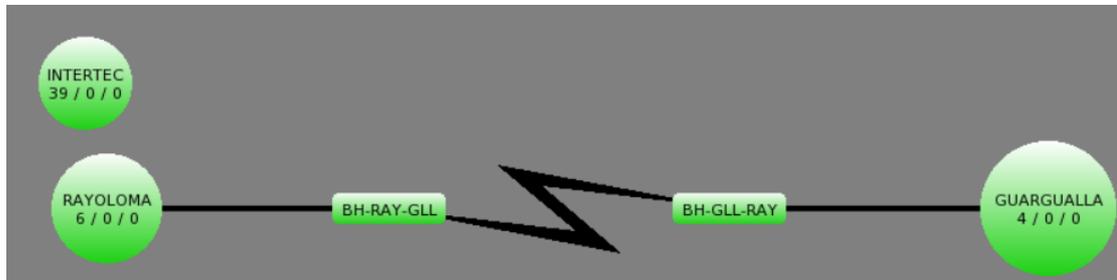


Ilustración 93-3: Agregación de elementos del radioenlace al servidor Dude

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Introducción

En el presente apartado se da a conocer los resultados obtenidos del estudio comparativo de protocolos inalámbricos tanto en Nv2 y Nstreme, la cual permitió definir el mejor protocolo a implementar en toda la red inalámbrica de la empresa proveedora de servicio de internet INTERTEC. Se realizó una comparación minuciosa basada en el estudio experimental de variables, como el tiempo de respuesta, ancho de banda y el porcentaje de paquetes perdidos, con respecto a la banda en la que operan y así como también en la diversidad de canales que trabaja el radioenlace.

Las mediciones de cuantificación de las variables de estudio se realizaron en el nodo Guarguallá, BH-GLL-RAY, definido de la siguiente manera:

- Ancho de Banda. – La medición de la capacidad de ancho de banda se lo realizó con la herramienta propia de MikroTik, Bandwidth Test, considerando la capacidad de descarga y subida en Mbps, se eligió los picos más altos mostrados en la interfaz de los equipos para realizar la comparativa, y así como también eligiendo el protocolo tcp para la evaluación en el peor de los casos, debido a que esta tiene mayor tamaño en su cabecera sobre udp. Finalmente se tomó en cuenta una vez realizada cada prueba, el porcentaje de procesamiento CPU que necesita para generar las pruebas de capacidad, tanto en el nodo local y el remoto. En las ilustraciones 1-4 y 2-4 se muestran el modo de medición de la variable ancho de banda tanto para Uplink y Downlink respectivamente.

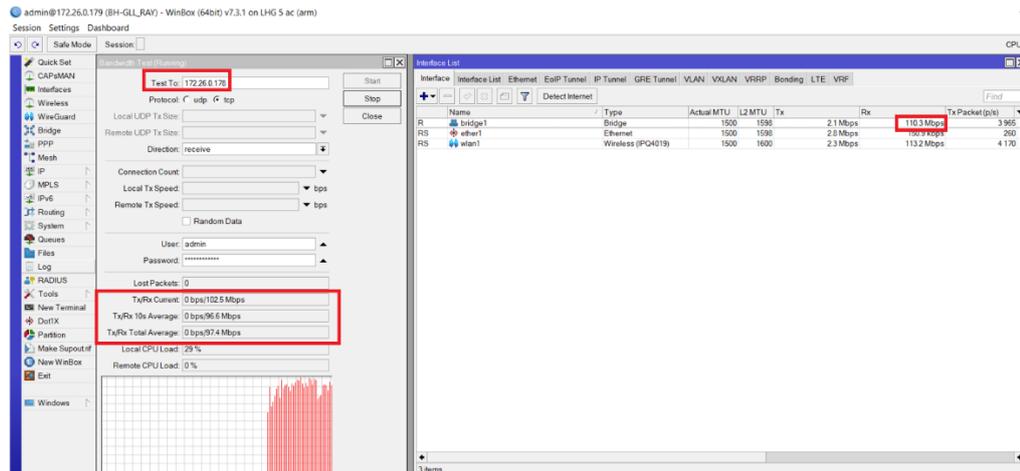


Ilustración 1-4: Herramienta de medición del ancho de banda, y verificación en la interfaz del equipo, para Downlink.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

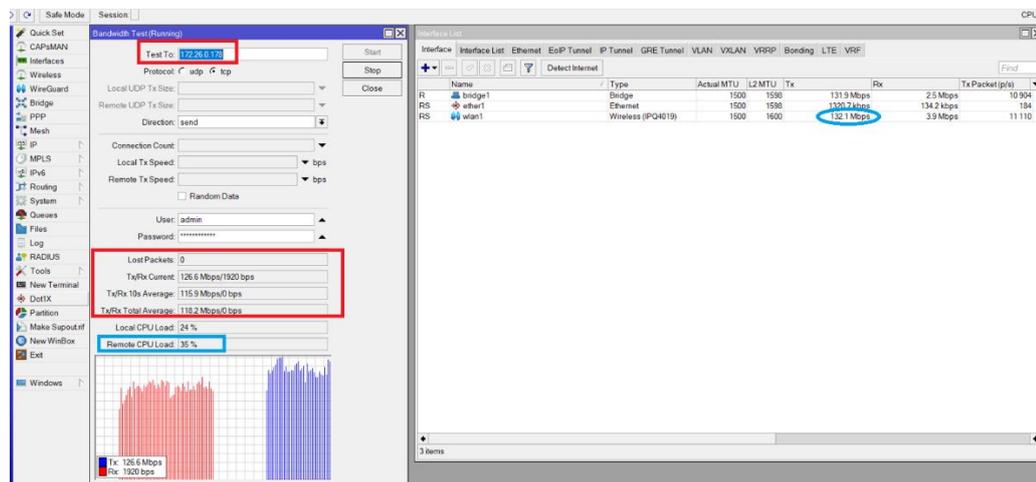


Ilustración 2-4: Herramienta de medición del ancho de banda, verificación en la interfaz del equipo, para Uplink y verificación del consumo del CPU en el equipo master.

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

- Tiempo de respuesta. – La evaluación del tiempo de respuesta se ejecutó mediante la herramienta ping de la propia marca, para la cual se consideró el análisis de 1000 paquetes icmp entre los nodos, una vez que se sature el canal por completo. Es decir, se ejecutó la herramienta de Bandwidth Test trabajando en ambos modos, transmisión y recepción, y al mismo tiempo se analizó el tiempo de respuesta. Para el estudio comparativo de protocolos se tomó en cuenta el promedio del tiempo de respuesta en ms. En la ilustración 3-4 y 4-4 se muestra la forma de medición del tiempo de respuesta tanto en Nv2 y Nstreme respectivamente.

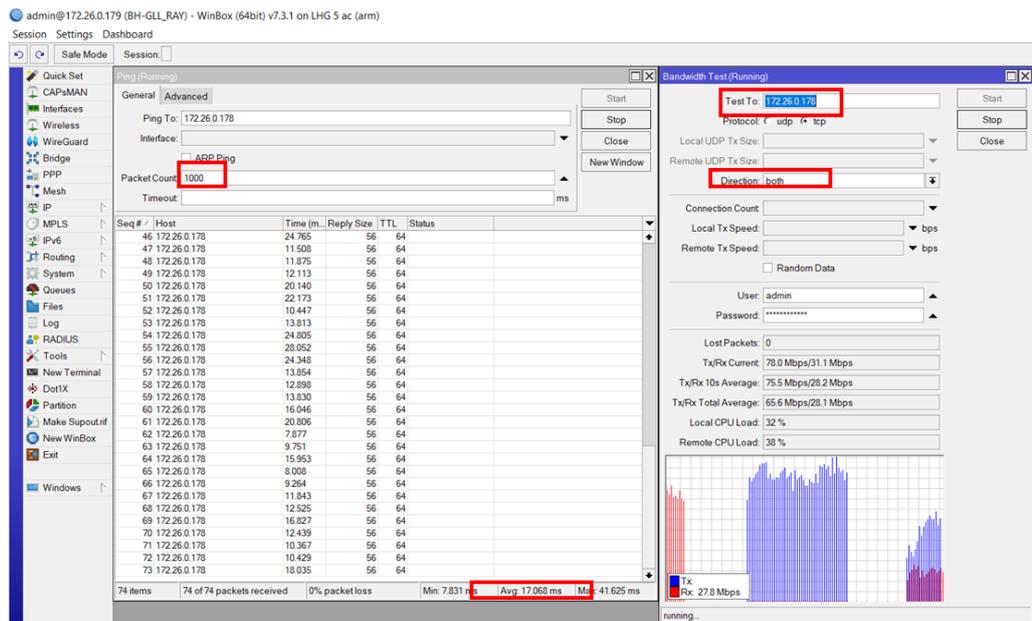


Ilustración 3-4: Forma de medición del tiempo de respuesta mediante la herramienta Ping, en Nv2.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

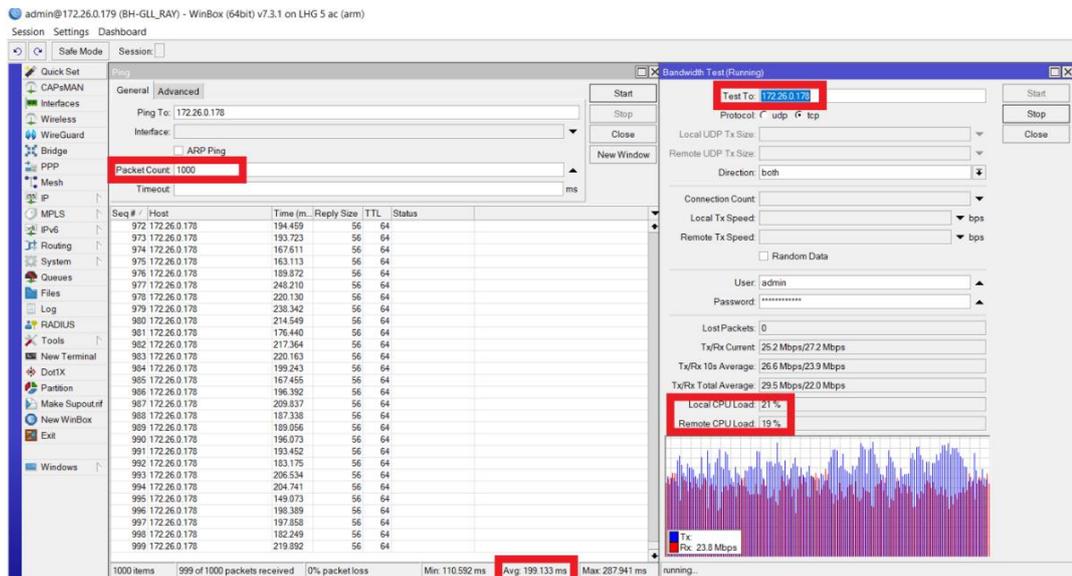


Ilustración 4-4: Forma de medición del tiempo de respuesta mediante la herramienta Ping, en Nstreme.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

- Porcentaje de paquetes perdidos. – La medición del porcentaje de paquetes perdidos va de la mano con el tiempo de respuesta, debido a que se analiza la relación porcentual entre los paquetes enviados y los paquetes recibidos en la comunicación, se realizó la

relación porcentual de los paquetes enviados y los recibidos con éxitos basadas en la información de la herramienta Ping, en la medición de igual manera se realizó tomando en cuenta el peor de los casos con un canal saturado y 1000 paquetes icmp de análisis. En la ilustración 5-4 se aprecia la cantidad de paquetes enviados y recibidos, la cual se usó para la relación porcentual.

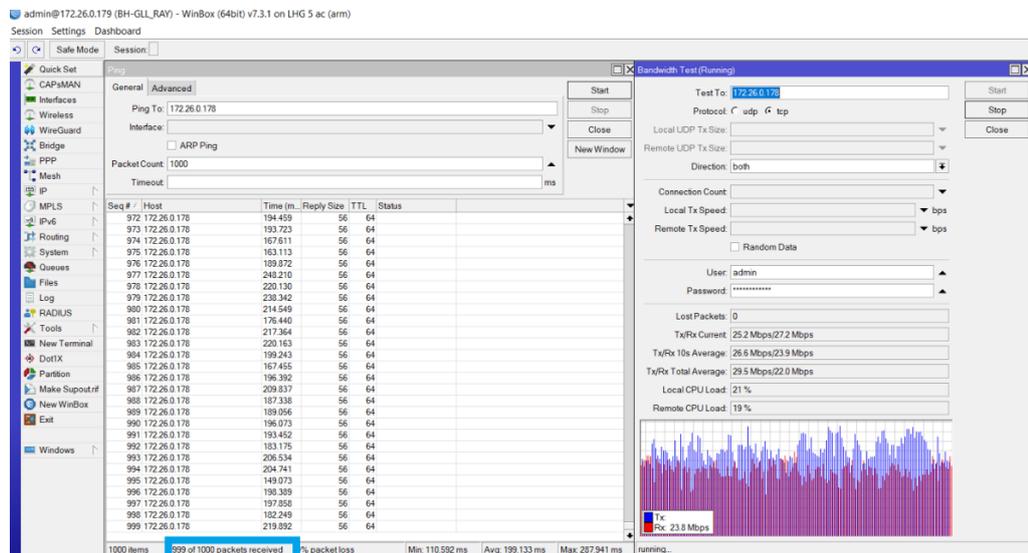


Ilustración 5-4: Verificación de la cantidad de paquetes enviados y recibidos, en el BH-GLL-RAY.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

A continuación, en la siguiente sección se muestra los cuadros e ilustraciones comparativas que contemplan los protocolo nv2 y nstreme del presente estudio.

4.2. Comparación de los protocolos Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda

4.2.1. Análisis de resultados en la banda 5GHZ-A/N

4.2.1.1. Ancho de Canales vs Download

Tabla 1-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz -A/N en Download.

<i>Ancho de Canal</i>	Download	
	Nstreme (Mbps)	Nv2 (Mbps)
20/40MHz eC	55,7	84,3
20/40MHz Ce	54,2	79,7
20/40 MHz XX	52,2	76,2

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

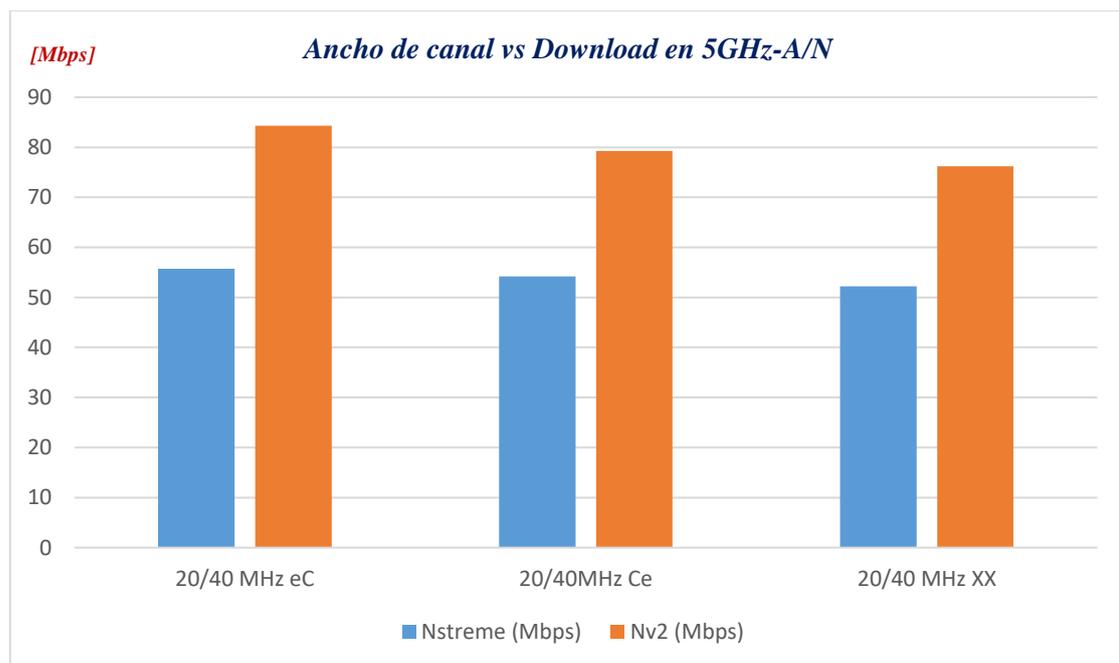


Ilustración 6-4: Comparación gráfica del ancho de canal vs Download en la banda de 5GHz-A/N

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De acuerdo a la tabla e ilustración, 1-4 y 6-4 respectivamente, se aprecia que el protocolo Nv2 presenta mejores prestaciones en cuanto a la capacidad de descarga de datos, teniendo como mayor pico en un canal de 20/40MHz eC con 84,3 Mbps, a diferencia de 55,7 Mbps con el

protocolo Nstreme en el mismo canal. Se apreció que en todos los canales Nv2 supera notablemente en la capacidad de descarga.

4.2.1.2. Ancho de Canales vs Upload

Tabla 2-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz -A/N en Upload.

<i>Ancho de Canal</i>	Upload	
	Nstreme (Mbps)	Nv2 (Mbps)
20/40MHz eC	56,1	122,3
20/40MHz Ce	57,5	116
20/40 MHz XX	60,2	125

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

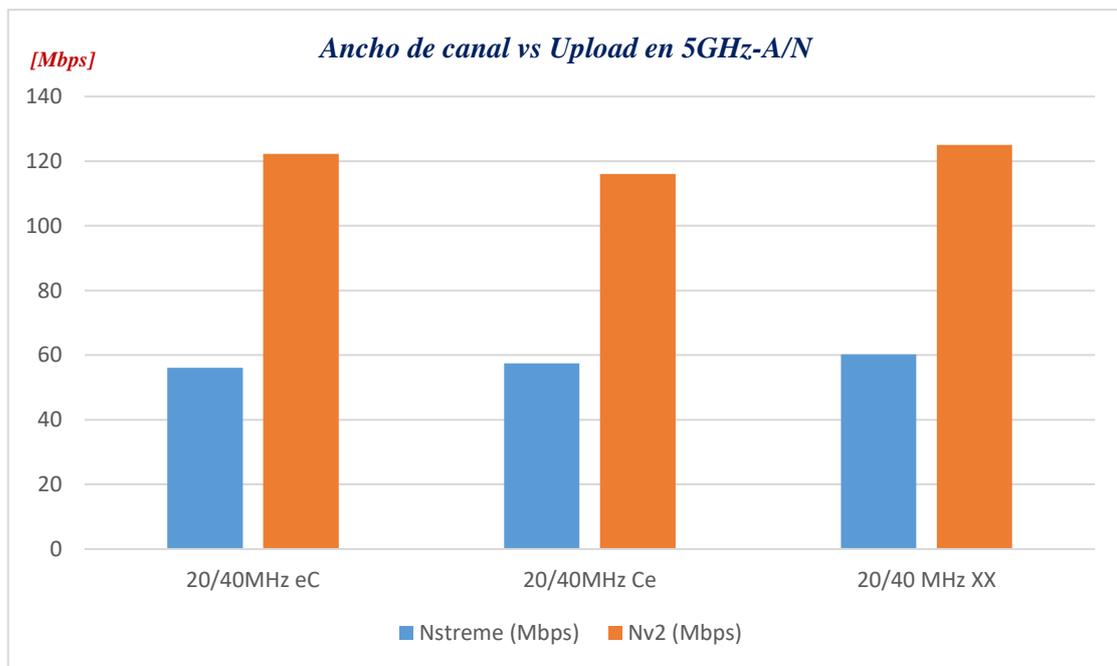


Ilustración 7-4: Comparación gráfica del ancho de canal vs Upload en la banda de 5GHz-A/N

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la tabla e ilustración, 2-4 y 7-4 respectivamente, se aprecia que mediante los resultados ejecutados se obtuvo como mejor rendimiento el canal de 20/40 MHz XX del protocolo Nv2 con 125Mbps, ya que con el protocolo Nstreme se obtuvo la mayor capacidad de subida de datos en el canal de 20/40 MHz con 60,2 Mbps.

4.2.2. Análisis de resultados en la banda 5GHZ-A/N/AC

4.2.2.1. Ancho de canales vs Download

Tabla 3-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz - A/N/AC en Download.

<i>Ancho de Canal</i>	Download	
	Nstreme (Mbps)	Nv2 (Mbps)
20/40MHz eC	53,5	85,8
20/40MHz Ce	59,4	77,3
20/40/80 MHz XXXX	58,9	112,4

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

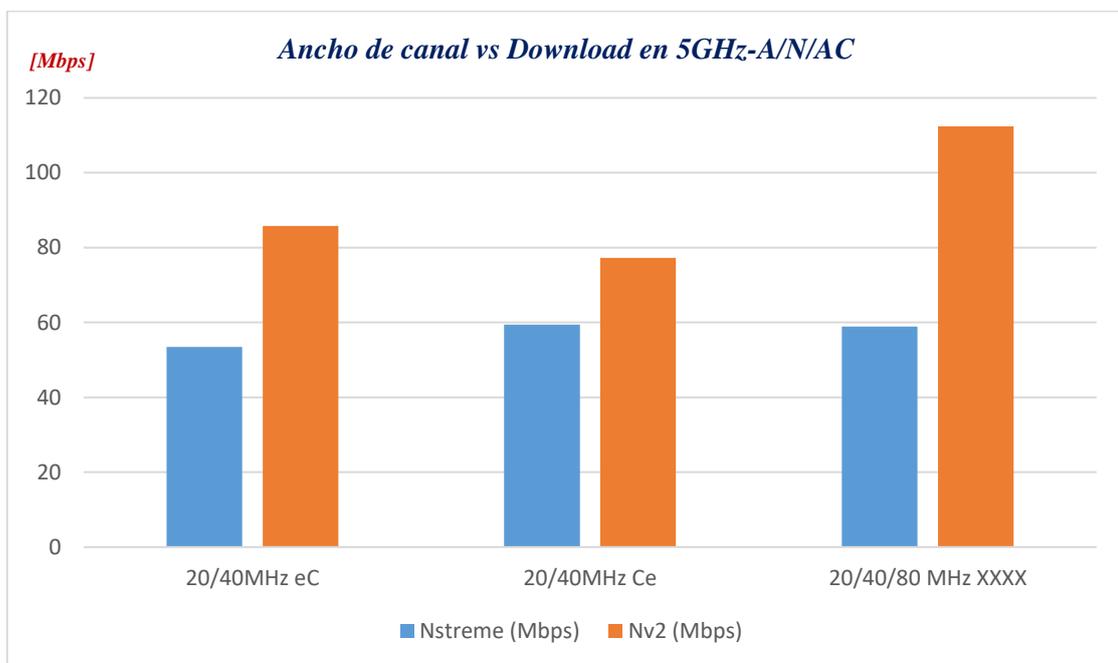


Ilustración 8-4: Comparación gráfica del ancho de canal vs Download en la banda de 5GHz-A/N/AC

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

Mediante la ilustración y tabla, 3-4 y 8-4 respectivamente, se aprecia que en la banda de 5GHz-A/N/AC, el protocolo que presentó mejor desempeño para la descarga de datos es Nv2 con 112,4 Mbps con un ancho de canal de 20/40/80 MHz XXXX a diferencia que con Nstreme se tiene un pico máximo de 59,4 Mbps en el canal de 20/40 MHz Ce.

4.2.2.2. Ancho de canales vs Upload

Tabla 4-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz - A/N/AC en Upload.

<i>Ancho de Canal</i>	Upload	
	Nstreme (Mbps)	Nv2 (Mbps)
20/40MHz eC	61,2	116,5
20/40MHz Ce	58,4	111,3
20/40/80 MHz XXXX	64,6	135,8

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

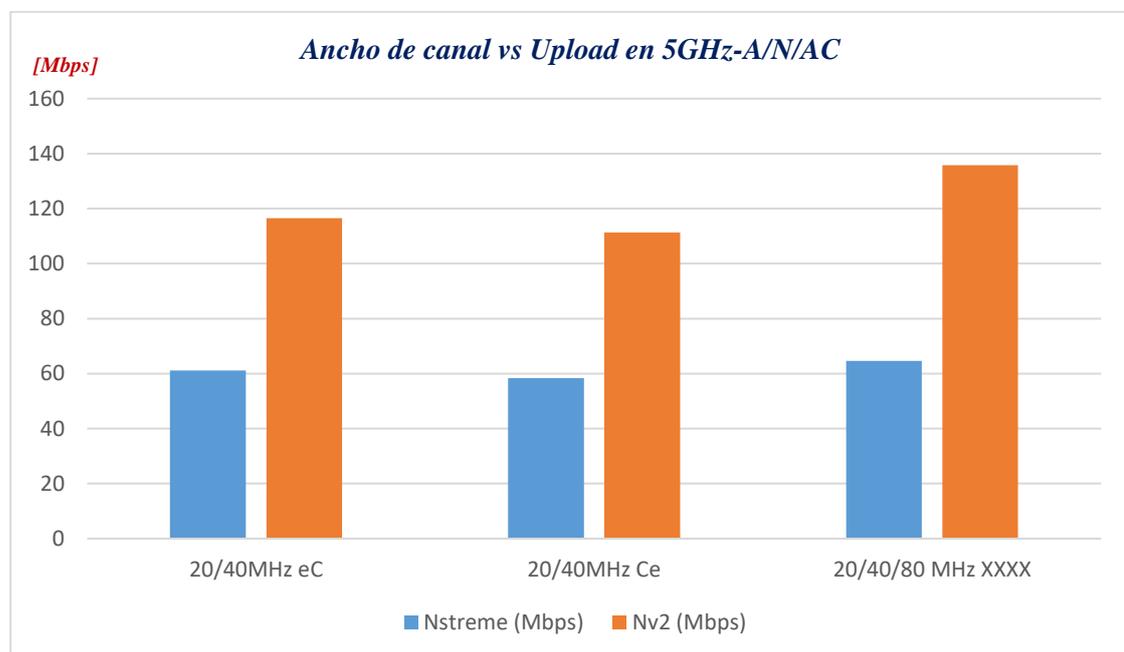


Ilustración 9-4: Comparación gráfica del ancho de canal vs Upload en la banda de 5GHz-A/N/AC

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De acuerdo a la ilustración y tabla, 9-4 y 4-4 respectivamente, se aprecia que mediante las pruebas realizadas el mejor desempeño para Upload presentó el protocolo Nv2, dando como resultado una capacidad de 135,8 Mbps. Mientras que Nstreme con una capacidad de Upload de 64,6 Mbps, ambos casos en un canal de 20/40/80 XXXX

4.2.3. Análisis de resultados en la banda en la banda 5GHZ only – AC

4.2.3.1. Ancho de canales vs Download

Tabla 5-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz only - AC en Download.

Ancho de Canal	Download	
	Nstreme (Mbps)	Nv2 (Mbps)
20/40MHz eC	55,2	81,5
20/40MHz Ce	53,9	86,3
20/40/80 MHz XXXX	58,5	109,7

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

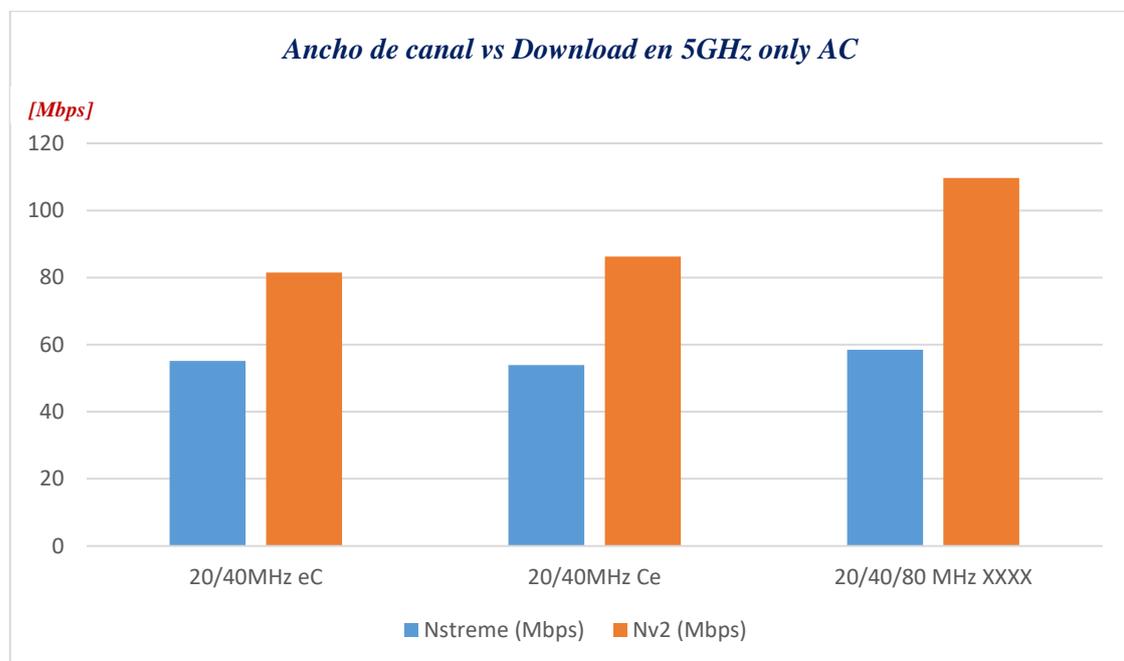


Ilustración 10-4: Comparación gráfica del ancho de canal vs Download en la banda de 5GHz- only – Ac

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración y tabla, 10-4 y 5-4 respectivamente, se puede observar que el protocolo que brinda un mayor ancho de banda para la recepción de datos es Nv2 con un 109,7 Mbps en un canal de 20/40/80 MHz XXXX, mientras que Nstreme presenta su mayor capacidad en el mismo canal con 58,5 Mbps.

4.2.3.2. Ancho de canales vs Upload

Tabla 6-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en términos de ancho de banda para a 5GHz – only - AC en Upload.

<i>Ancho de Canal</i>	Upload	
	Nstreme (Mbps)	Nv2 (Mbps)
20/40MHz eC	61,2	129,8
20/40MHz Ce	59,7	111,7
20/40/80 MHz XXXX	65,6	143,3

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

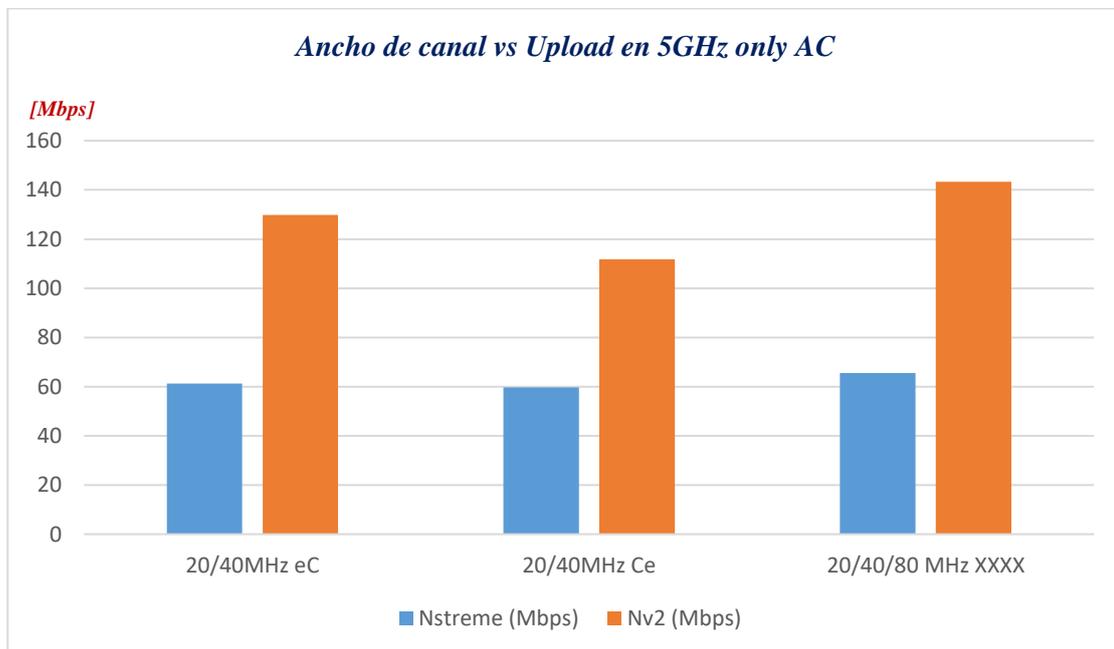


Ilustración 11-4: Comparación gráfica del ancho de canal vs Upload en la banda de 5GHz-only – AC

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración y tabla, 11-4 y 6-4 respectivamente, se aprecia los resultados realizados de la capacidad de ancho de banda para Upload en la banda de 5GHz – only – AC, en donde se obtuvo como resultado que el protocolo con mejor rendimiento es Nv2 con una capacidad de 143,3 Mbps en la banda de 20/40/80 MHz XXXX a diferencia que con Nstreme se obtiene la mayor capacidad de ancho de banda con 65,6 Mbps en el canal de 20/40/80 MHz XXXX.

De los resultados obtenidos de la comparación del ancho de banda tanto del protocolo Nv2 y nstreme se apreció que varía significativamente el ancho de banda teórico con el experimental, tanto en el de Upload y Download, en cada uno de los protocolos, siendo el más eficiente Nv2.

El protocolo Nv2 presenta un mejor comportamiento con respecto al protocolo Nstreme debido a que Nv2 AP utiliza un script que asigna tiempo a múltiples clientes (broadcast), considerado como un "sondeo grupal", razón por la que no se pierde tiempo para sondear a cada cliente individualmente, lo que otorga más tiempo para la transmisión de datos reales. A diferencia de Nstreme que maneja un control de acceso a clientes mediante polling, basada en una agenda dispuesta cada cliente dispone de un turno para el envío de información, lo cual hace que el ancho de banda para el tráfico real de abonados sea menor.

4.3. Comparación los protocolo Nv2 y Nstreme en términos de tiempo de respuesta

4.3.1. Análisis de resultados en la banda de 5Ghz – A/N

4.3.1.1. Ancho de canales vs el tiempo de respuesta promedio

Tabla 7-4: Comparación del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N

<i>Ancho de Canal</i>	Tiempo de respuesta	
	Nstreme (ms)	Nv2 (ms)
20/40MHz eC	212,631	15,528
20/40MHz Ce	211,854	15,507
20/40 MHz XX	212,849	14,915

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

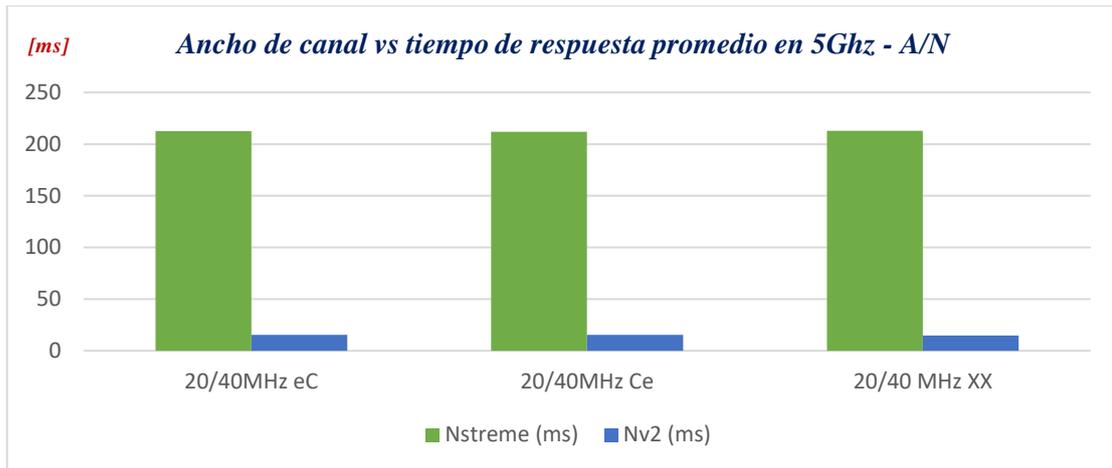


Ilustración 12-4: Comparación gráfica del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De acuerdo a la ilustración y tabla, 12-4 y 7-4 respectivamente, es posible apreciar que el tiempo de respuesta del radioenlace entre Rayoloma y Guarguallá para una banda de 5GHz – A/N tuvo un mayor índice de latencia con el protocolo Nstreme, presentando un pico máximo de 212, 849 mientras que Nv2 brindó una menor latencia con 14,915 ms en un canal de de 20/40 MHz XX.

4.3.2. Análisis de resultados en la banda de 5Ghz – A/N/AC

4.3.2.1. Ancho de canales vs el tiempo de respuesta promedio

Tabla 8-4: Comparación del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz - A/N/AC

Ancho de Canal	Tiempo de respuesta	
	Nstreme (ms)	Nv2 (ms)
20/40MHz eC	208,676	15,978
20/40MHz Ce	215,713	15,65
20/40/80 MHz XXXX	196,774	20,047

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

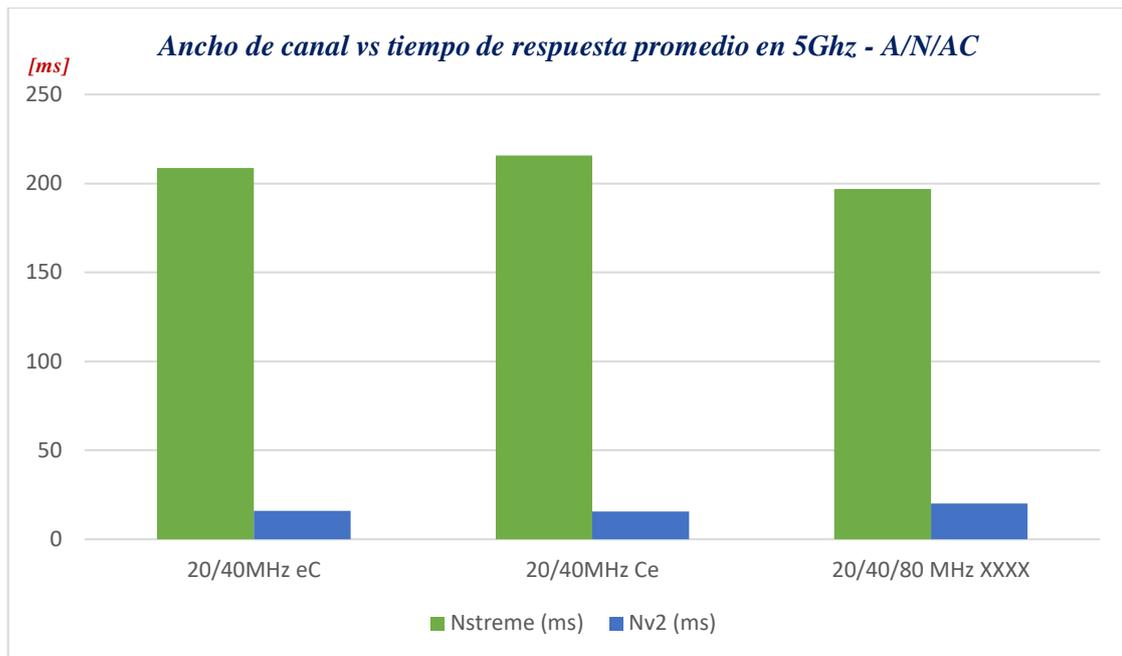


Ilustración 13-4: Comparación gráfica del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5Ghz -A/N/AC

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la ilustración y tabla,13-4 y 8-4 respectivamente, se muestra los valores de tiempo de respuesta promedio obtenido en la banda de 5Ghz -A/N/AC, teniendo a Nv2 como el protocolo que presta mejor prestación con 15,65 ms en el canal de 20/40 MHz Ce. A diferencia que el protocolo Nstreme el menor tiempo de respuesta es de 196,774 ms, existiendo una diferencia muy notable entre los dos protocolos.

4.3.3. Análisis de resultados en la anda only – AC

4.3.3.1. Ancho de canales vs el tiempo de respuesta promedio

Tabla 9-4: Comparación del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5GHz only - AC

<i>Ancho de Canal</i>	Tiempo de respuesta	
	Nstreme (ms)	Nv2 (ms)
20/40MHz eC	207,523	15,96
20/40MHz Ce	211,501	15,761
20/40/80 MHz XXXX	199,133	20,409

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

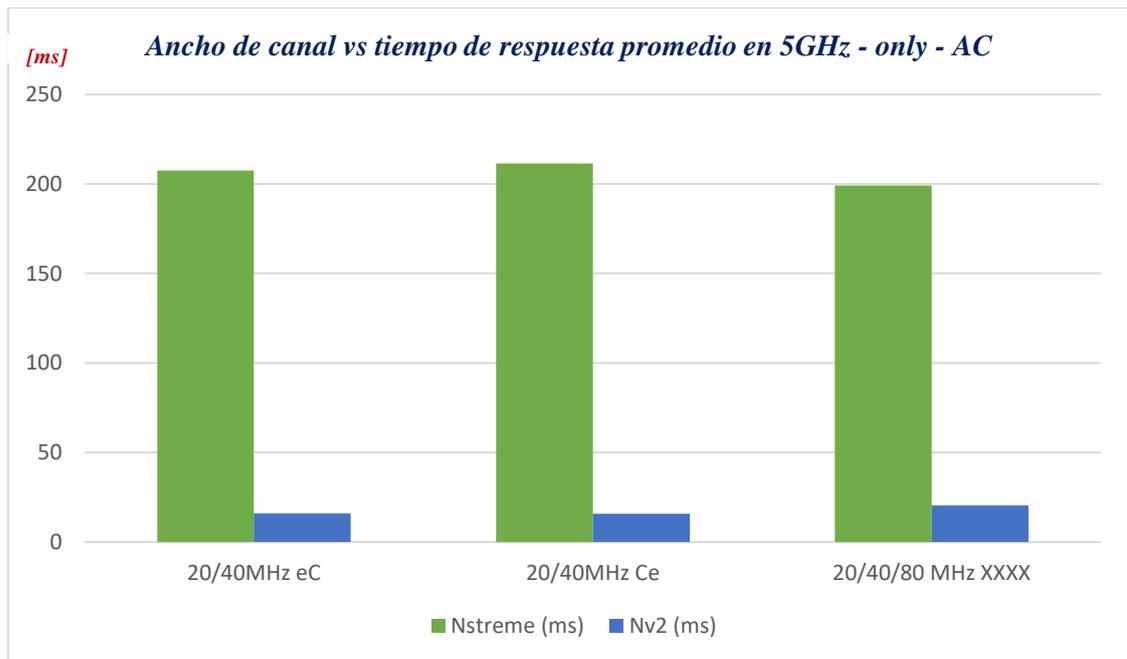


Ilustración 14-4: Comparación gráfica del tiempo de respuesta promedio entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – only AC

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

En la tabla e ilustración, 9-4 y 14-4 respectivamente, se muestra los resultados obtenidos en las mediciones del tiempo de respuesta para una banda de 5GHz – only – Ac en las bandas descritas en la tabla, obteniendo un mejor rendimiento en latencia con el protocolo Nv2 en la banda de 20/40 MHz Ce, con 15,761 ms. Mientras que con Nstreme se aprecia que la menor latencia es de 199,133 ms, comprobándose la gran diferencia en tiempo de respuesta existente entre ambos protocolos.

Realizada las pruebas de tiempo de respuesta variando los canales y bandas, significativamente se apreció que el protocolo con mejor comportamiento es Nv2 frente a Nstreme, la razón principal se debe a que en la reducción de sobrecarga de demora de propagación Nv2 al no sondear a cada cliente individualmente, permite crear un programa de enlace ascendente basado en la distancia estimada al cliente, permitiendo que el uso del medio sea más efectivo. Adicionalmente se debe a que Nv2 posee mayor control sobre la latencia ajustando el tamaño del periodo usada para la propagación de acceso a los medios, en el presente estudio se ajustó a 2 ms (ilustración 82-3), asignando el tiempo el AP antes al cliente.

4.4. Comparación los protocolo Nv2 y Nstreme en términos de porcentaje de paquetes perdidos.

4.4.1. Banda de 5GHz – A/N

4.4.1.1. Ancho de canal vs porcentaje de paquetes perdidos

Tabla 10-4: Comparación del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N

<i>Ancho de Canal</i>	Porcentaje de pérdida de paquetes	
	Nstreme (%)	Nv2 (%)
20/40MHz eC	0,2004008	0
20/40MHz Ce	0,1001001	0,1001001
20/40 MHz XX	0,2004008	0

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

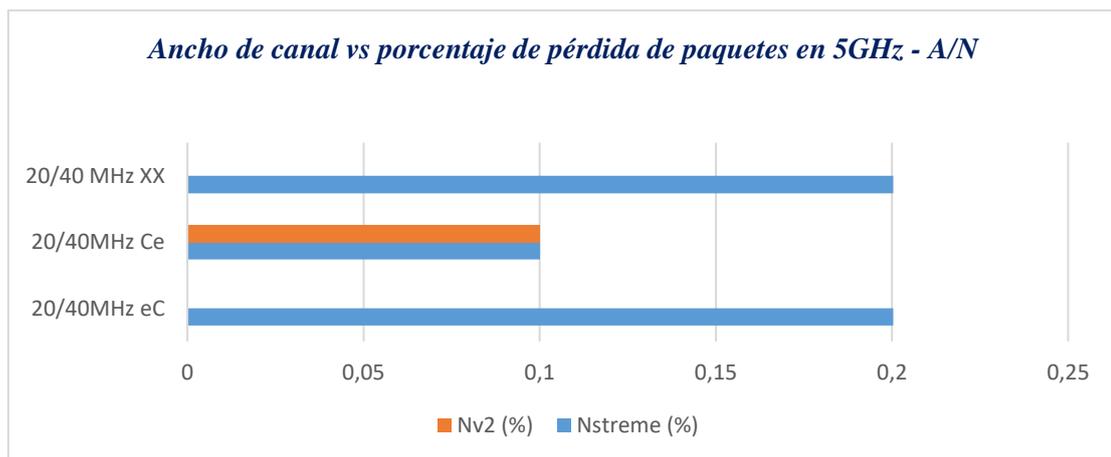


Ilustración 15-4: Comparación del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De la tabla e ilustración, 10-4 y 15-4 respectivamente, se dedujo que el porcentaje de pérdida de paquetes menor se da con Nv2, teniendo en dos canales, 20/40 MHz eC y 20/40 MHz Ce respectivamente, ningún paquete icmp perdido en el radioenlace una vez efectuado la saturación total del canal, a diferencia que con Nstreme se presenta un porcentaje de 0,2004008% de paquetes perdidos.

4.4.2. Banda de 5GHz – A/N/AC

4.4.2.1. Ancho de canal vs porcentaje de paquetes perdidos

Tabla 11-4: Comparación del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N/AC

<i>Ancho de Canal</i>	Porcentaje de pérdida de paquetes	
	Nstreme (%)	Nv2 (%)
20/40MHz eC	0,20040080	0
20/40MHz Ce	0,401606426	0,1001001
20/40/80 MHz XXXX	1,214574899	0,200400802

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

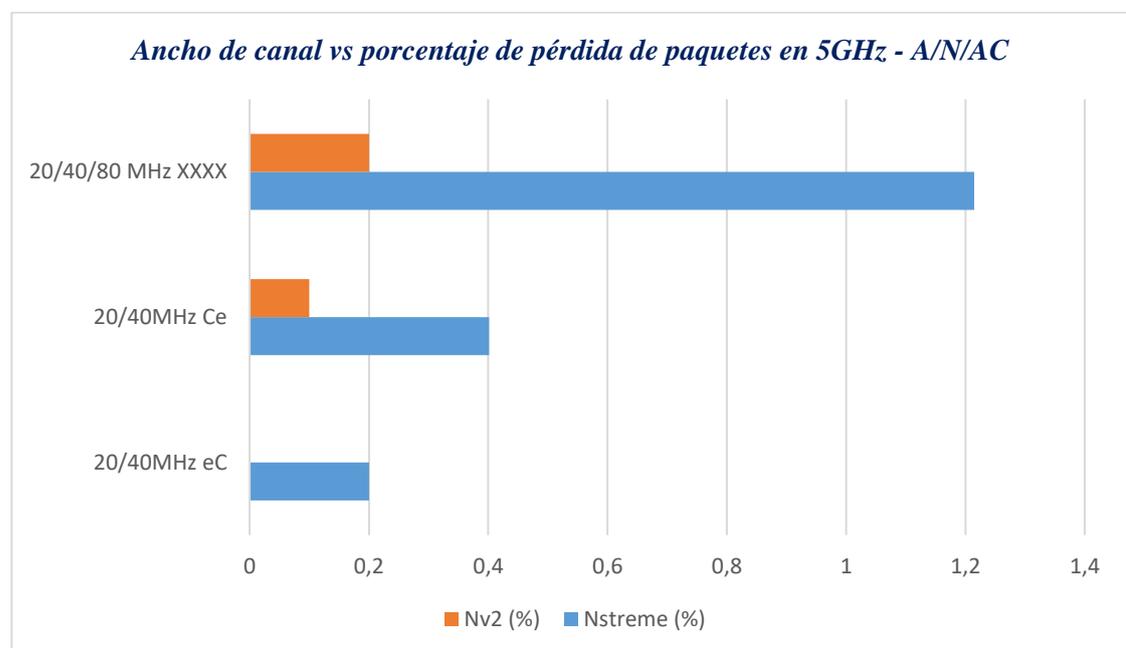


Ilustración 16-4: Comparación gráfica del porcentaje de paquetes entre Nv2 y Nstreme a 5GHz – A/N/AC

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

De la ilustración 16-4 y tabla 11-4, se conoció que en la banda de 5GHz A/N/AC el protocolo que mejor se desempeña en relación al porcentaje de paquetes enviados y recibidos es Nv2, presentando un 0% en la pérdida de paquetes en el canal de 20/40 MHz eC. En esta banda se evidenció que Nstreme presentó una pérdida de 0,401606426% (4 paquetes) en el canal de 20/40 MHz Ce.

4.4.3. Banda de 5GHz only – AC

4.4.3.1. Ancho de canal vs porcentaje de paquetes perdidos

Tabla 1218-4: Comparación de Nv2 y Nstreme en referencia al porcentaje de paquetes perdidos a 5GHz only -AC.

<i>Ancho de Canal</i>	Porcentaje de pérdida de paquetes	
	Nstreme (%)	Nv2 (%)
20/40MHz eC	0,1001001	0,1001001
20/40MHz Ce	0,401606426	0,1001001
20/40/80 MHz XXXX	1,11223458	0,1001001

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

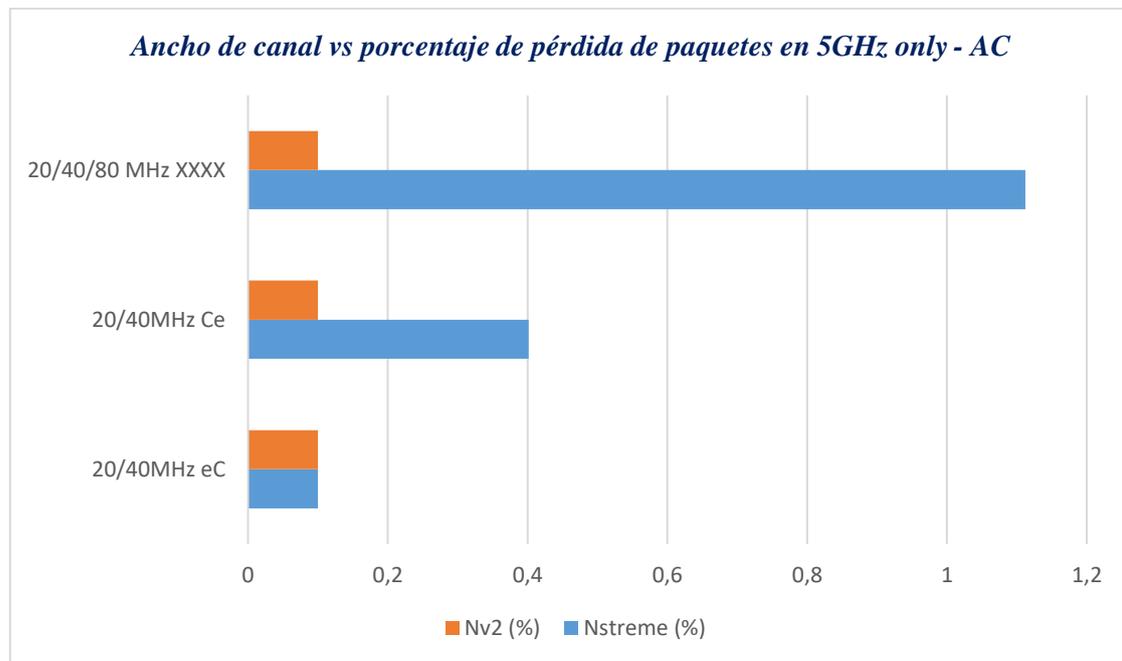


Ilustración 17-4: Comparación gráfica de Nv2 y Nstreme en referencia al porcentaje de paquetes perdidos a 5GHz only -AC.

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Mediante la ilustración 17-4 y tabla 12-4 se apreció que, a diferencia de las pruebas ejecutadas en las diferentes bandas anteriores, en 5GHz only AC en cada uno de los canales existe pérdida de paquetes icmp probadas, donde Nv2 presentó un mejor desempeño con tan solo 1 paquete icmp perdido en cada una de los canales, en tanto que Nstreme con un canal de hasta 80MHz perdió un total de 11 paquetes icmp, que representa el 1,11223458%

4.5. Comparación de consumo de CPU tanto en el protocolo Nv2 y Nstreme

Para el análisis del consumo de CPU se tomó los datos proporcionados del equipo BH-RAY-GLL, teniendo que en cuenta que es la encargada de procesar los parámetros de configuración inalámbrica, es decir los protocolos inalámbricos, Nv2 y Nstreme, lo cual conlleva a tener una mayor carga en el procesamiento a diferencia del equipo BH-GLL-RAY. Considerando que en el equipo master se tiene una mayor carga, fue necesario realizar la comparación del consumo del CPU en este dispositivo al implementar los protocolos de análisis Nv2 y Nstreme.

4.5.1. Comparación en la banda de Banda de 5GHz – A/N

Tabla 13-4: Comparación del consumo de CPU a 5GHz - A/N

<i>Ancho de Canal</i>	CPU	
	Nstreme (%)	Nv2 (%)
20/40MHz eC	19	32
20/40MHz Ce	16	28
20/40 MHz XX	20	28

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

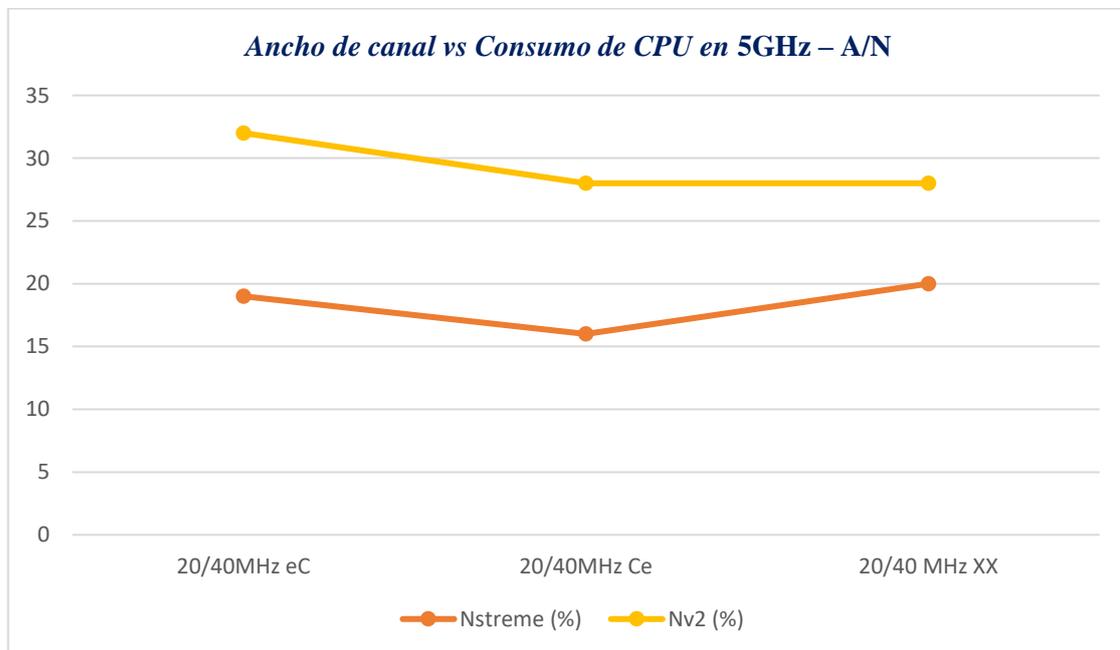


Ilustración 18-4: Comparación gráfica del consumo de CPU a 5GHz - A/N

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

En relación a la tabla 13-4 e ilustración 18-4 se apreció que el mayor consumo de CPU al ejecutar las diferentes pruebas de ancho de banda y latencia en la banda de 5GHz A/N, se da con Nv2. Teniendo un máximo de 32% de consumo al ejecutar pruebas en el canal de 20/40 MHz eC a diferencia que con Nstreme en el mismo canal se tiene un consumo menor de 20%.

4.5.2. Comparación en la banda de 5GHz – A/N/AC

Tabla 14-4: Comparación del consumo de CPU a 5GHz - A/N/AC

<i>Ancho de Canal</i>	CPU	
	Nstreme (%)	Nv2 (%)
20/40MHz eC	18	29
20/40MHz Ce	20	26
20/40/80 MHz XXXX	19	36

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

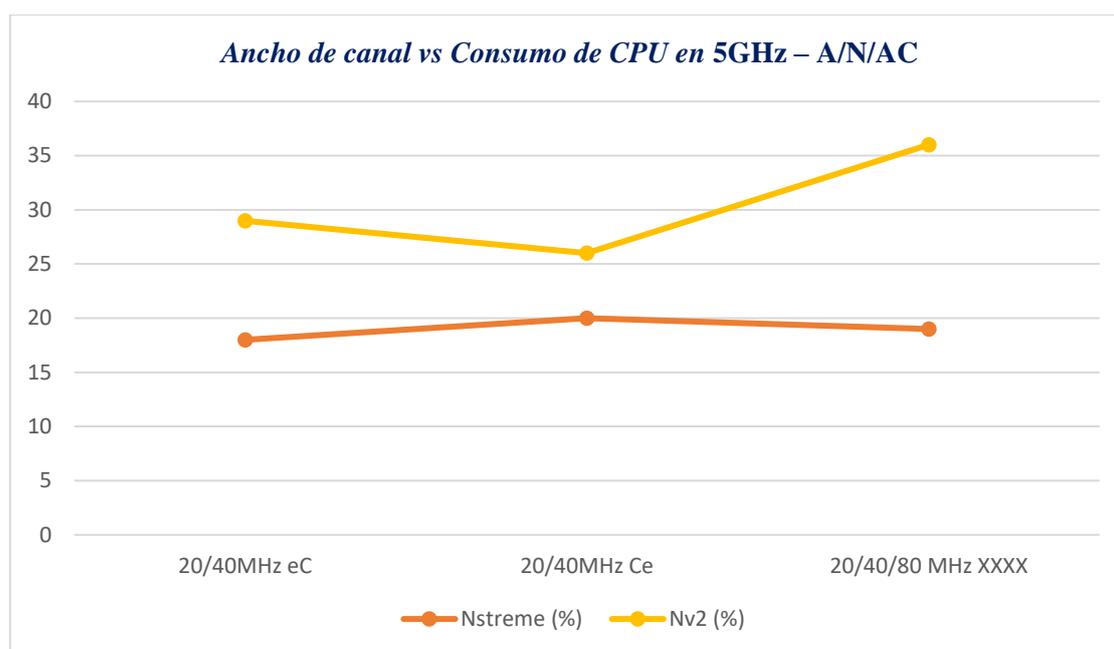


Ilustración 19-4: Comparación gráfica del consumo de CPU a 5GHz - A/N/AC

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

Mediante la ilustración 19-4 y tabla 14-4 se representa la información recabada en referencia al consumo de CPU, donde Nv2 presenta un mayor consumo en la banda de 5GHz A/N/AC, consumiendo hasta el 36% del procesamiento del equipo al realizar las pruebas en el canal de 20/40/80 MHz XXXX, a diferencia que Nstreme en el mismo canal tan solo consume el 19% del procesamiento del equipo.

4.5.3. Comparación en la banda de 5GHz only – AC

Tabla 15-4: Comparación del consumo de CPU a 5GHz only AC

<i>Ancho de Canal</i>	CPU	
	Nstreme (%)	Nv2 (%)
20/40MHz eC	18	29
20/40MHz Ce	16	28
20/40/80 MHz XXXX	13	34

Realizado por: Cujilema, Fredy, 2022.

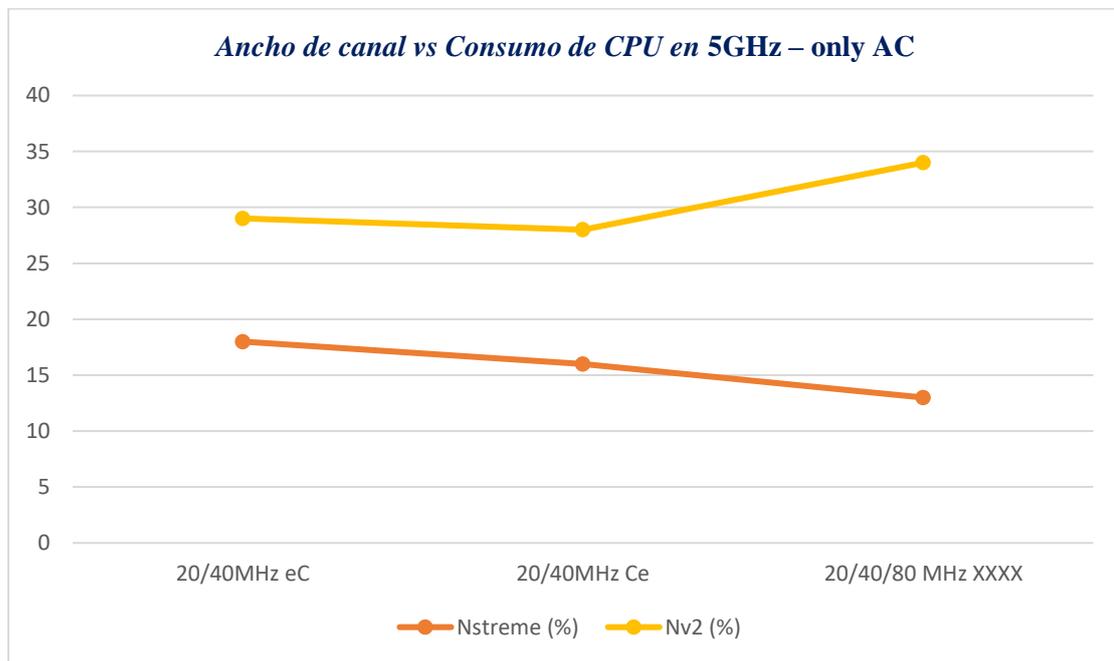


Ilustración 20-4: Comparación gráfica del consumo de CPU a 5GHz only AC

Fuente: Cujilema, Fredy, 2022.

En todos los canales mostrados tanto en la ilustración 20-4 y tabla 15-4, se aprecia que Nv2 consume mayor procesamiento del equipo al realizar cada una de las pruebas, teniendo un pico de consumo del 34% en el canal de 20/40/88 MHz XXXX, a diferencia que con Nstreme en el mismo canal tan solo consumió el 13%, existiendo una diferencia muy considerable.

Nv2 consume mayor procesamiento en el equipo debido a que al ofrecer mayor tasa de transferencia para datos reales, el equipo satura por completo la interfaz inalámbrica ocupando para el intercambio de tráfico de datos.

4.6. Discusión de resultados

De acuerdo de las variables evaluadas de ancho de banda, tiempo de respuesta y porcentaje de pérdida de paquetes, notablemente el protocolo inalámbrico Nv2 presenta mejores prestaciones que Nstreme.

En la evaluación de ancho de banda el protocolo inalámbrico Nv2 ofrece mejores prestaciones, tasa de transmisión y recepción, debido a disponer de un mayor tiempo para la transmisión de datos reales al contar con un programa de asignación de tiempo a clientes mediante broadcast, a diferencia de Nstreme que se maneja mediante un polling para el agendamiento de clientes individualmente, lo cual disminuye el ancho de banda para el tráfico. Verificando un consumo de CPU mayor en Nv2.

El parámetro de tiempo de respuesta, se verificó que en todos los canales de diferentes bandas, Nv2 toma gran ventaja al disponer de latencias menores a 20 ms a diferencia que Nstreme presenta latencias mayores a 196 ms, debido a que Nv2 a más de no realizar un sondeo individual a cada cliente, permite definir un programa de enlace ascendente basado en la distancia del cliente para que el medio sea más efectivo, así como también debido a que Nv2 consta de un mayor control sobre la latencia, ofreciendo un recurso de ajuste para el acceso múltiple por división de tiempo.

Finalmente, en la evaluación de porcentaje de paquetes perdidos durante 1000 paquetes evaluados se experimentó que en ambos protocolos es menor a 12 paquetes, en el caso de Nv2 llegando a tener un porcentaje del 0% de paquetes perdidos como mínimo y un máximo de 0,2, mientras que Nstreme con un porcentaje mínimo de 0,1 % y un máximo de 1,2 %, evaluada las diferentes bandas y canales. En nstreme el porcentaje de pérdidas es mayor debido a que presenta mayor latencia en su comunicación con respecto a Nstreme.

CONCLUSIONES

Se analizó minuciosamente las características principales de los protocolos inalámbricos propietarios de Mikrotik Nv2 y Nstreme, tanto su funcionamiento, coexistencia y diferencias entre cada una de estas, lo cual permitió comprender de manera teórica las ventajas y desventajas en sobrecarga de sondeo, demora de propagación y control sobre la latencia, permitiendo definir de manera apropiada los parámetros de configuración en el radio enlace Rayoloma-Guarguallá.

Se realizó el diseño del radioenlace Rayoloma-Guarguallá, mediante un barrido de frecuencias en la banda libre de 5GHz definiendo la frecuencia de control 5.5 GHz, posteriormente se realizó la simulación mediante Radiomobile, conociendo los parámetros esenciales para la implementación, una vez configurada cada uno de los equipos, tanto el master y esclavo, en la cual principalmente se definió de manera apropiada los parámetros de la interfaz inalámbrica y el enrutamiento en la red. Implementado el radioenlace se determinó que debido a la corta distancia no fue muy indispensable ubicar con exactitud el ángulo de azimut y elevación, teniendo como finalmente una potencia de enganche de -49 dBm relativamente mayor que la potencia simulada de -54.9 dBm.

Se calculó la indisponibilidad del radioenlace para condiciones anómalas de propagación influyentes en degradación de la señal como la atenuación por lluvia, teniendo para el 0.001% una atenuación de 2,9767 [dB], lo cual en relación al margen de recepción relativa simulado de 15.3 [dB] se tiene un gran nivel de disponibilidad presente en el radioenlace, considerando que para los tramos de acceso el objetivo de indisponibilidad no debe ser superado en el 0.05%.

Se configuró los protocolos Nv2 y Nstreme en el equipo master, siendo este el principal gestor de parámetros de cada protocolo, en la cual se incluyó parámetros apegados a las características del radioenlace, y basadas en las ventajas definidas en el marco teórico. Se conoció que el protocolo Nv2 ofrece mayores recursos de control, tanto de la estimados de la distancia existente entre el master y el esclavo, ajuste de tiempo de acceso múltiple, e inclusive la aplicación de QoS.

Se determinó que en la banda libre de 5GHz el protocolo inalámbrico Nv2 ofrece mejores prestaciones de ancho de banda, tasa de transmisión y recepción, tiempos de respuesta y porcentaje de pérdida de paquetes frente al protocolo Nstreme, conociendo que ejecutadas las pruebas en diferentes estándares y variando cada uno de los canales, el estándar 802.11 ac en canales de hasta 80MHz ofrecen mayor tasa de transmisión y recepción, a pesar que la latencia incrementa.

Se apreció que al implementar el protocolo Nv2 presentó un mayor consumo de CPU en el equipo master ubicada en el nodo Rayoloma respecto al protocolo Nstreme, por el motivo que Nv2 utiliza gran parte del canal para el tráfico de datos reales con respecto a los datos de control, a diferencia que Nstreme utiliza gran parte del canal para la implementación Polling reduciendo la capacidad de ancho de banda, deduciendo que mientras mayor tráfico de datos reales procese el equipo, mayor será el consumo del CPU.

RECOMENDACIONES

Es importante realizar una planificación previa con el centro de operaciones de red de la empresa en la cual se ejecute el estudio, que permita tomar medidas de prevención en caso llegue a existir inconvenientes con la planificación, así como también es indispensable ejecutar evaluaciones o pruebas en ventanas de mantenimiento, previa validación del operador noc.

En vista que la evaluación de parámetros de ancho de banda, tiempo de respuesta, y porcentaje de pérdida de paquetes se realizó con herramientas propias de Mikrotik, se apreció que afecta directamente en el consumo de CPU de los equipos de Backhaul en el que se ejecutaron las pruebas, llegando a consumir un gran porcentaje del procesamiento de CPU de los equipos, lo cual afecta en el rendimiento del equipo en el procesamiento de tráfico de datos, por lo cual sería óptimo realizar las mediciones pertinentes con herramientas distintas a la marca, con la cual no se comprometa al equipo asignar procesamiento para herramientas de medición, sino a su vez netamente para el tráfico de datos reales.

El presente estudio de rendimiento de protocolos Nv2 y Nstreme se ejecutó en un radioenlace de 4.3 km de distancia, por lo cual es recomendable realizar un estudio experimental a distancias mayores a 20 km, y evaluar el comportamiento de ambos protocolos, debido a que a mayor distancia Nstreme presenta teóricamente prestaciones de mejor comportamiento en latencia.

BIBLIOGRAFÍA

AARONIA AG. “Antena de medición de alto rendimiento HyperLOG 30180” Aaronia AG. [en línea]. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en: <https://aaronia-shop.com/productos/breitbandantennen-hyperlog30180>

AMAYA MANTILLA, C. 2007. Diseño de la red inalámbrica y sistema de seguridad mediante cámaras inalámbricas con monitoreo remoto para el edificio de la empresa metropolitana de obras públicas de Quito (EMOP-Q) [en línea], Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Sangolquí, 2007 [Consulta: 22 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/607/1/T-ESPE-014615.pdf>.

ANDREU, J. *Redes inalámbricas (Servicios en red)* [en línea], Madrid: Editex, 2011 [Consulta: 7 mayo 2022]. ISBN 978-84-9003-090-5. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=98_TAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA209&dq=caracteristicas+de+redes+inal%C3%A1mbricas+&ots=toOl7jurxW&sig=9O0ICCD8O60cyJNLO2Yae5viCxo#v=onepage&q=caracteristicas%20de%20redes%20inal%C3%A1mbricas&f=false

AYALA LÓPEZ, E. Estudio de la técnica de acceso múltiple por división de código óptico [en línea], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, 2008. [Consulta: 14 mayo 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4175/1/CD-1359.pdf>

BONILLA FERNÁNDEZ, P. & REYES AGUIRRE, F. Estudio comparativo de los protocolos nstreme y nv2 para un enlace inalámbrico a 2.4GHZ y 5.8 GHZ [en línea]. Universidad De Las Fuerzas Armadas, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería Electrónica, Redes y Comunicación De Datos, Salgolquí, 2015 [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/11237/T-ESPE-049435.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CARDAMA, A. et al., *Antenas* [en línea]. Barcelona: EDICIONS UPC, 2002. [Consulta: 21 mayo 2022]. ISBN 84-8301-625-7. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=r2sjWicZhDQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=antenas&ots=oqueFTI3jlk&sig=ZJ9blIf3JpQaeZh4zXIKDUQv-g4#v=onepage&q=antenas&f=false>

DANIZIO, P. *Introducción al cálculo de radioenlaces*. S.l.: Jorge Sarmiento Editor – Universitas, 2019, ISBN 9789879406953.

DAVILA LLIMPE, Y. Modelo de gestión de servicios de red con RouterOS Mikrotik en la disponibilidad de información de la red de datos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica. [en línea], Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, Huancavelica, 2019. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2618/TESIS-2019-ING.%20DE%20SISTEMAS-DAVILA%20LLIMPE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

DEVISER, “E8600B Spectrum Analyzer 2 Specifications Frequency”. DEVISER [en línea], 2014. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en: www.deviserinstruments.com.

GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GUAMOTE, *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Guamote*. [en línea], 2019. [Consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000790001_0660000790001%20PDYOT%20GUAMOTE%20final%20Con%20Ajustes_16-04-2016_19-26-04.pdf.

HERNANDO, J. *Transmisión por radio*. 6ª ed. MADRID, 2008. ISBN 9788480048569.

HTCMANIA. “ZTE AXON 7 no detecta Red WiFi 5GHz al seleccionar en el Router canal 100 o superior”. HTCMANIA [en línea], 2010 [Consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.htcmunia.com/showthread.php?s=006db2844a771c1fa302b29147e8f629&p=33643581#post33643581>.

HUIDOBRO, J. “Antenas de telecomunicaciones”. Revista Digital de ACTA [en línea], 2013, pp. 8-19. [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf

ICHSAN, D. et al., SINAR MULIA PLASINDO LESTARI MENGGUNAKAN MIKROTIK. [en línea], 2021. [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: <https://eprosiding.ars.ac.id/index.php/pti/article/view/300/96>

ITU. “Analysis, measurement and modelling of Jitter”. ITU [en línea], 2003, pp. 1-12. [Consulta: 22 mayo 2022]. Disponible en: https://www.telchemy.com/reference/ITUSG12_JitterAnalysis.pdf.

LARA RODRÍGUEZ, D. et al., *Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal* [en línea]. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V., 2002. [Consulta: 14 mayo 2022]. ISBN 970-15-05166 & 84-267-1318-1. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Gvh1UA0yHJ4C&oi=fnd&pg=PA85&dq=CDMA+A+ventajas+&ots=xztgnTHC9C&sig=cDIOGDdXyHs2YZ7SYpaqFSVhLhs#v=onepage&q=CDMA%20ventajas&f=false>.

LARDIÉS, F. & LOS SANTOS, A. Redes Inalámbricas de Acceso Comparativa de IEEE 802.11 e IEEE capas física y de enlace. [en línea], Universidad de Vigo, 2009. [Consulta: 8 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.albertolsa.com/wp-content/uploads/2009/07/ria-comparativa-de-ieee-80211-e-ieee80216-francisco-y-alberto.pdf>.

LEIJA, G. et al., “Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en Línea de Vista” Nova Scientia [en línea], 2014, (Mexico), 6(2), pp. 1-12. [Consulta: 21 mayo 2022]. ISSN 2007-0705. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v6n12/v6n12a1.pdf>.

MELGAREJO, I. Estudio de la eficiencia espectral del sistema TDMA en base al esquema de modulación empleado para comunicaciones inalámbricas en México [en línea] (Tesis de maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México, 1998. [Consulta: 14 mayo 2022]. Disponible en: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3414>.

MIKROTIK. “Manual: Nv2”. MikroTik [en línea], 2018. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Nv2>.

MIKROTIK. “Routers MikroTik e Inalámbricos – Software”. MikroTik [en línea], 2019. [Consulta: 4 junio 2022]. Disponible en: <https://mikrotik.com/thedude?fbclid=IwAR1oerNS8zNE4i8bwUa34PCQaVz0nFzhJM2OCg3rOfd3aVAeHGL8tpK6v1I>.

MIKROTIK, “Manual:Interface/Wireless”. MikroTik Wiki. [en línea], 2022. [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: <https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Interface/Wireless>.

MIKROTIK. “Enrutadores e inalámbricos MikroTik - Productos: LHG 5”. MikroTik [en línea]. [Consulta: 18 junio 2022 a]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/RBLHG-5nD#fndtn-specifications>.

MIKROTIK. “MikroTik Routers and Wireless - Products: RB3011UiAS-RM”. MikroTik [en línea]. [Consulta: 14 junio 2022 b]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/RB3011UiAS-RM#fndtn-specifications>.

MIKROTIK. “MikroTik Routers and Wireless - Products: RB4011iGS+RM”. MikroTik [en línea]. [Consulta: 22 julio 2022 c]. Disponible en: https://mikrotik.com/product/rb4011igs_rm#fndtn-gallery.

MIKROTIK. “Routers y Wireless MikroTik - Productos: hEX”. MikroTik [en línea]. [Consulta: 14 junio 2022 d]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/RB750Gr3>.

MIKROTIK. “Routers y Wireless MikroTik - Productos: LHG XL 5 ac”. MikroTik [en línea]. [Consulta: 5 junio 2022 e]. Disponible en: https://mikrotik.com/product/lhg_xl_5_ac.

MIKROTIK. “Routers y Wireless MikroTik - Productos: mANTBox 19s”. MikroTik [en línea]. [Consulta: 13 junio 2022 f]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/RB921GS-5HPacD-19S#fndtn-specifications>.

MONACHESI, E. et al., Conceptos generales de Antenas. [en línea], Universidad Tecnológica Nacional, 2011, pp. 2-21. [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.edutecne.utn.edu.ar>.

MUNDO TELECO. *Zonas de Fresnel*. [blog], 2014. [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: <https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>

PÉREZ ROMERO, J. Contribución al estudio de técnicas de acceso aleatorio y al análisis de la calidad de servicio en sistemas de transmisión por paquetes para comunicaciones móviles basadas en CDMA [en línea], Universidad Politécnica de Catalunya, Cataluña, 2001. [Consulta: 8 mayo 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94186/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SALAZAR, J. *Redes inalámbricas* [en línea]. 2016. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf

SANCHEZ, T. Diseño y construcción del equipo para determinar las características de propagación de la tierra en onda Media, utilizando el método de la inclinación de la onda. [en línea], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Especialización de Electrónica y Telecomunicaciones, Quito, 1991. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11093/1/T431.pdf>.

SIA MICROTIKLS. “Enrutadores e inalámbricos”. MikroTik [en línea], 2017. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <https://mikrotik.com/aboutus>.

SUQUI, K. Estudio e implementación de un radio enlace con tecnología mikrotik para el I.S.P. JJSistemas en el Cantón Gualaquiza, Provincia Morona Santiago [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Facultad de Ingenierías, Carrera de Ingeniería Electrónica, Cuenca, 2010. [Consulta: 15 mayo 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1061>.

TAMARIZ, E. et al., “Análisis del parámetro Throughput en una red Ad hoc y MANET en el estándar 802.11ac”. Revista de Aplicación Científica y Técnica [en línea], 2017, 3(7), pp. 1-9. [Consulta: 22 mayo 2022]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3num7/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N7_1.pdf

TANENBAUM, A. & WETHERALL, D. *Redes de Computadoras*. [en línea]. 5ª ed. México: Pearson, 2012, pp. 91-91. [Consulta: 3 mayo 2022]. ISBN 978-607-32-0817-8. Disponible en: https://bibliotecavirtualapure.files.wordpress.com/2015/06/redes_de_computadoras-freelibros-org.pdf.

VARELA, C. & DOMÍNGUEZ, L. *Redes Inalámbricas*. [en línea], Universidad de Valladolid, 2002. [Consulta: 7 mayo 2022]. Disponible en: <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1HBGWJFCG-20WFRGT-JD/redesInalambricas1.pdf>.

VIELMA, M. Introducción a las Antenas [en línea], 2005, [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: http://www.catlog.net/_Descargas/03-Tecnic/Antenas/Teoria%20Antenas.pdf.

ANEXOS

ANEXO A: RECOMENDACIÓN UIT-R P.838-3

Rec. UIT-R P.838-3

1

RECOMENDACIÓN UIT-R P.838-3

Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1999-2003-2005)

La Asamblea de Radiocomunicaciones,

considerando

a) que es necesario calcular la atenuación producida por la lluvia a partir de valores de intensidad de lluvia conocidos,

recomienda

1 que se utilice el procedimiento siguiente.

La atenuación específica γ_R (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia R (mm/h) mediante la ley potencial:

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (1)$$

Los valores de los coeficientes k y α se determinan en función de la frecuencia, f (GHz), en la gama de 1 a 1 000 GHz, a partir de las ecuaciones siguientes, que se han obtenido mediante el ajuste de curvas a los coeficientes de la ley potencial derivados de cálculos de dispersión:

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 \left(a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right) + m_k \log_{10} f + c_k \quad (2)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 \left(a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right) + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha \quad (3)$$

donde:

- f : frecuencia (GHz)
- k : puede ser k_H o k_V
- α : puede ser α_H o α_V .

En el Cuadro 1 se indican los valores de las constantes para el coeficiente k_H de polarización horizontal, y en el Cuadro 2 para el coeficiente k_V de polarización vertical. En el Cuadro 3 se indican los valores de las constantes para el coeficiente α_H de polarización horizontal, y en el Cuadro 4 para el coeficiente α_V de polarización vertical.

CUADRO 1

Coeficientes para k_H

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5,33980	-0,10008	1,13098	-0,18961	0,71147
2	-0,35351	1,26970	0,45400		
3	-0,23789	0,86036	0,15354		
4	-0,94158	0,64552	0,16817		

CUADRO 2

Coeficientes para k_V

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3,80595	0,56934	0,81061	-0,16398	0,63297
2	-3,44965	-0,22911	0,51059		
3	-0,39902	0,73042	0,11899		
4	0,50167	1,07319	0,27195		

CUADRO 3

Coeficientes para α_H

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0,14318	1,82442	-0,55187	0,67849	-1,95537
2	0,29591	0,77564	0,19822		
3	0,32177	0,63773	0,13164		
4	-5,37610	-0,96230	1,47828		
5	16,1721	-3,29980	3,43990		

CUADRO 4

Coeficientes para α_V

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0,07771	2,33840	-0,76284	-0,053739	0,83433
2	0,56727	0,95545	0,54039		
3	-0,20238	1,14520	0,26809		
4	-48,2991	0,791669	0,116226		
5	48,5833	0,791459	0,116479		

Para la polarización lineal y circular, y para cualquier geometría del trayecto, los coeficientes de la ecuación (1) pueden calcularse mediante los valores de las ecuaciones (2) y (3) utilizando las ecuaciones siguientes:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2 \tau] / 2 \tag{4}$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2 \tau] / 2k \tag{5}$$

donde θ es el ángulo de elevación del trayecto y τ es el ángulo de inclinación de la polarización con respecto a la horizontal ($\tau = 45^\circ$ para la polarización circular).

Para facilitar su consulta, los coeficientes k y α se muestran gráficamente en las Figs. 1 a 4, y en el Cuadro 5 se indican los valores numéricos de los coeficientes en determinadas frecuencias.

FIGURA 1
Coeficiente k de polarización horizontal

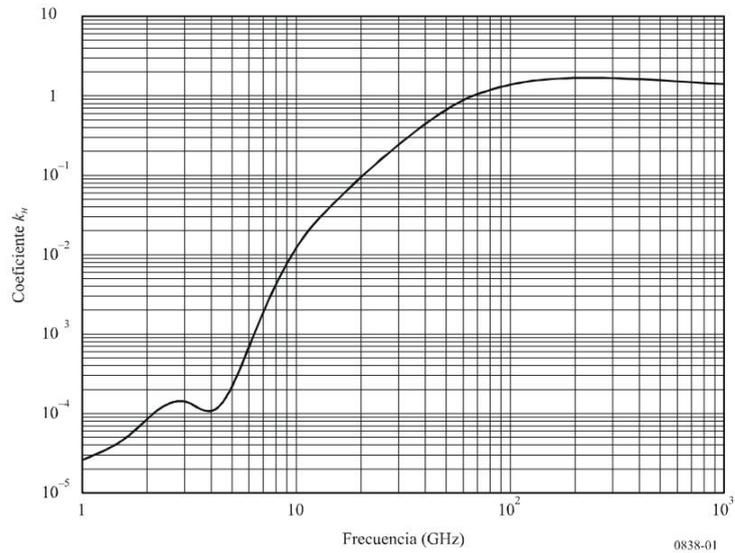


FIGURA 2

Coefficiente α de polarización horizontal

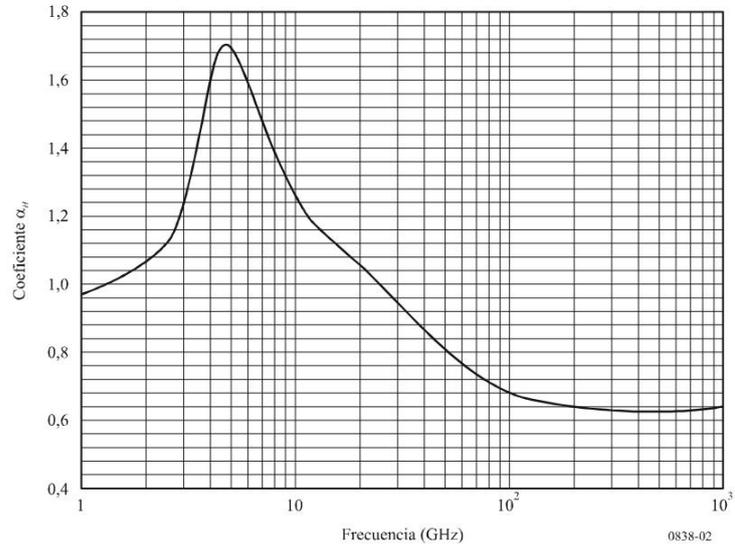


FIGURA 3

Coefficiente k de polarización vertical

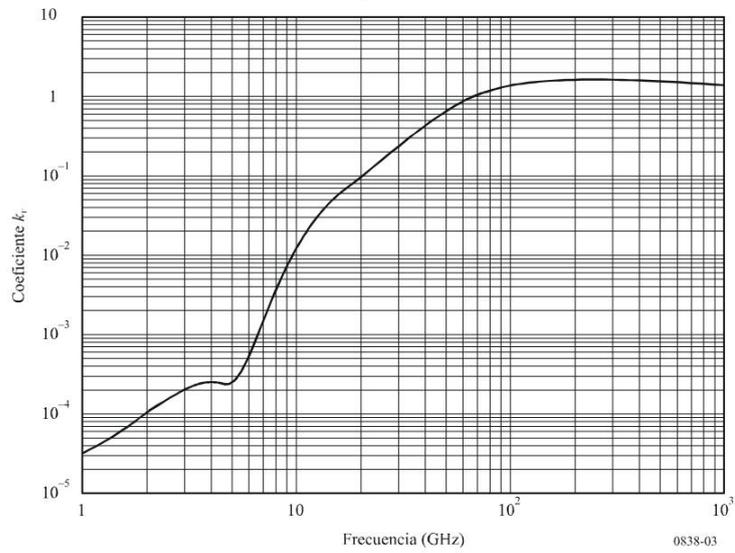
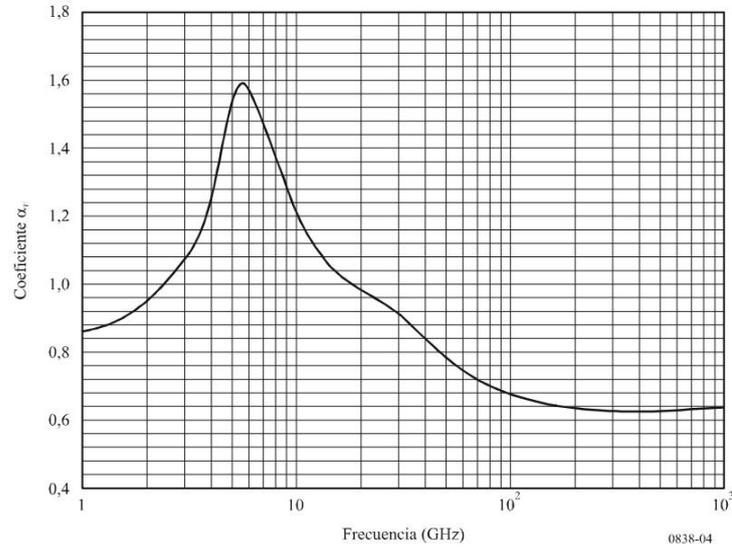


FIGURA 4
Coeficiente α_v de polarización vertical



CUADRO 5

Coeficientes que dependen de la frecuencia para estimar la atenuación específica debida a la lluvia utilizando las ecuaciones (4), (5) y (1)

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0,0000259	0,9691	0,0000308	0,8592
1,5	0,0000443	1,0185	0,0000574	0,8957
2	0,0000847	1,0664	0,0000998	0,9490
2,5	0,0001321	1,1209	0,0001464	1,0085
3	0,0001390	1,2322	0,0001942	1,0688
3,5	0,0001155	1,4189	0,0002346	1,1387
4	0,0001071	1,6009	0,0002461	1,2476
4,5	0,0001340	1,6948	0,0002347	1,3987
5	0,0002162	1,6969	0,0002428	1,5317
5,5	0,0003909	1,6499	0,0003115	1,5882
6	0,0007056	1,5900	0,0004878	1,5728
7	0,001915	1,4810	0,001425	1,4745
8	0,004115	1,3905	0,003450	1,3797
9	0,007535	1,3155	0,006691	1,2895

CUADRO 5 (Continuación)

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
10	0,01217	1,2571	0,01129	1,2156
11	0,01772	1,2140	0,01731	1,1617
12	0,02386	1,1825	0,02455	1,1216
13	0,03041	1,1586	0,03266	1,0901
14	0,03738	1,1396	0,04126	1,0646
15	0,04481	1,1233	0,05008	1,0440
16	0,05282	1,1086	0,05899	1,0273
17	0,06146	1,0949	0,06797	1,0137
18	0,07078	1,0818	0,07708	1,0025
19	0,08084	1,0691	0,08642	0,9930
20	0,09164	1,0568	0,09611	0,9847
21	0,1032	1,0447	0,1063	0,9771
22	0,1155	1,0329	0,1170	0,9700
23	0,1286	1,0214	0,1284	0,9630
24	0,1425	1,0101	0,1404	0,9561
25	0,1571	0,9991	0,1533	0,9491
26	0,1724	0,9884	0,1669	0,9421
27	0,1884	0,9780	0,1813	0,9349
28	0,2051	0,9679	0,1964	0,9277
29	0,2224	0,9580	0,2124	0,9203
30	0,2403	0,9485	0,2291	0,9129
31	0,2588	0,9392	0,2465	0,9055
32	0,2778	0,9302	0,2646	0,8981
33	0,2972	0,9214	0,2833	0,8907
34	0,3171	0,9129	0,3026	0,8834
35	0,3374	0,9047	0,3224	0,8761
36	0,3580	0,8967	0,3427	0,8690
37	0,3789	0,8890	0,3633	0,8621
38	0,4001	0,8816	0,3844	0,8552
39	0,4215	0,8743	0,4058	0,8486
40	0,4431	0,8673	0,4274	0,8421
41	0,4647	0,8605	0,4492	0,8357
42	0,4865	0,8539	0,4712	0,8296
43	0,5084	0,8476	0,4932	0,8236
44	0,5302	0,8414	0,5153	0,8179
45	0,5521	0,8355	0,5375	0,8123
46	0,5738	0,8297	0,5596	0,8069
47	0,5956	0,8241	0,5817	0,8017

CUADRO 5 (Continuación)

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
48	0,6172	0,8187	0,6037	0,7967
49	0,6386	0,8134	0,6255	0,7918
50	0,6600	0,8084	0,6472	0,7871
51	0,6811	0,8034	0,6687	0,7826
52	0,7020	0,7987	0,6901	0,7783
53	0,7228	0,7941	0,7112	0,7741
54	0,7433	0,7896	0,7321	0,7700
55	0,7635	0,7853	0,7527	0,7661
56	0,7835	0,7811	0,7730	0,7623
57	0,8032	0,7771	0,7931	0,7587
58	0,8226	0,7731	0,8129	0,7552
59	0,8418	0,7693	0,8324	0,7518
60	0,8606	0,7656	0,8515	0,7486
61	0,8791	0,7621	0,8704	0,7454
62	0,8974	0,7586	0,8889	0,7424
63	0,9153	0,7552	0,9071	0,7395
64	0,9328	0,7520	0,9250	0,7366
65	0,9501	0,7488	0,9425	0,7339
66	0,9670	0,7458	0,9598	0,7313
67	0,9836	0,7428	0,9767	0,7287
68	0,9999	0,7400	0,9932	0,7262
69	1,0159	0,7372	1,0094	0,7238
70	1,0315	0,7345	1,0253	0,7215
71	1,0468	0,7318	1,0409	0,7193
72	1,0618	0,7293	1,0561	0,7171
73	1,0764	0,7268	1,0711	0,7150
74	1,0908	0,7244	1,0857	0,7130
75	1,1048	0,7221	1,1000	0,7110
76	1,1185	0,7199	1,1139	0,7091
77	1,1320	0,7177	1,1276	0,7073
78	1,1451	0,7156	1,1410	0,7055
79	1,1579	0,7135	1,1541	0,7038
80	1,1704	0,7115	1,1668	0,7021
81	1,1827	0,7096	1,1793	0,7004
82	1,1946	0,7077	1,1915	0,6988
83	1,2063	0,7058	1,2034	0,6973
84	1,2177	0,7040	1,2151	0,6958
85	1,2289	0,7023	1,2265	0,6943

CUADRO 5 (*Fin*)

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
86	1,2398	0,7006	1,2376	0,6929
87	1,2504	0,6990	1,2484	0,6915
88	1,2607	0,6974	1,2590	0,6902
89	1,2708	0,6959	1,2694	0,6889
90	1,2807	0,6944	1,2795	0,6876
91	1,2903	0,6929	1,2893	0,6864
92	1,2997	0,6915	1,2989	0,6852
93	1,3089	0,6901	1,3083	0,6840
94	1,3179	0,6888	1,3175	0,6828
95	1,3266	0,6875	1,3265	0,6817
96	1,3351	0,6862	1,3352	0,6806
97	1,3434	0,6850	1,3437	0,6796
98	1,3515	0,6838	1,3520	0,6785
99	1,3594	0,6826	1,3601	0,6775
100	1,3671	0,6815	1,3680	0,6765
120	1,4866	0,6640	1,4911	0,6609
150	1,5823	0,6494	1,5896	0,6466
200	1,6378	0,6382	1,6443	0,6343
300	1,6286	0,6296	1,6286	0,6262
400	1,5860	0,6262	1,5820	0,6256
500	1,5418	0,6253	1,5366	0,6272
600	1,5013	0,6262	1,4967	0,6293
700	1,4654	0,6284	1,4622	0,6315
800	1,4335	0,6315	1,4321	0,6334
900	1,4050	0,6353	1,4056	0,6351
1 000	1,3795	0,6396	1,3822	0,6365

ANEXO B: RECOMENDACIÓN UIT-R PN.837

Rec. UIT-R PN.837-1

1

RECOMENDACIÓN UIT-R PN.837-1

CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACIÓN PARA ESTABLECER MODELOS DE PROPAGACIÓN

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que se necesita información sobre las estadísticas de intensidad de la precipitación para la predicción de la atenuación y de la dispersión producidas por la precipitación;
- b) que esa información se necesita para todos los emplazamientos del mundo;
- c) que se ha preparado una versión digitalizada de los mapas de las zonas hidrometeorológicas que puede resultar útil para algunas aplicaciones informatizadas,

recomienda

1. que se utilicen las figs. 1 a 3 al seleccionar las zonas hidrometeorológicas para la predicción de los efectos de la precipitación;
2. que se utilice el cuadro 1 para obtener una estimación de la distribución acumulativa mediana de las intensidades de lluvia en las regiones hidrometeorológicas;
3. que, cuando cualquier aplicación informatizada necesite la zona hidrometeorológica para un conjunto de cualquiera de las coordenadas geográficas, se utilice el programa RAINZONE. (El soporte lógico de RAINZONE está disponible en la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT.)

CUADRO 1

Zonas hidrometeorológicas

Intensidad de la lluvia excedida (mm/h) (Véanse las figs. 1 a 3)

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	< 0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

FIGURA 1
(Véase el cuadro 1)

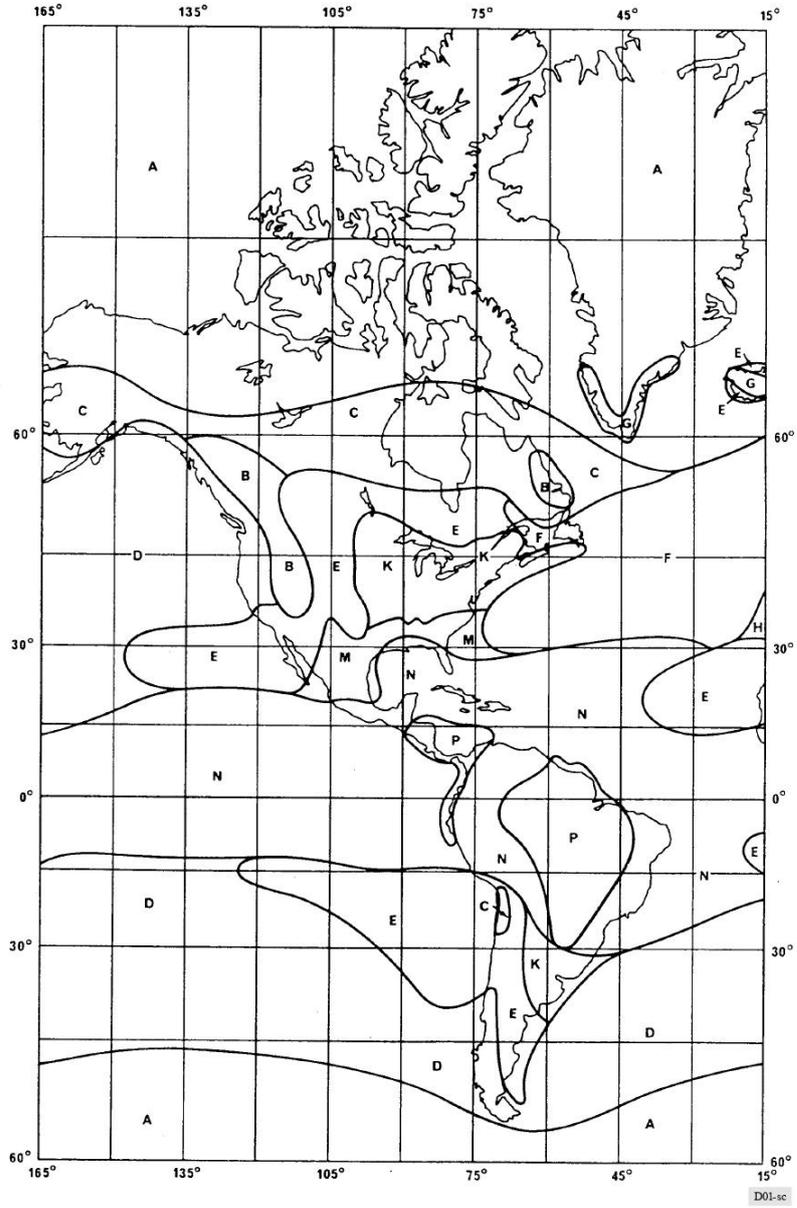
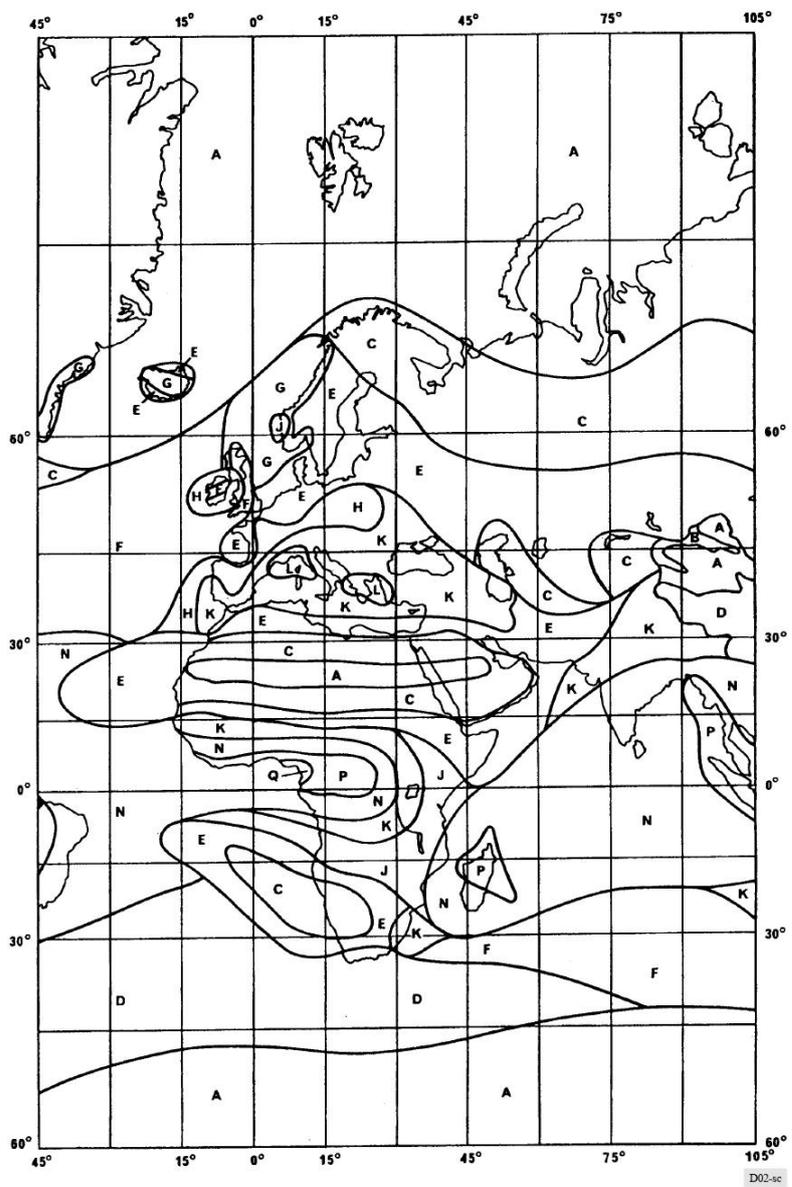
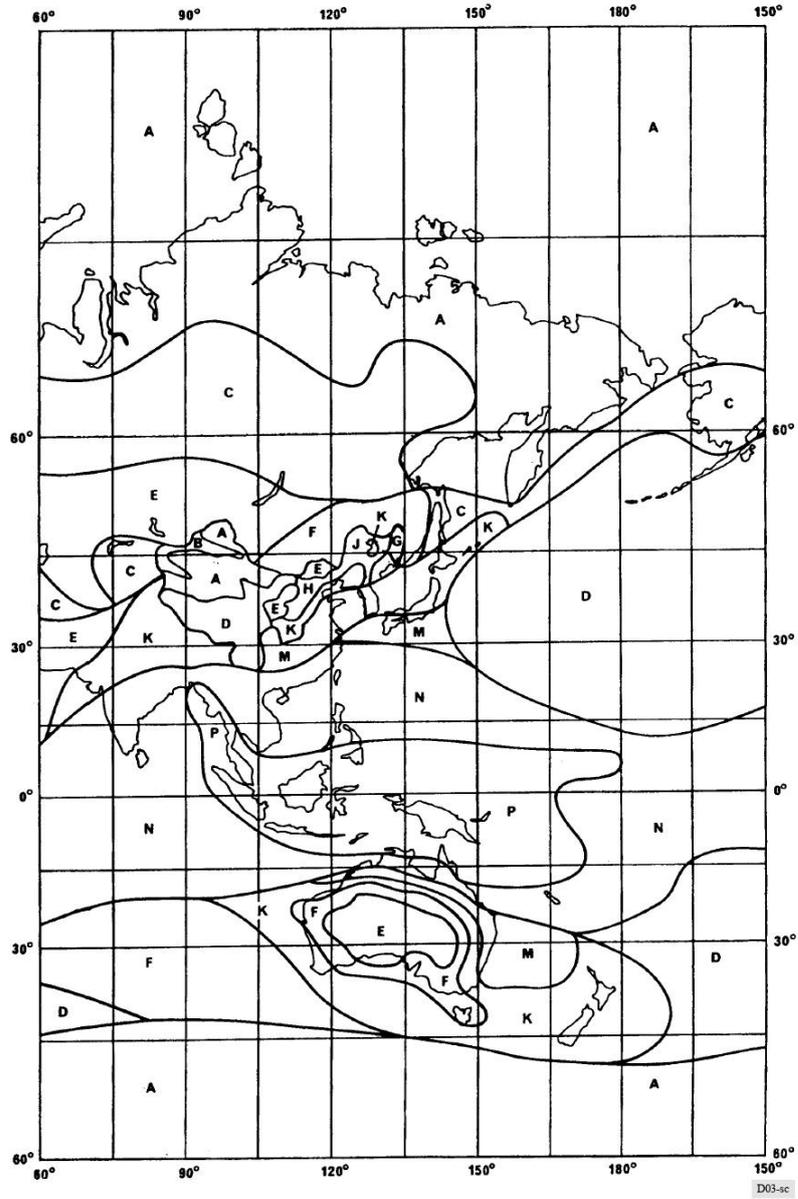


FIGURA 2
(Véase el cuadro 1)



D02.sc

FIGURA 3
(Véase el cuadro 1)





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 29/ 03 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)	
Nombres – Apellidos: Fredy Santiago Cujilema Cujilema	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Informática y Electrónica	
Carrera: Telecomunicaciones	
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

