



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Diseño de una red inalámbrica para mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos en un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio.

AUTORES:

Nubia Estefanía Alvia Mejillón
Erika Lisbeth Neira Lino

DOCENTE TUTOR:

Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

APROBACIÓN DE DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente tutor del trabajo de Integración Curricular denominado: **“Diseño de una red inalámbrica para mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos en un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio”**, elaborado por **Nubia Estefanía Alvia Mejillón** y **Erika Lisbeth Neira Lino**, estudiantes de la Carrera de Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniería en Telecomunicaciones, me permito declarar que, tras supervisar el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos. En consecuencia, lo considero apto en todos sus aspectos y listo para ser evaluado por el docente especialista.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniel Jaramillo Chamba', is written over a horizontal line.

Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr.

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN AUTORÍA DE LAS ESTUDIANTES

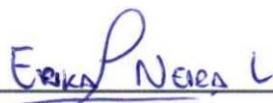
El presente trabajo de Integración Curricular con el título “**Diseño de una red inalámbrica para mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos en un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio**”, declaramos que la concepción análisis y resultados son originales a la actividad educativa en el área de Telecomunicaciones.

Atentamente



Nubia Estefanía Alvia Mejillón

C.I. 0928012905



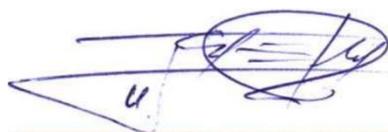
Erika Lisbeth Neira Lino

C.I. 2400207086

DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA

En mi calidad de docente especialista del trabajo de Integración Curricular, **“Diseño de una red inalámbrica para mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos en un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio”**, elaborado por **Nubia Estefanía Alvia Mejillón** y **Erika Lisbeth Neira Lino**, estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniería en Telecomunicaciones, me permito declarar que, tras supervisar el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos. En consecuencia, lo considero apto en todos sus aspectos y listo para la sustentación del trabajo.

Atentamente



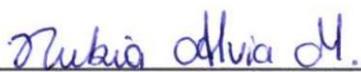
Ing. Carlos Andrade Caicho, Mgtr.

DOCENTE ESPECIALISTA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Quienes suscriben, Nubia Estefanía Alvia Mejillón con C.I. 0928012905 y Erika Lisbeth Neira Lino con C.I. 2400207086, estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, declaramos que el trabajo de titulación denominada “**Diseño de una red inalámbrica para mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos en un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio**” pertenece y es exclusiva responsabilidad de las autoras y pertenece al patrimonio intelectual de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Atentamente



Nubia Estefanía Alvia Mejillón

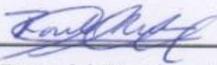
C.I. 0928012905



Erika Lisbeth Neira Lino

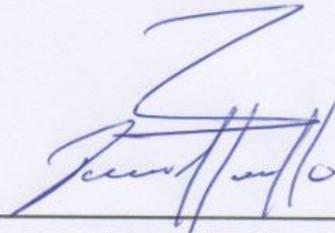
C.I. 2400207086

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Ronald Rovira Jurado. Ph.D.

DIRECTOR DE LA CARRERA



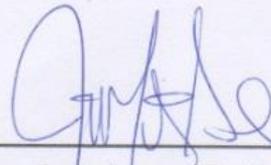
Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr.

DOCENTE TUTOR



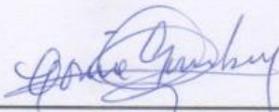
Ing. Carlos Andrade Caicho, Mgtr.

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Luis Amaya Fariño, Mgtr.

DOCENTE GUÍA UIC



Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgtr.

SECRETARIA

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis amados padres y hermanos por ser mis pilares fundamentales, sus esfuerzos y palabras de aliento fueron el impulso que necesitaba para continuar; saber que están orgullosos de mí por este logro alcanzado, me hace feliz, los quiero.

Y a mi querido y gran amigo Fabricio Zurita, que a pesar de la distancia y no estar presente en toda esta travesía, sus consejos, apoyo y palabras de ánimo fueron fundamentales en mi trayectoria estudiantil, estuviste al pendiente y creíste en mí siempre.

Nubia Alvia Mejillón

Dedico mi trabajo a toda mi familia, por ser esa parte fundamental en esta trayectoria, a mis padres Fabricio Neira y Cristina Lino por su esfuerzo y sacrificio que han permitido que llegue a este momento y dar este paso importante en mi vida.

A una persona especial por llegar a formar parte de este proceso, por creer en mí cuando a veces dudaba de mis conocimientos, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por la paciencia que siempre sostiene.

Y en especial a mis abuelitas que en su momento me brindaron todo su apoyo, su amor, su cariño, sus consejos y conocimientos que siempre los tendré presente dentro de mi corazón.

Esta tesis va dirigida a cada una de ustedes, por ser el pilar fundamental dentro de mi formación como profesional.

Erika Lisbeth Neira Lino

AGRADECIMIENTOS

Durante toda mi trayectoria estudiantil estuve rodeada de excelentes y grandes personas, quienes siempre con un gesto me daban esa confianza y seguridad de que lo estaba haciendo bien, tanto a mis familiares, mejor amigo, amigos de la universidad, amigos del colegio, a los docentes por ser buenos conmigo, a la empresa de Telecomunicaciones que me dio la oportunidad de explorar este campo y demás, infinitas gracias.

Agradezco de todo corazón a mis queridos padres, que a pesar de los estragos y retos que la vida nos pone todos los días, han sido esa luz tenue que ilumina al final del túnel, el fruto de su amor, apoyo, confianza, regaño y risas se ve reflejado en la persona que soy actualmente; a mis hermanos: Jonnathan y Yulissa, quienes siempre hemos sido muy unidos, gracias por ser cómplices y participes de mis locuras.

A la gran amiga que la universidad me brindó Erika Neira, por estar conmigo, por ser la persona con la que inicié y voy a terminar esta etapa, muchas gracias por tu bonita amistad; a nuestro grupo de amigos, compañeros de curso y como no docentes que fueron como amigos todos estos años, los cuales impartieron sus grandes conocimientos, ayudándonos a crecer e impulsarnos a no quedarnos sin seguir aprendiendo.

Les quedo más que agradecida y les deseo éxito en todo lo que la vida les depare en el futuro.

*“Cuanto más grande sueñes,
más grande crecerás,
mientras no te rindas y te esfuerces,
tu sueño definitivamente se hará realidad”*

Nubia Alvia Mejillón

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fuerza y la fortaleza para seguir adelante con cada una de mis metas.

A toda mi familia, a mis padres por estar en cada uno de mis pasos como profesional, también en especial a mi Tío Paul Neira por brindar ese aliento y el apoyo económico que en su momento me ayudo en este proceso.

Al Ing. Daniel Jaramillo por ser nuestro guía tutor en el desarrollo de este proyecto por brindarnos su tiempo, conocimientos como docente.

Y como no a mi compañera y amiga Nubia Alvia el cual estoy agradecida por la paciencia brindada, dándonos cada una el aliento necesario para poder seguir adelante y no caer ante este proceso.

A cada uno de los compañeros y amigos de curso por brindarnos parte de sus conocimientos, a mi persona especial por estar en cada uno de los momentos que necesité de su apoyo.

Quedo totalmente agradecida con cada uno de ustedes por su apoyo incondicional.

Erika Lisbeth Neira Lino

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DE DOCENTE TUTOR	II
DECLARACIÓN AUTORÍA DE LAS ESTUDIANTES	III
DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	V
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTOS	IX
ÍNDICE GENERAL	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIX
ÍNDICE DE ANEXOS	XX
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	XXI
RESUMEN	XXIV
ABSTRACT	XXV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. GENERALIDADES DE LA PROPUESTA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Descripción del proyecto	4
1.3. Objetivos del proyecto	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
1.4. Justificación	6
1.5. Alcance del proyecto	8

1.6. Metodología.....	8
1.7. Resultados esperados.....	12
CAPÍTULO II.....	15
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA.....	15
2.1. Marco Contextual	15
2.2. Marco Conceptual.....	15
2.2.1. Evolución de los servicios de internet	15
2.2.2. Principales avances.....	19
2.2.3. Redes	20
2.2.4. Medios de Transmisión.....	22
2.2.5. Técnicas de comunicación.....	37
2.2.6. Técnicas de mejoramiento del ancho de banda	39
2.2.7. Redundancia de datos en redes inalámbricas	41
2.2.8. Bonding	45
2.2.9. Ancho de canal.....	49
CAPÍTULO III	51
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	51
3.1. Componentes de la propuesta	51
3.1.1. Componentes Físicos.....	51
3.1.2. Componente Lógicos.....	58
3.2. Arquitectura de la red inalámbrica.....	60
3.3. Diseño de la red inalámbrica implementada.....	61
3.3.1. Diseño de topología física	61
3.3.2. Diseño de topología lógica	62
3.3.3. Diseño de ubicación de equipos	64
3.4. Proveedor de servicio de internet	70

3.5. Configuración de equipos.....	70
3.5.1. Instalación del software WinBox.....	70
3.5.2. Configuración de antena QRT 5 - AP	72
3.5.3. Configuración de antena QRT 5 - CLIENTE	76
3.5.4. Configuración de antena DynaDish 5 - AP	81
3.5.5. Configuración de antena DynaDish 5 - CLIENTE.....	85
3.5.6. Configuración de router Mikrotik RB4011iGS+RM por WinBox	90
3.5.7. Configuración de router Mikrotik hEX por WinBox.....	94
3.5.8. Configuración del Protocolo VRRP	99
3.6. Estudio de Factibilidad	102
3.6.1. Factibilidad técnica.....	102
3.6.2. Costos de la propuesta	102
CAPÍTULO IV	104
4. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	104
4.1. Cálculos de pérdidas de potencia.....	104
4.1.1. Parámetros y características de las antenas RB911G-5HPnD-QRT	104
4.1.2. Cálculo del radioenlace_1 simulado de antenas RB911G-5HPnD-QRT....	106
4.1.3. Parámetros y características de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3	109
4.1.4. Cálculo del radioenlace_2 simulado de antenas RBDynaDishG-5HacDr3.	111
4.1.5. Cálculos de ancho de banda teóricos total de Bonding	114
4.2. Pruebas de conectividad de cada equipo	115
4.3. Análisis de resultados de bonding y redundancia de datos.....	117
CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la red a implementar.....	10
Figura 2. Diseño de una red de área local (LAN).....	21
Figura 3. Diseño de una red de área metropolitana (MAN)	21
Figura 4. Diseño de una red de área amplia (WAN).....	22
Figura 5. Cable coaxial.....	23
Figura 6. Par trenzado.....	24
Figura 7. Fibra óptica.....	25
Figura 8. Fibra monomodo	26
Figura 9. Fibra multimodo.....	26
Figura 10. Diseño de las comunicaciones inalámbricas	28
Figura 11. Ondas de radio.....	28
Figura 12. Comunicación por microondas	29
Figura 13. Infrarrojos.....	29
Figura 14. Zona de Fresnel	32
Figura 15. Regiones de la zona de Fresnel	33
Figura 16. Demostración de multipath	34
Figura 17. Curvatura de la Tierra.....	35
Figura 18. Diagrama de protocolo VRRP.....	43
Figura 19. Diseño de la red mediante la técnica de bonding.....	47
Figura 20. Router RB4011iGS+RM	52
Figura 21. Router hEX.....	53
Figura 22. Router Tenda	55

Figura 23. Antena DynaDish 5	56
Figura 24. Antena QRT 5.....	57
Figura 25. Cable UTP Categoría 6	58
Figura 26. Conectores RJ-45	58
Figura 27. SketchUp.....	59
Figura 28. WinBox	59
Figura 29. Software Radio Mobile	60
Figura 30. Diagrama de la red inalámbrica	61
Figura 31. Diseño de la red inalámbrica implementada	62
Figura 32. Página oficial de SketchUp	64
Figura 33. Inicio de sesión en la página de SketchUp.....	64
Figura 34. Opciones de archivos de descarga para SketchUp	65
Figura 35. Archivo descargado de SketchUp	65
Figura 36. Pantalla de instalación de SketchUp	66
Figura 37. Instalación de SketchUp.....	66
Figura 38. Íconos del programa SketchUp	66
Figura 39. Pantalla de inicio de SketchUp	67
Figura 40. Ubicación de las antenas en los laboratorios de Facsistel.....	68
Figura 41. Ubicación del router RB4011iGS+RM	68
Figura 42. Ubicación de las antenas AP	69
Figura 43. Ubicación del router RB750Gr3	69
Figura 44. Ubicación de las antenas Clientes	70
Figura 45. Página oficial de Mikrotik.....	71
Figura 46. Página WinBox - opción Software	71

Figura 47. Versiones de WinBox	71
Figura 48. Archivo descargado de WinBox	72
Figura 49. Pantalla principal de WinBox.....	72
Figura 50. Ventana de WinBox para acceder a la antena QRT 5 AP	73
Figura 51. Creación del bridge (antena QRT 5 – AP).....	74
Figura 52. Asignación de interfaces del bridge (antena QRT 5 - AP)	75
Figura 53. Asignación de IP al puerto LAN (antena QRT 5 – AP).....	75
Figura 54. Configuración de la interfaz WLAN (antena QRT 5 – AP)	76
Figura 55. Creación del bridge (antena QRT 5 – Cliente).....	77
Figura 56. Asignación de interfaces del bridge (antena QRT 5 – Cliente).....	78
Figura 57. Habilitación de la interfaz WLAN (antena QRT 5 – Cliente).....	78
Figura 58. Asignación de frecuencia para escaneo de antena QRT 5 - AP.....	79
Figura 59. Escaneo de la antena QRT 5 – AP.....	79
Figura 60. Activación de casillas de Tx y Rx (antena QRT 5 – Cliente).....	80
Figura 61. Comparación de configuraciones de antena QRT 5 AP – Cliente.....	80
Figura 62. Asignación de IP al puerto LAN (antena QRT 5 – Cliente).....	81
Figura 63. Verificación de megas transmitidos en el enlace de antenas QRT	81
Figura 64. Ventana de WinBox para acceder a la antena DynaDish AP.....	82
Figura 65. Creación del bridge (antena DynaDish – AP).....	83
Figura 66. Asignación de interfaces del bridge (antena DynaDish – AP)	84
Figura 67. Asignación de IP al puerto LAN (antena DynaDish – AP).....	84
Figura 68. Configuración de la interfaz WLAN (antena DynaDish – AP).....	85
Figura 69. Creación del bridge (antena DynaDish – Cliente)	85
Figura 70. Asignación de interfaces del bridge (antena DynaDish – Cliente)	86

Figura 71. Habilitación de la interfaz WLAN (antena DynaDish – Cliente)	87
Figura 72. Escaneo de la antena DynaDish – AP	87
Figura 73. Activación de casillas de Tx y Rx (antena DynaDish – Cliente)	88
Figura 74. Comparación de configuraciones de antena DynaDish AP – Cliente	88
Figura 75. Asignación de IP al puerto LAN (antena DynaDish – Cliente)	89
Figura 76. Verificación de megas transmitidos en el enlace de antenas DynaDish.....	89
Figura 77. Ventana de WinBox para acceder al router RB4011iGS+RM	90
Figura 78. Creación del bridge (router RB4011iGS+RM)	91
Figura 79. Asignación de interfaces del bridge (router RB4011iGS+RM)	92
Figura 80. Asignación de IP a cada puerto del router RB4011iGS+RM.....	92
Figura 81. Creación de la interfaz bonding (router RB4011iGS+RM)	93
Figura 82. Configuración de la interfaz bonding (router RB4011iGS+RM).....	93
Figura 83. Asignación de IP a la interfaz bonding (router RB4011iGS+RM)	94
Figura 84. Ventana de WinBox para acceder al router RB750Gr3.....	94
Figura 85. Creación del bridge (router RB750Gr3)	95
Figura 86. Asignación de interfaces del bridge (router RB750Gr3).....	95
Figura 87. Asignación de IP a cada puerto del router RB750Gr3	96
Figura 88. Creación de la interfaz bonding (RB750Gr3)	96
Figura 89. Configuración de la interfaz bonding (router RB750Gr3).....	97
Figura 90. Asignación de IP a la interfaz bonding (router RB750Gr3).....	97
Figura 91. Pruebas de ancho de banda	98
Figura 92. Creación de protocolo VRRP Máster	99
Figura 93. Configuración del protocolo VRRP Máster	100
Figura 94. Asignación de IP a la interfaz del protocolo VRRP Máster	100

Figura 95. Creación de protocolo VRRP Slave	101
Figura 96. Configuración del protocolo VRRP Slave	101
Figura 97. Asignación de IP a la interfaz del protocolo VRRP Slave	102
Figura 98. Diseño de la simulación de los enlaces	104
Figura 99. Direccionamiento del enlace_1 con las antenas RB911G-5HPnD-QRT ...	105
Figura 100. Direccionamiento del enlace_2 con las antenas RBDynaDishG-5HacDr3	110
Figura 101. Ping realizado desde el router RB4011IGS+RM a la antena RB911G- 5HPnD-QRT (AP)	116
Figura 102. Ping realizado desde el router RB4011IGS+RM a la antena RBDynaDishG- 5HacDr3 (AP).....	116
Figura 103. Ping realizado desde el router RB750Gr3 a la antena RB911G-5HPnD-QRT (Cliente).....	117
Figura 104. Ping realizado desde el router RB750Gr3 a la antena RBDynaDishG- 5HacDr3 (Cliente)	117
Figura 105. Ping hecho para verificar conexión entre los routers	118
Figura 106. Ping al DNS de Google desde el CMD	118
Figura 107. Verificación de conexión a internet por medio del panel de control.....	119
Figura 108. Asignación de IP manual para tener acceso a internet desde la PC	119
Figura 109. Acceso a internet por medio de la red	120
Figura 110. Tiempo de conexión aplicando el protocolo VRRP	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de las comunicaciones alámbricas	27
---	----

Tabla 2. Comparativa de las comunicaciones inalámbricas	30
Tabla 3. Comparativa entre comunicaciones alámbricas e inalámbricas	31
Tabla 4. Tabla comparativa de las técnicas de comunicación.....	39
Tabla 5. Especificaciones de anchos de canal	50
Tabla 6. Especificaciones del router RB4011iGS+RM	52
Tabla 7. Especificaciones del router hEX.....	53
Tabla 8. Especificaciones del router Tenda	54
Tabla 9. Especificaciones de la antena DynaDish 5	56
Tabla 10. Especificaciones de la antena QRT 5.....	57
Tabla 11. Distribución de los puertos de cada equipo	63
Tabla 12. IP asignadas a cada dispositivo.....	63
Tabla 13. Costos de equipos	103
Tabla 14. Costos de materiales	103
Tabla 15. Precios finales.....	103
Tabla 16. Parámetros y características de antena RB911G-5HPnD-QRT	105
Tabla 17. Coordenadas para la ubicación ce las antenas RB911G-5HPnD-QRT	106
Tabla 18. Parámetros y características de antena RBDynaDishG-5HacDr3	110
Tabla 19. Coordenadas para la ubicación ce las antenas RBDynaDishG-5HacDr3.....	111

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Distancia total del PTP con antenas RB911G-5HPnD-QRT	107
Ecuación 2: Azimut TX-RX	107
Ecuación 3: Pérdida del espacio libre de las antenas RB911G-5HPnD-QRT	108

Ecuación 4: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente con las antenas RB911G-5HPnD-QRT	108
Ecuación 5: Nivel de Potencia Recibida del enlace con las antenas RB911G-5HPnD-QRT	108
Ecuación 6: Zona de Fresnel del enlace de las antenas RB911G-5HPnD-QRT	109
Ecuación 7: Relación Señal/Ruido del enlace de las antenas RB911G-5HPnD-QRT .	109
Ecuación 8: Distancia del enlace PTP con antenas RBDynaDishG-5HacDr3	112
Ecuación 9: Azimut TX-Rx de la antena RBDynaDishG-5HacDr3	112
Ecuación 10: Pérdida del espacio libre de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3	112
Ecuación 11: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente de las RBDynaDishG-5HacDr3	113
Ecuación 12: Nivel de Potencia de las RBDynaDishG-5HacDr3	113
Ecuación 13: Zona de Fresnel de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3	113
Ecuación 14: Relación señal/ruido de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3	114
Ecuación 15: Ancho total de Bonding	114
Ecuación 16: Ancho de banda efectivo de Bonding	115
Ecuación 17: Ancho de banda total real	115

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Armado de las antenas QRT y DynaDish.....	131
Anexo 2. Ubicación de las antenas Mikrotik en los exteriores de los laboratorios de Facistel para la comunicación punto a punto	132
Anexo 3. Pruebas para la verificación de envío de datos mediante la técnica Bonding	132

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
AM	Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud)
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network (Red de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada)
CPU	Central Processing Unit (Unidad Central de Procedimientos)
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol (Protocolo de Configuración Dinámica de Host)
DNS	Domain Name System (Sistema de Nombres de Dominio)
EPON	Ethernet Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva Ethernet)
FDM	Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia)
FM	Frequency Modulation (Frecuencia Modulada)
FTP	File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Archivos)
GPON	Gigabit Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva Gigabit)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
HSRP	Hot Standby Router Protocol (Protocolo de Enrutador en Espera Activa)
IDS	Intrusion Detection System (Sistema de Detección de Intrusiones)
IDUS	Indoor Unit (Unidad Interior)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)

IPS	Intrusion Prevention System (Sistema de Prevención de Intrusiones)
ISP	Internet Service Provider (Proveedor de Servicio de Internet)
ITM	Intelligent Traffic Management (Gestión Inteligente del Tráfico)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local)
LCP	Link Control Protocol (Protocolo de Control de Enlace)
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)
LOS	Line of Sight (Línea de Vista)
MAN	Metropolitan Area Network (Red de Área Metropolitana)
MIMO	Multiple Input Multiple Output (Múltiple Entrada Múltiple Salida)
ODUS	Outdoor Unit (Unidad Exterior)
OSI	Open System Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)
PC	Personal Computer (Computadora Personal)
PM	Phase Modulation (Modulación de Fase)
PTP	Point to Point (Punto a Punto)
QoS	Quality of Service (Calidad de Servicio)
RAM	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)
SLAs	Service Level Agreements (Acuerdos de Nivel de Servicio)
SNR	Signal to Noise Ratio (Relación Señal/Ruido)
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet)
TDM	Time Division Multiplexing (Multiplexación por División de Tiempo)

TIA/EIA	Telecommunications Industry Association/Electronic Industries Alliance (Asociación de la Industria de Telecomunicaciones/Alianza de Industrias Electrónicas)
UIT-T	International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización de Telecomunicaciones)
USB	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
UTP	Unshielded Twisted Pair (Par Trenzado Sin Blindaje)
VLANs	Virtual Local Area Networks (Redes de Área Local Virtuales)
VoIP	Voice Over Internet Protocol (Voz Sobre Protocolo de Internet)
VPN	Virtual Private Network (Red Privada Virtual)
VRRP	Virtual Router Redundancy Protocol (Protocolo de Redundancia de Enrutador Virtual)
WAN	Wide Area Network (Red de Área Amplia)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)
Wi-Max	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)
xDSL	Digital Subscriber Line (Línea de Suscriptor Digital)

RESUMEN

Las comunicaciones inalámbricas se han convertido en una tecnología importante, partiendo desde las comunicaciones personales hasta las redes empresariales. Puesto que han tenido cambios favorables que han ayudado a proporcionar conectividad rápida, fácil y segura, permitiendo tener acceso a información de manera confiable y a mantener a las personas comunicadas.

En la presente propuesta tecnológica se plantea diseñar una red inalámbrica de enlace punto a punto con la técnica de bonding brindando conexión mediante radio enlaces, basado en un diseño realizado de manera previa en el software Radio Mobile de los laboratorios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena; teniendo en cuenta los aspectos, técnicas y parámetros requeridos en su implementación, y que por medio de estos se podrán realizar las configuraciones de interfaces permitiendo así generar la comunicación de las antenas.

Como solución de esta propuesta tecnológica se buscó brindar una técnica que sea de beneficio para un ambiente controlado de servicios de internet, que ayude en la reducción de costos cuando la transmisión de información que se desee brindar sea a grandes distancias, puesto a que este facilita su comunicación al ser implementada de manera inalámbrica o por radio enlaces; al mismo tiempo mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos.

Además, ayudar a superar los desafíos actuales de conectividad minimizando la posible pérdida de información, y sentando una base sólida para la gestión continua y mantenimiento eficiente de la red. La efectividad de la red diseñada se validará mediante pruebas que permitan evaluar el rendimiento en términos de ancho de banda, latencia y redundancia de datos. Para ello, se implementará el protocolo VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol), el cual permite la conmutación automática de rutas alternas en caso de falla en un enlace, posibilitando una rápida conexión.

Palabras claves: Inalámbrica, Bonding, radioenlace, Ancho de banda, VRRP

ABSTRACT

Wireless communications have become an important technology, from personal communications to enterprise networks. Since they have had favorable changes that have helped to provide fast, easy and secure connectivity, allowing access to information reliably and to keep people connected.

In this technological proposal we propose to design a wireless network of point to point link with the bonding technique providing connection through radio links, based on a design previously made in the Radio Mobile software of the laboratories of the Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena; taking into account the aspects, techniques and parameters required in its implementation, and that through these it will be possible to make the interface configurations allowing to generate the communication of the antennas.

As a solution of this technological proposal, we sought to provide a technique that is beneficial for a controlled environment of internet services, which helps in reducing costs when the transmission of information to be provided is over long distances, since it facilitates communication to be implemented wirelessly or by radio links; while improving the bandwidth and data redundancy.

In addition, it helps to overcome current connectivity challenges by minimizing the possible loss of information and laying a solid foundation for the continuous management and efficient maintenance of the network. The effectiveness of the designed network will be validated through test to evaluate performance in terms of bandwidth, latency and data redundancy. To this end, the Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) will be implemented, which allows the automatic switching of alternate routers in the event of a link failure, enabling a fast connection.

Keywords: Wireless, Bonding, Radio link, Bandwidth, VRRP

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas dependen cada vez más de las redes inalámbricas para sus operaciones. Estas redes se utilizan para una variedad de propósitos, incluyendo el acceso a Internet, la transmisión de datos y la comunicación VoIP (Voice Over Internet Protocol).

Existen empresas que no suelen utilizar la técnica de bonding en radio enlaces, es por eso que en el laboratorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena ubicada en el cantón La Libertad se llevará a cabo una propuesta e implementación de una red inalámbrica que simula un ambiente controlado. Esta red estará comprendida entre dos puntos: el laboratorio de Telecomunicaciones y el laboratorio de Electrónica y Automatización. Utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio se buscará mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos, con el objetivo de obtener valores que muestren y validan el aumento de ancho de banda para los usuarios durante la comunicación. Esta técnica es instrumental siendo realizada para soportar la transmisión de datos de alta velocidad, necesaria para pruebas, simulaciones y operaciones críticas.

El Bonding es una técnica en redes inalámbricas que permite la redistribución automática del tráfico en caso de fallo en los enlaces, asegurando así la continuidad operativa. Esta capacidad de rendimiento minimiza interrupciones, aspecto esencial en entornos que requieren estabilidad, como experimentos o pruebas técnicas a garantizar un flujo de datos confiable y constante. Este diseño de red inalámbrica, para la mejorara del ancho de banda y la redundancia de datos mediante la técnica de Bonding en enlaces de radio, representa un avance significativo en la modernización de la infraestructura de comunicaciones. Implementando en un entorno controlado, ese enfoque proporciona una red más confiable, escalable y flexible, preparada para responder a las crecientes demandas tecnológicas y mejorar la disponibilidad y eficiencia de la conectividad.

La mejora del ancho de banda y la redundancia a través de bonding abre la puerta a nuevas oportunidades en el laboratorio. Permite a los estudiantes poder beneficiarse de una mayor capacidad para manejar múltiples flujos de datos simultáneos, siendo útil en pruebas complejas que involucran múltiples dispositivos y protocolos. Asimismo, al ser una red más robusta y confiable facilita la implementación de nuevas aplicaciones.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

1.1. Antecedentes

Lara B. Deek Elizabeth M. Belding y Sung-Ju Lee (2011) hablan sobre el impacto de la vinculación de canales con respecto a la gestión de redes, tratando de llegar a comprender las características de la unión y los posibles factores que influyen para poder predecir el comportamiento y la maximización del rendimiento de la red, el mismo que indica que los estándares de redes inalámbricas trabajan en canales de ancho de banda fijo de 20 MHz, permitiendo facilitar la implementación de los mismos con una transmisión de mayor amplitud y a la vez realizando el monitoreo con la posibilidad de unir canales de red con más del 80% [1].

Lo cual especifica que la vinculación de canales permite combinar dos o más canales para poder crear un canal de mayor ancho de banda, es un proceso que llega a involucrar varios factores, como el ancho de banda de los canales, la interferencia entre canales y la ubicación de los dispositivos tomando en cuenta aquello para que el procedimiento se realice de manera efectiva y así mejorar el rendimiento de la red.

Como mencionan Lara Deek, Eduard García-Villegas, Elizabeth Belding, Sung-Ju Lee, Kevin Almeroth (2011), en el artículo a continuación, nos da a conocer que la unión de canales o channel bonding puede aumentar la velocidad de transmisión de datos en el estándar IEEE 802.11n permitiendo que funcionen en canales de 40 MHz de ancho de banda en comparación a los canales de 20 MHz gracias a la incorporación de la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output), teniendo en cuenta que se puede proporcionar un inconveniente, ya que a medida que aumenta el ancho de banda se genera un menor alcance de transmisión y mayor susceptibilidad a interferencias [1].

Las tecnologías mimo en redes 802.11 n posibilitan un aumento en la velocidad de transmisión a través de la unión de canales, lo cual incrementa la capacidad de datos. Sin embargo, esta aplicación del ancho de canal reduce la señal-ruido (SNR) en aproximadamente 3 dB, lo que puede elevar la tasa de errores en la recepción. Para mejorar el rendimiento sin comprometer la calidad de la conexión, es necesario gestionar cuidadosamente este equilibrio entre mayor velocidad de datos y la susceptibilidad a

interferencia. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que los beneficios de la unión de canales en 802.11n están influenciados por factores de la red, como la interferencia y la pérdida. Por lo tanto, las soluciones de gestión de canales en WLAN 802.11n deben comprender el comportamiento de la vinculación de canales para tomar decisiones sobre como asignar el ancho de banda en la red.

S. Anand, K. Hong, S. Sengupta y R. Chandramouli (2011) mencionan como la fragmentación de canales en las redes de comunicación inalámbrica pueden tener efectos negativos en la capacidad y la calidad del servicio. Por lo cual se sabe que cuando se dividían las bandas de espectro en secciones es posible que se generen problemas de interferencia y menor eficiencia en la transmisión de datos. Sin embargo, la fragmentación es un proceso en la que puede llegar a reducir la capacidad del canal hasta en un 16% por ende llega a reducir la velocidad de datos entre 200 Kbps y 9 Mbps [2].

La fragmentación abundante puede llegar a provocar la reducción de la velocidad de datos y la capacidad del canal lo que suele presentar problemas de rendimiento tanto que hasta ocasiona la interrupción del servicio, por lo tanto, suele tener menor eficiencia en la transmisión de datos ya que los paquetes son pequeños y no permiten aprovechar el ancho de banda disponible.

Desde el punto de vista de Guruh Fajar Shidik y Zul Azri bin Muhamad Noh (2013) destacan la importancia de la técnica Channel Bonding, siendo una tecnología que ayuda a satisfacer las demandas de ancho de banda y mejorar el rendimiento de las redes inalámbricas punto a punto; permitiendo duplicar su rendimiento de ancho de banda al combinar dos interfaces en uno solo [3].

Las demandas de ancho de banda de alto rendimiento alientan a la tecnología inalámbrica punto a punto a ofrecer más ancho de banda para diversas aplicaciones. Donde Channel Bonding brinda la posibilidad de que el estándar 802.11n inalámbrico duplique su rendimiento, proporcionando un aumento significativo. En Channel Bonding, varios canales cercanos se unen en una banda ancha proporcionando que la banda de transmisión se amplíe, entonces la transmisión de paquetes aumentará, conduciendo a la reducción del tiempo de transmisión de paquetes.

Por lo tanto, la presente investigación se encamina hacia la unión de enlaces de radio puesto que genera un sistema de protección de enlaces eficientes, donde los puertos proporcionados se pueden utilizar para el transporte de datos, en el que a cada interfaz física se le denominara un esclavo con el que se puede realizar el balanceo de cargas entre las dos interfaces, logrando un ancho de banda total equivalente a la suma de los anchos de banda de cada uno de los esclavos y así mejorar el rendimiento de la red. El bonding en radioenlace ha sido una técnica de uso extendido en los enlaces de microondas para redes troncales, permitiendo la agregación de múltiples canales para aumentar la capacidad de transmisión y mejorar el rendimiento general de la red.

El diseño de una red inalámbrica para el laboratorio de telecomunicaciones, que incorpora bonding en enlaces de radio, supone un avance clave en la gestión eficiente del ancho de banda y la redundancia de datos. Con un enfoque en la innovación tecnológica y adaptado a las necesidades particulares de los laboratorios, esta solución tiene el potencial de establecer un nuevo estándar en administración de redes inalámbricas en entornos controlados.

En este caso se procederá a realizar el estudio y la implementación del mismo, pudiendo evaluar y comprobar el rendimiento del envío de datos e internet a un punto alejado de manera inalámbrica, es decir, por radio enlaces sin la necesidad de realizarla por fibra óptica, teniendo en cuenta que esto demanda un alto coste por el material y a la vez garantizando la calidad en la comunicación.

1.2. Descripción del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo abordar las limitaciones de conectividad en un ambiente controlado siendo este en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a través de la implementación de una red inalámbrica mejorada. El proyecto tiene como objetivo principal es perfeccionar el ancho de banda y la redundancia de datos mediante la implementación de la técnica de Bonding en enlaces de radio. Para alcanzar este objetivo se realizará un análisis comparativo previo entre bonding y otras técnicas y soluciones disponibles en el mercado, evaluando factores cruciales como costos, complejidad y efectividad.

En la fase inicial se llevará a cabo un análisis detallado de las necesidades específicas del entorno controlado, que incluirá la evaluación de los flujos de datos actual, la

identificación de posibles puntos de congestión y las expectativas de crecimiento. Se seleccionará los equipos adecuados y se implementará la red mediante la instalación y configuración de los enlaces de radio en las diferentes áreas del laboratorio para poder asegurar que sea favorable la implementación de esta tecnología.

En la segunda etapa se realizarán las debidas configuraciones en cada equipo Mikrotik con la técnica bonding para efectuar la agregación de los enlaces de las antenas permitiendo verificar la mejora de ancho de banda. Se busca también mediante la asignación del protocolo VRRP la conmutación automática de rutas alternas en caso de falla en un enlace, posibilitando una rápida conexión y redundancia de datos ayudando a minimizar la posible pérdida de información y sentando una base sólida para la gestión continua y mantenimiento eficiente de la red. La efectividad de la red diseñada se validará mediante pruebas que permitan evaluar el rendimiento en términos de ancho de banda, latencia y redundancia de datos.

Y como última etapa se harán los debidos cálculos para determinar las distancias del enlace punto a punto de las antenas, posibles valores de pérdida del espacio libre, potencia isotrópica radiada equivalente de las antenas, niveles de potencia, zona de Fresnel de los enlaces y la relación S/N para una correcta implementación del esquema del Bonding. Esto con la finalidad de conocer los posibles factores ambientales que puedan llegar a afectar la calidad de la señal como obstáculos, interferencias electromagnéticas y las condiciones geográficas.

Tras la implementación de la red inalámbrica, se realizan pruebas exhaustivas para corroborar que se cumplan los objetivos, como el aumento de ancho de banda y la redundancia, datos que ayudaran en la recopilación y análisis para evaluar el rendimiento y la estabilidad de la red en condiciones reales si los resultados son positivos, considerando que la implementación ha sido exitosa.

Con el seguimiento de estas etapas se prevé una mejora significativa en el ancho de banda, una mayor redundancia y mejoramiento de la eficiencia en la conmutación automática. Este proyecto no solo resuelve los problemas actuales, sino que también sienta las bases para una infraestructura de red más sólida y competitiva a futuro.

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una red inalámbrica para mejorar el ancho de banda y la redundancia de datos en un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la infraestructura del laboratorio de Telecomunicaciones en el software de simulación 3D SketchUp, para la visualización y planificación del enlace de radio comprendida entre 2 puntos.
- Configurar los equipos RB4011iGS+RM y RB750Gr3 asignando direcciones IP adecuadas a cada enlace inalámbrico, con el fin de establecer una interfaz bonding eficaz entre ambos dispositivos.
- Definir el modo balance-rr en la interfaz Bonding, para lo que permitirá una distribución equilibrada del tráfico entre los enlaces, maximizando así el ancho de banda disponible y mejorando el rendimiento de la red,
- Implementar el protocolo VRRP como solución de respaldos en radioenlaces, asegurando la disponibilidad continua de la red ante posibles fallos o interrupciones en los enlaces inalámbricos.
- Determinar la distancia de separación adecuada entre los dos enlaces de radio.
- Calcular el presupuesto de los enlaces de radiofrecuencia, evaluando las pérdidas de potencia debidas a la distancia.
- Ejecutar pruebas de rendimiento y mediciones con el fin de analizar la eficiencia de la técnica Bonding, garantizando que la red alcance parámetros de ancho de banda y disponibilidad.

1.4. Justificación

Debido a la creciente demanda de las telecomunicaciones, cada vez son más las empresas, corporaciones públicas y privadas que requieren acceso a redes de banda ancha con el propósito de satisfacer sus necesidades de negocio y proporcionar cobertura en lugares remotos. Analizando este ámbito, los ISP (Internet Service Provider) o proveedores de servicio de internet hallan formas rápidas, económicas y precisas de brindar conexión a internet a los usuarios que se encuentren en lugares rurales o lejos de la ciudad. De entre

las tecnologías que destacan para permitir la conexión entre dos puntos son: la fibra óptica y los radioenlaces. No obstante, estos últimos, se han convertido en la solución idónea para la mayoría de las operadoras, gracias a su bajo coste, largo alcance e instalación sencilla y económica. La comunicación por radioenlace se encuentra apta ya que permite conectar las redes de acceso a poblaciones alejadas de las grandes redes troncales, proporcionando costes más accesibles que al desplegar varios kilómetros de fibra óptica. [4]

El contar con un escaso ancho de banda y una falta de redundancia en infraestructura de red es un problema, ya que puede provocar pérdidas de datos, tiempo y recursos en caso de fallo en cualquiera de los enlaces. La implementación de enlaces redundantes mediante bonding permite repartir el tráfico por medio de varias rutas, mejorando el ancho de banda y garantizando la transición continua. Esta técnica disminuye aquellas interrupciones que se presentan y minimiza los costos, siendo fundamental en aplicaciones que necesitan la alta disponibilidad.

El uso de bonding enlaces inalámbricos mejora el diseño de redes de alto rendimiento y resiliencias, ya que permite combinar varios enlaces físicos en una única interfaz virtual. Esto incrementa la capacidad de ancho de banda total, ya que la capacidad de su interfaz es la suma de cada uno de los enlaces físicos. Esta agregación no solo aumenta la tasa de transferencia, sino que también simplifica el manejo de mayores cantidades de tráfico al optimizar los recursos de la red. Además, el bonding brinda redundancia y confiabilidad al utilizar los enlaces en simultáneo. Si uno de los enlaces fallara, el tráfico ahora será enviado automáticamente hacia los enlaces activos. Asegurando la continuidad del servicio sin interrupción para el usuario.

Bonding en redes inalámbricas es su flexibilidad y adaptabilidad ante futuros incrementos en el tráfico o cambios en las necesidades de comunicación. Este diseño permite expandir la red sin necesidad de modificaciones complejas o costosas en la infraestructura que se vaya a implementar. Lo que posibilita que el sistema se adapte a las necesidades crecientes del entorno, la escalabilidad del Bonding en enlaces de radio lo convierte en una alternativa práctica para proyectos a futuros.

1.5. Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto abarca el análisis técnico del diseño de una red enfocada en un ambiente controlado, con el objetivo de mejorar significativamente el ancho de banda y garantizar la redundancia de datos, asegurando la eficiencia y continuidad en las actividades prácticas y de investigación que se desarrollan en estos espacios. Este diseño estará alineado con los requerimientos técnicos específicos de los laboratorios, mejorando la conectividad y robustez de la red existente.

El proyecto integrará la técnica de bonding en enlaces de radio, el cual permite la combinación de múltiples enlaces para poder aumentar la capacidad total de la red. Para poder lograr esto, se propone la implementación de una red inalámbrica que permita aumentar la conectividad por medio de un radio enlace que comprende la técnica de bonding.

Además, se utilizarán los dispositivos RB4011iGS+RM y RB750Gr3 donde se realizará el desarrollo de la configuración detallada para la creación de la técnica de bonding, la misma que será conectada mediante una comunicación inalámbrica haciendo referencia a un radioenlace, ya que no demanda mucho costo para poder implementar esta técnica. En ella se realizarán pruebas de rendimiento para garantizar la robustez y confiabilidad de la red, permitiendo a su vez realizar correcciones y ajustar los parámetros, para así verificar mediante un monitoreo el rendimiento de la red e identificar y realizar los ajustes necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo.

Es importante recalcar que el enlace del proyecto se enfoca en la implementación de una red inalámbrica aplicando la técnica de bonding en un ambiente controlado donde proporcionará una solución integral para el mejoramiento del ancho de banda y evitar posibles pérdidas de conectividad, por ello se incluirá una redundancia el cual permitirá la continuidad del servicio sin interrupciones.

1.6. Metodología

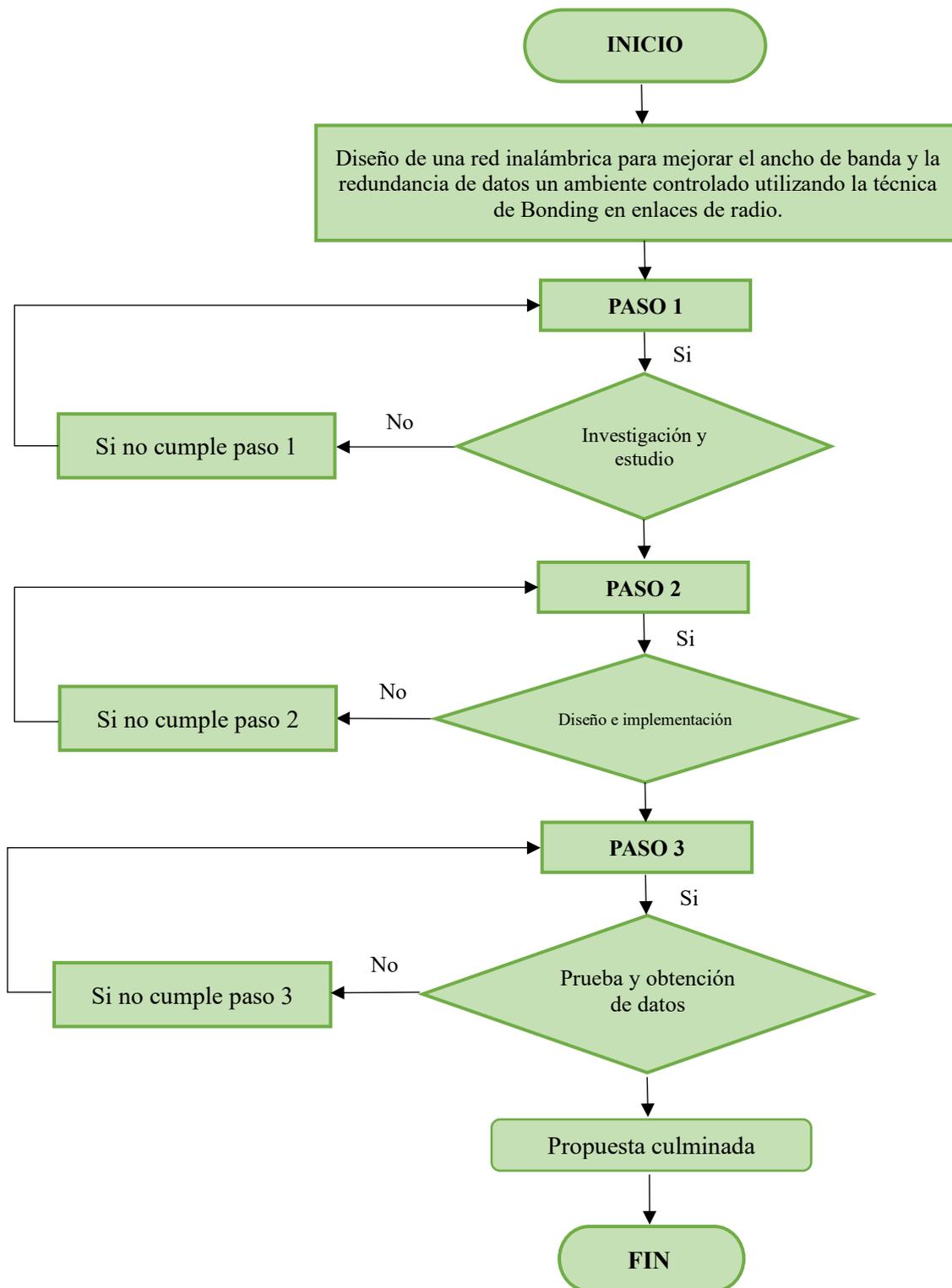
Este proyecto para su desarrollo se regirá por varios métodos de investigación para poder cumplir los objetivos propuestos. Estos son:

- **Investigación experimental:** Este método es muy importante ya que se realizará la práctica y los procesos de configuración respectiva de cada equipo, tomando en

cuenta las interfaces que se van a utilizar, así mismo realizar las pruebas de rendimiento y del mejoramiento del ancho de banda. Se toma en cuenta que también este tipo de investigación tiene parte teórica, debido a que aporta en tener un conocimiento general de los valores y cálculos generados, ya que hace uso del modelo de espacio libre y el presupuesto de enlace para compararlos con los cálculos de relación S/N y ancho de banda.

- **Investigación exploratoria:** Facilita la selección de tecnologías y métodos apropiados, establece objetivos claros para el proyecto y valida las hipótesis iniciales sobre el impacto de la técnica de bonding en la mejora de la red. La identificación temprana de los posibles desafíos es fundamental para mitigar riesgos, ya que esta permite poder implementar medidas preventivas desde los procesos iniciales del proyecto. Este enfoque no solo disminuye aquellas incertidumbres, sino que también favorece la creatividad en el diseño de la red, promoviendo la generación de soluciones innovadoras que nos ayudan a mejorar la eficiencia del proyecto.
- **Investigación bibliográfica:** se basa en la recopilación y análisis de información proveniente de fuentes confiables, como artículos académicos y sitios web especializados. Mediante un análisis comparativo se seleccionan las tecnologías y los protocolos más adecuados para poder respaldar la implementación del bonding. Además, la investigación bibliográfica, permite establecer un marco conceptual sólido de metodologías propuestas y ofrece soluciones documentadas justificadas de experiencias previas. De esta manera, se asegura que el diseño de la red inalámbrica este basado en conocimientos actualizados y alineado con los estándares del sector.

A partir de estas metodologías investigativas, el desarrollo del proyecto seguirá la siguiente estructura:



*Figura 1. Diagrama de flujo de la red a implementar
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Las fases que se muestran en el diagrama de flujo detallan el proceso que se realizó para la correcta implementación de la red inalámbrica, a continuación, se explica detalladamente como se realizaron las pruebas respectivas:

Paso 1: Investigación Técnica y Evaluación de Factibilidad de la Técnica Bonding y su Aplicación en Redes Inalámbricas.

En este proceso inicial, se realiza una investigación a profundidad para poder entender la tecnología a aplicar como es el caso de la Técnica de Bonding en enlaces de radio y sobre su aplicación en redes inalámbricas, en la que se necesita los requisitos técnicos para comprender las configuraciones a realizar para la implementación en un ambiente controlado.

Se revisan las características de las equipos y antenas para conocer si la técnica Bonding es factible para realizar la mejora del ancho de banda y la redundancia de datos en las redes inalámbricas. Se analiza también la infraestructura de cada uno de los laboratorios para poder asegurar que sea favorable implementar esta tecnología.

Paso 2: Diseño Detallado e Implementación del Esquema de Bonding en la Infraestructura Inalámbrica.

En esta fase se logra ejecutar el segundo, tercer y cuarto objetivo específico, mediante la información comprendida en la primera fase, se comienza a desarrollar la estructura bien detallado del diseño de la red usando el software SketchUp. Esta herramienta mejora la planificación y visualización de los enlaces de radio entre 2 nodos clave de la red, empleando una representación tridimensional que ayuda a realizar una evaluación más exhaustiva de la ubicación de cada uno de los equipos, para esta visualización se considera aspectos muy importantes como la distancia, la línea de vista y la y los posibles obstáculos que podrían perjudicar la calidad del enlace. En términos de configuración, el dispositivo RB4011iGS+RM funciona como el router central de la red, encargado de gestionar el acceso y los dispositivos conectados. En cambio, el RB750Gr3 se designa como el enrutador para los usuarios. Ambos dispositivos tienen sus propias direcciones IP específicas, garantizando así una comunicación eficiente entre los nodos. Además, se asignan roles a los protocolos configurados, garantizando que cada uno de los enlaces

funcionen como se requiere y así el sistema se encuentre listo para las pruebas de rendimiento posteriores.

Paso 3: Pruebas y Validación de la red inalámbrica con bonding.

Por lo tanto, culminando con los últimos tres objetivos del proyecto, primero es primordial determinar la distancia entre los enlaces para una correcta implementación del esquema del bonding. Esto se alcanza por medio del análisis de los datos en lo que abarca a los factores ambientales como obstáculos, interferencias electromagnéticas y las condiciones geográficas que pueden llegar a afectar la calidad de la señal. La determinación de la distancia adecuada garantiza una conexión estable, disminuyendo las pérdidas en la transmisión y asegurando un rendimiento consistente. El cálculo del presupuesto del enlace es fundamental para poder identificar las pérdidas de potencia debido por la distancia entre los puntos de transmisión, este análisis anticipa posibles degradaciones de la señal y permite ajustar la configuración para mantener un nivel adecuado de potencia, optimizando el rendimiento del bonding. Ambos son factores importantes para alcanzar los parámetros deseados de calidad, ancho de banda y disponibilidad en un entorno controlado. Tras la implementación de la red inalámbrica, se realizan pruebas exhaustivas para corroborar que se cumplan los objetivos, como el aumento de ancho de banda y la redundancia. Durante estas pruebas se recopilan y analizan datos para evaluar el rendimiento y la estabilidad de la red en condiciones reales si los resultados son positivos, se considera que la implementación ha sido exitosa.

1.7. Resultados esperados

En este proyecto proponemos una solución completa para así mejorar la conectividad en los entornos controlados por medio del diseño e implementación de una red inalámbrica avanzada, la cual une enlaces de radio mediante la interfaz bonding realizada dentro de los equipos. Esta propuesta se centra en establecer una infraestructura de comunicación estable y eficiente que no solo supere las limitaciones actuales, sino que también esté preparada para cubrir futuras necesidades de conectividad.

- Para facilitar la visualización y la planificación de un enlace de radio entre puntos específicos, se eligió el software SketchUp, el cual permitirá crear un modelo detalladamente de la infraestructura y asegurar una planificación precisa y eficaz en la implementación del sistema de comunicación.

- Desarrollar la infraestructura con la ayuda del software SketchUp con el propósito de favorecer la visualización y planificación detallada de un enlace de radio que se despliega entre dos puntos específicos. Este diseño incluirá elementos precisos que permitirán una representación gráfica completa del enlace, brindando la capacidad de realizar una planificación efectiva y detallada para la implementación del sistema de comunicación.
- Lograr con éxito las configuraciones de cada uno de los equipos que vayamos a utilizar en nuestra red, asignando direcciones IP correspondiente a cada uno de los enlaces inalámbricos, y de los routers, permitiendo así la creación y operabilidad de la interfaz Bonding, esta configuración será el punto clave para poder establecer una comunicación robusta entre ambos puntos y tener la mejora de conectividad de la red.
- Elegir el modo del Bonding correcto, esperamos tener un aumento efectivo del ancho de banda disponible en nuestra red al momento de distribuir el tráfico de datos en ambos enlaces, el cual debe resultar una mejora de la transmisión, aumentando la eficiencia del enlace y así tener una mayor capacidad en la red.
- Al configurar e implementar el Protocolo VRRP, el cual es una interfaz que se creará dentro de nuestros routers, se espera dar una solución de respaldo para la red que asegure la continuidad de conectividad en caso de fallos en unos de los radioenlaces, el cual la red deberá mantener su funcionamiento aun en situaciones de interrupciones.
- Definir las respectivas distancias de separación óptima entre cada uno de los enlaces, para así poder garantizar la efectividad de la transmisión y minimizando posibles interferencias o pérdidas de señal. Este punto es esencial para logra una estabilidad y calidad de la comunicación dentro del entorno.
- Realizar el cálculo del presupuesto del enlace para obtener valores precisos de las pérdidas de potencia ocasionadas por la distancia permitiendo ajustar las configuraciones y garantizar una comunicación confiable entre los equipos, estos cálculos nos ayudaran para asegurar que nuestros enlaces cumplen con los requerimientos de transmisión establecidos.
- Garantizar que la red cumpla con las metas establecidas en términos de ancho de banda y disponibilidad. Este proceso implica una evaluación minuciosa para

verificar el rendimiento óptimo de la técnica de bonding, garantizando que la red alcance y mantenga los estándares deseados en cuanto a sus capacidades de ancho de banda y disponibilidad.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA

2.1. Marco Contextual

El laboratorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena ubicada en el cantón La Libertad, requiere de una propuesta e implementación de una red inalámbrica simulando un ambiente controlado utilizando la técnica de bonding en enlaces de radio que ayuden en la mejora del ancho de banda y redundancia de datos.

Los diversos ambientes controlados cuentan con múltiples servicios de internet como de: fibra óptica, radio enlace, sistemas de cableado estructurados, equipos de redes con tecnología Mikrotik, cámaras IP, antenas Ubiquiti para radio enlaces inalámbricos, arquitectura GPON y EPON, entre otras.

El presente proyecto tiene como finalidad la implementación de una red inalámbrica por medio de la técnica de bonding en radioenlaces, permitiendo enviar datos sin la necesidad de cableado y conexiones físicas donde no solo generará el intercambio de información, sino que también mejorará el ancho de banda y la redundancia de datos.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Evolución de los servicios de internet

En la década de 1960, los primeros servicios de Internet eran simples y se centraban en el intercambio de información entre científicos e investigadores. Estos servicios utilizaban tecnología de baja velocidad y no estaban disponibles para el público en general [5].

El inicio de Internet se remonta al año 1969, cuando el Departamento de Defensa de los Estados Unidos creó ARPANET, una red de computadoras creada durante la Guerra Fría para reducir la dependencia de un Ordenador Central y hacer que las computadoras sean menos vulnerables [6].

Las comunicaciones militares de los Estados Unidos, específicamente el 7 de abril de 1969 como la aparición de Internet. Esta publicación es una publicación RFC-1 (RequestForComments N°1). documento que explica el protocolo utilizado por los

equipos para conectar la ARPANET, la primera red de computadoras de la Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados [6].

Partiendo desde los años de 1970, se desarrollaron los primeros protocolos de Internet, que permitieron la comunicación entre diferentes redes. La aparición de Internet posibilitó el desarrollo de servicios avanzados como el correo electrónico y el FTP, facilitando a los usuarios la comunicación y el intercambio de archivos de manera más eficiente [7].

A mediados del año 1980, el estudio de ingreso de la World Wide Web revolucionó el acceso a la información, haciendo del internet una herramienta más cercana para el público general y admitiendo el surgimiento de servicios innovadores como los motores de búsqueda el comercio electrónico y las redes sociales [8].

En la década de 1990, Internet probó una expansión sin precedentes gesto se debió a la llegada de la banda ancha y el incremento de algunos dispositivos como computadoras personales y teléfonos móviles, aquellos hicieron el paso sea más rápido y masivo. Es decir que los avances impulsaron el crecimiento de servicios tales como, el streaming de video, las aplicaciones móviles y también la realidad virtual, aumentando considerablemente las posibilidades de interacción [9].

En los años 2000, el internet se ha transformado en un elemento fundamental de la vida diaria de las personas en todo el mundo. Las redes sociales y los servicios de compra en línea, involucrando las plataformas de transmisión en línea de música y video ha elevado la influencia del Internet para la comunicación y la diversión [10].

Y a partir de la década de 2010, se produjo una nueva revolución en Internet gracias a la aparición de la tecnología móvil. Los teléfonos inteligentes y las tabletas hicieron que Internet fuera más portátil y accesible para más personas. Esto llevó al desarrollo de nuevos servicios, como las aplicaciones móviles, el comercio electrónico móvil y las redes sociales móviles [11].

En la actualidad, Internet sigue evolucionando a un ritmo acelerado. Las nuevas tecnologías, como el 5G, la inteligencia artificial y el blockchain, están dando lugar a nuevos servicios que están transformando la forma en que vivimos, trabajamos y nos divertimos.

2.2.1.1. Comunicación por línea

Se lo conoce también como dial-up, este es uno de los procedimientos más antiguo y el cual fue único en ser beneficiado cuando el internet tuvo sus inicios de desarrollo. El cliente logra ingresar por un módem y también una línea de teléfono fijo. La capacidad de la transmisión de datos no se puede exceder de 56 kbps. Sin embargo, esta alternativa se está volviendo excepcional, por lo que la navegación en la web es exageradamente lenta. Determinado el precio asequible y significativamente reducido de los servicios de paso de banda ancha, la llegada de Dial-up desapareció de la rotación por completo. Además, de la reducción de velocidad, lo que abarca a la conexión telefónica no es fija y poder mantener ocupada la línea telefónica cuando se conecta a Internet [12].

La conexión más sencilla, por ejemplo, se requiere una línea fija abierta, igualmente una PC con modem y un proveedor de servicios de internet, puede ser tanto gratuito o pagado. En cuanto al acceso que no es gratuito, hay algunos planes disponibles que abarca horas de navegación limitadas y acceso a datos ilimitado o limitado.

2.2.1.2. Conexión xDSL

Aunque se proporciona a través de la red telefónica tradicional, la conexión xDSL se diferencia del acceso dial-up. Un módem convierte la información en una señal eléctrica con una frecuencia diferente a la de la voz, lo que evita que la señal interfiera con el uso del teléfono. Esto significa que puede navegar por Internet mientras usa el teléfono. Es importante tener en cuenta que la PC debe tener una placa de red Ethernet [12].

Al igual que el dial-up, por otro lado, el servicio xDSL. Logra ser un servicio que contrata a un proveedor de acceso a internet y permite poder acceder a distintos usuarios. El problema que presenta xDSL es que, al ser un servicio compartido, la conexión se realiza de manera más lenta y en horarios más frecuentemente utilizados cuando la mayoría de las personas se encuentran conectadas al mismo momento.

2.2.1.3. Conexión de televisión por cable

La conexión por cable, que utiliza la misma infraestructura que el servicio de cable contratado, es cada vez más popular. Muchos servicios de televisión por cable incluyen acceso a Internet con velocidades diferentes en sus paquetes. El servicio de televisión y los datos de internet se transfieren mediante un cable. Un split puede llegar a dividir la señal de cable con los de una red de datos, y un cable conectado hacia un modem será el

que de accesibilidad a los datos web los datos web. Una ventaja de este tipo de conexión es que se puede tener conexión simplemente conectando el cable del modem a la computadora, sin la necesidad de marcar o activar ningún servicio. Este tipo de acceso ofrece una variedad de velocidades. El paquete contratado determina la velocidad de navegación y el límite de descargas y datos subidos. Además, la cantidad de usuarios o los horarios de uso del servicio no afectan la velocidad. A diferencia del acceso xDSL, el usuario siempre tendrá acceso a la misma velocidad en cualquier momento [12].

2.2.1.4. Conexión por satélite

Requiere de equipos especiales que suelen ser costosos. Es necesario comprar una antena que pueda captar la señal del satélite y transmitirla a una computadora con un módem receptor interno o externo. Algunos proveedores de servicios pueden proporcionar la antena. Los planes para este tipo de conexión a Internet ofrecen velocidades que van desde 512 kbs hasta 2 Mbps [12].

Una ventaja de una conexión por satélite es que no hay restricción geográfica. De esta manera, se puede acceder a Internet dondequiera que llegue la cobertura. Sin embargo, mientras más lejos estemos, más lejos estamos [12].

2.2.1.5. Conexión por radio (conexiones inalámbricas)

El acceso a Internet por radio es una de las maneras para poder crear una conexión de banda ancha en lugares en donde no lo hay. Desde un punto de pequeñas áreas restringidas, ya sea una oficina, hasta poder abarcar toda una ciudad. Para esta modalidad es importante una red sin cables ya que esta modalidad incluye al Wi-Fi y al Wi-Max [12].

Uno de los puntos a favor es la movilidad que pueden tener los usuarios y el hecho de poder compartir las señales de acceso. La infraestructura básica requiere un punto de entrega de servicio de internet (cable, xDSL o satélite), un módem compatible con el servicio, un punto de acceso (como una radio) y computadoras con receptor o un adaptador para la red inalámbrica para recibir la señal. Los usuarios pueden dividir los costos al compartir una conexión de gran capacidad, lo que les garantiza una conexión permanente y de bajo costo de instalación y mantenimiento [12].

2.2.2. Principales avances

El desarrollo de servicios de producción nacional ha sido impulsado por importantes avances tecnológicos que se ha podido transformar profundamente en cada una de nuestra vida cotidiana, cambiando de manera notable la forma en que interactuamos y llevamos a cabo nuestras actividades.

2.2.2.1. Mejora de la velocidad y accesibilidad a Internet

En las dos últimas décadas, el incremento que se da sostenido en la velocidad y accesibilidad de Internet ha alcanzado al desarrollo de servicios de alta demanda de datos, como la transmisión en tiempo real y las aquellas aplicaciones de realidad virtual que requieren un ancho de banda significativo para su perfecto funcionamiento.

2.2.2.2. Desarrollo de nuevas tecnologías

La adopción de tecnologías emergentes como lo es 5G, tanto la inteligencia artificial y lo que es Black Chain, han propiciado la aparición de nuevos servicios en la red que han conseguido alterar en que administramos nuestro tiempo, en que ejecutamos nuestras tareas laborales y ofrecemos alternativas de diversión.

2.2.2.3. Aparición de nuevos dispositivos

Con el surgimiento de equipos inteligentes como: teléfonos, computadoras, tabletas, entre otros, se ha apreciado una gran transformación con respecto al acceso a Internet, permitiendo que con el pasar del tiempo sean cada vez más las personas que puedan conectarse de manera rápida. Esto ha generado que haya un gran desarrollo e impulso de servicios que puedan adaptarse a estos nuevos dispositivos, aprovechando sus ventajas de movilidad y producción de Internet.

2.2.2.4. Crecimiento de redes sociales y plataformas en línea

El incremento de las redes sociales y diversas plataformas en línea como el streaming han transformado la manera en que las personas pueden generar, producir y compartir su propio contenido, estos han permitido dar lugar al desarrollo de una nueva y moderna generación de servicios en línea, los cuales se centran en facilitar y ampliar las posibilidades de comunicación de los usuarios al encontrarse en distintas ubicaciones.

2.2.2.5. Aumento de la demanda de servicios de producción de contenido personalizados

El aumento de la demanda de servicios de producción de contenido personalizados ha impulsado el desarrollo de nuevos servicios de producción de Internet que permiten a los usuarios crear contenido personalizado.

2.2.3. Redes

Una red es un conjunto de sistemas, nodos y/o dispositivos independientes conectados entre sí, teniendo como finalidad el intercambio de datos tanto de manera física como lógica. La conexión física mediante cableado hace uso de Ethernet el cual es un estándar basado en conexiones de redes LAN [13].

Estas redes poseen métodos de emisión y recepción de información, además de códigos y estándares que permiten su entendimiento para poder conectarse a la red. Los estándares son normas que permiten el intercambio de información siendo también conocidos como protocolos de redes y el más utilizado el TCP/IP.

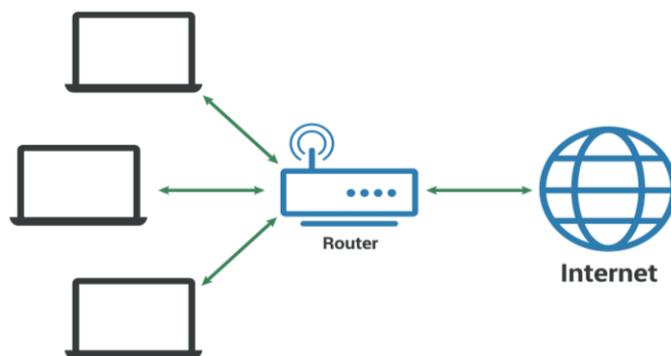
2.2.3.1. Tipos de redes

2.2.3.1.1. Redes de área local (LAN)

Es una red de comunicación comprendida entre varios dispositivos ubicados en el mismo espacio limitado como se puede observar en la Figura 1, permitiendo a los usuarios generar un intercambio de datos [14].

Una red LAN por lo general resulta de gran utilidad para la distribución de recursos como impresoras, proyectores, computadoras entre otros, donde uno de los problemas que se produce es que los nodos a conectarse a la red son limitados.

Uno de los estándares usados con frecuencia en esta red es por cable Ethernet permitiendo conectar puntos finales a una red colectiva alcanzando un máximo de 10 km.

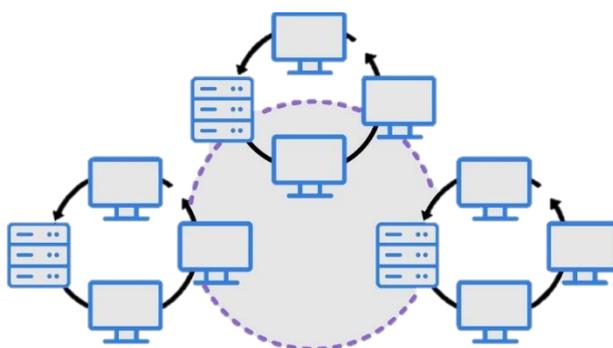


*Figura 2. Diseño de una red de área local (LAN)
Fuente: Imagen tomada de [15]*

2.2.3.1.2. Redes de área metropolitana (MAN)

Redes empleadas en zonas comprendidas de edificios o ubicados dentro de una ciudad, siendo integradas por LAN interconectadas pudiendo ser observada en la Figura 2; estas redes proporcionan un mayor alcance en comparación con las redes LAN, pero no tanto con respecto a las WAN [16].

Por lo general este tipo de redes suelen estar conectadas por medio de cable de fibra óptica siendo este el medio conductor fundamental para la transferencia de información, permitiendo disminuir la tasa de errores y latencia [17].

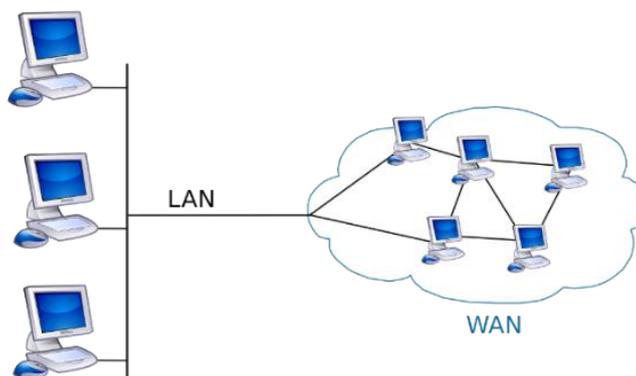


*Figura 3. Diseño de una red de área metropolitana (MAN)
Fuente: Imagen tomada de [18]*

2.2.3.1.3. Redes de área amplia (WAN)

Permite conectar desde varios edificios hasta grandes áreas geográficas, permitiendo a las empresas crear una red que provea un mejor rendimiento. Utilizan técnicas y protocolos de transmisión de capa 1 a la 3 del modelo OSI ya que este tipo de redes no permite realizar conexiones de ordenadores de manera individual [19]. Los proveedores de

servicios de internet (ISP) usualmente emplean este tipo de redes para conectar redes corporativas locales gestionándolas de manera privada.



*Figura 4. Diseño de una red de área amplia (WAN)
Fuente: Imagen tomada de [20]*

2.2.4. Medios de Transmisión

Los medios de transmisión componen el canal que permite la transmisión entre el transmisor y el receptor. Se enfocan en el soporte físico permitiendo proporcionar comunicación a través de ondas electromagnéticas. Un aspecto a tomar en cuenta es que dependiendo del medio va a limitar su distancia, velocidad, ancho de banda, distorsión, y demás factores.

Los medios principales se clasifican en 2 de acuerdo a su estructura:

- **Alámbricas:** como su nombre lo indica, realiza la transmisión por medio de alambres o fibras que transportan haces de luz o electricidad.
- **Inalámbricas:** transmiten y reciben señales electromagnéticas sin hacer uso de un conductor físico.

2.2.4.1. Comunicación alámbrica

El proceso de transmitir información a través de medios físicos, como cables o fibras ópticas, que sirven como conductores para las señales electromagnéticas, se conoce como comunicaciones guiadas. Las comunicaciones guiadas utilizan medios físicos específicos para dirigir las señales, a diferencia de las comunicaciones inalámbricas, que dependen de ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio libre [21].

Las comunicaciones guiadas están comprendidas por: **cable**, las cuales transmiten señales mediante cables metálicos, como el cobre; **par trenzado** utilizados en la telefonía y la

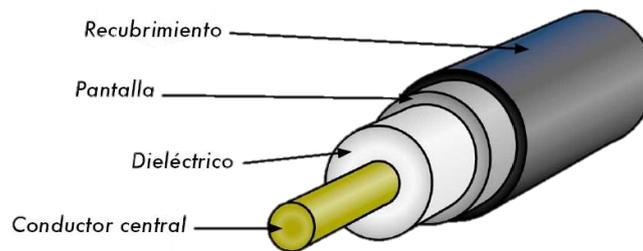
transmisión de datos, de **red Ethernet** y los cables **coaxiales** utilizados para transmitir señales de televisión son ejemplos comunes. Estos son necesarios gracias a la capacidad que poseen de enviar una gran cantidad de datos en el menor tiempo y con pocas pérdidas de señal, las fibras ópticas, compuestas por un núcleo de vidrio o plástico, son esenciales para las redes de comunicación de larga distancia [21].

Algunos ejemplos son:

- Cable coaxial
- Par trenzado
- Fibra óptica

2.2.4.1.1. Cable coaxial

Los cables coaxiales se encuentran comprendidos por un núcleo de hilo de cobre el cual es el conductor central rodeado por un dieléctrico, una pantalla o en algunos casos una malla y por último un recubrimiento [22].



*Figura 5. Cable coaxial
Fuente: Imagen tomada de [23]*

El conductor central transporta señales electrónicas permitiendo formar la información; siendo muy implementado en tiempos anteriores ya que es el medio más resistente a interferencias y atenuación en comparación al cable par trenzado [24].

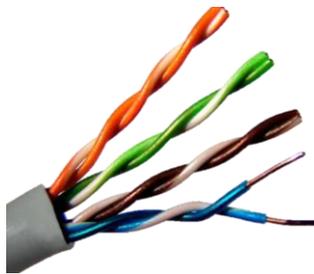
Algunas de sus aplicaciones se encuentran en:

- La transmisión de señales entre la antena y el televisor
- Distribución de redes urbanas de televisión por cable e Internet
- En redes de transmisión de datos, tales como Ethernet

2.2.4.1.2. Par trenzado

El cable par trenzado es un cable de cobre utilizado para la transmisión de señales y datos comprendida entre distintos dispositivos. Por lo general, se encuentra cubierto de plástico y aunque es usado como un buen conductor de electrones, no impide que las señales electromagnéticas lleguen bien. Una de las principales características del cable es reducir los efectos de la interferencia electromagnética.

Regularmente están compuestos por dos alambres de cobre que se encuentran protegidos por un plástico, y a la vez trenzados cada uno contra el otro. Para formar el cable de par trenzado es necesario que uno o más pares se encuentren trenzados y combinados en un jacket común. Una de sus aplicaciones más comunes es en instalaciones telefónicas. Para obtener un ancho de banda optimo, se deben tener en cuenta múltiples factores que influyen tales como: el grosor, la distancia, el tipo de aislamiento, el grado de trenzado, entre otros [25].



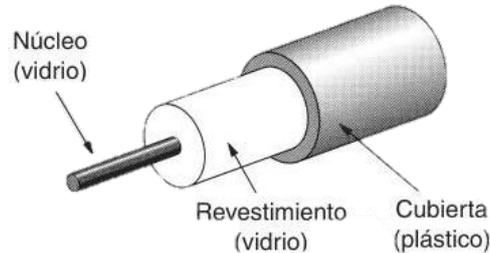
*Figura 6. Par trenzado
Fuente: Imagen tomada de [26]*

2.2.4.1.3. Fibra óptica

La transmisión de fibra óptica es un método de transmisión de datos que utiliza un medio de transmisión flexible y fino, encargado de guiar la propagación de ondas electromagnéticas de frecuencias luminosas. Las redes de fibra óptica permiten la transmisión de voz, datos y vídeo a una gran velocidad, debido a que son transmitidos por ondas de luz en comparación de las ondas electromagnéticas que son utilizadas en redes de cobre.

Por lo general, un cable de fibra óptica está comprendida por tres secciones concéntricas: un núcleo central de fibras de cristal o plástico de entre 8 y 100 μm , el cual proporciona un alto índice de refracción por la reflexión interna que se forma en las paredes del mismo, al ser un material transparente donde cada fibra está rodeada por su propio revestimiento

con propiedades ópticas distintas del núcleo, siguiendo de un revestimiento de vidrio, el cual opera como reflector para que la luz no escape del núcleo y la capa más exterior es la cubierta, proporciona protección contra la humedad, y aplastamiento [27] [28].



*Figura 7. Fibra óptica
Fuente: Imagen tomada de [28]*

Actualmente esta red ha revolucionado e influido en las telecomunicaciones, siendo el sustituto del cable de cobre, permitiendo conectar sistemas que engloban redes de área local. Las redes de fibra óptica son una excelente opción para transmitir datos a alta velocidad, ya que pueden transportar una gran cantidad de datos a la vez. Además, pueden utilizarse para transportar una variedad de servicios, permitiendo a los proveedores de servicios reducir los costos de instalación y mantenimiento.

Para que la información sea óptima va a depender de la capacidad de transmisión que proporcione la fibra óptica, el cual depende de tres características fundamentales, tales como:

- La estructura geométrica de la fibra.
- Las cualidades empleadas en la elaboración del material, y
- La cantidad de anchura espectral de la fuente de luz que se va a utilizar.

Teniendo en cuenta que en la última característica mientras mayor sea la anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra [29].

➤ **Monomodo**

Es un tipo de fibra óptica diseñada para transmitir solo un modo de luz a la vez. Permite la propagación del modo fundamental de luz, el cual se encuentra estandarizada en la UIT-T G.652 donde indica que el diámetro del núcleo de este tipo de fibra varía entre 8 y 10.5 micrómetros [30].

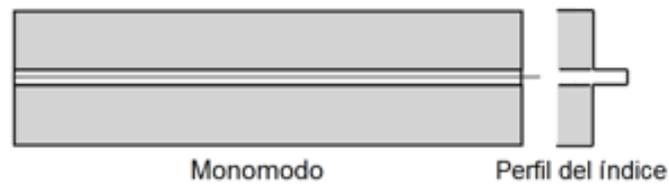


Figura 8. Fibra monomodo
Fuente: Imagen tomada de [31]

➤ Multimodo

Permite la propagación de múltiples modos de luz, suele ser utilizado en locales e instalaciones que abarquen distancias menores a 2km, siendo económico. Está estandarizada en la ITU-T G. 651 en donde indica que la fibra multimodo está compuesta por un núcleo con diámetro mayor, entre 50 y 100 micrómetros, el cual permite la propagación de múltiples modos de propagación de luz.



Figura 9. Fibra multimodo
Fuente: Imagen tomada de [31]

2.2.4.1.4. Comparativa de las comunicaciones alámbricas

CABLE COAXIAL	PAR TRENZADO	FIBRA ÓPTICA
Alto ancho de banda	Ancho de banda limitado	Alto ancho de banda
Resistencia a interferencias	Sensibilidad a interferencias	Resistente a interferencias
Difícil instalación y manipulación	Fácil instalación y manipulación	Difícil instalación
Mayor costo	Menor costo	Mayor costo
Aplicado para distancias cortas y medias	Su distancia varía dependiendo de la categoría del cable	Transmite información a distancias mayores

Admiten velocidades moderadas a altas	Admiten velocidades de 10 Gbps en adelante	Ofrece velocidades extremadamente grandes
---------------------------------------	--	---

Tabla 1. Comparativa de las comunicaciones alámbricas

Fuente: Información tomada de [32]

2.2.4.2. Comunicación inalámbrica

Las comunicaciones inalámbricas están compuestas por varias tecnologías las cuales permiten que un par de dispositivos dividan los datos sin necesidad de implementar cables de manera física, volviéndolas más factibles y fáciles de instalar que las empleadas en redes cableadas. Para poder transmitir y recibir información este tipo de tecnología hace uso de ondas electromagnéticas tales como: **microondas** y **ondas de radio**. Algunos ejemplos de equipos que emplean comunicación inalámbrica y que son muy utilizados en la cotidianidad son los celulares 4G y 5G que permiten mantener una comunicación móvil, y los satélites ya que sirven para la conectividad global.

Este tipo de comunicación cuenta con la ventaja de no tener limitaciones en la implementación de sus equipos con respecto a cables u otros objetos físicos. Sin embargo, lo que si afecta son problemas causados por factores externos, los cuales son producidos por el ambiente, siendo estos: interferencias, congestión en el ancho de banda, problemas de seguridad, entre otros. Por lo que es necesario tener en cuenta y consideración las debidas medidas que permitan asegurar la seguridad de la información. A pesar de estos obstáculos, las comunicaciones inalámbricas son esenciales para la conectividad moderna y abarcan desde la comunicación diaria hasta servicios importantes como la navegación por GPS y la transmisión de datos a nivel mundial [33]. Entre los medios inalámbricos se encuentran:

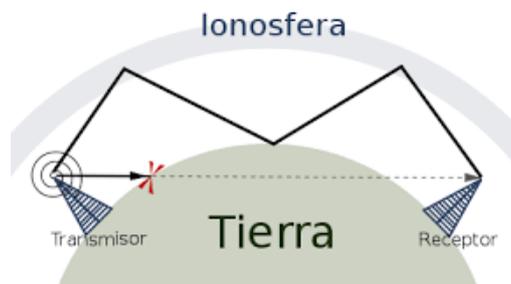
- Ondas de radio
- Microondas
- Infrarrojos



*Figura 10. Diseño de las comunicaciones inalámbricas
Fuente: Imagen tomada de [34]*

2.2.4.2.1. Ondas de radio

Son las ondas que emplean las redes Wifi o Bluetooth y sirven para transferir información a distancias muy extensas por medio del aire. Son empleadas en los sistemas de televisión y radio. Las frecuencias que se utilizan van desde los 50 Mhz a los 3000 Mhz, siendo multidireccionales [35].



*Figura 11. Ondas de radio
Fuente: Imagen tomada de [36]*

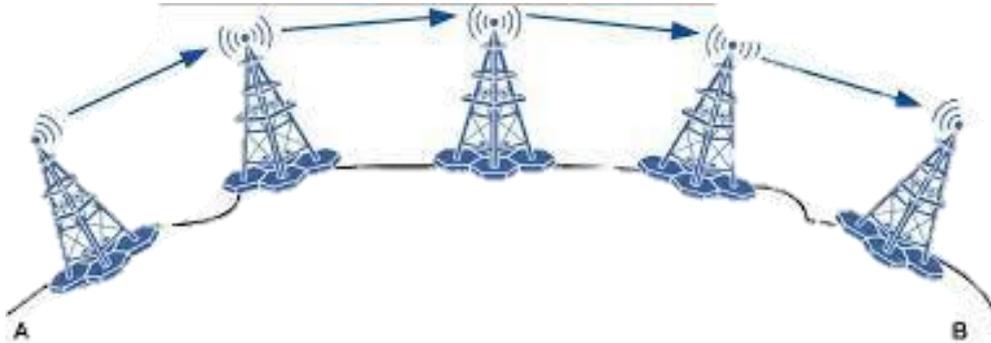
2.2.4.2.2. Microondas

Las ondas de microondas por lo general trabajan a una frecuencia de entre 3 y 300 Ghz. Son implementadas por poseer un ancho de banda elevado debido a su alta frecuencia permitiendo así transmitir grandes cantidades de datos y por ser directivas, lo que permite que la información viaje en una dirección estrecha.

Por lo general se implementan antenas tipo tambor y/o parabólicas debido a su forma curva la cual permite concentrar la energía transmitida de las microondas en un solo punto.

Uno de los problemas que suele afectar en la transmisión de información se debe a la curvatura de la Tierra, debido a que al tener poco alcance y no poder atravesar obstáculos,

se necesita que haya una línea de visión para que los repetidores puedan ser utilizados, donde la distancia que debe haber entre los repetidores por lo general no debe ser mayor a 80 km de intervalo.



*Figura 12. Comunicación por microondas
Fuente: Imagen tomada de [37]*

2.2.4.2.3. Infrarrojos

El haz infrarrojo puede ser producido por un láser o un LED, donde la transmisión de datos mediante esta luz utiliza ondas electromagnéticas para transportar datos, de la misma manera para la transmisión mediante microondas [38].

Los dispositivos emisores y receptores no son muy empleados por la necesidad entre los dispositivos de ser ubicados “a la vista” uno del otro en una corta distancia. Posee una velocidad de transmisión de 100 Kbps y una distancia máxima de transmisión de 16 km [38].



*Figura 13. Infrarrojos
Fuente: Imagen tomada de [39]*

2.2.4.2.4. Comparativa de las comunicaciones inalámbricas

ONDAS DE RADIO	MICROONDAS	INFRARROJOS
Longitud de onda más larga	Longitud de onda intermedia	Longitud de onda más corta
Frecuencia baja	Frecuencia media	Frecuencia alta
Son poco direccionales y se propagan en todas las direcciones	Son altamente direccionales y usan enlaces punto a punto	Son direccionales usados en comunicaciones punto a punto y detección de objetos
Permiten transmitir señales de radio, televisión y comunicaciones inalámbricas	Ayudan en la cocción de alimentos y comunicación inalámbrica	Son utilizados para visión nocturna, calefacción y teledetección
Son poco susceptibles a interferencias por obstáculos	Pueden sufrir reflexiones y problemas por obstáculos	Tiene afectaciones por obstáculos y condiciones atmosféricas
Pueden sufrir interferencias atmosféricas	Son menos susceptibles a afecciones externas	Menos propensos a interferencias externas

Tabla 2. Comparativa de las comunicaciones inalámbricas

Fuente: Información tomada de [40]

2.2.4.3. Comparativa entre comunicaciones alámbricas e inalámbricas

COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	COMUNICACIONES ALÁMBRICAS
Debido a que los dispositivos pueden comunicarse sin restricciones físicas, permite una mayor movilidad.	La longitud de los cables o la infraestructura física limitan la movilidad.
Elimina la necesidad de cables físicos, haciendo que su implementación sea más fácil y evite problemas de instalación.	La instalación de cables puede ser más difícil y costosa, particularmente en áreas existentes.

Al ser inalámbricas no tiene tantas complicaciones en su instalación volviéndolas más rápidas.	Al emplear cables, su instalación puede resultar un poco complicada y más tediosa.
Son más resistentes al no depender de objetos físicos.	Su infraestructura física puede sufrir daños con el tiempo.
No emplea muchos elementos físicos siendo flexible.	Se emplean cables lo que llevaría a hacer las cosas más difíciles.
Permite el acceso a la red desde ubicaciones remotas, siendo ideal para áreas donde no está disponible la infraestructura cableada.	En lugares remotos sin infraestructura de cable, puede haber limitaciones.
Varios dispositivos inalámbricos pueden interferir con su entorno.	Menos propenso a interferencias electromagnéticas en cables blindados.

Tabla 3. Comparativa entre comunicaciones alámbricas e inalámbricas

Fuente: Información tomada de [41]

2.2.4.4. Factores influyentes

Dependiendo del medio de transmisión que se desee emplear, se debe tener en cuenta los factores relevantes que influyen, tales como los que se mencionan a continuación:

- Ancho de banda y longitud
- Fiabilidad
- Costes
- Facilidad y costes de la instalación
- Seguridad

2.2.4.4.1. Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es una región elipsoidal que rodea la línea de visión directa entre dos antenas que están transmitiendo o recibiendo ondas electromagnéticas. Siendo importante para las comunicaciones inalámbricas o de radioenlaces punto a punto ya que operan bajo el mecanismo de la visibilidad, puesto que los radioenlaces de microondas necesitan de un camino libre de cualquier obstáculo que se encuentre entre las antenas, es decir que se

encuentre dentro de la zona de Fresnel ya que puede causar una atenuación de la señal, afectando la calidad y el rendimiento de la conexión. [42]

La línea de vista es importante en la comunicación puesto que es el camino directo que comprende los 2 puntos. Siendo definida por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\lambda * D}{4\pi}$$

Donde:

- r : radio de la zona de Fresnel
- λ : longitud de la onda de la señal
- D : distancia entre las antenas

Para calcular el máximo radio de la primera zona de Fresnel, el cual se encuentra en el centro del radioenlace.

$$F_1[m] = 8.656 \sqrt{\frac{D[km]}{f[GHz]}}$$

Donde:

- D : es la distancia en km entre las antenas
- f : es la frecuencia en GHz de la señal transmitida

Un punto a tener en cuenta es que la 1era zona de Fresnel debe estar despejada un 60% de su línea de vista entre las antenas. Ya que, si el área libre de obstáculos es menor al 60%, se deben tomar medidas adicionales, como reubicar antenas o ajustar la altura de las torres, para tener mejor calidad de conexión.

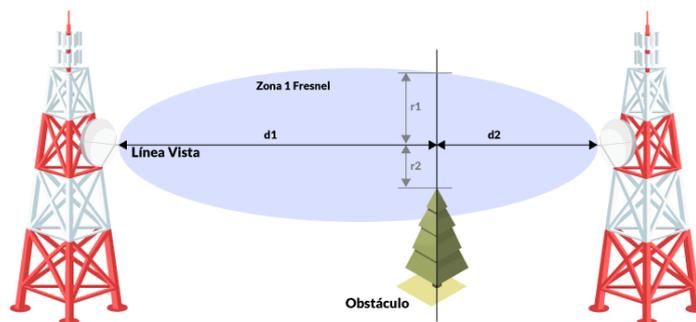
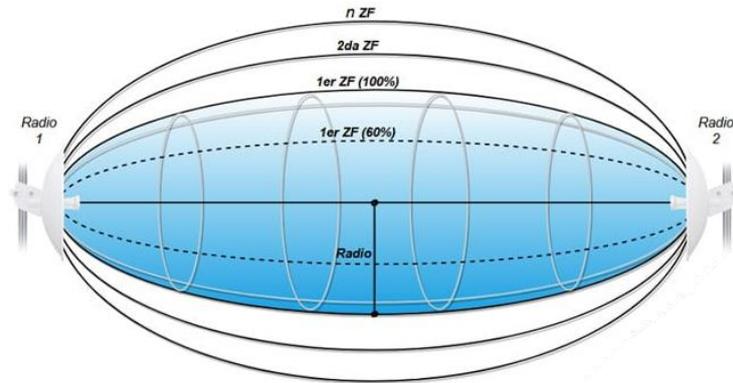


Figura 14. Zona de Fresnel
Fuente: Imagen tomada de [43]

➤ Zonas

Se divide en dos regiones: la Zona de Fresnel superior e inferior. La Zona de Fresnel superior se encuentra por encima de la línea de visión directa, mientras que la Zona de Fresnel inferior se encuentra por debajo de dicha línea [42].



*Figura 15. Regiones de la zona de Fresnel
Fuente: Imagen tomada de [42]*

2.2.4.4.2. Objetos físicos

En la mayoría de los casos los objetos físicos como tales como montañas, edificaciones, árboles u otros provocan un bloqueo parcial o totalmente sobre la línea de vista directa que se requiere entre las antenas. Generando que se provoque atenuación en la señal y los datos transmitidos mediante un enlace vayan disminuyendo constantemente.

Para solucionar este problema se deben quitar los obstáculos físicos logrando tener una buena línea de vista, pero existen situaciones adversas donde no suele ser posible este caso por lo que se opta en instalar antenas y torres más altas o direccionar las antenas para que tengan un ángulo de inclinación que pueda evitar dichos obstáculos.

2.2.4.4.3. Interferencia electromagnética

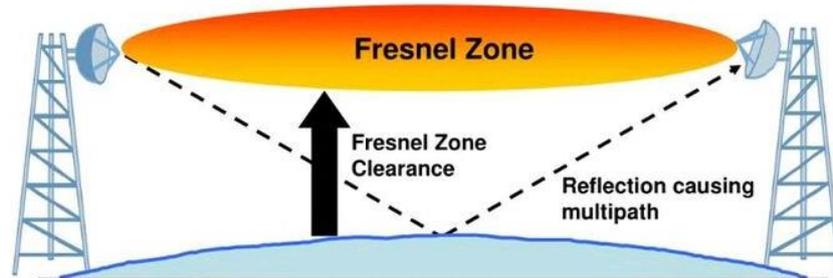
Para lograr que haya una buena transmisión de datos, en primera instancia es necesario tener en cuenta que todos los dispositivos electrónicos que emiten señales electromagnéticas son capaces de interferir en la señal transmitida en la zona de Fresnel. Esta interferencia produce que la señal se distorsione y pueda haber una posible pérdida de datos, afectando la calidad de la comunicación.

Para solventar este problema, se recomienda implementar varias técnicas las cuales incluyen: el filtrado de frecuencia, el utilizar canales no tan congestionado o el arreglo adecuado de todas las frecuencias utilizadas.

2.2.4.4.4. Multipath

El multipath suele producirse cuando las señales se propagan en diversas trayectorias, es decir, que ocurre debido a la reflexión, difracción o dispersión de la señal cuando se reflejan en objetos que se encuentran próximos generando que las señales no lleguen al mismo tiempo a la antena receptora [42].

Producto de estas señales reflejadas se puede producir interferencia en la señal original causando que haya problemas de distorsión. Como solución a este problema se puede hacer uso de una técnica de procesamiento de señales como lo es el ecualizador adaptativo que sirve para reducir los posibles efectos del multipath.



*Figura 16. Demostración de multipath
Fuente: Imagen tomada de [44]*

Para evitar o minimizar los problemas de interferencia multipath, se pueden tomar una serie de medidas, las cuales incluyen:

- Utilizar antenas con una mayor ganancia
- Eliminar los obstáculos del camino de la señal
- Utilizar técnicas de modulación y codificación eficientes

2.2.4.4.5. Cambios en el entorno

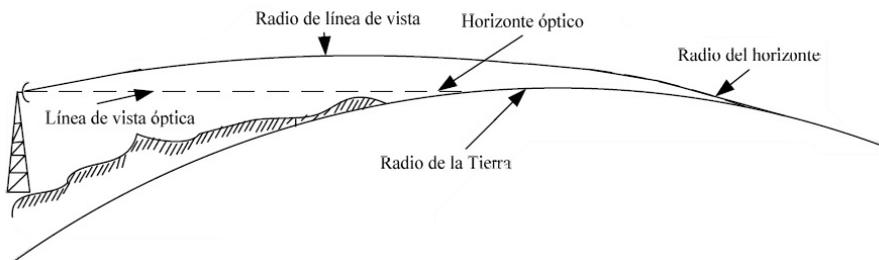
Alguno de los cambios o problemas que se dan en el medio son por la aparición de obstáculos que hay en el medio o en otras ocasiones como los cambios climáticos, pudiendo estos interferir en la zona de Fresnel causando problemas en la calidad de la señal. En esta situación, es recomendable realizar un monitoreo constante y adaptar las

configuraciones de las antenas siempre que sea necesario. De la misma manera se pueden utilizar sistemas que ayuden en el monitoreo remoto permitiendo detectar y solucionar problemas de manera inmediata.

2.2.4.4.6. Curvatura de la Tierra

La curvatura de la Tierra limita la distancia a la que se pueden transmitir las señales, esta distancia máxima de transmisión se conoce como *alcance de la línea de visión* (LOS).

El alcance de la LOS depende de la altura de las antenas transmisora y receptora, así mismo como de la frecuencia de la señal. A medida que aumenta la altura de las antenas, aumenta el alcance de LOS, pero a medida que aumenta la frecuencia de la señal su alcance disminuye.



*Figura 17. Curvatura de la Tierra
Fuente: Imagen tomada de [45]*

2.2.4.5. Pérdidas por transmisión de información

Una de las desventajas de las comunicaciones inalámbricas es la pérdida de información por transmisión. Puesto que pueden reducir el alcance, la velocidad y la calidad de la señal, donde se debe tener en cuenta estos factores al diseñar y desplegar sistemas de comunicaciones.

Algunos de las causas de estos problemas se dan ya sea por factores físicos como:

- Atenuación por distancia
- Atenuación por frecuencia

O también por factores ambientales como:

- Atenuación por obstáculos
- Condiciones ambientales

2.2.4.6. Problemas de atenuación

La atenuación es una pérdida de potencia de una señal a medida que viaja a través de un medio. En las comunicaciones inalámbricas, la atenuación puede ser causada por una serie de factores, las cuales son:

- La distancia entre el transmisor y el receptor: ya que a medida que la distancia aumenta, la señal se va atenuando más.
- La frecuencia de la señal: donde las señales de frecuencia más alta se atenúan más que las señales de frecuencia baja.
- Los obstáculos en el camino de la señal: incluyendo edificios, árboles y montañas, los cuales pueden bloquear la señal por completo.
- Las condiciones ambientales: Tales como la lluvia, el clima, el polvo, etc.

Los problemas de atenuación pueden causar una serie de problemas en las comunicaciones inalámbricas, incluyendo, reducción del alcance, disminución de la velocidad y pérdida de calidad. Es por eso que para evitar o minimizar los problemas de atenuación en las comunicaciones inalámbricas, se recomienda tomar medidas que ayuden para su buen funcionamiento, incluyendo:

- Utilizar antenas con una mayor ganancia
- Emplear frecuencias más bajas
- Eliminar los obstáculos del camino de la señal
- Utilizar técnicas de modulación y codificación eficientes

2.2.4.7. Parámetros

2.2.4.7.1. Frecuencia

Para garantizar una transmisión confiable y evitar interferencias, la selección adecuada de frecuencias y canales es crucial. El uso eficiente del espectro radioeléctrico reduce la posibilidad de colisiones y mejora la calidad de la señal.

2.2.4.7.2. Ancho de banda

La capacidad de transferencia de datos más alta de un canal de comunicación, que también es fundamental para determinar la velocidad de transmisión. La banda ancha permite la transmisión de cantidades significativas de datos, lo que es esencial para la unión de radioenlaces para aumentar la capacidad de conexión [46].

2.2.4.7.3. Modulación

Otro de los parámetros a tomar en cuenta es la modulación, ya que de esta dependen las características de la señal portadora para poder transmitir cualquier tipo de información. Los tipos de modulaciones se dividen en 3 técnicas muy comunes y utilizadas:

- Modulación de amplitud (AM)
- Modulación de frecuencia (FM)
- Modulación de fase (PM)

La teoría de señales y modulación es la base de esta idea [47].

2.2.4.7.4. Potencia de transmisión

Es la cantidad de energía que radia un transmisor. La potencia relativa en un milivatio se puede medir en decibelios milivattios. Esta definición se basa en la teoría de sistemas y señales.

2.2.4.7.5. Relación señal/ruido

Indica la relación entre la potencia de señal y ruido en un canal de comunicación. Una SNR más alta indica una calidad de señal superior. La teoría de la información y la comunicación respaldan esta definición [48].

2.2.4.7.6. Latencia

La latencia se refiere al lapso de tiempo que se demora una señal en ser transmitida desde el emisor hasta el receptor. Esta latencia en las comunicaciones inalámbricas puede afectar la velocidad de respuesta y la experiencia del usuario, ya que su significado se rige en la información y transmisión de datos.

2.2.5. Técnicas de comunicación

2.2.5.1. Comunicación por conmutación de paquetes

La conmutación de paquetes realiza la segmentación de los datos en bloques, los cuales van a ser enviados uno por uno a través de la red, donde estos en cierta instancia pueden tomar diferentes rutas a medida que avanzan hasta que van llegando a su destino, y posteriormente se colocaran en su orden original como fueron enviados [49].

Este tipo de conmutación genera que varios datos se comuniquen por medio del mismo medio de transmisión, en vez de que se cree un solo circuito que se enfoque en toda la duración de la comunicación, a diferencia de como lo es la conmutación de circuitos. En las redes de datos modernas, como Internet, esta técnica es esencial.

2.2.5.2. Multiplexación por frecuencia (FDM)

Es un método de transmisión de datos que asigna varias frecuencias del espectro de transmisión a diferentes señales al mismo tiempo. Cada señal usa una parte distinta del ancho de banda disponible, lo que permite la transmisión de múltiples señales separadas a través de un solo canal [50].

2.2.5.3. Conmutación de circuitos

Un método para establecer una conexión de comunicación dedicada entre dos dispositivos en una red de telecomunicaciones es la conmutación de circuitos. El remitente y el destinatario tienen un camino físico continuo y exclusivo durante toda la llamada o sesión de comunicación [51].

2.2.5.4. Bonding de enlaces

Es una técnica de red que combina varias líneas de comunicación, como líneas de conexión, para aumentar el ancho de banda y la confiabilidad de la conexión. Esta técnica permite que el tráfico se distribuya entre varios enlaces, lo que aumenta la capacidad de transmisión y la resistencia a fallas de enlace individual. Los entornos comerciales y los centros de datos, donde se requiere una conexión sólida y de alto rendimiento, utilizan con frecuencia la conexión de enlaces [52].

2.2.5.5. Modulación y Demodulación (Modem)

Son procedimientos de comunicación esenciales que permiten la transmisión de datos a través de canales de comunicación analógicos, como líneas telefónicas o canales de radio. [53] Convirtiendo los datos digitales a manera digital siendo ahora accesibles para su envío de datos para un medio de comunicación, la modulación implica la variación de una onda portadora en función de la señal de entrada para transmitir información. Sin embargo, la demodulación es el proceso inverso que ocurre en el extremo receptor, donde la señal modulada se convierte nuevamente en su forma original de datos digitales.

2.2.5.6. Tabla comparativa de las técnicas de comunicación

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	IMPORTANCIA
Conmutación de paquetes	Eficiente uso del ancho de banda	Posible pérdida de paquetes	Menos crucial en comparación con otras técnicas
Multiplexación por frecuencia (FDM)	Asignación eficiente del espectro de frecuencias	Vulnerabilidad a interferencias con límites en la cantidad de usuario	Es de importancia especialmente en redes inalámbricas
Conmutación de circuitos	Conexiones dedicadas para la duración de la llamada	Uso ineficiente del ancho de banda. No escalable para grandes cantidades de llamada	Menos importante en redes modernas, más en servicios de voz
Bonding de enlaces	Aumento de ancho de banda y mejor de redundancia	Requiere hardware y configuración adicional, limitación escalable	Mejora la capacidad y disponibilidad
Modulación y de modulación (Modem)	Esencial para transmisión sobre medios analógicos	Limitado por la calidad del medio analógico. Puede ser más lento que conexiones de fibra óptica.	Conexiones DSL y banda ancha por cable

Tabla 4. Tabla comparativa de las técnicas de comunicación

Fuente: Información sacada de [49] [50] [51] [52]

2.2.6. Técnicas de mejoramiento del ancho de banda

El ancho de banda es la razón principal para la gestión de la red, siendo crucial para el rendimiento de redes inalámbricas. El hacer uso de herramientas de gestión que ayuden

en la reducción de interferencia puede proporcionar una mejoría en el rendimiento de la red.

Algunas técnicas que sirven para realizar el mejoramiento del ancho de banda y mejorar el rendimiento de una red son:

2.2.6.1. Uso de MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Ya que permite el aprovechamiento de varias antenas al ser de múltiples entradas y múltiples salidas, las cuales mejoran la velocidad y confiabilidad de la comunicación inalámbrica.

2.2.6.2. Optimización de la infraestructura de red

Es el proceso de mejoramiento de la red, mediante configuraciones de redes dedicadas, los cuales se pueden mejorar con el cambio o mantenimiento de los equipos. Estas se pueden realizar por medio de actualizaciones en el hardware, donde es necesario reemplazar los equipos correspondientes, demostrando así un aumento tanto en el rendimiento y como en la cobertura. Agregando puntos de acceso los cuales eliminarán zonas muertas e instalando puntos de acceso que ayuden en la detección de equipos o dispositivos conectados. Ubicar los dispositivos de red en sectores específicos encontrándose libres de obstáculos, permitiendo tener una mejor cobertura y mayor señal.

2.2.6.3. Mejoras en la configuración de red

La siguiente técnica ayuda a conseguir varios beneficios que son esenciales para el funcionamiento y rendimiento de cualquier red, los cuales se pueden dar en entornos domésticos y empresariales. Algunos de los beneficios con los que cuenta son:

- Mayor velocidad y ancho de banda
- Puede realizar cambios en la potencia de transmisión
- Disminuye el congestionamiento
- Prioriza el tráfico de aplicaciones por medio de la habilitación de QoS (Calidad de servicio)
- Proporciona una experiencia óptima para el usuario

2.2.6.4. Gestión del uso del ancho de banda

Esta técnica de gestión permite hacer uso de varias estrategias con la finalidad de controlar y optimizar la demanda de ancho de banda que se genera en la red. Monitorea el uso de la red utilizando herramientas de monitoreo que permite identificar qué dispositivos o aplicaciones consumen más ancho de banda, lo que facilita tomar medidas para potenciar su uso; poner un límite al número de dispositivos conectados ya que puede afectar el rendimiento, recomendando desconectar dispositivos que no se estén utilizando con el fin de liberar ancho de banda para otros dispositivos.

Otro punto para tomar en cuenta es el de establecer límites de datos con el fin de evitar el uso excesivo y cargos adicionales.

El implementar estas técnicas para potenciar el ancho de banda, es tener una buena optimización al rendimiento y obtener una mayor velocidad de navegación por internet, permitir realizar descargas de archivos grandes, transmisiones de vídeo de alta definición, etc., proporcionar así conexión rápida y confiable.

2.2.7. Redundancia de datos en redes inalámbricas

La redundancia de datos es un punto clave al ser aplicada en redes inalámbricas ya que garantiza la confiabilidad de la red permitiendo el tráfico de datos por medio de múltiples rutas alternativas. Asegurando así que la información no tenga pérdidas ni interrupciones a pesar de que ocurran fallos en algún componente de la red. Para la implementación del mismo se busca que el diseño la red pueda evitar problemas o tenga una alta probabilidad de errores en un futuro [54].

Al momento de diseñar una red, es importante tener en cuenta dos puntos principales los cuales pueden tener alguna relevancia en la implementación de la misma aplicando una redundancia de datos. El primer punto es **tolerancia a fallos**, debido a que implica que se cuente con una redundancia total de hardware para garantizar así que cualquier dispositivo pueda tener algún fallo, y a su vez evitar que este pueda afectar en la conectividad de extremo a extremo. Se recomienda ir realizando una evaluación constante a cada componente para asegurar su funcionalidad.

Mientras que el segundo punto es **estandarizar la estructura de la red**, esto con la finalidad de facilitar la resolución de problemas y realizando una configuración que sea

simple para mejorar la eficiencia y competitividad de las empresas, evitando así la implementación de muchos mecanismos de redundancia de datos que hagan la misma función.

El entender estos puntos es fundamental para comprender y aplicar una redundancia de datos en redes inalámbricas, permitiendo asegurar una eficiencia en la red ya sea en diversos entornos tales como: empresariales, controlados y de Telecomunicaciones.

2.2.7.1. Diferentes tipos de redundancia

➤ Redundancia de datos

La redundancia de datos se enfoca en generar varias copias de seguridad de los datos proporcionados en distintos lugares, disminuyendo notoriamente la pérdida de información que se puede generar por varias situaciones tales como: fallos en el hardware, problemas generados por las personas o usuarios y ataques maliciosos.

Si se llega a duplicar la información se generará un respaldo adicional de protección, lo cual garantiza que, a pesar de que se experimente una falla, los datos aun puedan ser recuperados desde otros lugares seguros. Esta redundancia no solo permite las copias de seguridad físicas, sino también puede generar una copia de seguridad tanto en la nube como en otros servidores remotos, asegurando así la capacidad de recuperar la información ya sea ante desastres y minimizando el impacto que pueda suceder en incidentes futuros. En este último punto se toma en cuenta el proteger la totalidad de la información contra cualquier eventualidad.

➤ Redundancia de hardware

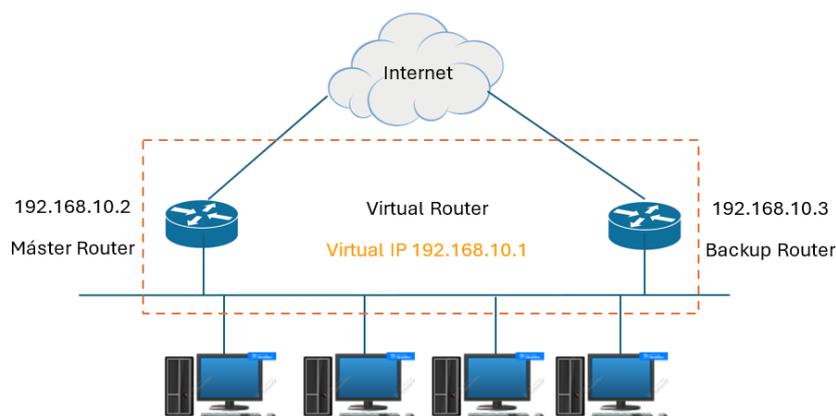
La redundancia de hardware suele ser una práctica muy empleada en la ingeniería de sistemas, ya que garantiza la disponibilidad continua de sistemas críticos al poder agregar componentes duplicados dentro de un mismo sistema, donde su funcionalidad es que si se llega a experimentar alguna falla, el componente que está de respaldo tomará su lugar de manera automática, logrando y asegurando que la funcionalidad del sistema se dé sin ninguna interrupción. Esto es de ayuda ya que la integración de componentes duplicados puede reducir significativamente el riesgo de tiempo en la inactividad del sistema debido a la falla del primer hardware o componente.

Estos componentes pueden ser: discos duros, fuentes de alimentación, servidores, IDUS (Interfaz de Datos Usuario-Sistema), ODUS (Operación de Datos Usuario-Sistema), routers y switches.

➤ Redundancia de red

La redundancia en redes de comunicación permite garantizar que los servicios se encuentren disponibles asegurando que no haya problemas de interrupción en la conexión. Esto quiere decir que consiste en tener varias rutas donde los datos puedan ser enviados por medio de los dispositivos y redes, ya que, si una ruta llega a fallar, los datos se pueden redirigir de manera automática a otra ruta alternativa, donde los usuarios no van a notar ninguna interrupción.

Esta redundancia mencionada se puede generar por medio de diferentes tecnologías y configuraciones, donde en unos casos se puede implementar el **protocolo de enrutamiento dinámico** el cual permite que se cambien las rutas según la condición de la red o como su nombre lo dice, de manera dinámica. Además, se pueden configurar protocolos adicionales como: HSRP o VRRP, haciendo que diferentes dispositivos de red funcionen como uno solo, asegurando su respaldo.



*Figura 18. Diagrama de protocolo VRRP
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

➤ Redundancia de energía

La redundancia en los sistemas de energía nos ayuda a mantener la continuidad de los equipos y servicios críticos de red cuando estos se mantienen funcionando, así como en

fallas en el suministro eléctrico. Para su implementación se necesitan de plantas generadoras de energía, fuentes de alimentación alternas y de respaldo, las cuales se activan de manera automática cuando se detecta alguna interrupción en el sistema eléctrico principal, pudiendo a su vez mantener energizados varios equipos el tiempo que sea necesario hasta que el sistema normal se restablezca.

El contar con este tipo de redundancia ya sea por medio de generadores, baterías u otro tipo de fuente, es de suma importancia puesto a que evita la interrupción en los servicios de red ante cualquier fallo generado de manera repentina por cualquier factor, garantizando a su vez que haya una operación continua en la infraestructura de comunicación.

➤ **Redundancia en seguridad**

En la actualidad vivimos con amenazas cibernéticas donde cada vez se dan con más frecuencia, por lo cual se ha visto en la necesidad de implementar varias capas de seguridad de manera redundante con el fin de proteger de cierta manera los sistemas y redes que puedan ser críticos.

Este tipo de redundancia implica extender varios mecanismos y tecnologías de protección que ayuden en la filtración y monitoreo del tráfico de información, permitiendo bloquear cualquier posible amenaza externa. Los tipos de tecnologías más utilizados suelen ser los: firewalls o cortafuegos, antivirus y anti-malware, los cuales analizan detalladamente y constantemente todos los archivos y programas con el fin de encontrar códigos que sean maliciosos.

Otra tecnología fundamental es la IDS/IPS o sistema de detección y prevención de intrusos, el cual realiza un análisis del comportamiento de la red y los dispositivos detectando actividades extrañas o violaciones de políticas de seguridad, donde estos serán alertados y bloqueados evitando que siga habiendo ataques en curso. Debido a esto se recomienda hacer uso de un método más robusto para la autenticación de identidad, como el realizar copias de seguridad, soluciones de cifrado de datos, control de acceso y diversas medidas que ayuden a agregar mejores soluciones de protección.

➤ **Beneficios de la redundancia**

La redundancia es una solución importante en el diseño de sistemas y redes, permitiendo proporcionar una mayor disponibilidad, confiabilidad y tolerancia a fallos; esto implica que se disponga de componentes, enlaces y rutas adicionales que ayuden para mantener su conexión cuando haya algún fallo de manera repentina en elementos individuales. A continuación, se mencionan sus principales beneficios:

- **Confiabilidad mejorada:** Si alguno de los equipos, servicios o enlace llega a fallar, los componentes de respaldo van a funcionar asumiendo la carga y evitando posibles interrupciones en el funcionamiento.
- **Disponibilidad continua de servicios:** Garantizará que los servicios se encuentren siempre operativos para los usuarios, previniendo que se generen pérdidas por inactividad.
- **Rápida recuperación tras fallas:** Los equipos de respaldo permitirán que haya una conmutación automática, mientras que el failover redireccionará el tráfico a esos mismos equipos en cuestión de segundos.
- **Mayor tolerancia a fallos:** Este beneficio de redundancia permite recuperarse de fallas técnicas, ciberataques, entre otros, gracias a su buena tolerancia a fallos.
- **Balanceo de carga:** Permite distribuir el tráfico de datos de manera equilibrada por medio de los equipos que se estén utilizando, a su vez optimizar el rendimiento y evitando que haya congestión.
- **Cumplimiento de acuerdos de nivel de servicio (SLAs):** Se deben cumplir y mantener los niveles de rendimiento y disponibilidad determinado en el acuerdo.

La redundancia es una tecnología esencial para emplear en las redes inalámbricas debido a que brinda muchos beneficios por medio del aumento de la disponibilidad y tolerancia a fallos en la infraestructura, siendo una solución buena para reducir posibles riesgos críticos, operativos y económicos.

2.2.8. Bonding

Una solución actual para el mejoramiento en la conectividad y eficiencia en entornos de transmisión de datos es mediante radio enlaces, siendo un punto a destacar la capacidad de poder **combinar** varias conexiones que permitan el aumento del ancho de banda

disponible. Esta característica es necesaria para aplicaciones que necesiten de una mayor cantidad de datos para poder transmitir información, tales como: transmisión de vídeo, alta demanda de ancho de banda, enlaces punto a punto de larga distancia, entre otros [55].

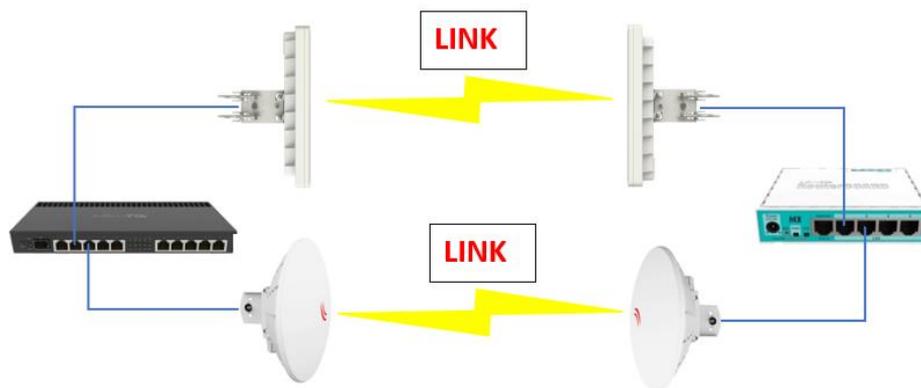
Esta técnica empleada en radio enlaces se desarrolló por primera vez en la década de 1980, siendo en ese momento una tecnología nueva que proporcionaba un ancho de banda limitado, pero permitía aumentar el rendimiento de los enlaces inalámbricos haciendo que sean una buena opción para aplicaciones que necesiten de una mayor cantidad de ancho de banda para la transmisión de datos.

Cuando se requiera de una conexión estable y constante se puede emplear esta técnica, debido a que la pérdida de uno o más enlaces, en ocasiones no causa una interrupción mayor esto porque al contar con varios enlaces de respaldo, va a permitir que se produzca una redundancia de información, donde si un enlace llega a fallar, la información va a ser transmitida mediante los enlaces restantes. Siendo un método de suma utilidad por asegurar la comunicación volviéndola eficiente y confiable.

A medida que se fueron desarrollando nuevas tecnologías digitales y de redes, Bonding a su vez se ha vuelto una técnica más mencionada, ya que permite la agregación de enlaces en tiempo real y también adaptarse de manera dinámica a las condiciones de la red. Comúnmente es utilizada en aplicaciones como:

- **Transmisión de vídeo**
- **Transmisión de datos**
- **Streaming**

Actualmente, la técnica Bonding en radio enlaces se ha encontrado con varias evoluciones a medida que pasa el tiempo, tanto en tecnologías de comunicación y por su ventaja con el incremento de ancho de banda siendo esencial para su implementación en redes inalámbricas. El propósito de esta técnica es combinar 2 o más enlaces inalámbricos en uno solo, ya sea por medio de las técnicas de enrutamiento.



*Figura 19. Diseño de la red mediante la técnica de bonding
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

➤ Técnicas anteriores a la técnica de bonding

Para que la técnica de bonding pudiera surgir se debía tener en cuenta técnicas anteriores a esta, las cuales se basaban en el uso de un solo enlace o la multiplexación por división de tiempo (TDM), teniendo en cuenta las limitaciones que poseían en términos de ancho de banda.

Algunas de las técnicas anteriores a la técnica de bonding son:

- **Enlace único:** Mediante esta técnica, se utiliza un solo enlace para transmitir todos los datos necesarios, lo cual limita el ancho de banda que ya se disponible de una capacidad determinada de datos del enlace.
- **TDM Multiplexación por división de tiempo:** Con respecto a la siguiente técnica, esta nos divide el ancho de banda de un único enlace en una mayor cantidad de canales. Donde cada uno utiliza para su transmisión diferentes flujos de datos, dándonos una ventaja y desventaja a la vez, ya que permite así incrementar el ancho de banda que ya se dispone, pero a su vez disminuye la eficiencia del enlace.

Para la realización de la técnica Bonding es necesario cumplir con varias configuraciones las cuales permitirán la transmisión de información eficiente entre cada punto. Para esto se debe considerar las siguientes configuraciones:

- **Configuración de Hardware:** Para realizar una buena configuración e implementación de hardware es necesario que este sea compatible con la técnica Bonding. Por lo general se incluyen que sean compatibles radios, antenas y dispositivos de red que soporten la agregación de canales.
- **Configuración de protocolos:** Para llevar a cabo la técnica Bonding se deben utilizar distintos protocolos, los cuales incluyen el Protocolo de Control de Enlace (denominado LCP) o el Protocolo de Control de Transmisión (denominado TCP), donde estos ayudan en la gestión, agregación y distribución del tráfico que se da en los enlaces.

➤ **Modos de configuración Bonding**

Para la creación de Bonding, dependiendo de la configuración que se vaya a realizar se debe escoger el modo con el que se va a operar, ya que esta técnica tiene varios modos disponibles.

Modo 1 (balance-rr): Este modo tiene como nombre **Round-Robin** es uno de los modos que ayuda a distribuir los paquetes de datos de manera secuencial entre todos los enlaces disponibles, logrando un uso completo del ancho de banda al combinar la capacidad de cada enlace [56].

Modo 2 (activo-pasivo): Es un modo de un solo un enlace. Está activo mientras los demás permanecen en espera como respaldo. Sí al ocurrir un problema en el enlace principal y esta falla los enlaces de respaldo pueden entrar rápidamente en funcionamiento, asegurando así una continuidad en la conexión de la red. El modo activo-pasivo ayuda mucho en escenarios donde la disponibilidad de la red es crítica, por lo que permite una alta redundancia sin necesidad de balancear carga constantemente [56].

Modo 3 (balance-xor): Mediante este modo se puede trabajar dirigiendo el tráfico a través de un enlace específico mediante su operador XOR permite realizar balanceo de cargas en las Direcciones Mac de origen y destino. Esto puede ayudar a asegurar que los paquetes entre los mismos dispositivos usen siempre el mismo enlace, lo que puede llegar

a reducir el desorden en los paquetes y mejorar la eficiencia en redes que requieren un balance de carga junto con un orden de transmisión consistente [56].

Modo 4 (broadcast): El modo broadcast envía paquetes por medio de todos los enlaces ofreciendo la máxima redundancia, aunque garantiza la entrega de datos e incluso si uno de los enlaces falla puede consumir un ancho de banda considerado. Es por ello que es ideal para aplicaciones de alta disponibilidad donde pueda ocurrir pérdida de datos [56].

Modo 5 (802.3ad): Puede llegar a combinar enlaces de manera rápida para balancear la carga y así proporcionar la redundancia como el modo mismo lo dice se necesita que los dispositivos estén activos para poder trabajar con el protocolo 802.3ad y así ofrecer soluciones de equilibrio y estabilidad [56].

Modo 6 (balance-tlb): Este método altera las transmisiones de los paquetes entre los enlaces, optimizando el uso del ancho de banda sin tener que realizar configuraciones en los dispositivos receptores. Se la utiliza generalmente para redes que necesitan un balance dinámico de carga cuando los enlaces tienen la misma capacidad [56].

Modo 7 (balance-alb): Mejora el modo anterior mediante la automatización de la gestión de transmisión y recepción din alguna otra configuración, es aplicada en redes que necesitan incrementar el tráfico [56].

2.2.9. Ancho de canal

La capacidad de transmisión de datos en términos de ancho de banda depende directamente del ancho de canal utilizado en la frecuencia seleccionada y la tecnología del equipo de transmisión y recepción.

En aplicaciones de Wi-fi y sistemas de enlaces de radio, los anchos de canal más comunes son: 20 MHz, 40 MHz y 80 MHz, donde se describen la frecuencia, tecnología y velocidad de datos como se muestra en la siguiente tabla:

ANCHO DE CANAL	FRECUENCIA	MIMO	VELOCIDAD DE DATOS
-------------------	------------	------	-----------------------

20 MHz	5 GHz	No aplica	100 Mbps
40 MHz	2,4 - 5 GHz	Un solo usuario (SU-MIMO)	400 Mbps
80 MHz	5 GHz	Un solo usuario (SU-MIMO)	866 Mbps

Tabla 5. Especificaciones de anchos de canal

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Por lo general un mayor ancho de canal permite alcanzar velocidades de datos mayores. No obstante, estos anchos de canal requieren un espectro más alto lo cual puede limitar su disponibilidad en entorno con un alto índice de tráfico de frecuencia. Se debe tener en cuenta que las cifras proporcionadas pueden variar en función de la configuración específica de MIMO, a su vez de las características propias de cada equipo y el entorno de operación.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. Componentes de la propuesta

3.1.1. Componentes Físicos

Para el desarrollo de la red inalámbrica, se emplean dispositivos de la marca Mikrotik debido a la gran capacidad que poseen. Siendo una empresa fabricante de equipos de red cableados e inalámbricos incluyendo dispositivos para usuarios finales como: enrutadores, conmutadores y puntos de acceso. Dentro de los dispositivos que ofrece Mikrotik, se hizo uso de los mencionados a continuación:

➤ Router Rb4011igs+Rm

El modelo Mikrotik RB4011iGS+RM un router con sistema operativo RouterOS el cual se encuentra preinstalado en los dispositivos RouterBOARD basados en el núcleo Linux siendo potente y versátil. Proporciona varias funciones como: enrutamiento dinámico, gestión de firewall, control y administración de ancho de banda, VPN, QoS (Calidad de servicio), VLANs, son una opción ideal para el enrutamiento de redes y conexiones de alto rendimiento y a su vez implementadas en pequeñas y medianas empresas. [57]

MIKROTIK RB4011iGS+RM	
CPU	1 core AL21400 Auto (533 - 1900) MHz
RAM	1 GB
Almacenamiento	NAND 512 MB
Modelo chip	RTL8367SB
Puerto Eth	10
Puerto SFP+	1
Puerto serial	RJ45
Voltaje (in) soporte	12-57 V
Puertos Poe in	Éther10
Poe out	PoE pasivo hasta 57 V
Temperatura	-40°C a 70°C
Dimensiones	228 x 120 x 30 mm

Sistema operativo	RouterOS versión 7
Consumo máx. energía	33 W
Consumo min. energía	18 W

Tabla 6. Especificaciones del router RB4011iGS+RM

Fuente: Tabla tomada de la página Mikrotik [57]



Figura 20. Router RB4011iGS+RM

Fuente: Imagen tomada de [57]

➤ Router hEX

Es un dispositivo asequible, pequeño y fácil de usar, siendo una solución ideal de alto rendimiento. Genera beneficios tales como: el firewall integrado ayudando en la protección y mayor seguridad en la red de posibles amenazas, control parental para supervisar y gestionar el acceso a Internet, función Adaptive QoS el cual priorizar tráfico y mejora experiencias en línea, además de que su diseño es elegante en blanco y turquesa, ideal para hogar u oficina [58].

MIKROTIK RB750Gr3	
CPU	2 core MT7621A 880 MHz
RAM	256 MB
Almacenamiento	16 MB
Modelo chip	MT7621A
Puerto Eth	5
Puerto serial	RJ45
Tipo tarjeta de memoria	MicroSD
Voltaje (in) soporte	8-30 V
Temperatura	-40°C a 60°C
Dimensiones	113 x 89 x 28 mm
Sistema operativo	RouterOS

Consumo máx. energía	10 W
Consumo min. energía	5 W

Tabla 7. Especificaciones del router hEX

Fuente: Tabla tomada de la página Mikrotik [58]

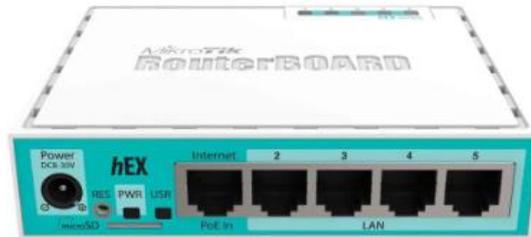


Figura 21. Router hEX

Fuente: Imagen tomada de [58]

➤ Router Tenda Tx2 Wi-Fi 6

El router Tenda Tx2 está diseñada para ofrecer un rendimiento que permita mejorar la experiencia de las redes inalámbricas de los usuarios.

Posee características como Tecnología Wi-Fi 6 siendo ideal para entornos que necesiten un ancho de banda amplio el cual sea capaz de soportar múltiples actividades, es un router doble banda con frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz que permiten generar una conexión inalámbrica continua con la ventaja de tener conexión con varios dispositivos, y está equipado con puertos Ethernet Gigabit que proporcionan una alta velocidad y transferencia de datos [59].

TENDA Tx2 Wi-Fi 6

	Estándar y protocolo	IEEE802.3, IEEE 802.3u, IEEE802.3ab
Hardware	Interfaces	Puerto WAN 10/100/1000 Mbps Puerto LAN 10/100/1000 Mbps
	Antena	4 antenas externas de 6dBi
	Potencia	Input: AC 100-240V ~ 50/60Hz 0.6A Output: DC 12V=1A

	Dimensiones	9.4x5.68x1.58 (238.9x144.3x40.3mm)
Wireless	Estándar inalámbrico	IEEE 802.11n/b/g 2.4 GHz IEEE 802.11ax/ac/n/a 5GHz
	Velocidad de datos	5GHz: Up a 1201Mbps 2.4GHz: Up a 300Mbps
	Frecuencia	2.4GHz y 5GHz
	Potencia de transmisión	CE: <20dBm (2.4G) <23dBm (5G)
		MU-MIMO
	Características básicas	Ahorro de energía inteligente Gestión local y remota
	Seguridad inalámbrica	WPA2-PSK WPA3-SAE/WPA2-PSK Deshabilitar y habilitar cifrado inalámbrico Conexión rápida WPS
Otras funciones	Temp. de funcionamiento:	0 °C ~ 40 °C
	Temp. de almacenamiento:	-40 °C ~ 70 °C
	Control de ancho de banda	
	IPTV	
	VLAN	
	Enrutamiento estático	
	Compatible con IPv6	

Tabla 8. Especificaciones del router Tenda

Fuente: Imagen tomada de [59]



Figura 22. Router Tenda
Fuente: Imagen tomada de [59]

➤ **Antena DynaDish 5 (RBDynaDishG-5HacDr3)**

Las antenas parabólicas DynaDish de Mikrotik se encuentran enfocados en exteriores 802.11ac para enlaces punto a punto de gran alcance, siendo diseñadas para proveer conectividad de largo alcance [60]. Ofrecen varios beneficios los cuales son de ayuda para generar una mejor experiencia en la telefonía móvil, proporcionan mayor alcance en la recepción de señales, mejor calidad de señal disminuyendo caída de servicio, mayor velocidad de datos, eficiencia y siendo de fácil instalación, las características que poseen son:

ANTENA DYNADISH 5 (RBDynaDishG-5HacDr3)	
CPU	1 core QCA9557 720 MHz
RAM	128 MB
Almacenamiento	16 MB
Modelo chip inalámbrico	QCA9892
Puerto Eth	1
Poe en	802.3 af/at
Voltaje (in) soporte	11-60 V
Temperatura	-40°C a 70°C
Dimensiones	Ø 404 mm, altura 175 mm (sin soporte)
Sistema operativo	RouterOS
Consumo máx. energía	9 W
Consumo min. de datos	867 Mbit/s

Ganancia dBi	25
---------------------	----

Tabla 9. Especificaciones de la antena DynaDish 5

Fuente: Tabla tomada de [60]



Figura 23. Antena DynaDish 5

Fuente: Imagen tomada de [60]

➤ **Antena QRT 5 (RB911G-5HPnD-QRT)**

Las antenas Mikrotik QRT-S son una serie de antenas direccionales de alta ganancia, diseñadas para enlaces punto a punto (PtP) en la frecuencia de 5 GHz. Son más compactas y aunque ofrecen una ganancia menor, siguen siendo adecuadas para distancias considerables permitiendo una instalación fácil en espacios limitados. Tiene un puerto Gigabit Ethernet para aprovechar las ventajas de la tecnología inalámbrica de alta velocidad 802.11n. Es de fácil uso y rápido de implementar, siendo de esta manera una opción ideal para enlaces punto a punto de mayor alcance a velocidades 802.11ac [61].

ANTENA QRT 5 (RB911G-5HPnD-QRT)	
CPU	1 core AR9342 600 MHz
RAM	64 MB
Almacenamiento	128 MB
Modelo chip inalámbrico	AR9342
Puerto Eth	1
Poe en	Pasivo
Voltaje (in) soporte	8-28 V
Temperatura	-40°C a 70°C
Dimensiones	309 x 320 x 50 mm

Sistema operativo	RouterOS
Consumo máx. energía	12 W
Consumo min. de datos	300 Mbit/s
Ganancia dBi	24

Tabla 10. Especificaciones de la antena QRT 5

Fuente: Tabla tomada de [61]



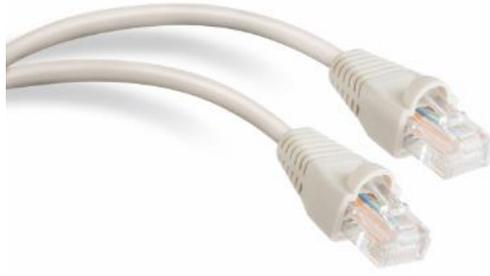
Figura 24. Antena QRT 5

Fuente: Imagen tomada de [61]

3.1.1.1. Dispositivos para cableado estructurado

➤ Cable UTP Categoría 6

Es uno de los tipos de cable más utilizados actualmente en redes de datos e internet de alta velocidad, utilizado normalmente para redes LAN debido a que puede soportar altas velocidades de transmisión cumpliendo así con el estándar TIA/EIA568B, la cual se conforma por 4 pares de cables trenzados y sus hilos, siendo clave para poder evitar las interferencias electromagnéticas ya que es 100% cobre. Ésta permite transmitir velocidades de 1Gbps hasta 10Gbps a una frecuencia máxima certificada de 250 MHz, siendo muy alta en comparación a otros tipos de UTP de otras categorías. Por sus características es ideal para redes Ethernet Gigabit en el que requieran gran ancho de banda.



*Figura 25. Cable UTP Categoría 6
Fuente: Imagen tomada de [62]*

➤ **Conectores RJ-45**

Es un conector físico el cual es fundamental para poder trabajar con estos tipos de cable UTP cat 6, en la que en su mayoría los consideran interfaces físicas ya que permiten realizar conexiones de redes cableados estructurados, en el momento de que el cable trenzado sea punchado con la norma respectiva que trabaja el cable mencionado anteriormente. Por lo cual este conector es recomendable y muy utilizada para redes Ethernet.



*Figura 26. Conectores RJ-45
Fuente: Imagen tomada de [63]*

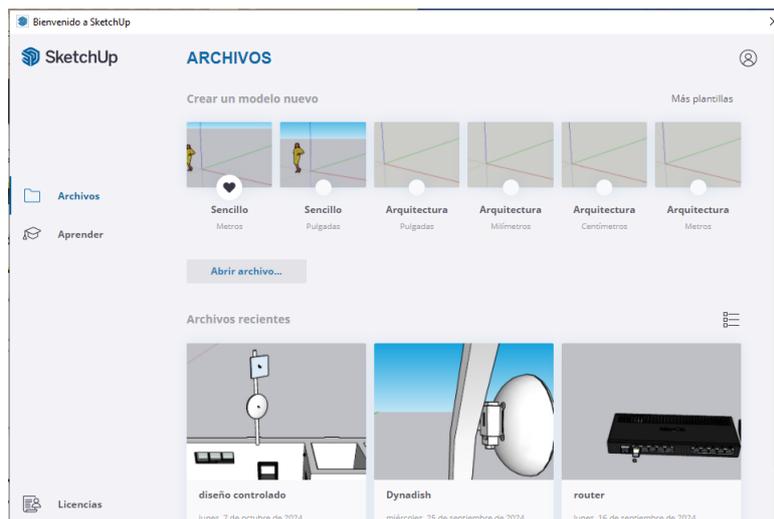
3.1.2. Componente Lógicos

➤ **SketchUp**

Es una herramienta de diseño que facilita la creación de modelos en 3D. Permite personalizar tu espacio de trabajo y descargar imágenes, texturas y objetos que ayudaran a mejorar proyectos. Es una plataforma muy utilizada por diseñadores, arquitectos e ingenieros que buscan tener un enfoque de los proyectos que van a ejecutar.

Algunas de las ventajas que posee son:

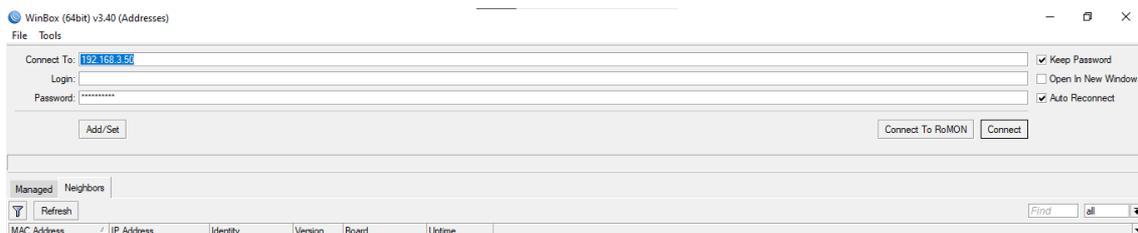
- Permite **ahorrar tiempo** debido a que su interfaz es sencilla y de fácil uso.
- Los proyectos son **compatibles** y se adaptan a otros formatos de 3D.
- Es de **gran precisión** permitiendo que los diseños se ajusten a medidas exactas.
- Tiene una **biblioteca** que ofrece una amplia galería de elementos y objetos que pueden ser usados y adaptados a la necesidad de cada usuario.
- Es **ligero** permitiendo importar y exportar archivos CAD (DWG), además de permitir acceso móvil.



*Figura 27. SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

➤ WinBox

Es uno de los programas más utilizados para poder configurar y administrar los tipos de routers Mikrotik, ya sea de una manera más fácil y ágil de forma gráfica, esta nos presenta una interfaz visual con varias opciones y herramientas, tiene la función de poder asignar direcciones IP, contraseñas, entre otras, además de poder activar y ajustar los DNS, VPN DHCP, cumple su trabajo de poder monitorizar el uso de tráfico de red, la CPU y visualizaciones de estadísticas en tiempo real.



*Figura 28. WinBox
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

➤ Radio Mobile

Es una herramienta informática en el que es altamente beneficiosa porque facilita el diseño y la simulación de redes de telecomunicaciones enfocadas en radiofrecuencia. Esta función resulta especialmente valiosa para la planificación de redes de radiocomunicaciones móviles, sistemas de radio para situaciones de emergencia, enlaces de radio punto a punto, y una amplia gama de aplicaciones adicionales. Permite simular la ubicación de estaciones radio transmisoras y así visualizar el comportamiento del sistema tal cual sería la implementación física, esta herramienta ofrece las posibilidades de realizar estudios ya sea de cobertura de un enlace, utiliza datos de elevación, vistas estereotípicas, vistas en 3D, entre otras.

Este software trabaja en un rango de frecuencia promediado entre 20MHz y 20 GHz, y se basa en un modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model).

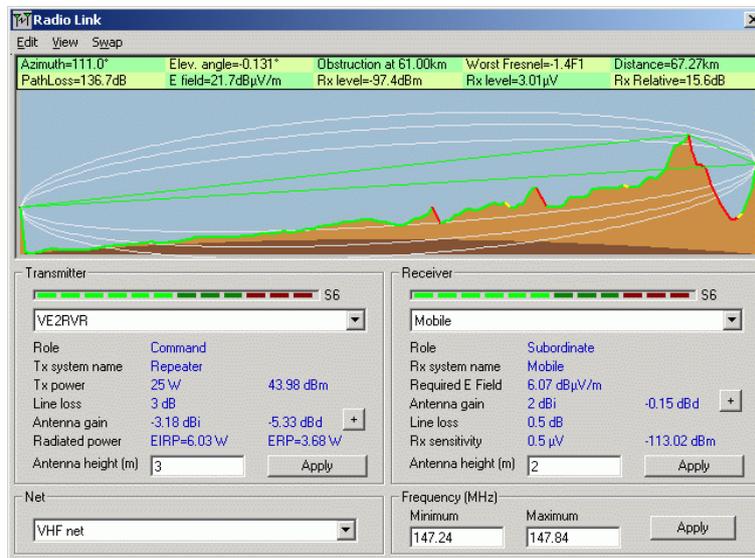
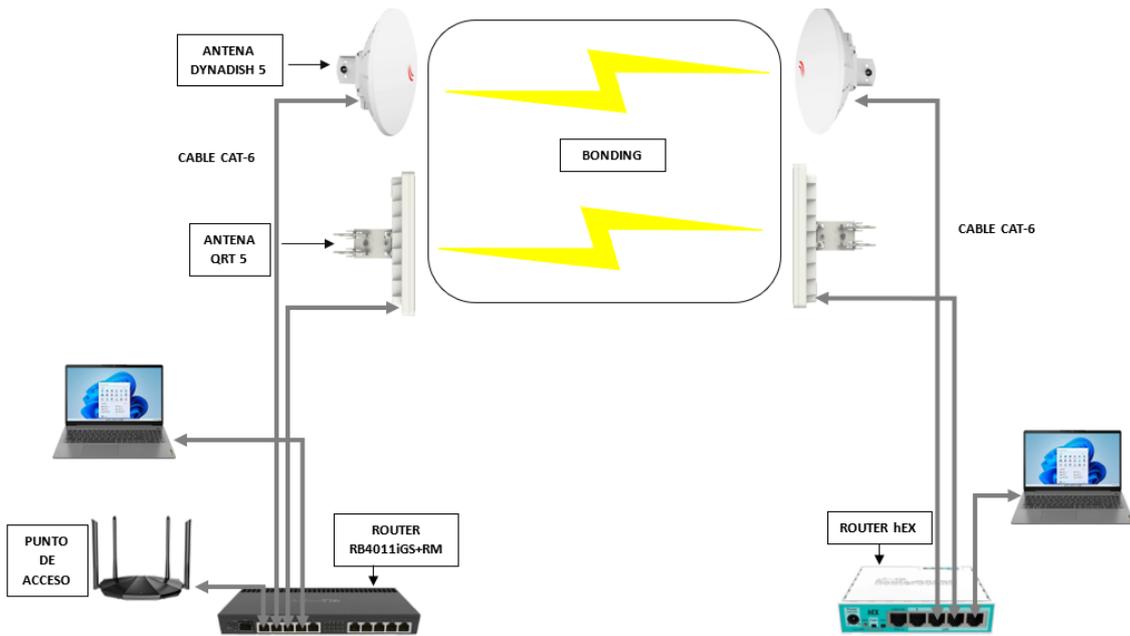


Figura 29. Software Radio Mobile
Fuente: Imagen tomada de [64]

3.2. Arquitectura de la red inalámbrica

La arquitectura utilizada es un sistema punto-punto (PTP) como se observa en la figura, formado por un AP (punto de acceso) conectado a un router principal. Del router principal se conectan 2 antenas direccionales principales que permitirán realizar la sumatoria de enlaces proporcionando un mayor ancho de banda a otras 2 antenas direccionales secundarias.



*Figura 30. Diagrama de la red inalámbrica
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

La arquitectura del sistema está compuesta por: routers y antenas Mikrotik, donde del router principal se configurarán los parámetros correspondientes para la técnica bonding, mediante la aplicación de Mikrotik RouterOS “WinBox” el cual brinda acceso a las configuraciones de los equipos mediante una interfaz gráfica, permitiendo el aumento del ancho de banda mediante la sumatoria de enlaces.

3.3. Diseño de la red inalámbrica implementada

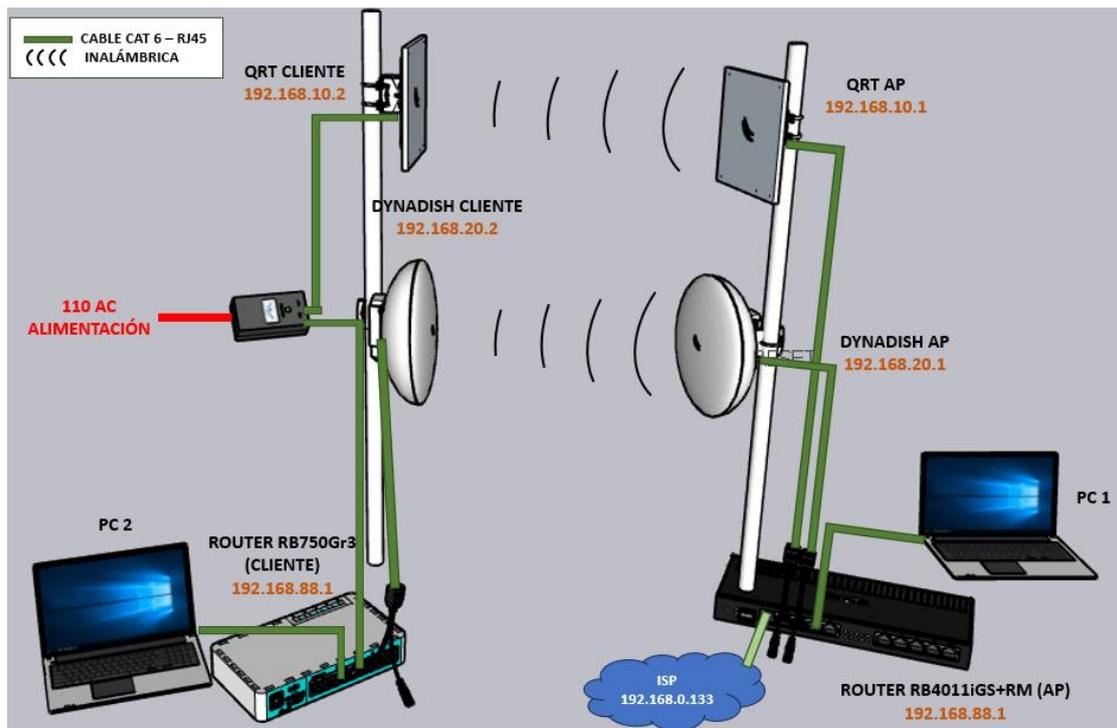
En temas anteriores se ha explicado cómo está conformada la arquitectura de la red y especificaciones de cada dispositivo que serán parte de la red inalámbrica, donde por medio de la siguiente sección se brindará toda la información correspondiente al diseño de la topología física y lógica que se aplicaran para la red.

3.3.1. Diseño de topología física

La propuesta actual fue desarrollada teniendo en cuenta la implementación de una red inalámbrica, para que los usuarios finales tengan acceso a internet mediante sus dispositivos con una mayor cobertura de ancho de banda. Para dicha red se hizo uso de un sistema punto-punto conformado por antenas conectadas a sus respectivos routers. Donde en el router principal **Mikrotik RB4011iGS+RM**, se configurará la opción de bonding para aumentar el ancho de banda mediante la sumatoria de enlaces a través de

las antenas **DynaDish 5 (RBDynaDishG-5HacDr3)** y **QRT 5 (RB911G-5HPnD-QRT)**, asignadas tanto como AP y Cliente, y el router secundario **Mikrotik RB750Gr3** con sus respectivas antenas, proporcionando así una mayor cobertura que mediante sus radioenlaces.

Debido a las grandes velocidades que abarca el cable UTP categoría 6, los cuales van hasta el 1 Gbps se optó por emplearlo para las conexiones entre los dispositivos, así mismo con sus respectivos RJ-45.



*Figura 31. Diseño de la red inalámbrica implementada
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

3.3.2. Diseño de topología lógica

En esta sección se especifica cada dispositivo con sus respectivos puertos a configurar para garantizar que el sistema funcione de manera óptima. En la tabla mostrada a continuación, se detalla la distribución de los puertos que se va a disponer para cada dispositivo:

Equipo	Puertos	Conectado a
ROUTER AP	ETH-ETH1	ROUTER RB4011iGS+RM

ROUTER RB4011iGS+RM	ETH 2-SPLIT POE	QRT 5_AP
	ETH 3-SPLIT POE	DYNADISH 5_AP
	ETH4	PC1
ROUTER HEX	ETH 3-SPLIT POE	QRT 5_CLIENTE
	ETH 4-SPLIT POE	DYNADISH 5_CLIENTE
	ETH5	PC2

Tabla 11. Distribución de los puertos de cada equipo

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Posteriormente a la distribución de puertos para cada equipo a implementar se optó por realizar un esquema, el cual ayudará para tener una buena identificación de las IP asignadas a cada equipo establecido, los cuales están asignada en el router AP, los routers para la red inalámbrica y las antenas de comunicación, siendo esencial para evitar que haya problemas de identificación en un futuro.

En la tabla visualizada a continuación, se detallan las ip que se asignaron a cada uno de los dispositivos:

IP ASIGNADAS	
ROUTER TENDA AP	192.168.0.133
ROUTER RB4011iGS+RM	192.168.88.1
ROUTER RB750Gr3	192.168.88.1
ANTENA QRT 5 (AP)	192.168.10.1
ANTENA QRT 5 (CLIENTE)	192.168.10.2
ANTENA DYNADISH (AP)	192.168.20.1
ANTENA DYNADISH (CLIENTE)	192.168.20.2

Tabla 12. IP asignadas a cada dispositivo

Fuente: Tabla elaborada por el autor

El diseño consta con la ventaja de poseer una fácil instalación estructural, debido a que al ser una red inalámbrica se va hacer solo uso de cable ethernet, donde si uno de los enlaces falla, el siguiente enlace funcionará normalmente enviando información de acuerdo a la capacidad de las antenas, evitando que haya pérdida de información.

3.3.3. Diseño de ubicación de equipos

Para plasmar de mejor manera y precisa el diseño de la red se elaboró un escenario de su implementación en el software de simulación 3D “SketchUp”, el mismo que permitirá visualizar de manera exacta la ubicación de cada uno de los routers, antenas y el recorrido que se tomó en cuenta para las rutas y conexiones en el laboratorio de Telecomunicaciones.

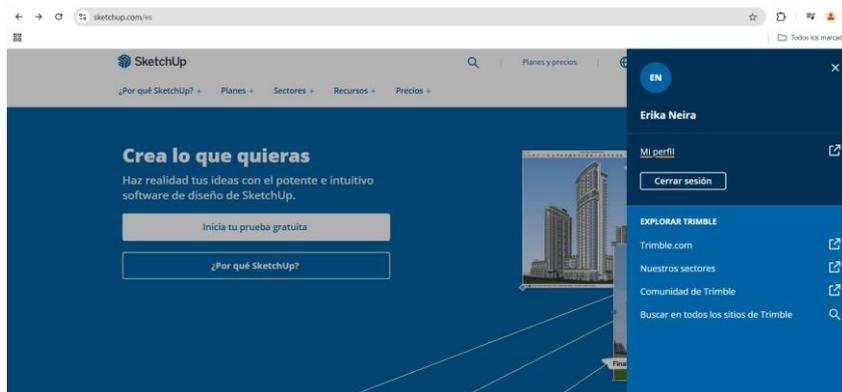
3.3.3.1. Instalación del software SketchUp

Para realizar la instalación del software se procede abrir un navegador e ingresar a la página oficial de SketchUp <https://sketchup.com/download/all>



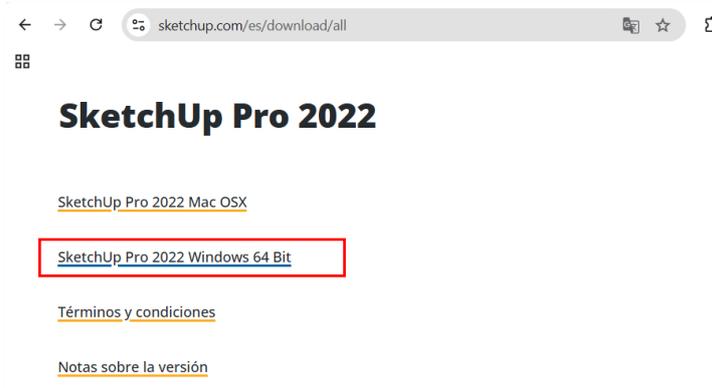
*Figura 32. Página oficial de SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Una vez teniendo la página cargada damos clic en el usuario, donde nos aparecerá la ventana tanto para iniciar sesión o crear una cuenta.



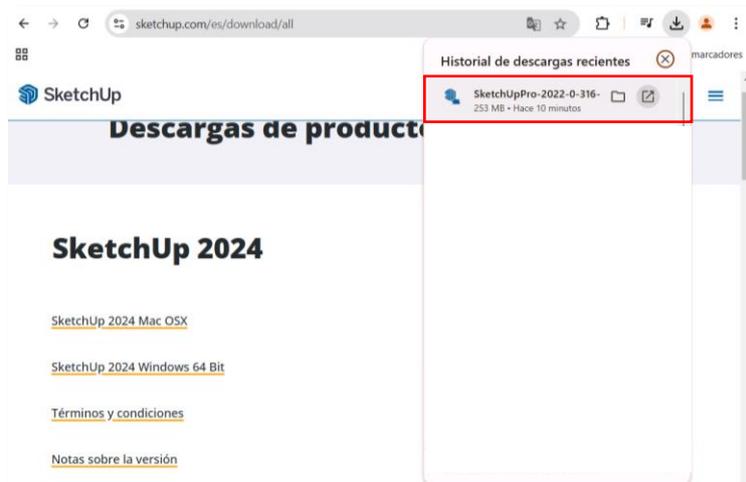
*Figura 33. Inicio de sesión en la página de SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Al ingresar buscamos la versión y el sistema de nuestra computadora a trabajar, seleccionamos la versión **SketchUp Pro-2022 Windows 64 bit**, damos clic y esperamos a que se descargue el archivo.



*Figura 34. Opciones de archivos de descarga para SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Una vez descargado el archivo, lo arrastramos al escritorio y le damos clic derecho para ejecutarlo como administrador, ya que mediante esta acción permite que se empiece el proceso de instalación.



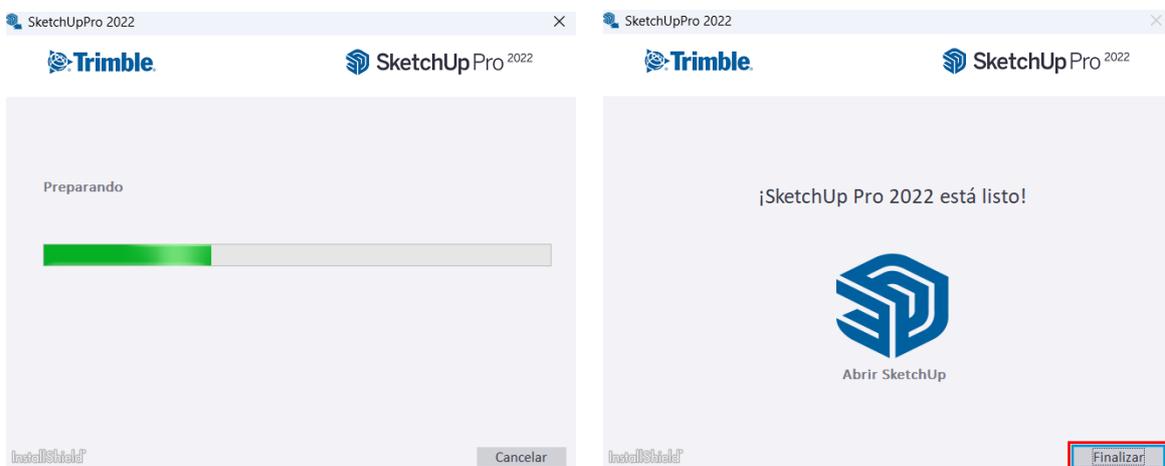
*Figura 35. Archivo descargado de SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Se mostrarán varias ventanas donde se deberán seguir las respectivas indicaciones para su correcta instalación, mientras que en la última ventana nos indicará el idioma que hemos descargado y la carpeta de destino donde se guardaran todos los archivos realizados, verificamos y procedemos a darle clic en **“Instalar”**.



*Figura 36. Pantalla de instalación de SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Observamos que empieza la instalación del software y al terminar daremos clic en **“Finalizar”**.



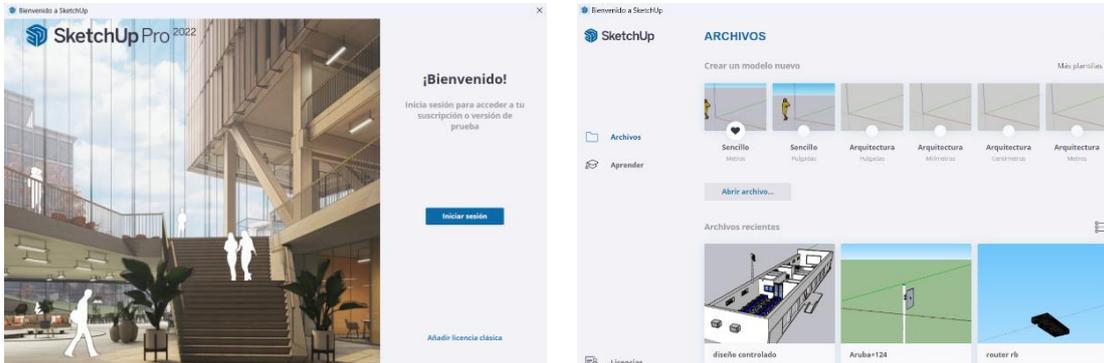
*Figura 37. Instalación de SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Al finalizar la instalación notamos que se muestran los íconos de nuestro software en el escritorio de nuestra PC.



*Figura 38. Íconos del programa SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Damos clic en el ícono “SketchUp Pro-2022”, se abre el programa y notamos que aparece la interfaz de nuestro software, ingresamos con la misma cuenta que iniciamos sesión en la página de SketchUp. Estamos listos para trabajar y crear un nuevo archivo.



*Figura 39. Pantalla de inicio de SketchUp
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

3.3.3.2. Escenario de los laboratorios de Facsistel realizada en SketchUp

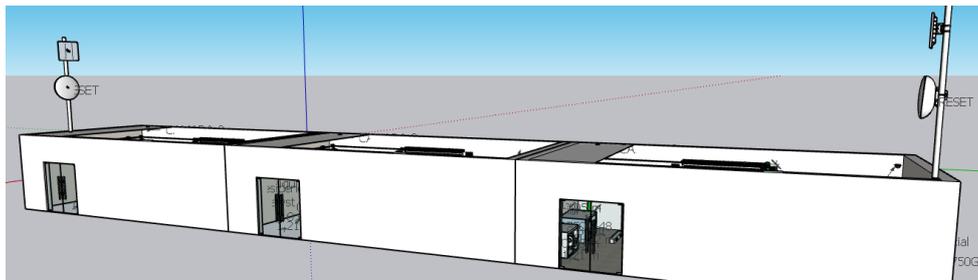
Se realizó el diseño de los laboratorios de Telecomunicaciones y Electrónica y Automatización, donde se replicó la infraestructura y los equipos que se implementaran para simular el entorno controlado del tema propuesto.

Se crearon los equipos que se utilizarán para la comunicación de la red los cuales serán colocados en la parte interna y externa de los laboratorios. Siendo comprendidos por los siguientes equipos:

- Router Tenda AP
- Router Mikrotik RB4011iGS+RM (AP)
- Router Mikrotik RB750Gr3 (Cliente)
- Antenas RB911G-5HPnD-QRT
- Antenas RBDynaDishG-5HacDr3

Iniciando con la implementación de los equipos, se optó por colocar en la parte interna del laboratorio de Telecomunicaciones en un primer rack el router Mikrotik RB4011iGS+RM que servirá como AP de la comunicación de la red junto al router Tenda AP que le proporcionará el servicio de internet, mientras que el router Mikrotik RB750Gr3 que hace la función de Cliente estará en otro rack del mismo laboratorio.

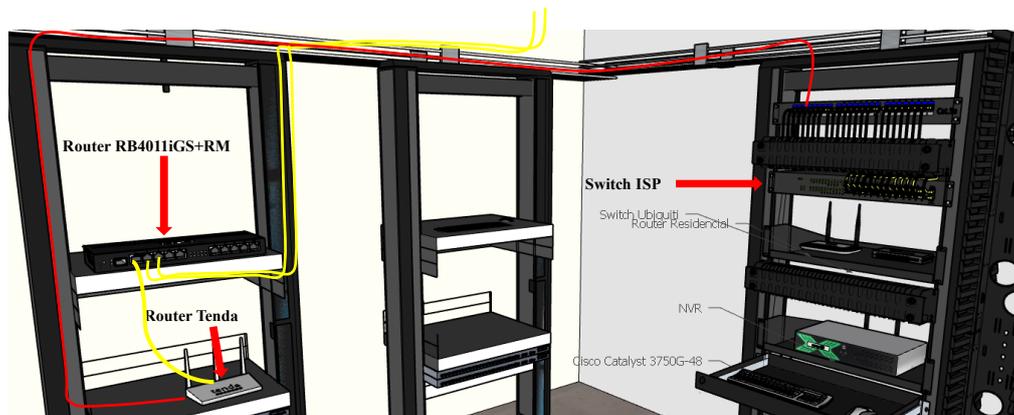
Por otro lado, las antenas que harán la función de AP serán colocadas en la parte externa del laboratorio de Telecomunicaciones, mientras que en la parte externa del laboratorio de Electrónica y Automatización se optó por colocar las antenas que van a hacer la función de Clientes, siendo la razón porque se necesitaba una distancia considerable para la comunicación punto-punto. Se realizó el diseño en el software de simulación 3D “SketchUp” como se puede observar en la figura a continuación, pudiendo apreciar la ubicación de cada una de las antenas.



*Figura 40. Ubicación de las antenas en los laboratorios de Facsistel
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

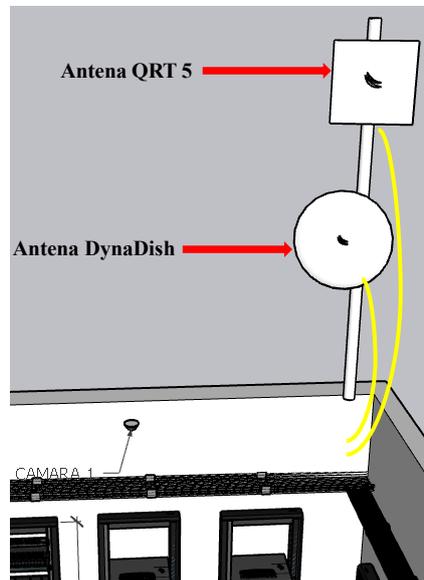
3.3.3.3. Ubicación de los equipos AP

Para la ubicación de los primeros equipos, se decidió colocar en un primer rack del laboratorio de Telecomunicaciones un router Tenda el cual nos servirá como AP. Del puerto Ether 1 del router Tenda se conectará directo a uno de los puertos del switch administrador de internet ya designado por medio de un cable UTP categoría 6. Una vez que el router Tenda se configure correctamente como AP, se le conectará otro cable UTP del Ether 2 hasta el puerto Ether 1 del router Mikrotik RB4011iGS+RM para proveerle servicio de internet, esto se realizó con el fin de evitar que se caiga la red del laboratorio.



*Figura 41. Ubicación del router RB4011iGS+RM
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

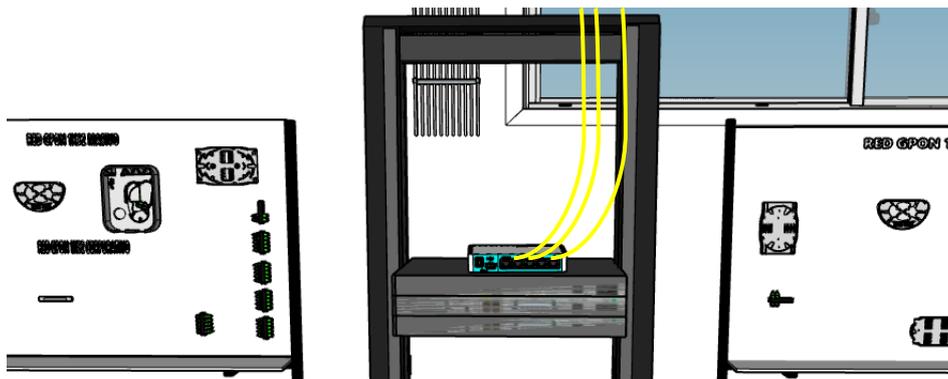
Para la red inalámbrica se optó en colocar las antenas **RB911G-5HPnD-QRT** y **RBDynaDishG-5HacDr3** que van a ser la función de AP en el exterior del laboratorio de Telecomunicaciones, ya que estas van a proporcionar internet a las antenas clientes. La antena QRT 5 va a conectarse al puerto Ether 2 y la antena DynaDish al Ether 3 del router **RB4011iGS+RM**.



*Figura 42. Ubicación de las antenas AP
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

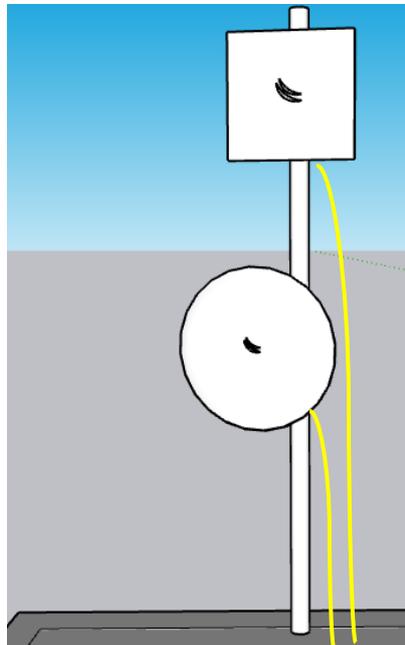
3.3.3.4. Ubicación de los equipos Cliente

La ubicación designada para el router Cliente fue en un segundo rack del laboratorio de Telecomunicaciones, por lo que fue necesario implementar una mayor cantidad de cable UTP para que conectara a sus respectivas antenas ubicadas en la parte externa del laboratorio de Electrónica y Automatización.



*Figura 43. Ubicación del router RB750Gr3
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Las antenas **RB911G-5HPnD-QRT** y **RBDynaDishG-5HacDr3** designadas clientes fueron ubicadas en el exterior del laboratorio de Electrónica y Automatización, las cuales recibirán la señal emitida de las antenas AP. La antena QRT 5 va a conectarse al puerto Ether 2 y la antena DynaDish al Ether 3 del router **RB750Gr3**.



*Figura 44. Ubicación de las antenas Clientes
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

3.4. Proveedor de servicio de internet

En los laboratorios de Telecomunicaciones el proveedor que ofrece el servicio es Telconet, una empresa ecuatoriana de telecomunicaciones avalada por su extensa infraestructura de fibra óptica y la aptitud para proveer servicios de alta velocidad y confiabilidad. Telconet tiene más de veinte años de experiencia proveyendo a escuelas y negocios de Ecuador con soluciones tecnológicas de vanguardia.

3.5. Configuración de equipos

3.5.1. Instalación del software WinBox

WinBox permite por medio de una interfaz gráfica realizar la configuración de todos los equipos Mikrotik, por lo que es necesario instalarla. Desde nuestro buscador nos dirigimos a la página de Mikrotik <https://mikrotik.com/download>, en ella nos dirigimos a la opción “**Software**”.



Figura 45. Página oficial de Mikrotik
Fuente: Imagen elaborada por el autor

Al dar clic en la pestaña “**Software**” nos dirige a una nueva ventana donde nos muestra las versiones disponibles que hay de WinBox.



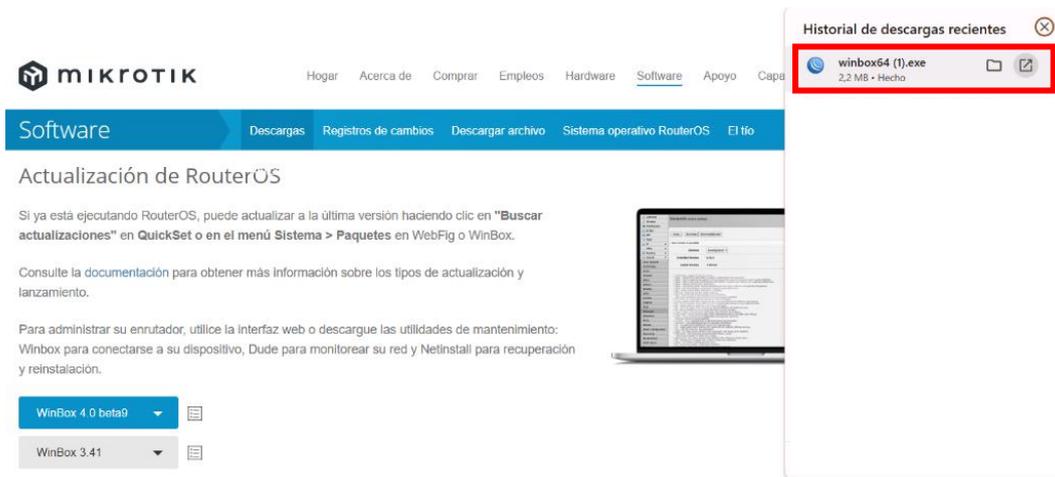
Figura 46. Página WinBox - opción Software
Fuente: Imagen elaborada por el autor

Elegimos la versión de “**WinBox 3.41**” y luego “**WinBox (64 bits)**”, teniendo en cuenta que esta opción dependerá del sistema de nuestra PC.



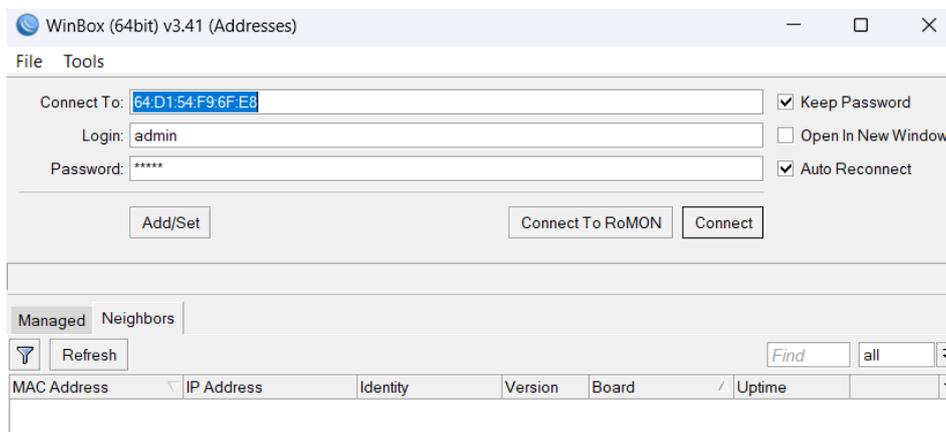
Figura 47. Versiones de WinBox
Fuente: Imagen elaborada por el autor

Una vez que seleccionamos WinBox se nos descargará el archivo.



*Figura 48. Archivo descargado de WinBox
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Haciendo clic en el archivo directamente nos lleva hasta la ventana de WinBox ya podremos realizar las respectivas configuraciones de cada uno de los equipos.



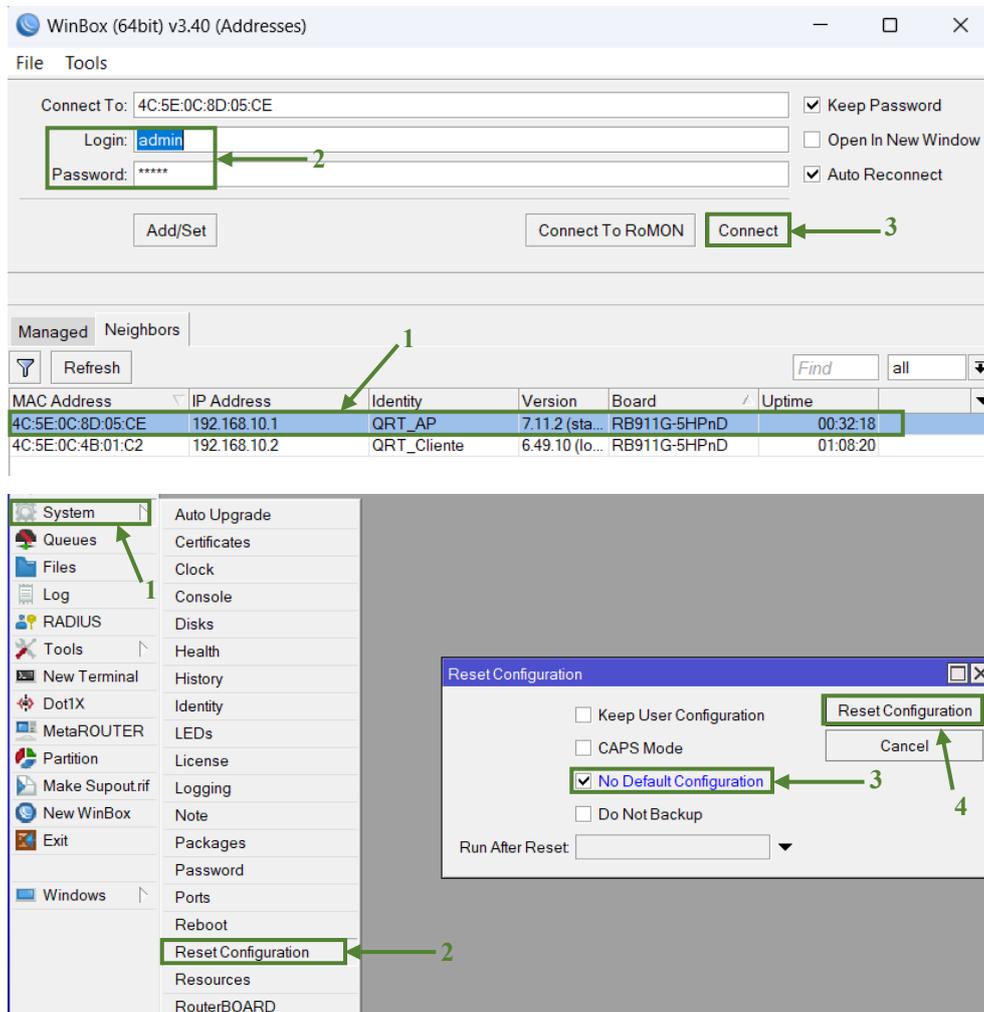
*Figura 49. Pantalla principal de WinBox
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

3.5.2. Configuración de antena QRT 5 - AP

PASO 1: Para empezar con la configuración de las antenas, primero conectamos de manera física la antena **RB911G-5HPnD-QRT** con un cable UTP cat 6 al Splitter POE y el puerto del mismo a la PC1.

Luego nos dirigimos al programa WinBox para poder acceder al dispositivo, donde nos aparecerán todos los equipos que se encuentren conectados, posteriormente

seleccionamos la MAC de la antena **RB911G-5HPnD-QRT** y accedemos colocando en **Login: “admin”** y **Password: “admin12345”**. Por último, damos clic en **Connect** para poder ingresar y realizar las configuraciones respectivas de la antena. En ocasiones es necesario reestablecer su configuración de fábrica.



*Figura 50. Ventana de WinBox para acceder a la antena QRT 5 AP
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 2: En este caso es necesario crear un bridge el cual permitirá administrar las interfaces que se le asignen, por lo cual creamos un puente bride dando clic en la pestaña **“Bridge”** que se muestra en la ventana general. Para añadir una nueva interfaz damos clic en el botón **“+”**. Luego nos aparecerá una ventana emergente llamada **“New Interface”** en donde se asignará un nombre a nuestro bridge, en este caso será nombrado como **“bridge 2”** y para finalizar con la creación del bridge damos clic en **“OK”**.

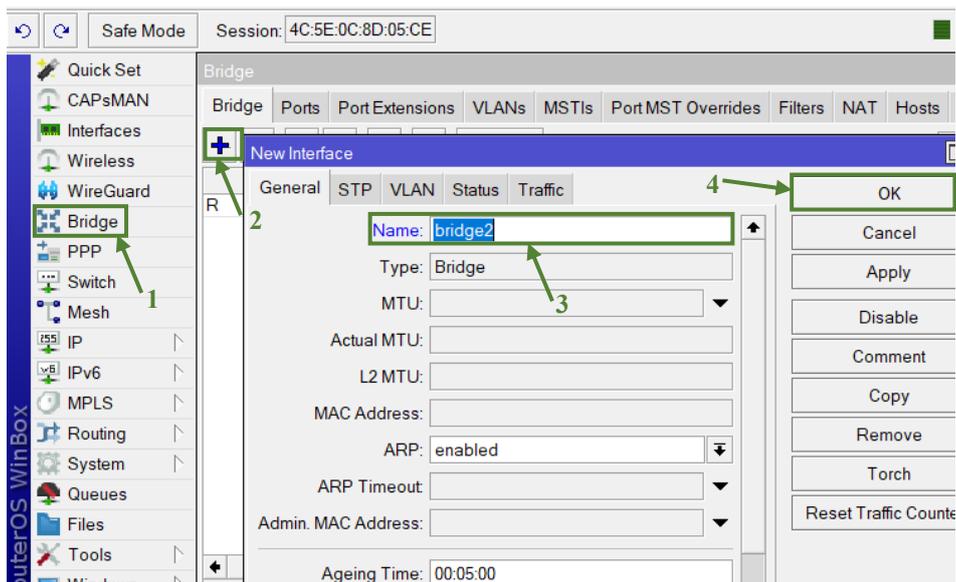
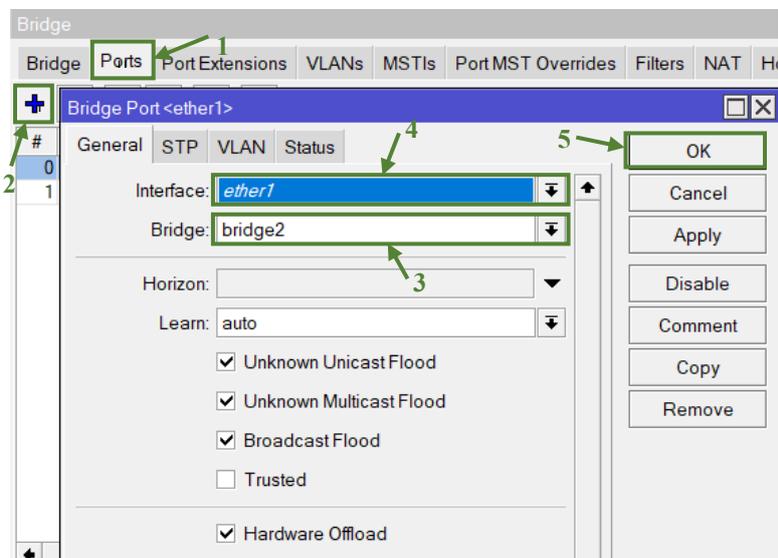


Figura 51. Creación del bridge (antena QRT 5 – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 3: Continuamos con la agregación de los puertos que se asignarán al “bridge 2”, en este caso nos dirigimos al menú de la pestaña **Bridge > Port**, damos clic en el botón “+” y se abrirá una nueva ventana llamada “**New Bridge Port**”, seleccionamos los puertos a asignar siendo estos en nuestro caso: “**ether1**” y “**wlan1**”.

Para finalizar damos clic en “**OK**” guardando los datos configurados y podemos notar que ya quedan los puertos asignados al bridge de la antena.



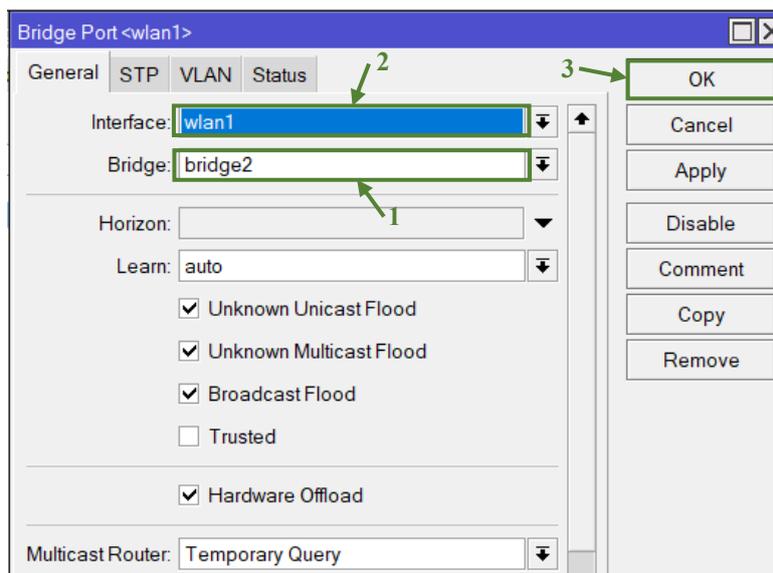


Figura 52. Asignación de interfaces del bridge (antena QRT 5 - AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 4: Designamos una dirección IP en el puerto LAN o en este caso la dirección IP con la que se va a reconocer a la antena. Para ello nos dirigimos a la pestaña **IP > Addresses**, damos clic en el botón “+” y se abrirá la pestaña “**New Addresses**”. En la parte de Address ingresaremos la IP correspondiente para la red LAN siendo **192.168.10.1/24**, el Network se asigna por defecto y para la interfaz se le asignará el puerto “**wlan1**”. Para finalizar, hacemos clic en “**APLICAR**” luego en “**OK**”.

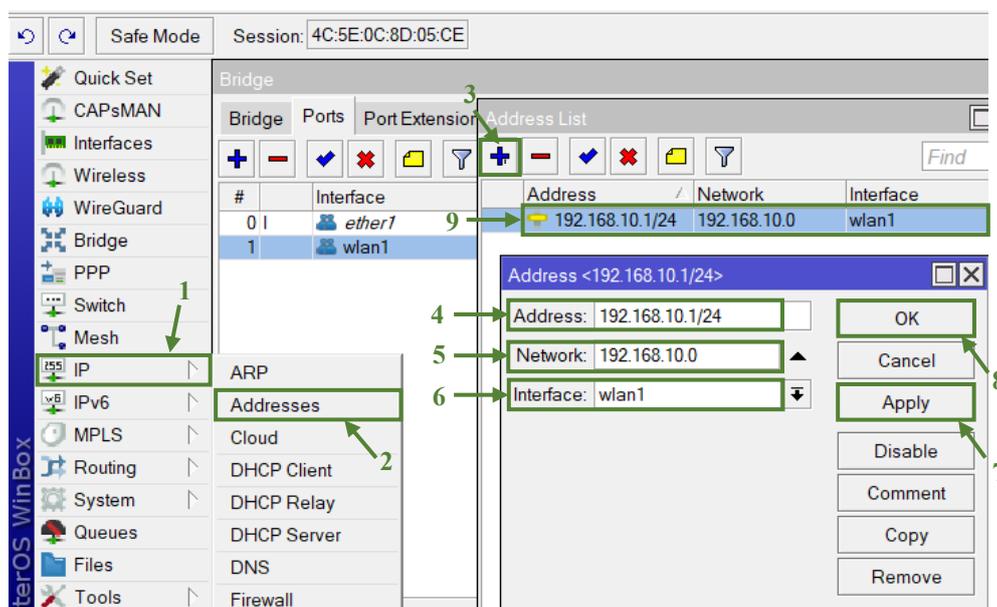


Figura 53. Asignación de IP al puerto LAN (antena QRT 5 – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 5: Como último paso nos dirigimos a la pestaña “Wireless” para realizar la configuración de la interfaz WLAN. Esta nos mostrará la ventana “Wireless Tables” y realizamos las siguientes configuraciones:

Modo: bridge, **Band:** 5GHz-only-N, **Channel Width:** 20/40MHz eC, **Frecuency:** 4940 MHz, **SSID:** ENLACE_1, **Frecuency Mode:** superchannel.

Y finalizamos dando clic en “OK”.

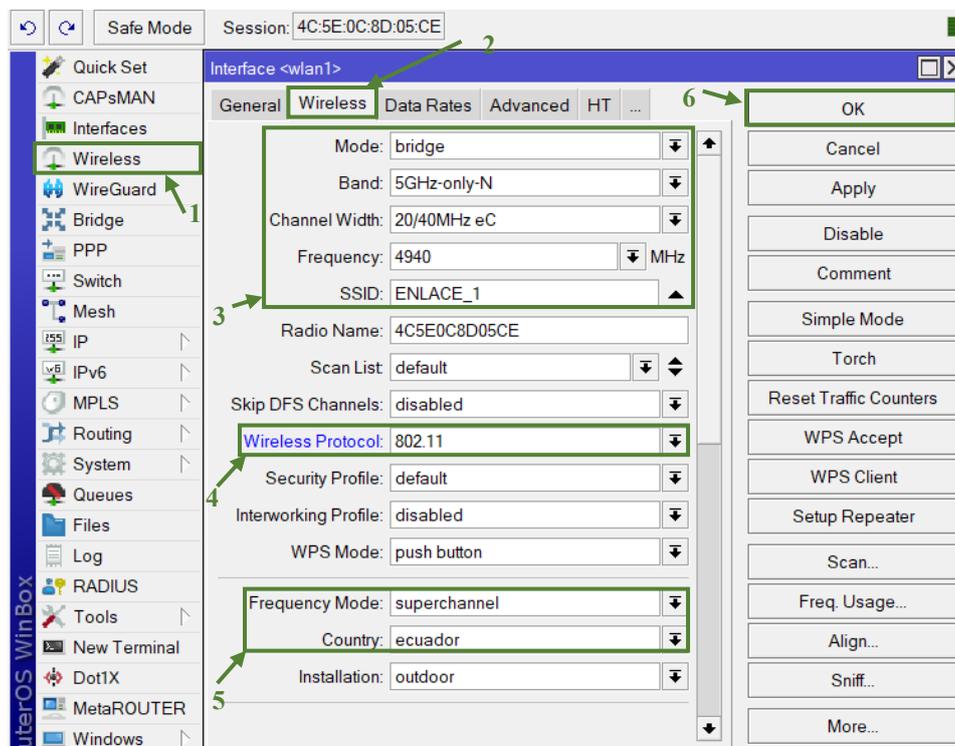


Figura 54. Configuración de la interfaz WLAN (antena QRT 5 – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.3. Configuración de antena QRT 5 - CLIENTE

PASO 1: Para la configuración de la siguiente antena, se conecta físicamente a la PC1 con un cable UTP cat 6 y su respectivo splitter POE. Abrimos el programa WinBox, seleccionamos la MAC e ingresamos a la antena. Nos dirigimos a crear un puente desde la pestaña “Bridge” y añadiendo una nueva interfaz haciendo clic en el botón “+”.

Luego en la ventana emergente nos aparecerá la ventana “New Interface” en donde le designamos el nombre a nuestro bridge como “bridge 3” y le damos clic en “OK”.

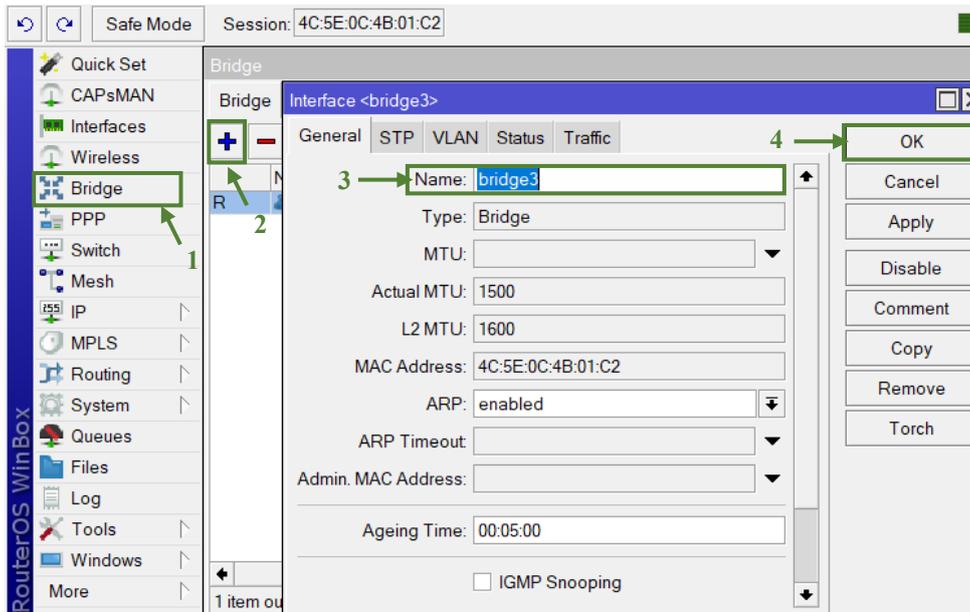
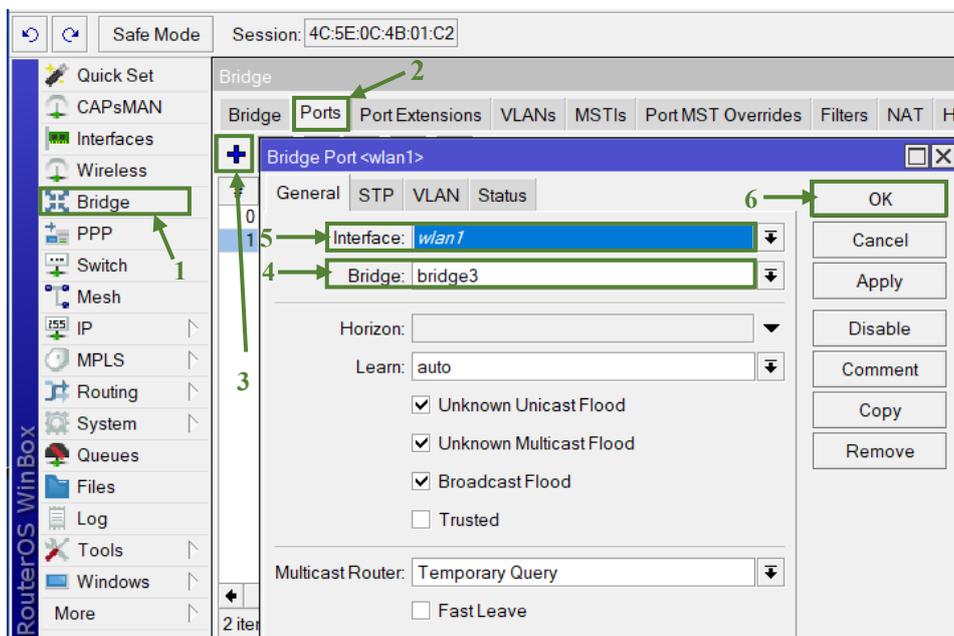


Figura 55. Creación del bridge (antena QRT 5 – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 2: Luego procedemos a asignar los puertos al “**bridge 3**”. Para hacerlo nos dirigimos al menú de la pestaña **Bridge > Port**, dándole clic en el botón “+”, esto nos llevara a la ventana “New Bridge Port” donde seleccionamos los puertos correspondientes, en este caso “**ether1**” y “**wlan1**”. Guardamos los cambios de la configuración dando clic en “**OK**”.



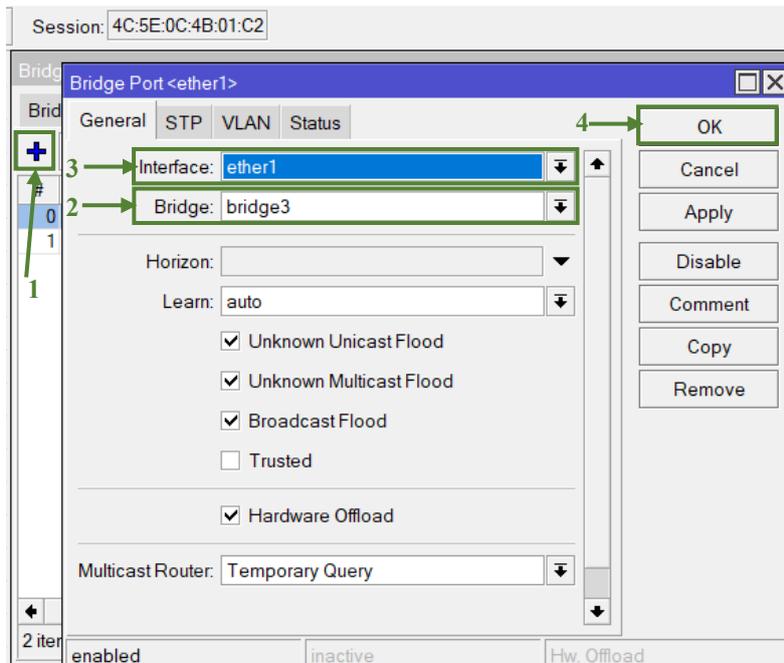


Figura 56. Asignación de interfaces del bridge (antena QRT 5 – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 3: Damos clic en la pestaña “**Wireless**” para la configuración de la interfaz WLAN, a continuación nos muestra la ventana de “Wireless Tables”; donde habilitaremos “wlan1” presionando el “✓”.

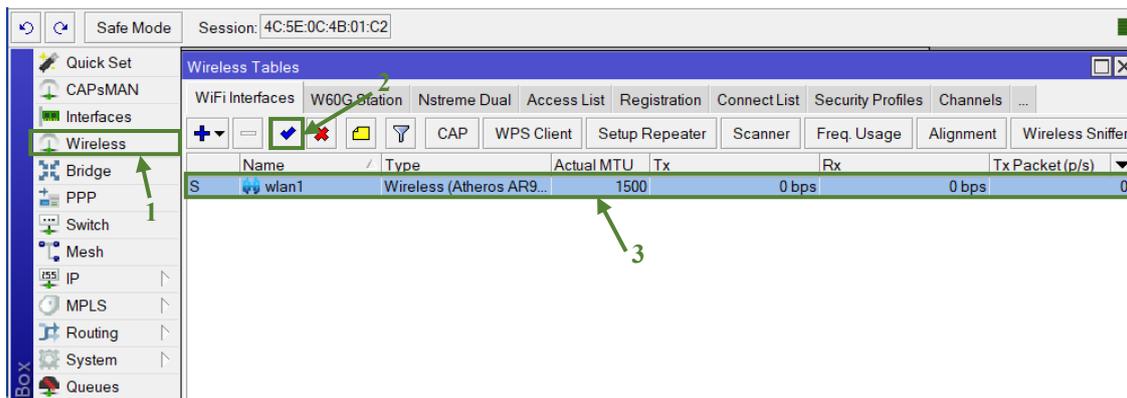


Figura 57. Habilitación de la interfaz WLAN (antena QRT 5 – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 4: Como siguiente paso nos dirigimos a la opción **Interface < Wireless**, le damos clic al botón “**Advanced Mode**” y asignamos en **Scan List** el rango de la frecuencia en que se encuentra la antena AP configurada anteriormente siendo la frecuencia de 4940, por lo que en nuestro caso se establece un rango de **4000 - 6000**. Luego nos dirigimos a

la parte derecha de las opciones y escanemos desde el botón “Scan”. Este paso se realiza con el fin de escanear la antena y engancharla de manera automática.

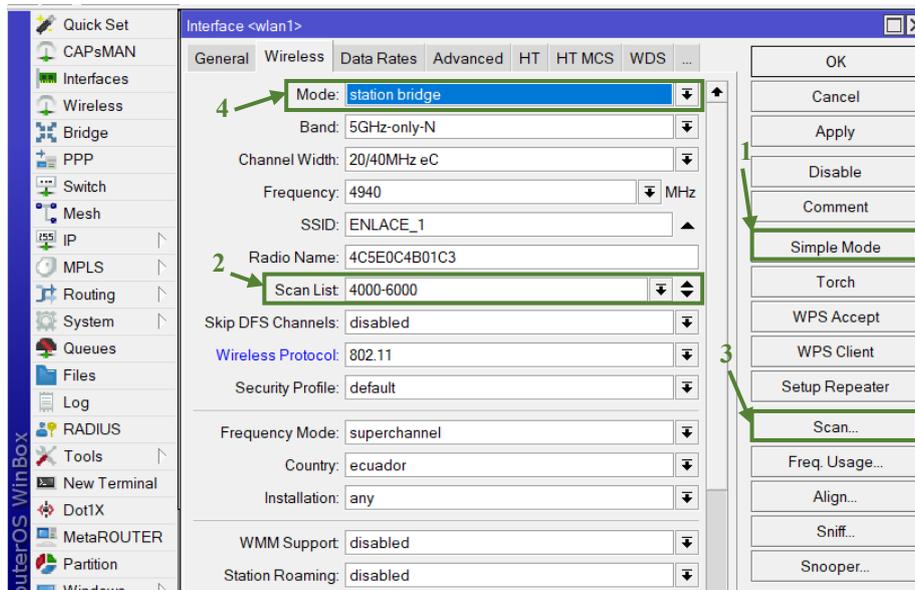


Figura 58. Asignación de frecuencia para escaneo de antena QRT 5 - AP
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 5: A continuación se muestra la ventana “Scanner (Running)”, en la opción “Interface” elegimos “wlan1” y damos clic en “Start”, nos aparecerá la antena designada como access point (AP), la seleccionamos y damos clic en “Connect”. Como último paso le cambiamos el modo a “Station Bridge” y finalizamos dando en “OK”.

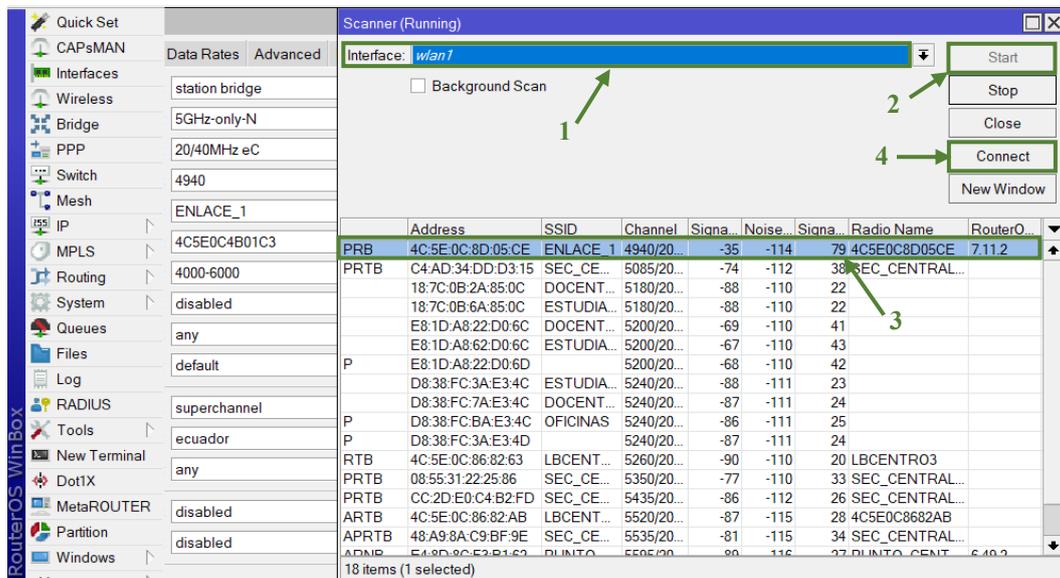
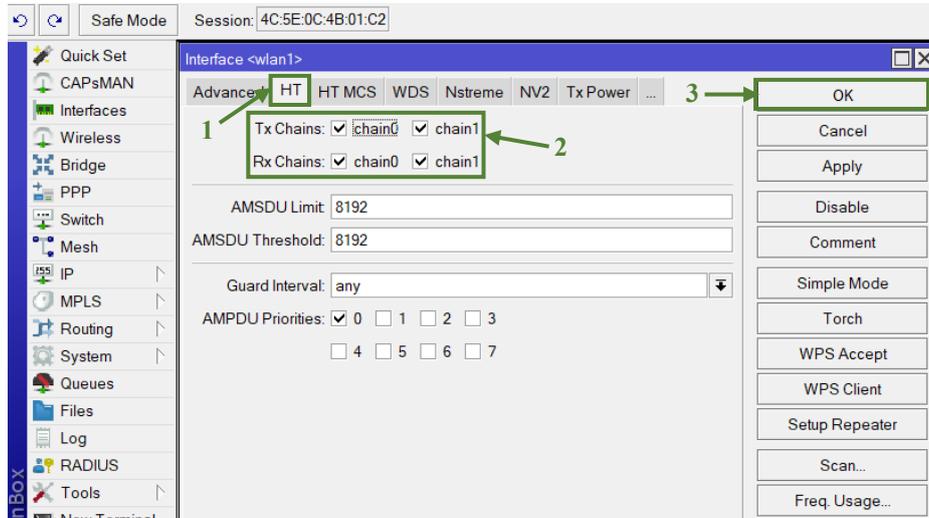


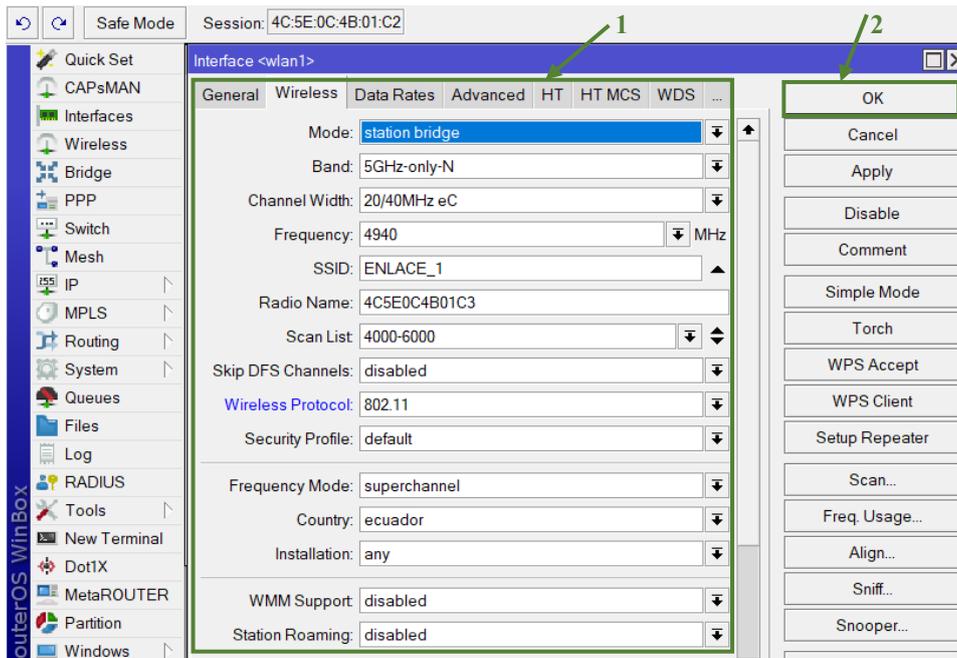
Figura 59. Escaneo de la antena QRT 5 – AP
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 6: En la misma ventana luego de haber enganchado las antenas nos dirigimos a la pestaña de “HT” donde seleccionaremos todas las casillas de las cadenas de transmisión “Tx Chains” y recepción “Rx Chains”, finalizando, dándole clic en “OK”.



*Figura 60. Activación de casillas de Tx y Rx (antena QRT 5 – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 7: Verificamos que el Wireless de la antena Cliente tenga la misma configuración de la antena que se encuentra como AP.



*Figura 61. Comparación de configuraciones de antena QRT 5 AP – Cliente
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 8: Asignamos una dirección IP al puerto LAN accediendo al menú **IP > Addresses**.

Hacemos clic en el botón “+” y nos dirigirá a la ventana “New Addresses”, seleccionamos la interfaz “ether1” y le asignamos la IP “192.168.10.2”, para terminar la configuración damos clic en “OK”.

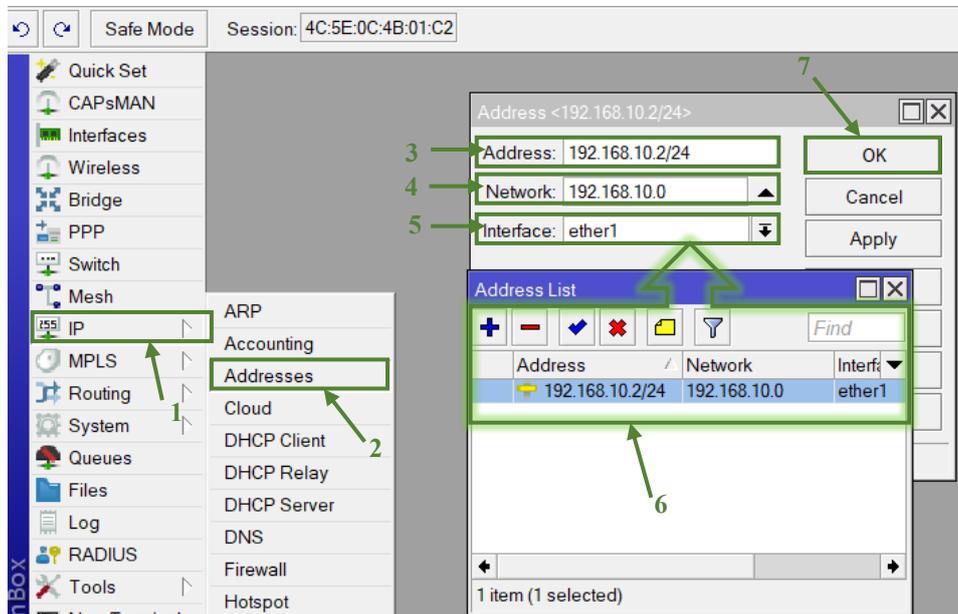


Figura 62. Asignación de IP al puerto LAN (antena QRT 5 – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

➤ Verificación del ENLACE_1 de las antenas RB911G-5HPnD-QRT

En la ventana “Wireless Tables” nos dirigimos a la pestaña de “Registration” y verificamos los megas que nos proporciona el enlace, el cual es de 120 Mbps.

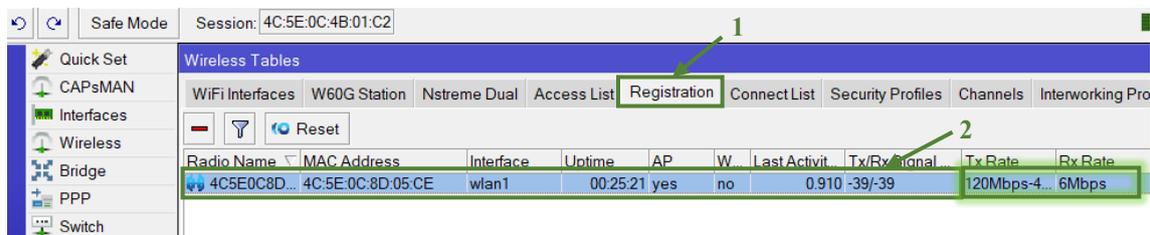


Figura 63. Verificación de megas transmitidos en el enlace de antenas QRT
Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.4. Configuración de antena DynaDish 5 - AP

Paso 1: Continuando con la configuración de las segundas antenas, empezamos conectando la antena con un cable UTP cat 6 al Splitter al POE, y del conector de este a

la PC2. Luego nos dirigimos a WinBox, para poder acceder al dispositivo, pudiendo visualizar los equipos conectados.

Seleccionamos la MAC de la antena **Mikrotik RBDynaDishG-5HacDr3** y accedemos colocando en **Login: “admin”** y **Password: “12345”**, nos dirigimos a **Connect** para poder ingresar a las configuraciones de la antena, teniendo en cuenta que generalmente es necesario reestablecer su configuración de fábrica.

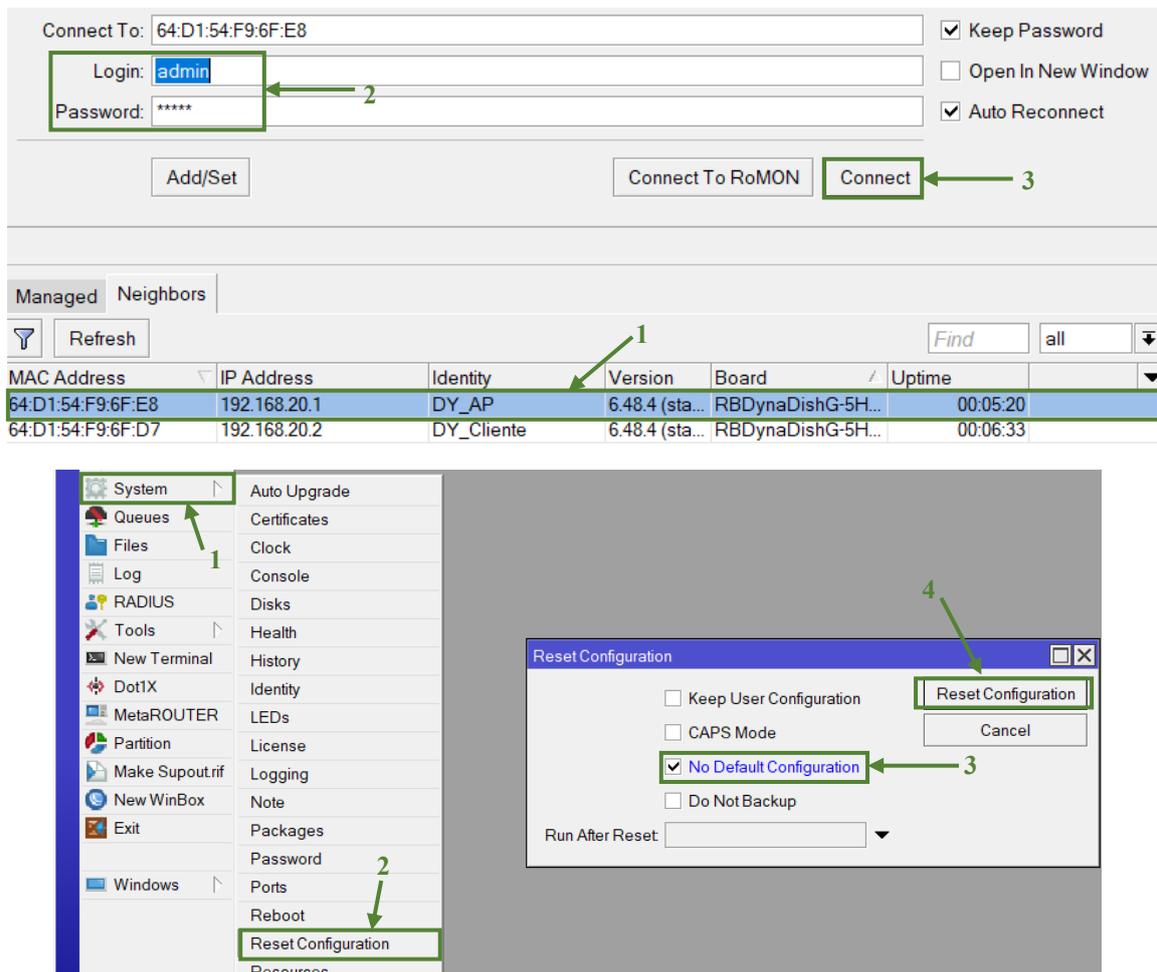


Figura 64. Ventana de WinBox para acceder a la antena DynaDish AP
Fuente: Imagen elaborada por el autor

Paso 2: Creamos un puente desde la pestaña “**Bridge**” añadiendo una nueva interfaz haciendo clic en el botón “+”. Luego en la ventana emergente nos aparecerá la ventana “**New Interface**” en donde le designamos un nombre a nuestro bridge, siendo este “**bridge3**” y finalizamos dando clic en “**OK**”.

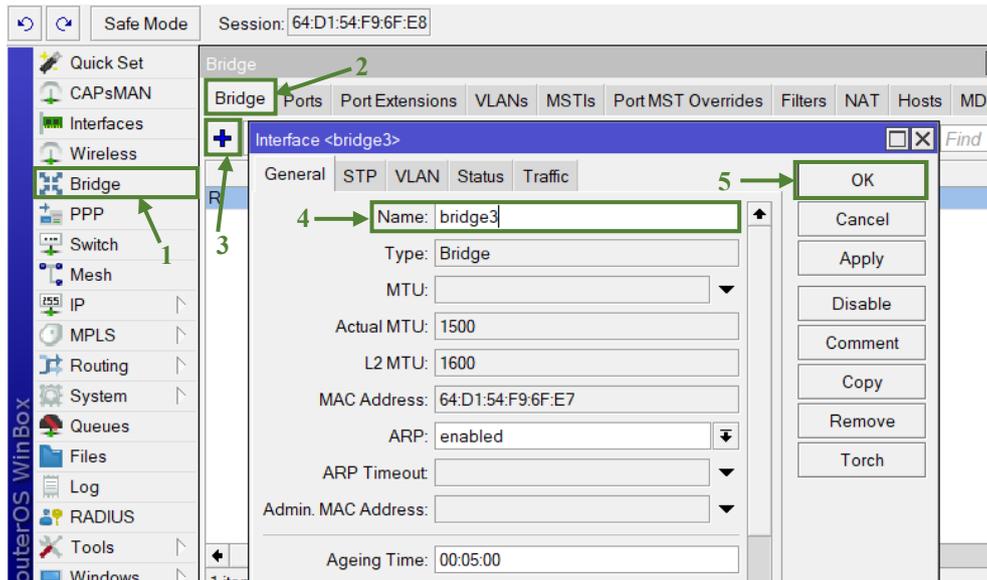
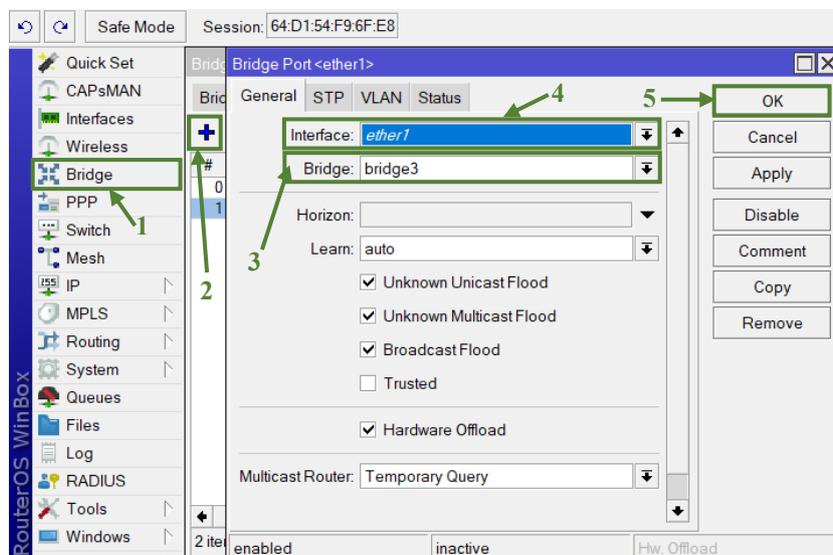


Figura 65. Creación del bridge (antena DynaDish – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 3: A continuación, se procede asignar los puertos correspondientes al “**bridge3**”. Para realizarlo nos dirigimos al menú de la pestaña **Bridge > Port** y le damos clic en el botón “+”, esto nos mostrará la ventana “**New Bridge Port**” donde seleccionamos los respectivos puertos, siendo en este caso “**ether1**” y “**wlan1**”.

Para finalizar guardamos los cambios realizados de la configuración dando clic en el botón “**OK**”.



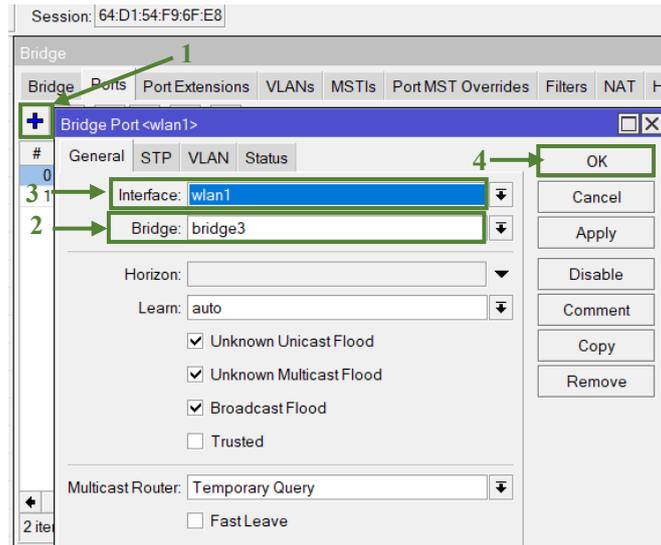


Figura 66. Asignación de interfaces del bridge (antena DynaDish – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 4: Designamos una dirección IP al puerto LAN, para eso nos dirigimos a la pestaña **IP > Addresses** dando clic en el botón “+”, esto nos llevara a la pestaña “New Addresses”. Por consiguiente, seleccionamos la interfaz y la IP correspondiente para la red LAN, en esta ocasión elegimos el puerto del “wlan1” y le establecemos la IP “192.168.20.1”. Para finalizar hacemos clic en “APPLY” y luego en “OK”.

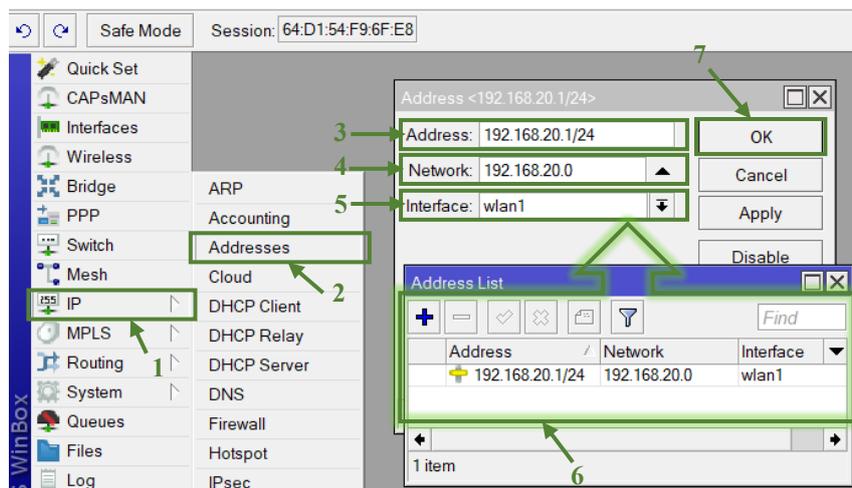


Figura 67. Asignación de IP al puerto LAN (antena DynaDish – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 5: Nos dirigimos a la pestaña “Wireless” para la configuración de la interfaz WLAN, donde se aparecerá la ventana “Wireless Tables”; y le asignamos las siguientes configuraciones:

Modo: bridge, **Band:** 5GHz-A/N/AC, **Channel Width:** 20/40/80MHz eCee, **Frecuency:** 5180 MHz, **SSID:** LABTELE1, **Frecuency Mode:** superchannel.

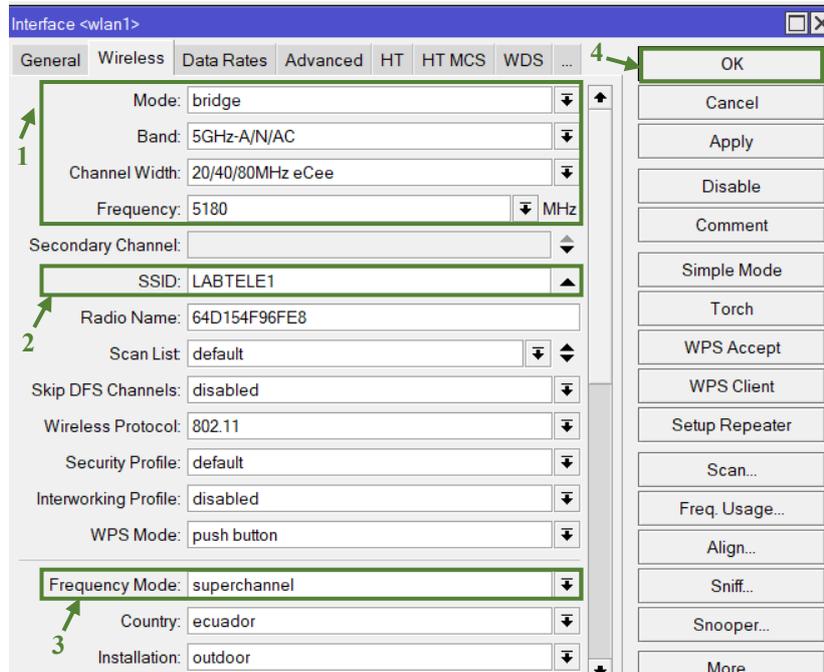


Figura 68. Configuración de la interfaz WLAN (antena DynaDish – AP)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.5. Configuración de antena DynaDish 5 - CLIENTE

PASO 1: Creamos un puente desde la pestaña “**Bridge**” añadiendo una nueva interfaz haciendo clic en el botón “+”. Luego en la ventana emergente nos aparecerá la ventana “**New Interface**” en donde le damos el nombre a nuestro puente como “**bridgeLocal**” y le damos clic en “**OK**”.

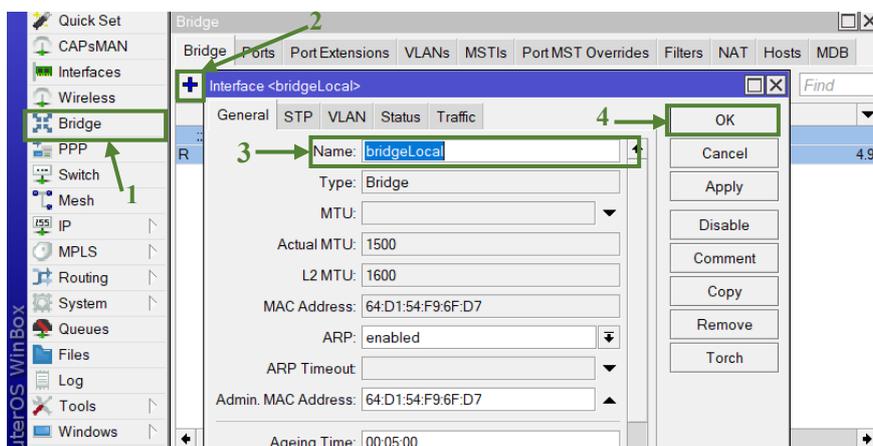
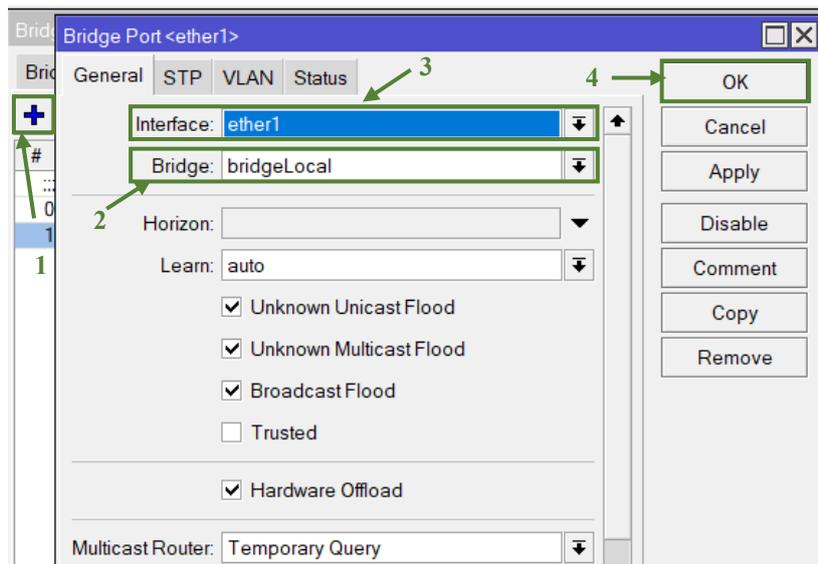
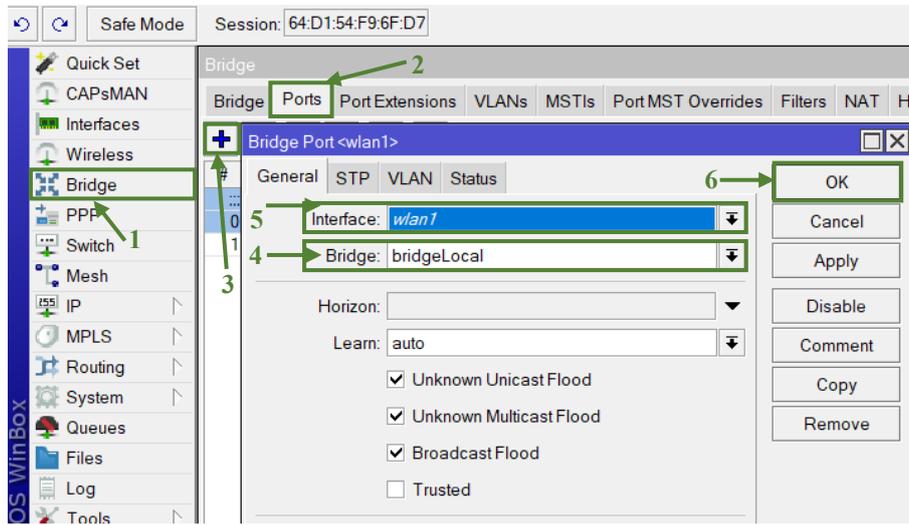


Figura 69. Creación del bridge (antena DynaDish – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 2: Después de crear la Bridge delegamos los puertos para nuestra “**bridgeLocal**”. Nos dirigimos al menú de la pestaña **Bridge > Port**, dándole clic en el botón “+” se abrirá una nueva ventana llamada “**New Bridge Port**”, donde seleccionamos los puertos “**ether1**” y “**wlan1**” al bridge que creamos anteriormente.

Para finalizar damos clic en “**OK**” guardando los datos configurados y podemos notar que ya quedan los puertos asignados al bridge de la antena.



*Figura 70. Asignación de interfaces del bridge (antena DynaDish – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 3: Nos dirigimos a la pestaña de “**Wireless**” para la configuración de la interfaz WLAN, en la que nos muestra la ventana de “**Wireless Tables**”; en esta habilitaremos “**wlan1**” desde el menú **Wireless > Wifi Interfaces** presionando el “**✓**”.

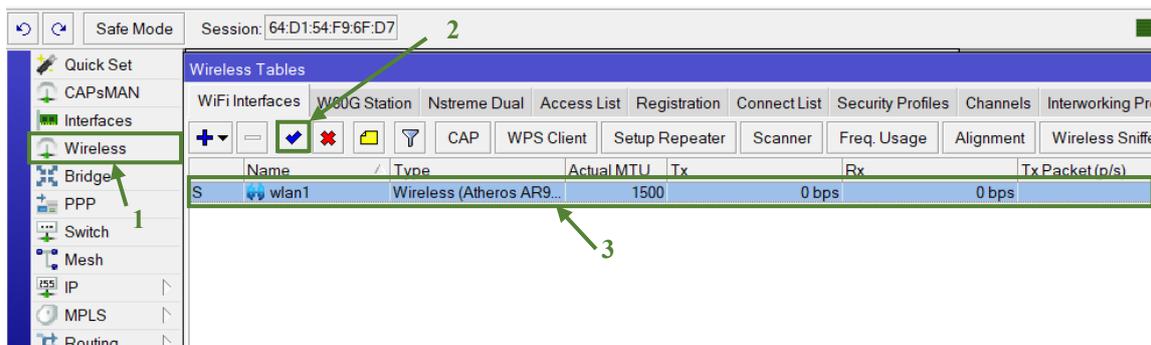


Figura 71. Habilitación de la interfaz WLAN (antena DynaDish – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 4: Como siguiente paso nos dirigimos a la opción **Interface < Wireless**, le damos clic al botón **“Advanced Mode”** y asignamos en **Scan List** el rango de la frecuencia en que se encuentra la antena AP configurada anteriormente siendo la frecuencia de 5180, por lo que en nuestro caso se establece un rango de **5000 - 6000**. Luego nos dirigimos a la parte derecha de las opciones y escanemos desde el botón **“Scan”**. Este paso se realiza con el fin de escanear la antena y engancharla de manera automática.

A continuación se muestra la ventana **“Scanner (Running)”**, en la opción **“Interface”** elegimos **“wlan1”** y damos clic en **“Start”**, nos aparecerá la antena designada como access point (AP), la seleccionamos y damos clic en **“Connect”**. Como último paso lo cambiamos el modo a **“Station Bridge”** y finalizamos dando en **“OK”**.

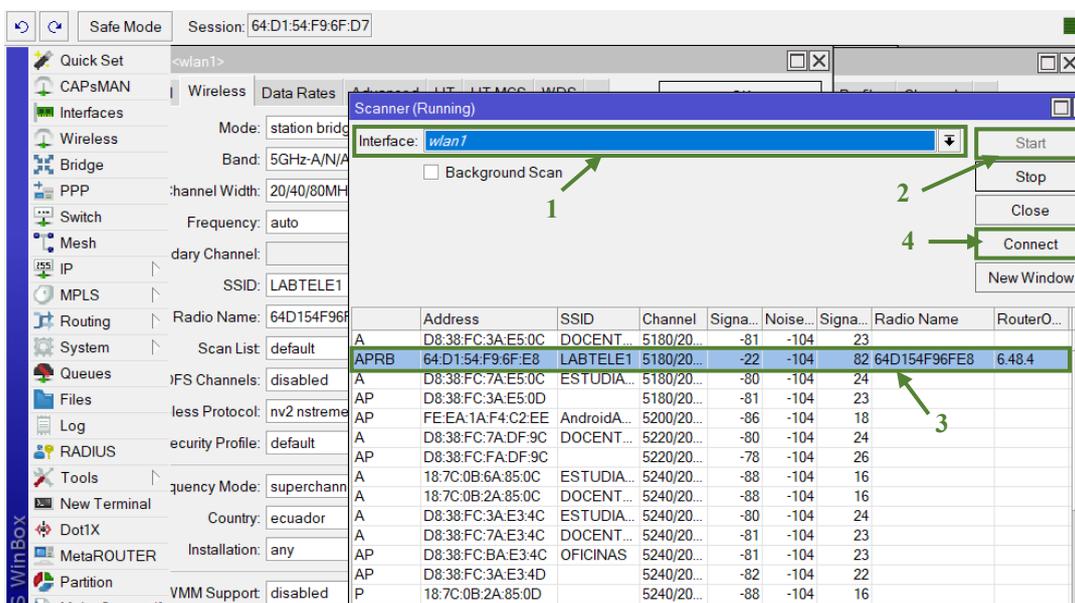
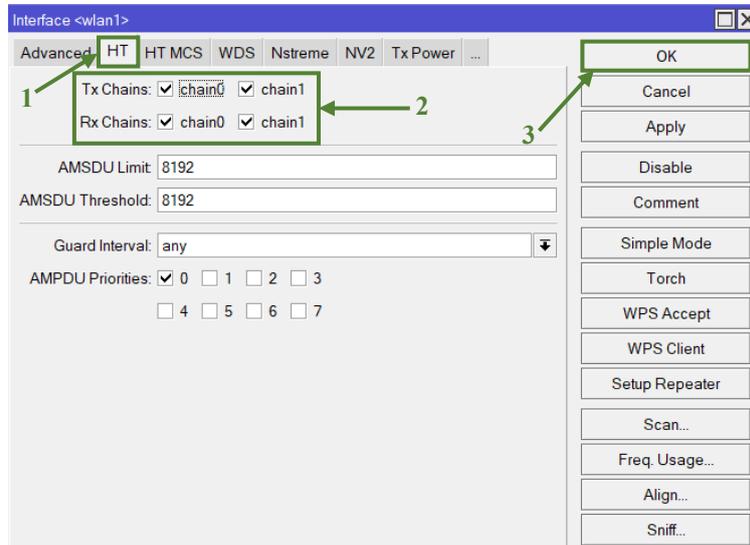


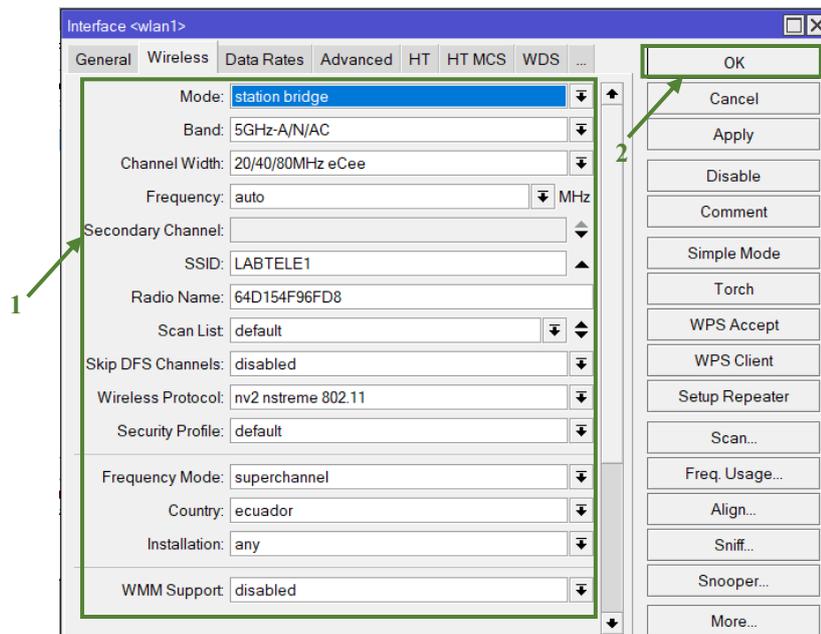
Figura 72. Escaneo de la antena DynaDish – AP
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 5: En la ventana que nos encontramos luego de haber configurado el “Wireless” de “wlan1” nos dirigimos a la pestaña de **HT** donde seleccionaremos todas las casillas de las cadenas de transmisión “**Tx Chains**” y recepción “**Rx Chains**”; le damos clic en “**OK**”.



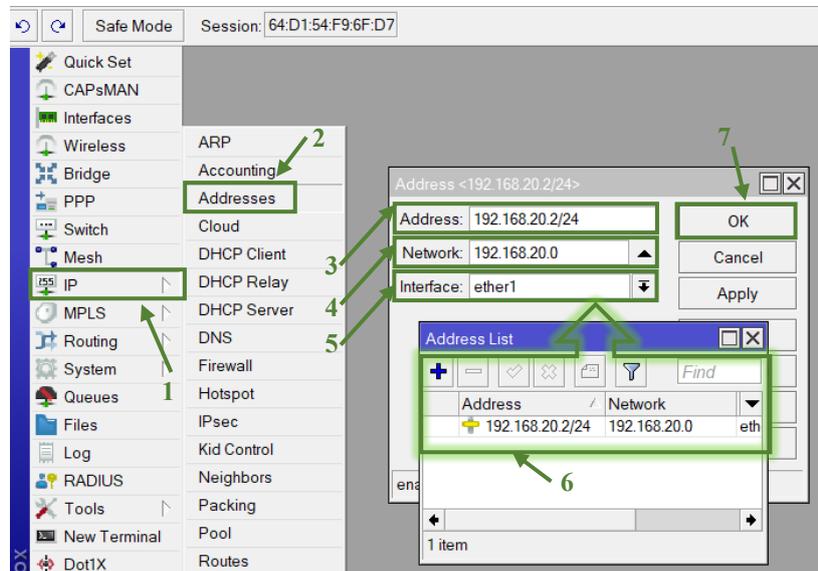
*Figura 73. Activación de casillas de Tx y Rx (antena DynaDish – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 6: Con lo realizado anteriormente verificamos que tenga la misma configuración de la antena que se encuentra como AP.



*Figura 74. Comparación de configuraciones de antena DynaDish AP – Cliente
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

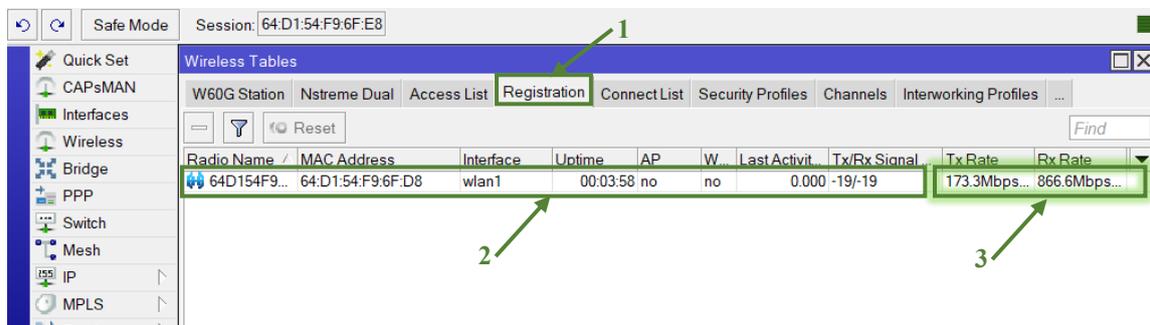
PASO 7: Asignamos una dirección IP al puerto ether1 accediendo al menú **IP>Addresses**, haciendo clic en el botón “+” nos dirigirá a la ventana “**New Addresses**” seleccionamos la interfaz “**ether1**” y la IP en este caso “**192.168.20.2**” y guardamos la configuración dando clic en “**OK**”.



*Figura 75. Asignación de IP al puerto LAN (antena DynaDish – Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

➤ **Verificación del LABTELE1 de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3**

En la ventana de “Wireless Tables” nos dirigimos a la pestaña de “**Registration**” verificamos los megas que nos proporciona el enlace, el cual es de 173 Mbps.



*Figura 76. Verificación de megas transmitidos en el enlace de antenas DynaDish
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

3.5.6. Configuración de router Mikrotik RB4011iGS+RM por WinBox

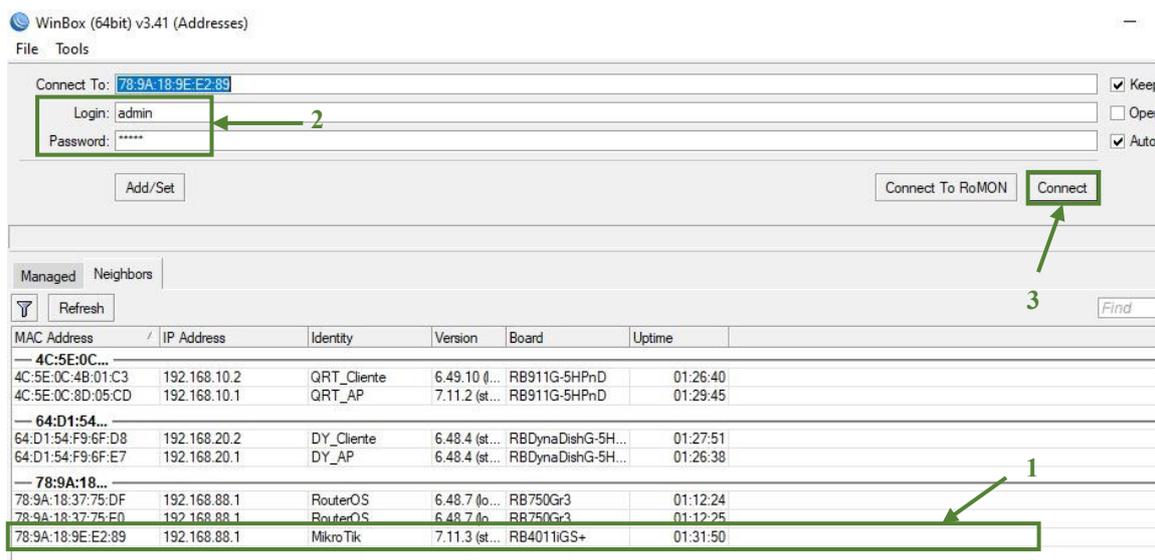
Una vez realizadas las respectivas configuraciones de cada una de las antenas es necesario configurar los router RB4011iGS+RM y RB750Gr3 para poder mostrar la configuración de la técnica del Bonding; cabe recalcar que las antenas serán conectadas a los router mediante cable UTP cat6.

Es importante destacar que, antes de comenzar con la configuración, es necesario reestablecer el dispositivo a sus valores de fábrica utilizando el botón de “Reset”.

PASO 1: Conectamos el puerto “ether1” del router al puerto ethernet de la computadora.

PASO 2: Abrir el programa WINBOX.

PASO 3: Al ingresar a la interfaz WINBOX nos dirigimos hacia la pestaña de Neighbors el cual nos muestra los dispositivos conectados. Seleccionamos la MAC del router **RB4011iGS+RM**, ingresamos colocando en **Login: “admin”** y el **Password: “admin12345”** damos ENTER o clic en **Connect** para poder ingresar a la interfaz del equipo.



*Figura 77. Ventana de WinBox para acceder al router RB4011iGS+RM
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 4: Entramos a la pestaña de “bridge” y creamos una nueva interfaz presionando el botón “+”, en la siguiente ventana que nos aparece “New Interface” asignamos y configuramos el nombre “bridge”, guardamos los cambios dando clic en “OK”.

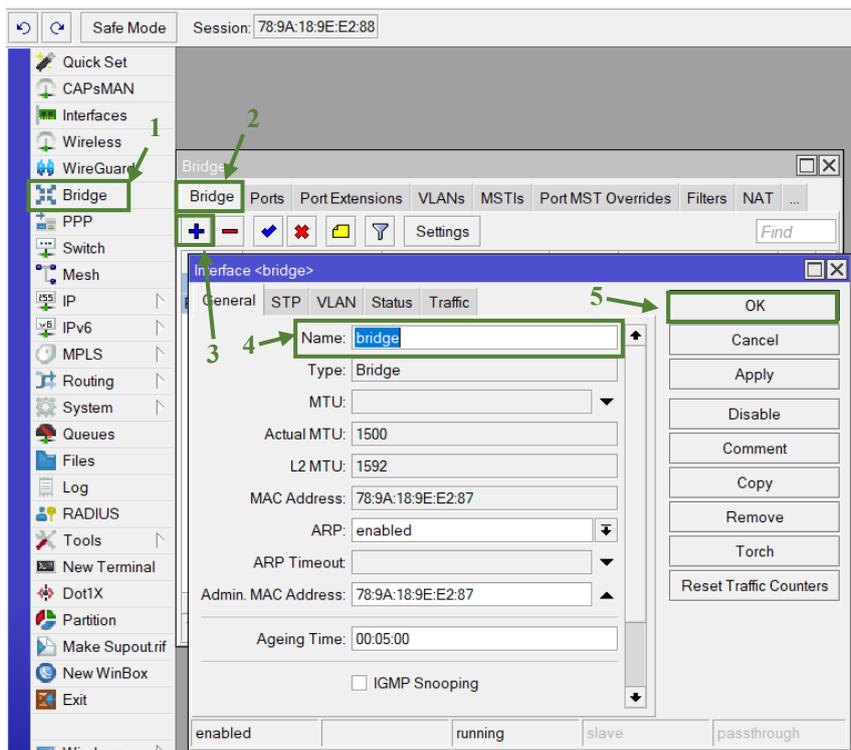
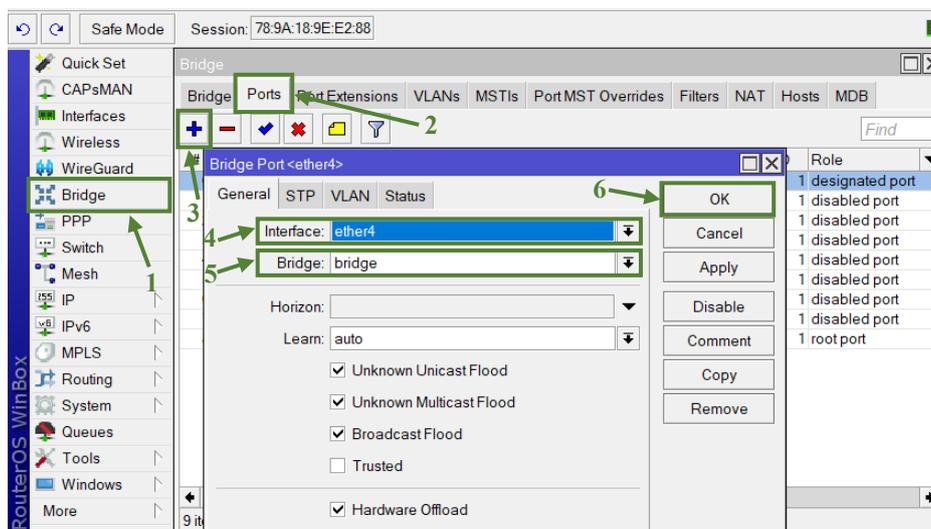


Figura 78. Creación del bridge (router RB4011iGS+RM)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 5: Luego vamos a agregar los puertos asignados para “bridge”, ingresando desde **Bridge > Port**, clic en el ícono “+” esta nos lleva a la ventana de “New Bridge Port” donde asignaremos desde el puerto “ether 4” hasta el puerto “ether10”.



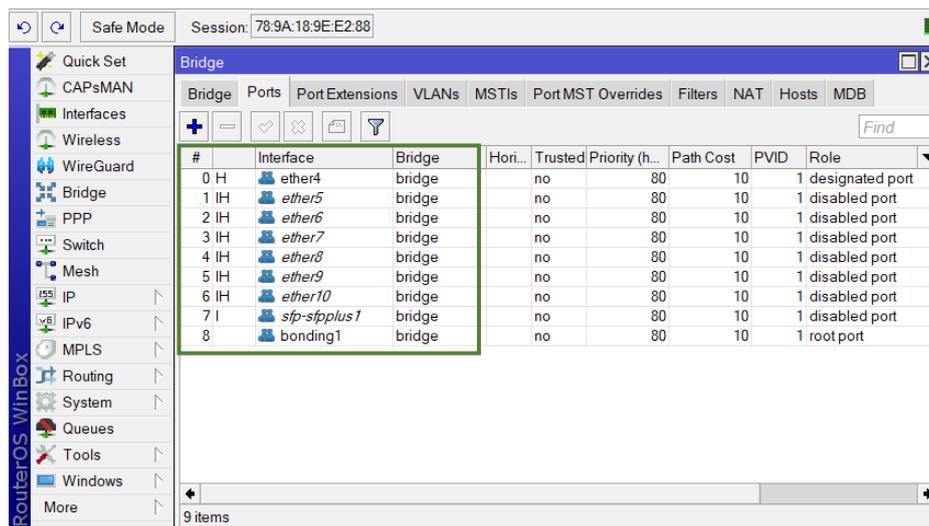


Figura 79. Asignación de interfaces del bridge (router RB4011iGS+RM)
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 6: Se procede asignar las direcciones IP a cada una de las antenas que cumplen la función como AP y del puerto LAN. Dirigiéndonos a la pestaña **IP > Addresses**, damos clic en el ícono “+” donde aparecerá la ventana “**New Address**”, en ella digitalizamos las siguientes IPs:

Antena **RB911G-5HPnD-QRT** - Address: “**192.168.10.1**” en la interfaz “**ether2**”;

Antena **RBDynaDishG-5HacDr3** - Address: “**192.168.20.1**” en la interfaz “**ether3**”;

Y asignamos para la última red en este caso LAN la IP “**192.168.0.133**” con el puerto correspondiente a “**bridge**” y finalizamos dando clic en “**OK**”.

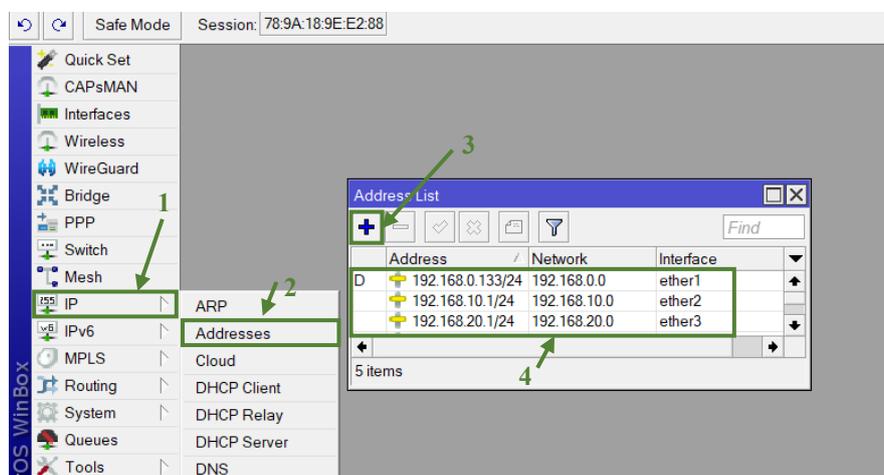
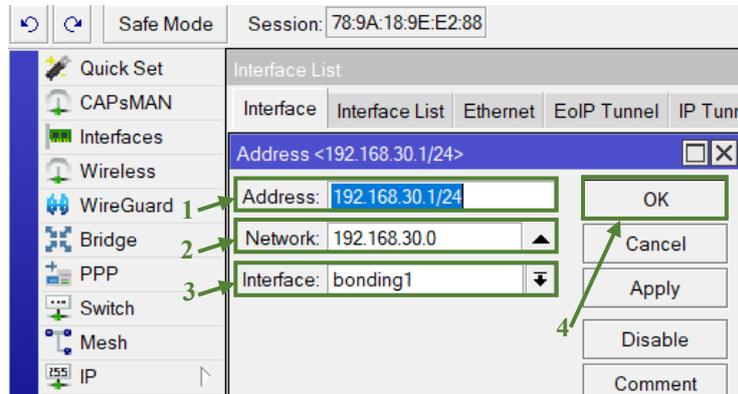


Figura 80. Asignación de IP a cada puerto del router RB4011iGS+RM
Fuente: Imagen elaborada por el autor

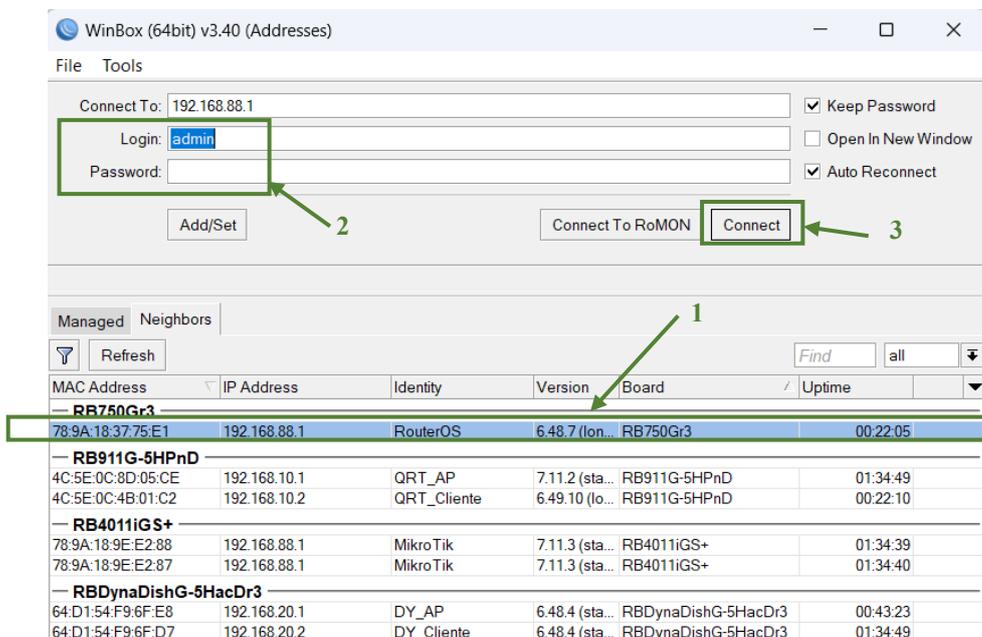
PASO 9: Le asignamos un direccionamiento IP a nuestra interfaz, desde **IP > Address**, ya sea en Address: **192.168.30.1/24** y seleccionamos la interfaz como **“bonding1”**, damos clic en **“OK”**.



*Figura 83. Asignación de IP a la interfaz bonding (router RB4011iGS+RM)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

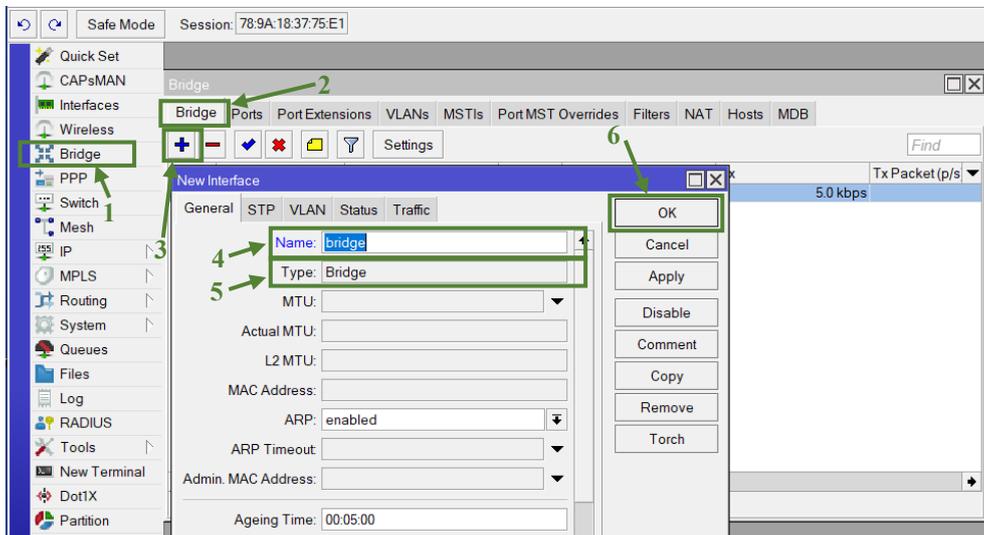
3.5.7. Configuración de router Mikrotik hEX por WinBox

PASO 1: Al ingresar a la interfaz WINBOX vemos que en la parte de Neighbors nos muestra nuestro dispositivo conectado. Seleccionamos la MAC del router **RB750Gr3**, accedemos como **Login: “admin”** y **Password: sin contraseña** damos clic en **Connect** para poder ingresar a la interfaz del equipo.



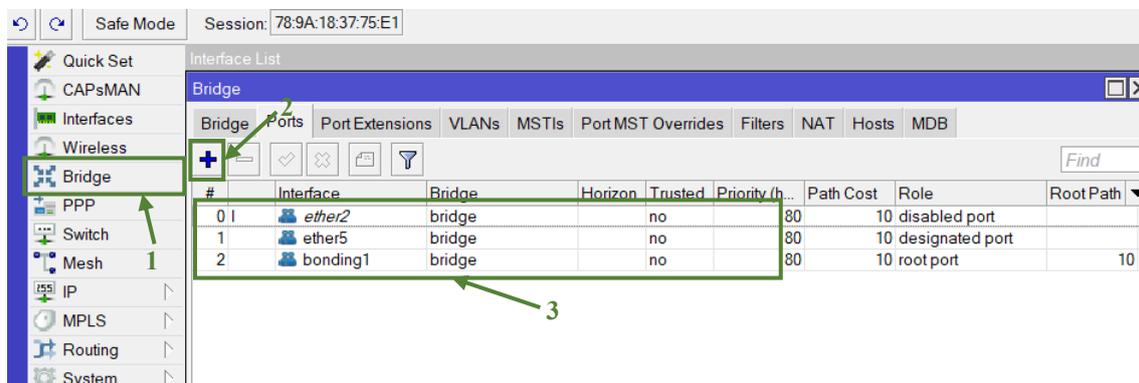
*Figura 84. Ventana de WinBox para acceder al router RB750Gr3
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 2: En el menú damos clic en la pestaña bridge y creamos una nueva interfaz presionando el botón “+”, nos aparecerá una nueva ventana de “New Interface” asignamos y configuramos el nombre “bridge”, guardamos los cambios dando clic en “OK”.



*Figura 85. Creación del bridge (router RB750Gr3)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 3: Luego vamos a agregar los puertos asignados para “bridge”, ingresando desde **Bridge > Port**, clic en el ícono “+” esta nos lleva a la ventana de “New Bridge Port” donde asignamos los puertos “ether2”, “ether5” y “bonding1”.



*Figura 86. Asignación de interfaces del bridge (router RB750Gr3)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

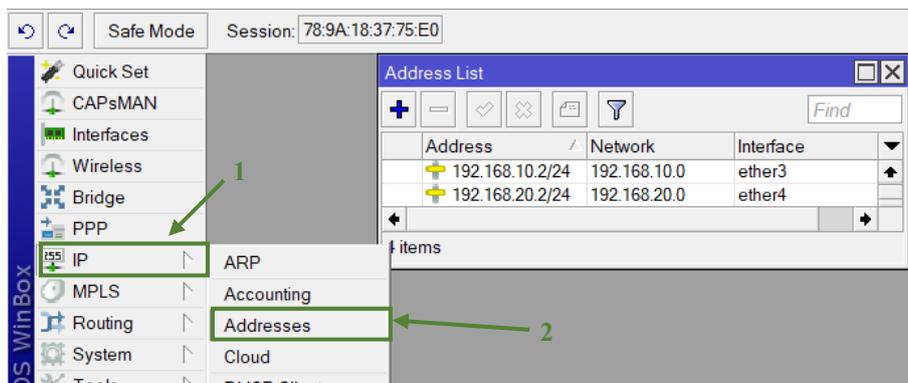
PASO 4: Asignamos las direcciones IP de cada una de las antenas que cumplen la función de **estación o cliente**; y la del puerto LAN, por lo que nos dirigimos a la pestaña **IP >**

Addresses, dando clic en el ícono “+” y se nos visualizara la ventana de “New Address”, en ella asignamos las siguientes IPs:

Antena **RB911G-5HPnD-QRT** - Address: “**192.168.10.2**” e interfaz “**ether3**”;

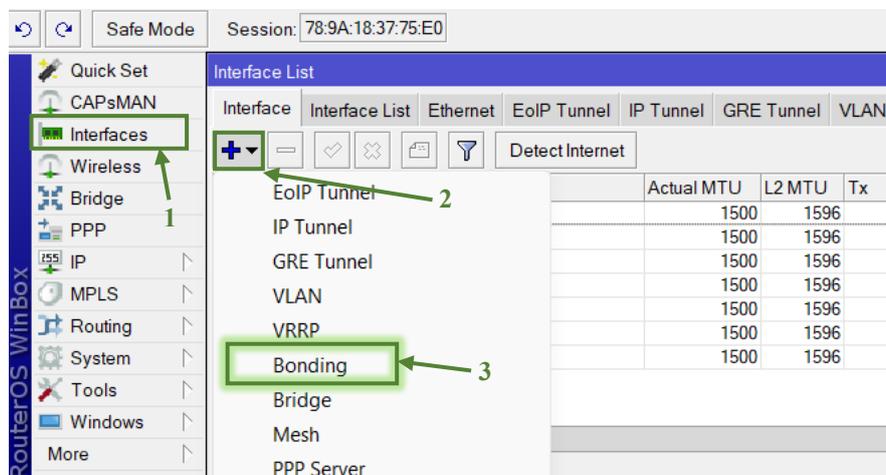
Antena **RBDynaDishG-5HacDr3** - Address: “**192.168.20.2**” e interfaz “**ether4**”;

Y para la red LAN su IP “**192.168.0.133**” con el puerto correspondiente a “**bridge**” y finalizamos dando clic en “**OK**”.



*Figura 87. Asignación de IP a cada puerto del router RB750Gr3
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 5: En la ventana de interfaces damos clic donde dice “**Bonding**” damos clic en el botón “+”, en la siguiente ventana que nos aparece “New Interface” le asignamos el nombre “**bonding1**”.



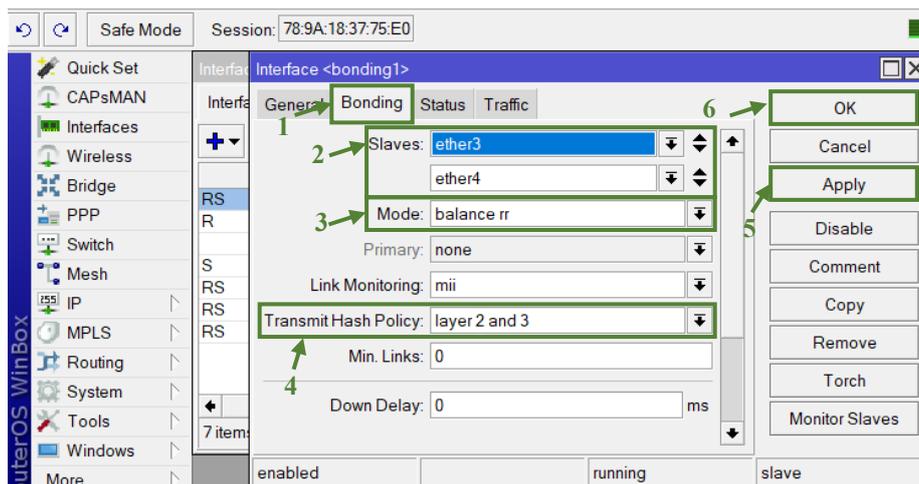
*Figura 88. Creación de la interfaz bonding (RB750Gr3)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 6: en la misma ventana de “New Interface” nos direccionamos General > Bonding, procedemos a realizar la siguiente configuración:

Slaves: ether3 y ether4, **Mode:** balance rr, **Link Monitoring:** mii, **Transmit Hash Policy:** layer 2 and 3.

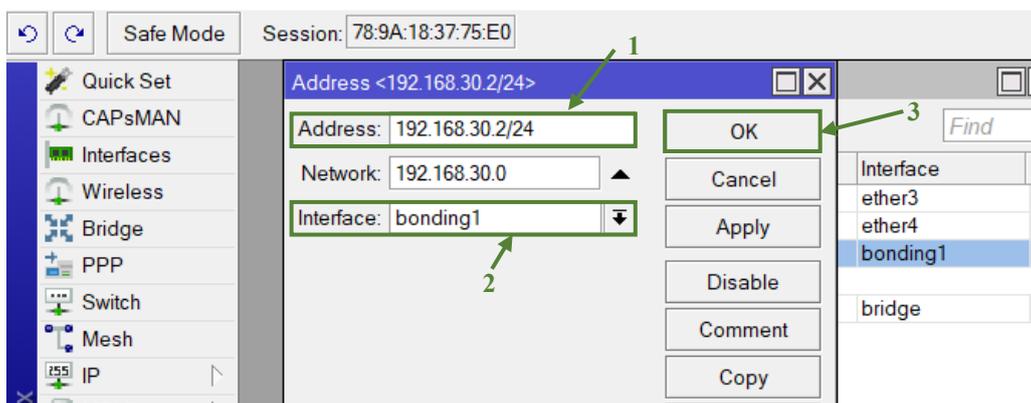
Procedemos a guardar los arreglos hecho dando clic en “**Apply**” y después en “**OK**”.

Cabe recalcar que ambos router deben tener las mismas configuraciones al crear la interfaz **Bonding** para que pueda hacer su funcionamiento correctamente.



*Figura 89. Configuración de la interfaz bonding (router RB750Gr3)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 7: Le asignamos un direccionamiento IP a nuestra interfaz, desde **IP > Address**, ya sea en Address: “**192.168.30.2/24**” y seleccionamos la interfaz como “**bonding1**”, damos clic en “**OK**”.



*Figura 90. Asignación de IP a la interfaz bonding (router RB750Gr3)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Una vez terminadas las configuraciones de las antenas y router procedemos a realizar las pruebas de ancho de banda para verificar y corroborar que las mismas fueron hechas correctamente. Por lo cual nos dirigimos al menú de WinBox e ingresamos al router **RB4011iGS+RM**, damos clic en el apartado de **Tools > Bandwidth Test**. De este nos aparecerá la ventana de **“Bandwidth Test (Running)”** donde realizaremos la prueba de envío de datos al otro router.

Primero ingresamos la IP designada al **“Bonding 1”** del router cliente **RB750Gr3** en la opción **Text To: “192.168.30.2”**, seleccionamos la dirección de prueba ya sea en las opciones: **“both(ambos), receive(recibir), send(Enviar)”** para ver el tráfico del ancho de banda e ingresamos el **User: “admin”** y **Password: “admin12345”** las mismas que corresponden al ingreso del equipo.

Así mismo ingresamos al router 2 y colocamos en **Test To:** la IP que corresponde al **“Bonding 1”**, pero del router AP RB4011iGS+RM **“192.168.30.1”** cambiándole con la dirección de **“send”** e ingresando así mismo **User: admin** y **Password: (en blanco)**.

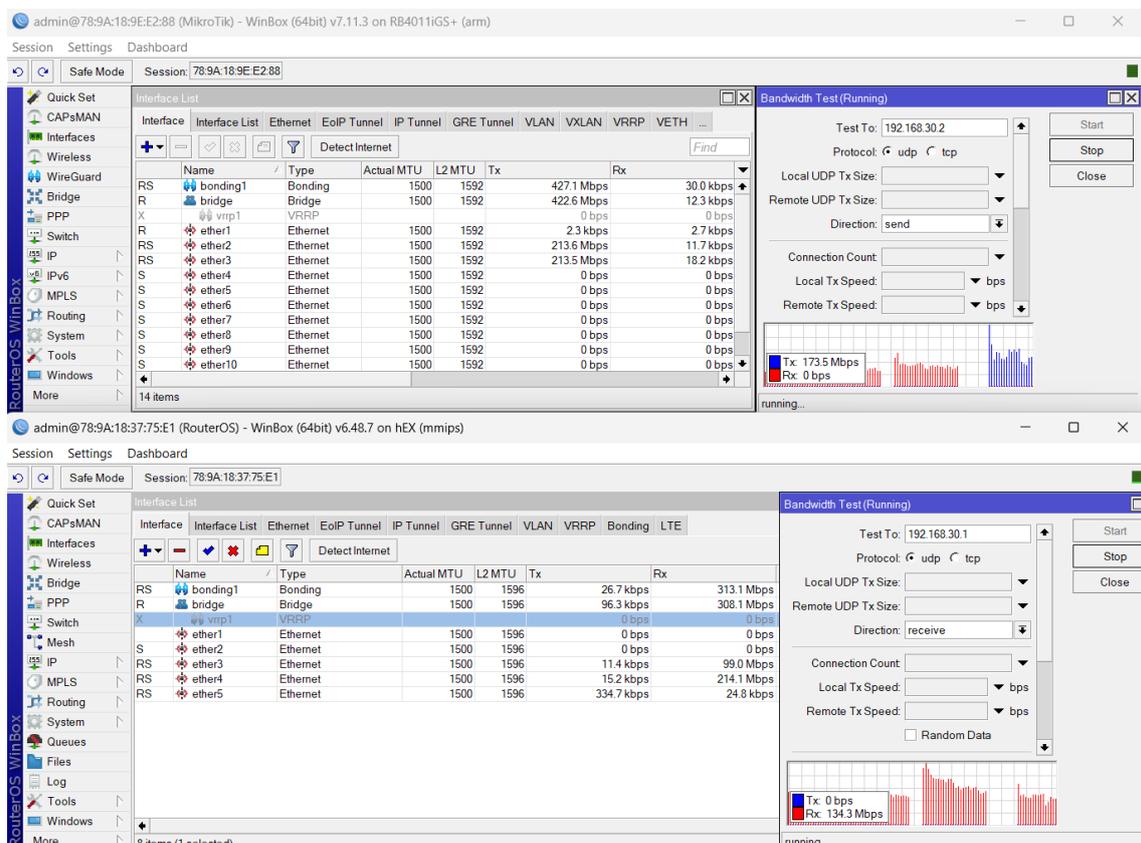


Figura 91. Pruebas de ancho de banda
Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.8. Configuración del Protocolo VRRP

En el siguiente apartado se muestra la realización de las configuraciones para que nuestra red cuente con una redundancia en caso de que uno de nuestros enlaces presente problemas de conexión o algún problema de interferencia, el motivo del cual se utiliza un protocolo VRRP es no perder el servicio de internet o conexión de la red que hemos creado el cual el router **RB750Gr3** tendrá la acción de trabajar como “**master**” y el router principal el **RB4011IGS+RM** como “**slave**”. esto ayudará que nuestro servicio funcione correctamente si cualquiera de los radioenlaces llegase a fallar. Cabe recalcar que ambos router deben tener la misma

3.5.8.1. Configuración de VRRP MÁSTER

PASO 1: Por último, después de a ver creado el “Bonding” crearemos una nueva interfaz en la misma ventana nos dirigimos **Bonding > VRRP**; damos clic en el botón “+” esta nos llevara hacia la ventana de “**Interface New VRRP**”, en ella daremos clic en la pestaña “**General**” donde le asignaremos el nombre de “**vrrp1**”, al ya darle un nombre daremos clic en “**Apply**” y “**OK**”.

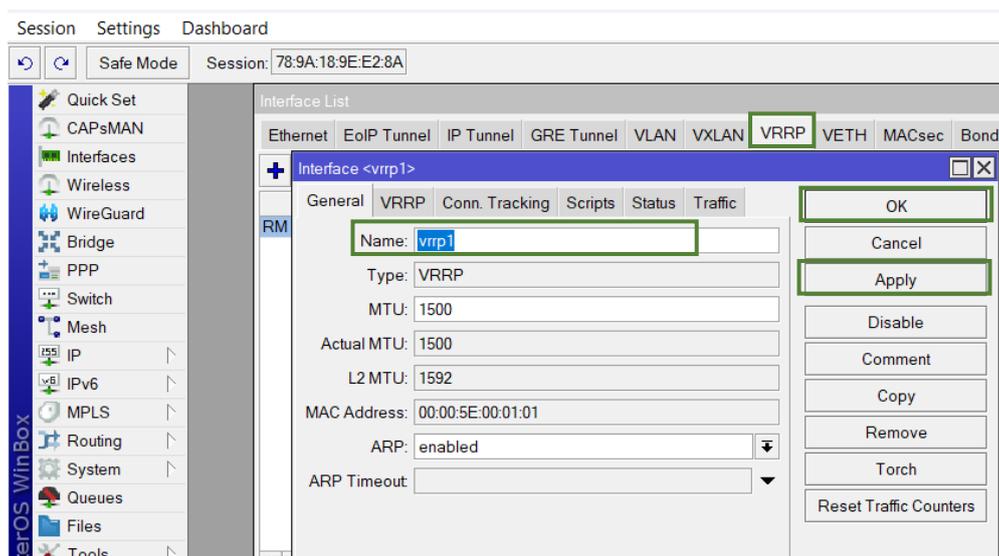


Figura 92. Creación de protocolo VRRP Máster
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 2: Después de a ver creado la interfaz “**vrrp1**” nos dirigimos de General>VRRP aquí seleccionaremos la interfaz en este caso nuestro puente “**bridge**”, el **VRID: 1** que este será la identificación de nuestro router virtual, y **Priority: 100** el cual será el que hará el trabajo de máster, para guardar los cambios damos clic en “**OK**”.

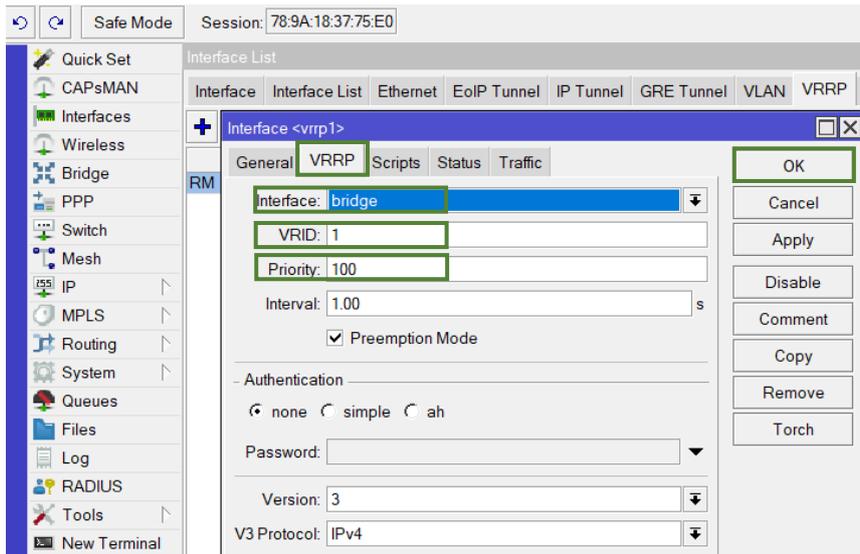


Figura 93. Configuración del protocolo VRRP Máster
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 3: Al tener ya creada la interfaz procedemos a asignarle una IP, para esto nos dirigimos en el menú del WinBox en la pestañan **IP > Addresses** en la que nos direcciona hacia la ventana “Address List” agregaremos la nuestra IP dando clic en el botón “+” e ingresaremos en **Address:** “192.168.30.254/24” y en **Interface:** “vrrp1”, terminando daremos clic en “OK”.

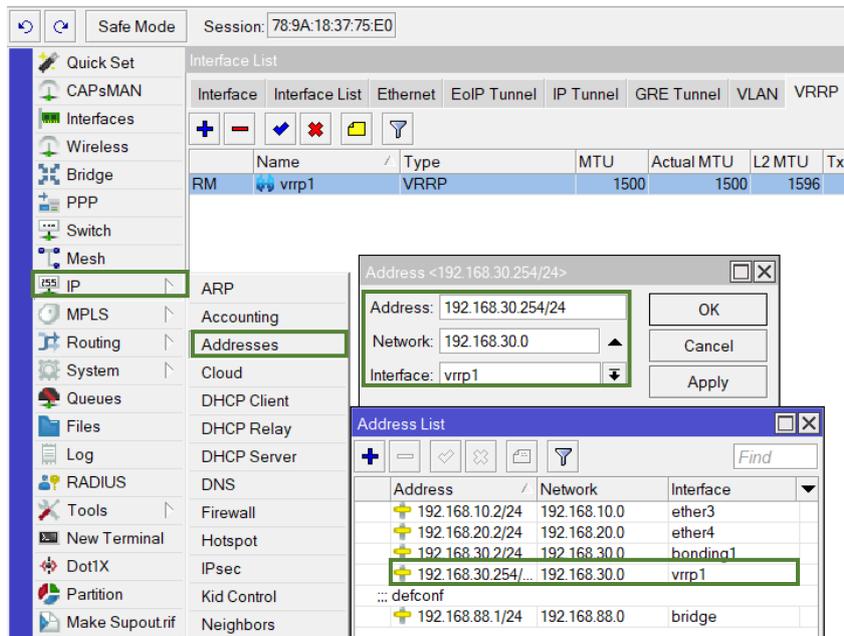


Figura 94. Asignación de IP a la interfaz del protocolo VRRP Máster
Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.8.2. Configuración de VRRP SLAVE

PASO 1: De la misma manera después de a ver creado el “Bonding” en nuestro router creamos una nueva interfaz desde la misma ventana, nos dirigimos Bonding>VRRP; damos clic en el botón “+” esta nos llevará hacia una nueva ventana “**Interface New VRRP**”, el cual daremos clic en la pestaña “General” donde le elegiremos el nombre de “**vrrp1**” el mismo nombre que fue creada en el router anterior, al ya darle un nombre daremos clic en “Apply”.

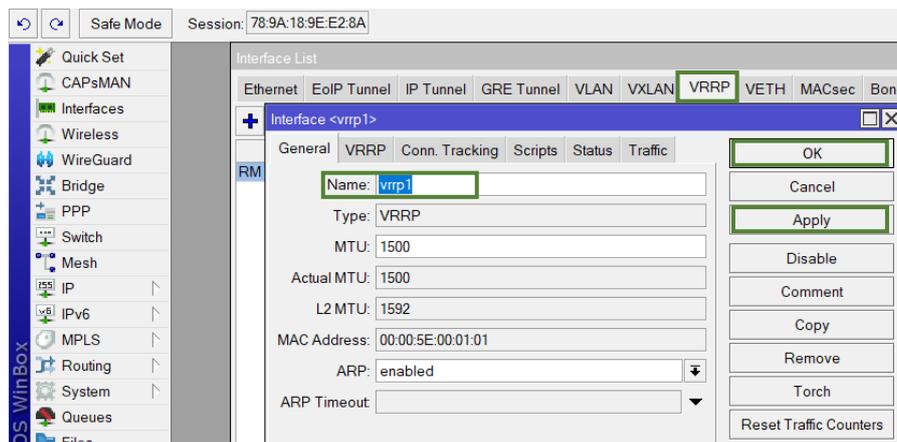


Figura 95. Creación de protocolo VRRP Slave
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 2: Una vez creada la interfaz “vrrp1” damos clic en General>VRRP aquí seleccionaremos la interfaz “**bridge**”, el **VRID: 1** que este será la identificación de nuestro router virtual por lo tanto será el mismo en los dos router, y **Priority: 50** el cual será el que hará el trabajo de slave, para guardar los cambios damos clic en “OK”

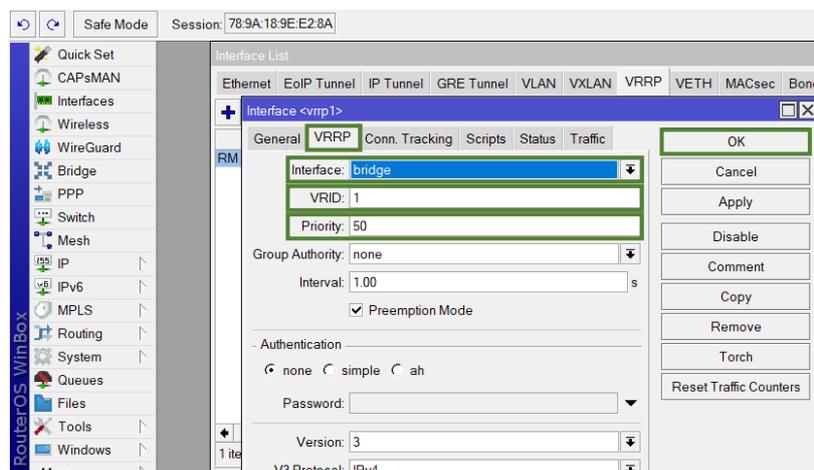
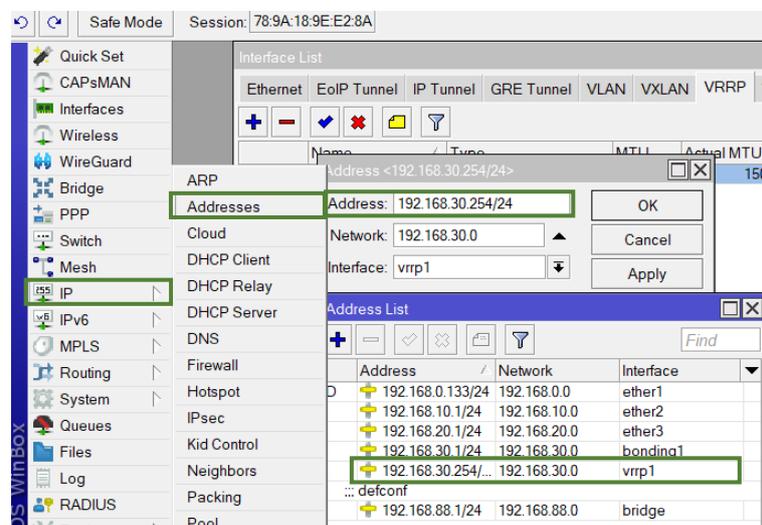


Figura 96. Configuración del protocolo VRRP Slave
Fuente: Imagen elaborada por el autor

PASO 3: Después de haber creado la interfaz procedemos a asignarle una IP, para esto nos dirigimos en el menú del WinBox en la pestaña IP > Addresses en la que nos lleva hacia la ventana “Address List” agregaremos la IP dando clic en el botón “+” y en Address: “192.168.30.254/24”, así mismo elegimos Interface: “vrrp1” se realiza el mismo direccionamiento en los dos routers, terminando daremos clic en “OK”.



*Figura 97. Asignación de IP a la interfaz del protocolo VRRP Slave
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

3.6. Estudio de Factibilidad

3.6.1. Factibilidad técnica

La propuesta tecnológica realizada en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena ayudó a verificar dentro de un entorno controlado la viabilidad de la técnica empleada, con el fin de tener en consideración los resultados y características útiles que se conocen, pudiendo ser tomadas en cuenta en caso de que se requiera realizar la misma implementación en un entorno más amplio.

El documento muestra detalladamente la metodología a seguir partiendo desde la instalación física y configuración de cada componente, donde para la elección de los equipos se consideraron algunas de las características que ofrecen cada uno.

3.6.2. Costos de la propuesta

En esta sección se describen los costos de cada equipo y material que fue necesario para la implementación de la red, los cuales se mencionan a continuación:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Router RB4011iGS+RM	\$ 282,00	\$ 282,00
1	Router RB750Gr3	\$ 81,80	\$ 81,80
2	Antena RB911G- 5HPnD-QRT	\$ 100,00	\$ 200,00
2	Antena RBDynaDishG- 5HacDr3	\$ 120,00	\$ 240,00
TOTAL			\$ 803,80

Tabla 13. Costos de equipos

Fuente: Tabla elaborada por el autor

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	P. TOTAL
15	RJ45	\$ 0,15	\$ 2,25
21.5 m	Cable categoría 6	\$ 1,50	\$ 32,25
15	Abrazadera	\$ 0,10	\$ 1,50
2	Tubos de acero	\$ 0,00	\$ 0,00
TOTAL			\$ 36,00

Tabla 14. Costos de materiales

Fuente: Tabla elaborada por el autor

COSTOS TOTALES	
DESCRIPCIÓN	COSTOS
Costos de equipos	\$ 803,80
Costos de materiales	\$ 36,00
TOTAL	\$ 839,80

Tabla 15. Precios finales

Fuente: Tabla elaborada por el autor

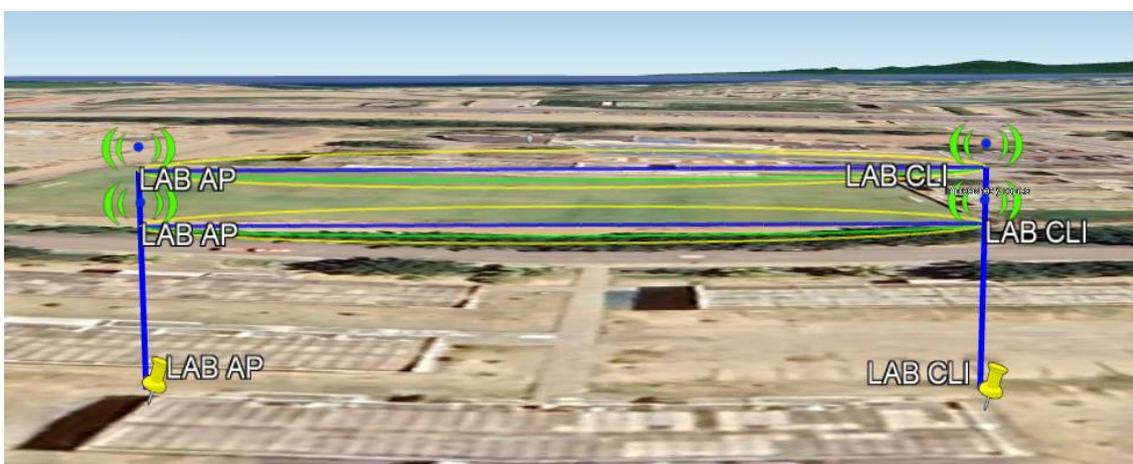
CAPÍTULO IV

4. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Cálculos de pérdidas de potencia

Se realiza el diseño de nuestro radioenlace ayudándonos con la herramienta de Google Earth Pro, y también con el software Radio Mobile para poder realizar cada uno de los cálculos del presupuesto del radioenlace, el cual nos permite ver el terreno real entre el PUNTO AP(Transmisión) y el PUNTO CLI de (recepción).

Mediante Google Earth obtuvimos las coordenadas de la ubicación del PUNTO AP y el PUNTO CLI, en la que la herramienta nos proporciona una distancia de 33.04 m de punto a punto.



*Figura 98. Diseño de la simulación de los enlaces
Fuente: Imagen tomada del software Google Earth*

4.1.1. Parámetros y características de las antenas RB911G-5HPnD-QRT

Después procedemos a revisar las características para realizar la simulación correctamente, se toma en cuenta lo siguiente: factores atmosféricos, parámetros técnicos y las condiciones que puede presentar el terreno.

PARÁMETROS DEL RADIOENLACE	CARACTERÍSTICAS
Tipo de antena	direccional
Frecuencia de operación	5150- 5875 MHz

Polarización	Dual
Ganancia de la antena	24 dBi
Potencia de transmisión	30 dBm
Sensibilidad de recepción	-96 dBm
Pérdida de la línea del cable	0.5 dB
Factores atmosféricos	
Tipo de clima	
Altura de la antena	
Altura de LAB AP	8 m
Altura de la LAB CLI	8 m

Tabla 16. Parámetros y características de antena RB911G-5HPnD-QRT

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Esta simulación nos permite poder comprobar si el enlace trabaja sin problemas tomando en cuenta todos los factores externos que se pueden presentar en el transcurso de la línea de vista en ambos dispositivos. Al ejecutar la simulación nos muestran parámetros como: zona de Fresnel, niveles de potencia en el RX, pérdida de espacio libre.

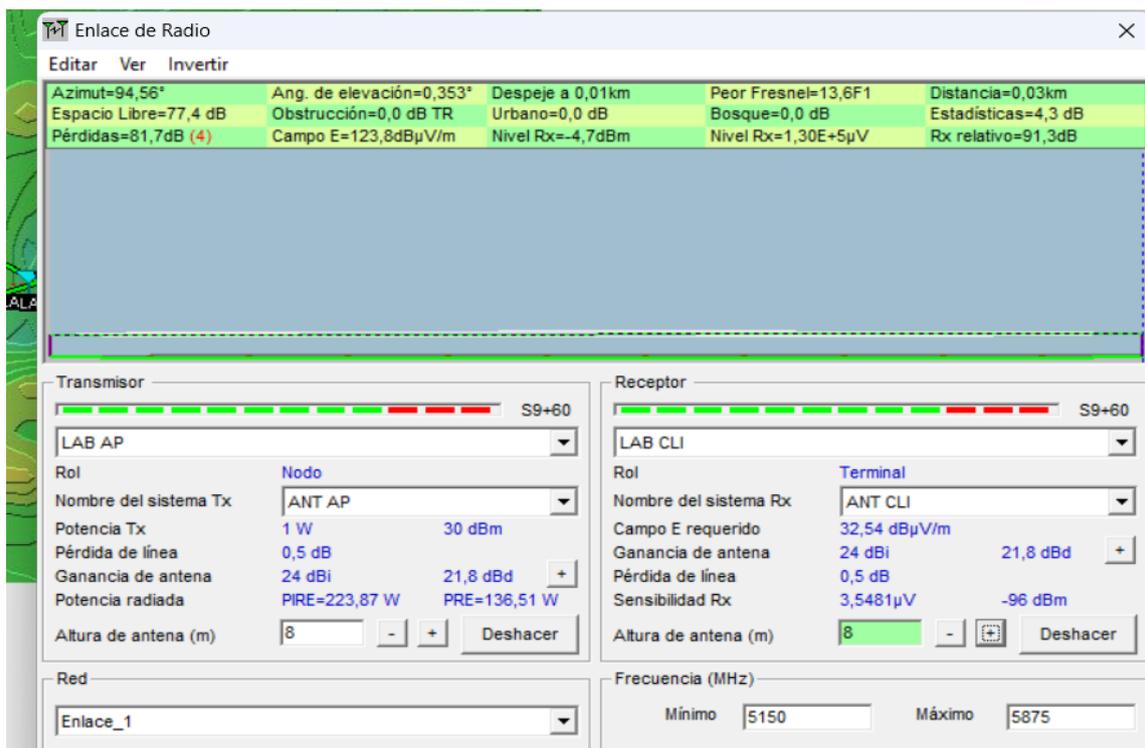


Figura 99. Direccionamiento del enlace_1 con las antenas RB911G-5HPnD-QRT

Fuente: Imagen tomada desde el Software Radio Mobile

4.1.2. Cálculo del radioenlace_1 simulado de antenas RB911G-5HPnD-QRT

Para poder realizar los cálculos hay que considerar las características de ambos dispositivos tanto como emisor y receptor tal como se observa en la tabla 2. Con el objetivo de obtener el valor de la distancia utilizamos los datos arrojados por Google Earth el cual incluye: latitud, longitud, el cual nos ayuda a calcular la distancia horizontal mediante las coordenadas obtenidas. Tomado en cuenta que tanto la antena transmisoras y receptoras tienen las mismas características.

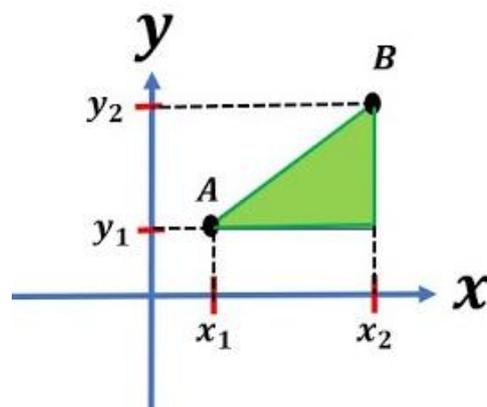
Coordenadas:

Antena LAB AP	
Latitud	2.23388
Longitud	80.88079
Antena LAB CLI	
Latitud	2.23391
Longitud	80.88053

Tabla 17. Coordenadas para la ubicación de las antenas RB911G-5HPnD-QRT

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Obteniendo las coordenadas de la estación se forma un triángulo rectángulo para poder calcular la distancia real desde la antena transmisoras a la coordenada de la receptora.



Donde la calcularemos con la siguiente fórmula:

$$x_1 = 80.88053, y_1 = 2.23388$$

$$x_2 = 2.23391, y_2 = 80.88079$$

$$X = (x_2 - x_1) * (111.32)$$

$$X = (2.23391 - 2.23388) * (111.32)$$

$$X = (3 \times 10^{-5}) * (111.32) = \mathbf{0.003340 \text{ km}}$$

$$Y = (y_2 - y_1) * (111.32)$$

$$Y = (80.88053 - 80.88079) * (111.32)$$

$$Y = (2.6 \times 10^{-4}) * (111.32) = \mathbf{0.028943 \text{ km}}$$

$$d = \sqrt{(X)^2 + (Y)^2}$$

Ecuación 1: Distancia total del PTP con antenas RB911G-5HPnD-QRT

$$d = \sqrt{(0.003340)^2 + (0.028943)^2}$$

$$d = \sqrt{(1.116 \times 10^{-5}) + (8.377 \times 10^{-4})}$$

$$d = \mathbf{0.02914 \text{ km}}$$

El azimut geográfico, es un ángulo horizontal que nos indica la dirección en la que se está direccionando la antena transmisora al norte geográfico. La podemos calcular mediante la siguiente ecuación:

$$a_{tr} = \cos^{-1} \left[\frac{X}{Y} \right]$$

Ecuación 2: Azimut TX-RX

$$a_{tr} = \cos^{-1} \left[\frac{0.003340}{0.028943} \right]$$

$$a_{tr} = \cos^{-1}[0.115399233]$$

$$a_{tr} = \mathbf{83.37^\circ}$$

La dirección del azimut geográfico en grados, desde el este hacia el norte, es:

$$a_{tr} = \mathbf{180^\circ - 83.37^\circ}$$

$$a_{tr} = 96.63^\circ$$

Calcularemos la pérdida en el espacio Libre con la siguiente fórmula:

$$FSL(dB) = 20 \log_{10} d(km) + 20 \log_{10} f(MHz) + 32.45$$

Ecuación 3: Pérdida del espacio libre de las antenas RB911G-5HPnD-QRT

$$FSL = 20 \log_{10}(0.02909) + 20 \log_{10}(5875) + 32.45$$

$$FSL = 77.11 dB$$

El valor del PIRE del enlace la obtenemos mediante la formula:

$$PIRE(dBm) = P_{TX}(dBm) + G_{i_{TX}}(dBi) - A_{cc}(dB)$$

Ecuación 4: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente con las antenas RB911G-5HPnD-QRT

PIRE: Pérdida isotrópica radiada equivalente [dBW].

P_{TX} : Potencia Transmitida [dBm].

$G_{i_{TX}}$: Ganancia de la antena [dBi].

A_{cc} : Atenuación en el cable [dB].

$$PIRE(dBm) = 30 + 24 - 0.5$$

$$PIRE(dBm) = 53.5 dBm$$

Calculamos el nivel de potencia Recibida, con la siguiente fórmula:

$$P_{RX}(dBm) = PIRE(dBm) + G_{i_{RX}}(dBi) - FLSL(dBm)$$

Ecuación 5: Nivel de Potencia Recibida del enlace con las antenas RB911G-5HPnD-QRT

P_{RX} : Nivel de potencia recibida [dBm].

PIRE: Pérdida isotrópica radiada equivalente [dBW].

$G_{i_{RX}}$: Ganancia antena receptora [dBi].

FLSL: Pérdida en el espacio libre [dBm].

$$P_{RX}(dBm) = 53.5 + 24 - 77.11$$

$$P_{RX}(dBm) = 0.39dBm$$

Calculamos también la zona de Fresnel en un obstáculo a una distancia, por medio de la ecuación:

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{F(GHz)}}$$

Ecuación 6: Zona de Fresnel del enlace de las antenas RB911G-5HPnD-QRT

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{0.02914}{5.150}}$$

$$r = 0.65 m$$

Calculamos la relación entre la señal y el ruido en el receptor con la siguiente fórmula:

$$SNR(dB) = P_{RX}(dBm) - Sensibilidad_{RX}(dBm)$$

Ecuación 7: Relación Señal/Ruido del enlace de las antenas RB911G-5HPnD-QRT

$$SNR(dB) = 0.39 - (-96)$$

$$SNR(dB) = 96.39 dB$$

4.1.3. Parámetros y características de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3

Para realizar los cálculos del radioenlace de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3 se tomó en consideración las características de los parámetros de la antena, los cuales son los que se detallan a continuación:

PARÁMETROS DEL RADIOENLACE	CARACTERÍSTICAS
Tipo de antena	direccional

Frecuencia de operación	5150- 5875 MHz
Polarización	Dual
Ganancia de la antena	25 dBi
Potencia de transmisión	31 dBm
Sensibilidad de recepción	-96 dBm
Pérdida de la línea del cable	0.5 dB
factores atmosféricos	
Tipo de clima	
Altura de la antena	
Altura de LAB AP	6 m
Altura de la LAB CLI	6 m

Tabla 18. Parámetros y características de antena RBDynaDishG-5HacDr3

Fuente: Tabla elaborada por el autor

De igual manera de las primeras antenas podemos apreciar la simulación del Enlace_2

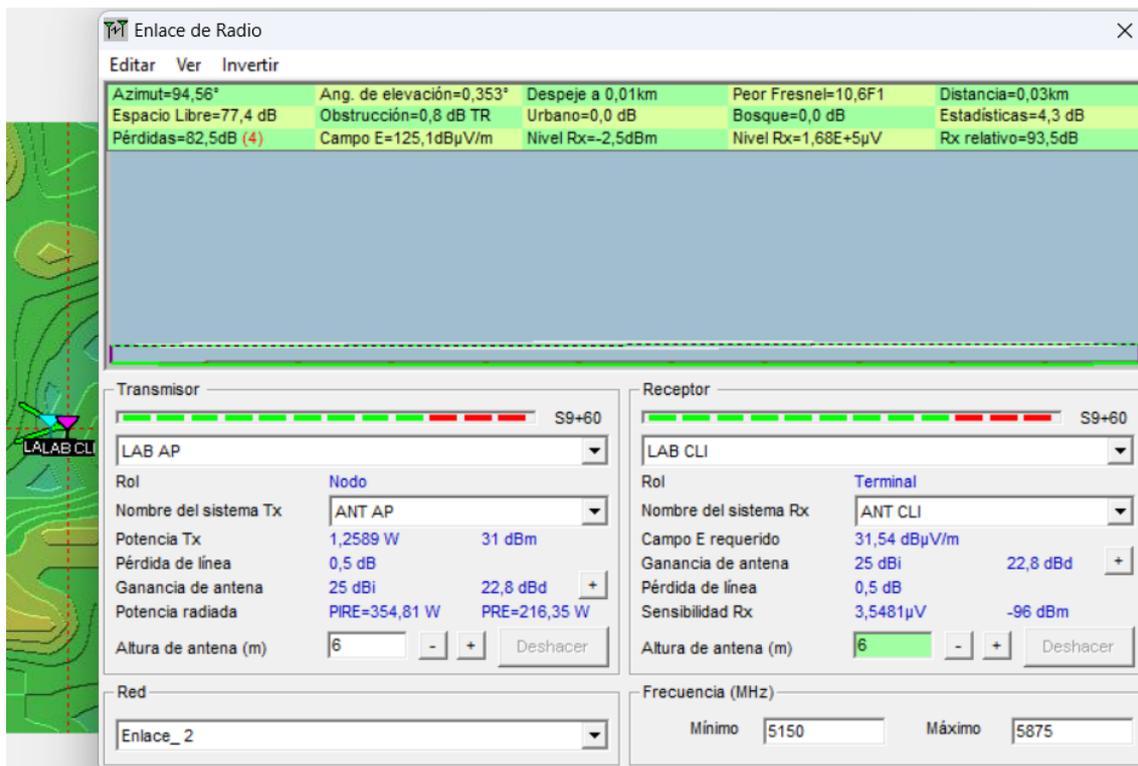


Figura 100. Direccionamiento del enlace_2 con las antenas RBDynaDishG-5HacDr3

Fuente: Imagen tomada desde el Software Radio Mobile

4.1.4. Cálculo del radioenlace_2 simulado de antenas RBDynaDishG-5HacDr3

Para poder realizar los cálculos hay que considerar las características de ambos dispositivos tanto como emisor y receptor tal como se observa en la tabla 2. Con el objetivo de obtener el valor de la distancia utilizamos los datos arrojados por Google Earth el cual incluye: latitud, longitud, el cual nos ayuda a calcular la distancia horizontal mediante las coordenadas obtenidas. Tomado en cuenta que tanto la antena transmisoras y receptoras tienen las mismas características.

Coordenadas

Antena LAB AP	
Latitud	2.23388
Longitud	80.88079
Antena LAB CLI	
Latitud	2.23391
Longitud	80.88053

Tabla 19. Coordenadas para la ubicación de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Obteniendo las coordenadas de la estación se forma un triángulo rectángulo para poder calcular la distancia real desde la antena transmisora a la coordenada de la receptora.

Donde la calcularemos con la siguiente fórmula, donde:

$$x_1 = 80.88053, y_1 = 2.23388$$

$$x_2 = 2.23391, y_2 = 80.88079$$

$$X = (x_2 - x_1) * (111.32)$$

$$X = (2.23391 - 2.23388) * (111.32)$$

$$X = (3 \times 10^{-5}) * (111.32) = \mathbf{0.003340 \text{ km}}$$

$$Y = (y_2 - y_1) * (111.32)$$

$$Y = (80.88053 - 80.88079) * (111.32)$$

$$Y = (2.6 \times 10^{-4}) * (111.32) = \mathbf{0.028943 \text{ km}}$$

$$d = \sqrt{(X)^2 + (Y)^2}$$

Ecuación 8: Distancia del enlace PTP con antenas RBDynaDishG-5HacDr3

$$d = \sqrt{(0.003340)^2 + (0.028943)^2}$$

$$d = \sqrt{(1.116 \times 10^{-5}) + (8.377 \times 10^{-4})}$$

$$d = 0.02914 \text{ km}$$

El azimut geográfico, en el ángulo horizontal. La podemos calcular mediante la siguiente ecuación:

$$a_{tr} = \cos^{-1} \left[\frac{X}{Y} \right]$$

Ecuación 9: Azimut TX-Rx de la antena RBDynaDishG-5HacDr3

$$a_{tr} = \cos^{-1} \left[\frac{0.003340}{0.028943} \right]$$

$$a_{tr} = \cos^{-1}[0.115399233]$$

$$a_{tr} = 83.37^\circ$$

La dirección del azimut geográfico en grados, desde el este hacia el norte, es:

$$a_{tr} = 180^\circ - 83.37^\circ$$

$$a_{tr} = 96.63^\circ$$

Calcularemos la pérdida en el espacio Libre con la siguiente fórmula:

$$FSL(dB) = 20 \log_{10} d(km) + 20 \log_{10} f(MHz) + 32.45$$

Ecuación 10: Pérdida del espacio libre de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3

$$FSL = 20 \log_{10}(0.02909) + 20 \log_{10}(5875) + 32.45$$

$$FSL = 77.11 \text{ dB}$$

El valor del PIRE del enlace la obtenemos mediante la formula:

$$PIRE(dBm) = P_{TX}(dBm) + G_{i_{TX}}(dBi) - A_{cc}(dB)$$

Ecuación 11: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente de las RBDynaDishG-5HacDr3

PIRE: Pérdida isotrópica radiada equivalente [dBW].

P_{TX}: Potencia Transmitida [dBm].

G_{i_{TX}}: Ganancia de la antena [dBi].

A_{cc}: Atenuación en el cable [dB].

$$PIRE(dBm) = 31 + 24 - 0.5$$

$$PIRE(dBm) = 54.5 dBm$$

Calculamos el nivel de potencia Recibida, con la siguiente fórmula:

$$P_{RX}(dBm) = PIRE(dBm) + G_{i_{RX}}(dBi) - FLSL(dBm)$$

Ecuación 12: Nivel de Potencia de las RBDynaDishG-5HacDr3

P_{RX}: Nivel de potencia recibida [dBm].

PIRE: Pérdida isotrópica radiada equivalente [dBW].

G_{i_{RX}}: Ganancia antena receptora [dBi].

FLSL: Pérdida en el espacio libre [dBm].

$$P_{RX}(dBm) = 54.5 + 24 - 77.11$$

$$P_{RX}(dBm) = 1.39dBm$$

Calculamos también la zona de Fresnel en un obstáculo a una distancia, por medio de la ecuación:

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{F(GHz)}}$$

Ecuación 13: Zona de Fresnel de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3

r: Radio de la zona de Fresnel [m]

d: Valor de la distancia Total del enlace [Km]

F: Frecuencia del radio enlace [GHz]

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{0.02914}{5.150}}$$

$$r = 0.65 \text{ m}$$

Calculamos la relación entre la señal y el ruido en el receptor con la siguiente fórmula:

$$SNR(dB) = P_{RX}(dBm) - Sensibilidad_{RX}(dBm)$$

Ecuación 14: Relación señal/ruido de las antenas RBDynaDishG-5HacDr3

SNR: Relación Señal/Ruido [dB].

P_{RX} : Nivel de potencia recibida [dBm].

$Sensibilidad_{RX}$: Sensibilidad receptora [dBm]

$$SNR(dB) = 1.39 - (-96)$$

$$SNR(dB) = 97.39 \text{ dB}$$

4.1.5. Cálculos de ancho de banda teóricos total de Bonding

La transmisión de datos (ancho de banda) depende del ancho de canal ya que nos permite una mayor velocidad de datos, en nuestro caso trabajaremos en un canal de 40 MHz ya que nos ofrece un ancho de banda de 200-300 Mbps, con antenas **RB911G-5HPnD-QRT** y **RBDynaDishG-5HacDr3**.

$$BW_T = BW_{QRT} + BW_{DY}$$

Ecuación 15: Ancho total de Bonding

BW_T : Ancho total del Bonding [Mbps].

BW_{QRT} : Ancho total de las antenas [Mbps].

BW_{DY} : Ancho total de las antenas [Mbps].

$$BW_T = 300bps + 866Mbps$$

$$BW_T = 1166Mbps$$

Tomando en cuenta que debido a las condiciones óptimas se presenta un 80% ya que se puede presenciar fragmentación de paquetes e interferencias, calculamos el ancho de banda efectivo con la siguiente formula:

$$BW_E = BW_T * 0.80$$

Ecuación 16: Ancho de banda efectivo de Bonding

BW_E : Ancho de banda Efectivo [Mbps].

BW_T : Ancho de banda Total [Mbps].

$$BW_E = 1166Mbps * 0.80$$

$$BW_E = 932.8 Mbps$$

Calculamos el Ancho de Banda Teórico Total

$$BW_{TT} = BW_T - BW_E$$

Ecuación 17: Ancho de banda total real

BW_{TT} : Ancho de banda total real

BW_T : Ancho de banda total [Mbps].

BW_E : Ancho de banda efectivo [Mbps].

$$BW_{TT} = 1166Mbps - 932.8Mbps$$

$$BW_{TT} = 233.2Mbps$$

4.2. Pruebas de conectividad de cada equipo

Cuando ya hemos realizado las configuraciones correctamente cerramos nuestra ventana de WinBox, y verificaremos si nuestros puertos ethernet tienen acceso a internet, pero antes verificaremos que nuestros router tengan conexión con cada una de las antenas.

PASO 1: Desde el cmd de nuestra PC procedemos a realizar un ping extendido desde el router **RB4011IGS+RM** a la antena **RB911G-5HPnD-QRT** que se encuentra en modo AP mediante su respectiva IP “**192.168.10.1**”.


```
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.4317]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\pauln>ping 192.168.10.2 -t

Haciendo ping a 192.168.10.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=7ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=32ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
```

*Figura 103. Ping realizado desde el router RB750Gr3 a la antena RB911G-5HPnD-QRT (Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 4: De la misma manera con la antena que está en modo cliente hacemos el respectivo ping desde el router **RB750Gr3** a la antena **RBDynaDishG-5HacDr3** para ver si hay pérdidas en el enlace.

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.4317]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

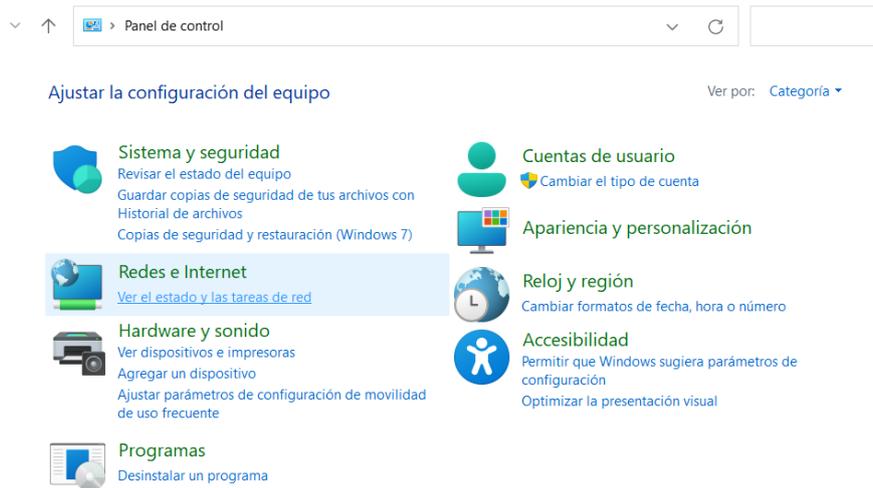
C:\Users\pauln>ping 192.168.20.2 -t

Haciendo ping a 192.168.20.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=10ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.2: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
```

*Figura 104. Ping realizado desde el router RB750Gr3 a la antena RBDynaDishG-5HacDr3 (Cliente)
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

4.3. Análisis de resultados de bonding y redundancia de datos

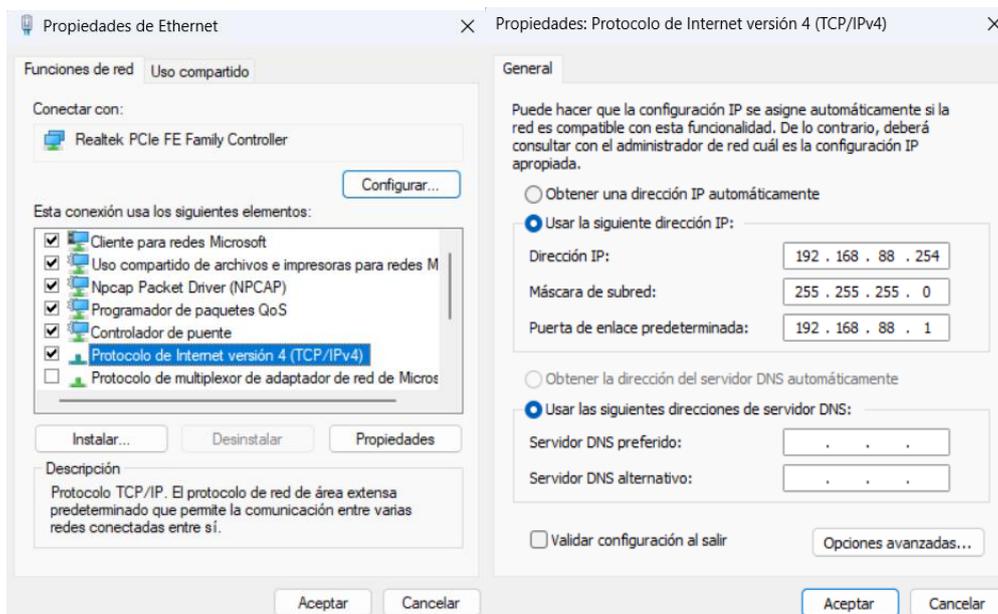
PASO 1: Comprobamos que la técnica Bonding está realizado correctamente haciendo ping desde los dos routers, en este caso empezamos haciendo ping desde el router principal al router cliente. Por medio del cmd de nuestra PC ingresamos la IP del Bonding



*Figura 107. Verificación de conexión a internet por medio del panel de control
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 4: Configuramos las propiedades del puerto Ethernet con su respectiva IP, para ello nos vamos a la ventana de **Propiedades de Ethernet > Protocolo de Internet versión 4(TCP/IPv4)**

Nos muestra otra ventana en donde damos clic en **Usar la siguiente IP** donde activaremos y colocaremos manualmente la IP, máscara de subred y puerta de enlace predeterminada para tener acceso a internet y luego le damos clic en **“Aceptar”**.



*Figura 108. Asignación de IP manual para tener acceso a internet desde la PC
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

PASO 5: Nos dirigimos hasta un navegador desde nuestra PC y comprobamos desde una página web si tenemos el acceso a internet. El cual se observa que nuestra red tiene como nombre “LABTELE1 3”.

Ver información básica de la red y configurar conexiones

Ver las redes activas

LABTELE1 3
Red pública

Tipo de acceso: Internet
Conexiones: Ethernet

Cambiar la configuración de red



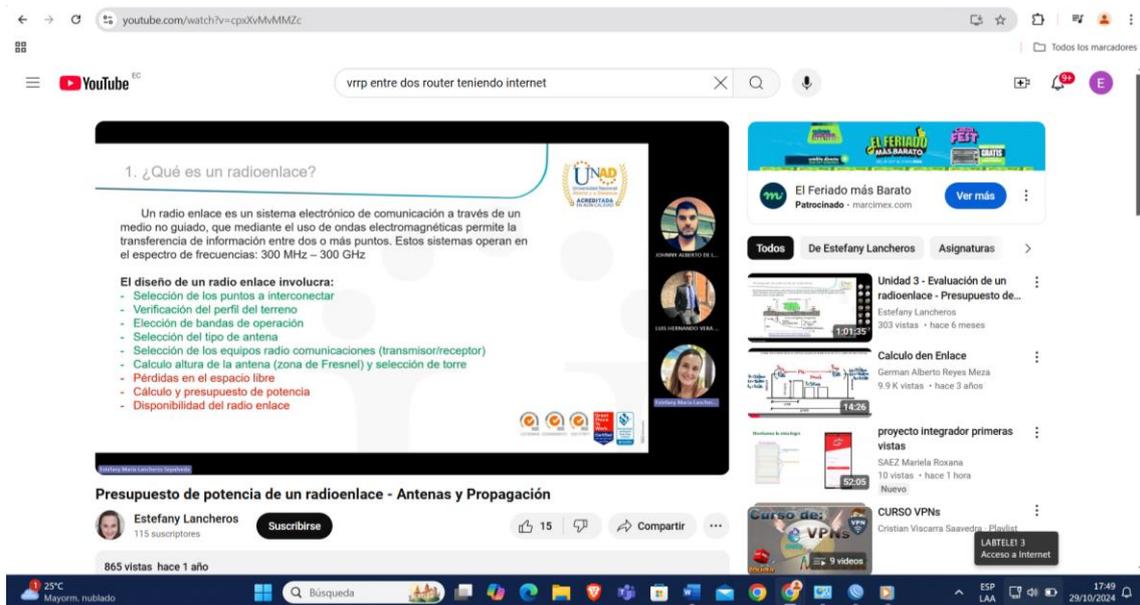
[Configurar una nueva conexión o red](#)

Configurar una conexión de banda ancha, de acceso telefónico o VPN; o bien configurar un enrutador o punto de acceso.



[Solucionar problemas](#)

Diagnosticar y reparar problemas de red u obtener información de solución de problemas.



*Figura 109. Acceso a internet por medio de la red
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

Así mismo para comprobar que se cumpla la redundancia procedemos a realizar un ping con la IP de nuestro router virtual el cual creamos en una de las interfaces dentro de los router ya mencionados.

Procedimos a desconectar de manera física una de las antenas, esto se realiza con la intención de que el protocolo VRRP funcione si en un caso alguno de los equipos de los

radioenlaces llega a fallar, ayudando a que no se interrumpa el servicio de internet y poder navegar sin ningún problema.

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.4317]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\pauln>ping 192.168.30.254 -t

Haciendo ping a 192.168.30.254 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=18ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=6ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.254: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
```

*Figura 110. Tiempo de conexión aplicando el protocolo VRRP
Fuente: Imagen elaborada por el autor*

CONCLUSIONES

- La implementación de una red inalámbrica basada en una técnica Bonding en enlaces de radio viene siendo una estrategia efectiva para poder mejorar tanto el ancho de banda como la redundancia de datos en ambiente controlado. Esto nos permitió explorar y comprender las ventajas del Bonding ya sea en la estabilidad y capacidad de recuperación ante fallos. Contribuyendo así al conocimiento práctico en el uso de tecnologías avanzadas para la optimización de redes inalámbricas.
- Utilizando el software SketchUp, se diseñó y visualizó la ubicación precisa de los equipos en la red, como enrutadores y antenas. Además, el uso del software Radio Mobile permitió realizar una simulación detallada de los radioenlaces, la cual estuvo configurada a una distancia de 32 metros entre puntos claves. Esta representación facilitó la planificación de los enlaces y la identificación de posibles puntos de interferencia o degradación de señal.
- Se realizó la configuración de los enlaces de Bonding en enfoque a las especificaciones técnicas de Mikrotik, ajustándose así a las recomendaciones de diseño y rendimiento para enlaces de alta disponibilidad. Esto nos asegura que el sistema cumple con requisitos esenciales como la estabilidad de conexión, calidad de señal y la velocidad de transmisión de datos, obteniendo así una reducción de interrupciones en el servicio.
- La técnica Bonding aplicada en los enlaces punto a punto representa una mejora significativa en la infraestructura de red. Este enfoque permite la combinación de múltiples enlaces de radio, permitiendo el incremento de ancho de banda disponible al sumar la capacidad de cada enlace.
- Por medio de los cálculos matemáticos realizados se pudo conocer cuáles son los datos de los factores que afectan en la calidad de la señal como: la pérdida del espacio libre, los niveles de potencia de antenas, la zona de Fresnel y relación señal-ruido, estos datos demostraron una mejora notable en la transmisión del ancho de banda y calidad de transmisión, pudiendo evidenciar la efectividad de la técnica Bonding con respecto a las necesidades de tráfico en la red.
- Mediante los cálculos de presupuesto realizados podemos observar que los parámetros de Relación Señal/Ruido de cada enlace están aptos para la

implementación del diseño de red inalámbrica, debido a que el resultado calculado de la antena QRT mostró un valor de 96.39 dB y el valor proporcionado por la interfaz de la misma antena en Winbox mostró un valor de 96 dB, siendo valores aproximados. Y de la misma manera para el enlace de las antenas Dynadish nos mostró un valor calculado de 97.39 dB, mientras que su valor simulado fue de 81 dB, esto debido a las interferencias que se presentan en el medio.

- La obtención y análisis de parámetros de red del ancho de banda fueron los más esenciales para la validación de los resultados de las pruebas realizadas. Mostrándonos que la combinación de múltiples enlaces en una sola ruta de datos mediante Bonding puede mejorar significativamente el ancho de banda disponible.
- La tecnología MIMO es la que permite el aumento de ancho de banda y velocidad, ya que divide la señal de transmisión en múltiples flujos de datos enviados por medio de varias antenas, aunque la desventaja podría ser la posibilidad de interferencias, estas suelen ser mínimas y no afectan de manera significativa su desempeño. Siendo importante en el 5G mejorando las redes inalámbricas y aumentando la velocidad de transmisión de datos.
- La configuración de bonding llega a proporcionar un ancho de banda total dependiendo del ancho de banda de cada uno de los enlaces, si uno de estos enlaces llegase a fallar, el tráfico de datos automáticamente se redirige al enlace activo, teniendo en cuenta que a pesar de que el rendimiento disminuye al ser enviado la transmisión de datos en un solo enlace, el sistema se mantendrá estable.
- Para asegurar la disponibilidad continua de los enlaces, se implementó el protocolo VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol), el cual permite la conmutación automática entre routers en caso de que uno de ellos falle. Este protocolo garantiza que la conectividad se mantenga estable, minimizando el tiempo de interrupción en la red, logrando adaptabilidad en el sistema de comunicación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis general de los factores que llegan a influir en la implementación y el rendimiento de la red inalámbrica, los cuales abarcan desde la topología adecuada para la distribución del ancho de banda, y a su vez tener en cuenta los obstáculos que se observen en la línea de vista que puedan llegar a afectar la calidad del enlace.
- Verificar que las antenas estén configuradas con las especificaciones correctas que contienen cada una de ellas para asegurar un rendimiento óptimo y así mismo asignar bien los puertos dentro de los routers, siendo estos los responsables de gestionar y combinar los enlaces.
- Para realizar una red inalámbrica basada en la técnica de Bonding en enlaces de radio se recomienda hacer uso de cables Ethernet categoría 6 debido a las grandes velocidades que soporta las cuales van hasta el 1 Gbps, evitando tener pérdida de datos.
- Se debe tener en cuenta las especificaciones de los canales de ancho de banda que proporcionen cada antena que se vaya a utilizar ya que la capacidad de transmisión de datos que se encuentren dentro de su rango va a depender de la frecuencia de operación especificada y a su vez del canal de frecuencia que se seleccione para la transmisión.
- Para poder realizar un bonding en redes inalámbricas se recomienda seleccionar routers y antenas donde se considere la cantidad de megas a transmitir. Donde se tome en cuenta la capacidad de cada dispositivo tomando en cuenta la operación de canales que se va a utilizar.
- Para proyectos futuros se recomienda explorar la integración de tecnologías que complementen Bonding en Mikrotik, ya sea el uso de VLAN y QoS que permitan segmentar el tráfico de información y la seguridad de la red. la para poder priorizar aplicaciones. Siendo estos aplicados en un escenario de mayor escala, lleven a cabo pruebas de diferentes tipos de tráfico para valorar el comportamiento del Bonding en condiciones con distancias más largas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Garcia Villegas, L. Deek y Belding Elizabeth, «El impacto de la vinculación de canales en la red 802.11n,» UPC-BarcelonaTECH, 2011.
- [2] k. H. S. Anand, S. Sengupta y R. Chandramouli, «¿Es la fragmentación/unión de canales en IEEE 802.22?,» DEpartament of ECE.
- [3] «Evaluación del desempeño de Técnicas de Vinculación en inalámbrico 802.11n,» Departamento de Tecnología de la Información y las Comunicaciones, 2013.
- [4] S. García García, «Diseño de una red de agregación de radioenlaces punto a punto en el servicio fijo de banda ancha,» Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2018.
- [5] «¿Como surgió el internet?,» concepto, [En línea]. Available: <https://concepto.de/internet/>.
- [6] M. Á. Sevilla Robles, «Resumen sobre Internet,» Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2020.
- [7] R. Carreño Rio, «Imagen, espacio y tiempo en la red: análisis y evolución del arte desde la llegada de Internet,» Universidad de Murcia, 2022.
- [8] Á. Calvo Calvo, «Las Tecnologías de acceso a Internet en España,» Universidad de Barcelona.
- [9] «Comercio electrónico en China y México: surgimiento, evolución y perspectivas,» scielo, 2020.
- [10] D. E. Cádiz Ochoa, «Historia de Internet,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/706250852/Historia-de-Internet>.
- [11] «Digixem360,» 17 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.itmastersmag.com/noticias-analisis/los-2010-la-decada-tecno/>.

- [12] M. Sevilla Robles, «Biblioteca UDGVirtual,» [En línea]. Available: <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/3088/1/Resumen%20del%20Contenido%20de%20la%20Unidad.pdf>.
- [13] «IONOS,» 18 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/los-tipos-de-redes-mas-conocidos/>.
- [14] J. Burke, «Computerweekly,» [En línea]. Available: <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Ethernet>.
- [15] «cloudflare,» [En línea]. Available: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/network-layer/what-is-a-lan/>.
- [16] «gpcinc.mx,» 26 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://gpcinc.mx/blog/redes-lan-man-wan/>.
- [17] «IONOS,» 18 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/know-how/los-tipos-de-redes-mas-conocidos/>.
- [18] «Fortinet,» [En línea]. Available: <https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/wan>.
- [19] B. A. Rodriguez Toala, «Las redes WAN y su importancia para los ordenadores,» Revista Unesum Ciencia, 2021.
- [20] «Wikipedia,» 18 enero 2014. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_%C3%A1rea_amplia.
- [21] «Universidad de Málaga,» [En línea]. Available: <https://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>.
- [22] D. Romero, «SCRIBD,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/504757063/Cable-Coaxial>.
- [23] «gumi.net,» [En línea]. Available: https://guimi.net/monograficos/G-Cableado_estructurado/G-CENode5.html.

- [24] «virtual.urbe.edu,» [En línea]. Available: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0081986/fase01.pdf>.
- [25] «Universidad del Azuay,» [En línea]. Available: <https://www.uazuay.edu.ec/sistemas/teleprocesos/cables/partren>.
- [26] J. A. Castillo, «Profesional review,» 12 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2020/09/12/cable-par-trenzado-caracteristicas/>.
- [27] «Universidad del Azuay,» [En línea]. Available: <https://www.uazuay.edu.ec/sistemas/teleprocesos/cables/optica>.
- [28] «studoku,» [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-aguascalientes/optica-geometrica/fibras-opticas/4630338>.
- [29] «cervi sl,» [En línea]. Available: <https://mifibraoptica.wordpress.com/2012/10/13/caracteristicas-de-la-fibra-optica/>.
- [30] I. A. Tarapues Mena, «Diseño de una red de acceso por fibra óptica basada en Tecnología XG-PON para cumplir con objetivos de expansión de la empresa Profyber S.C en la parroquia San Blas de Urcuquí,» Universidad Técnica del norte, Ibarra, 2023.
- [31] «thefoa,» [En línea]. Available: https://www.thefoa.org/PORT/Chapter%205_PT.html.
- [32] 25 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.fibresplitter.com/news/twisted-pair-vs-coaxial-cable-vs-fiber-optic-c-24248336.html>.
- [33] «Universidad América Latina,» [En línea]. Available: <http://ual.dyndns.org/biblioteca/Redes/Pdf/Unidad%2012.pdf>.
- [34] «Gestión de recursos y sistemas interconectados,» [En línea]. Available: <https://recursosysistemasgrupotecne.blogspot.com/2015/12/redes-inalambricas.html>.

- [35] 14 enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.electricity-magnetism.org/es/ondas-de-radio-definicion-propiedades-y-aplicaciones/>.
- [36] «Ionosfera Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ionosfera>.
- [37] «cooplaltonja,» [En línea]. Available: <https://cooplaltonja.com.ar/telefonía-por-microondas/>.
- [38] «CAPITULO II-URBE,» [En línea]. Available: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0055868/cap02.pdf>.
- [39] J. Cedeño, «Pinterest,» [En línea]. Available: <https://www.pinterest.com/sigfridocedeno/medios-de-transmisi%C3%B3n-autopista-de-datos/>.
- [40] «Universidad del Azuay,» 2024. [En línea]. Available: https://www.uazuay.edu.ec/sistemas/teleprocesos/interfaz/trans_inalambricas.
- [41] redes, «Redes inalámbricas y alámbricas: ventajas y desventajas,» pcasistencia, 2021.
- [42] L. P. Cuadrado Tucker, «abc xperts,» 14 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://abcxperts.com/importancia-de-la-zona-de-fresnel-en-la-implementacion-de-enlaces-inalambricos/?srsltid=AfmBOoqXC0229n-f8KWTXuWSUaJ0s6nUvFrWjkWHKjvy4q6EXdTpgPG8>.
- [43] H. Layonel Minchola, «slideshare,» 10 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/zonas-de-fresnel/192159782>.
- [44] M. Saeed, «linkedin,» [En línea]. Available: https://www.linkedin.com/posts/mohamed-saeed-46229aa4_microwave-msaeed-transmission-activity-7100035609544548352-Fvub/.
- [45] «fenooptico,» [En línea]. Available: <https://fenooptico.blogspot.com/2015/10/efectos-por-la-curvatura-de-la-tierra.html>.

- [46] «PAESSLER,» [En línea]. Available: <https://www.paessler.com/es/it-explained/bandwidth>.
- [47] «Modulación Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_\(telecomunicaci%C3%B3n\)#:~:text=Las%20tres%20t%C3%A9cnicas%20de%20modulaci%C3%B3n%20anal%C3%B3gica%20son%20la%20fase%20\(PM%20o%20fase%20modulada\)..](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n)#:~:text=Las%20tres%20t%C3%A9cnicas%20de%20modulaci%C3%B3n%20anal%C3%B3gica%20son%20la%20fase%20(PM%20o%20fase%20modulada)..)
- [48] «huawei,» Junio6 2024. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-srn-conceptos-b%C3%A1sicos-wireless/thread/805362381267976192-667212884033286144>.
- [49] «Van de Meer, Roel,» simbase, [En línea]. Available: <https://es.simbase.com/iot-glossary-dictionary/packet-switching#:~:text=La%20conmutaci%C3%B3n%20de%20paquetes%20es%20un%20m%C3%A9todo%20de%20transmisi%C3%B3n%20de,red%20hasta%20su%20destino%20previsto..>
- [50] «VPN Unlimited,» [En línea]. Available: <https://www.vpnunlimited.com/es/help/cybersecurity/frequency-division-multiplexing?srsId=AfmBOooHBczjQq9xMRWMX7A6KrgKAiSPHk95F9MgZPWZXMhDOS0EXCEY>.
- [51] R. d. Meer. [En línea]. Available: <https://es.simbase.com/iot-glossary-dictionary/circuit-switching#:~:text=La%20conmutaci%C3%B3n%20de%20circuitos%20implica%20establecer%20un%20circuito%20dedicado%20antes,transmiten%20independientemente%20por%20la%20red..>
- [52] J. L. Sotelo Lavagnio, «Agregación de enlaces inalámbricos,» INDEX, México.
- [53] «algor cards,» [En línea]. Available: <https://cards.algoreducation.com/es/content/8DvSzann/fundamentos-modulacion-comunicaciones>.

- [54] C. Cabañas, «La importancia de contar con redes redundantes,» Tecno Buildings.
- [55] D. G. Barzola Abad, «Mejorando la conexión con Bonding en Mikrotik Router OS,» abc xperts.
- [56] MIKROTIK, «MIKROTIK,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/soproteubiquiticolombia/bonding-modos>.
- [57] RB4011igs_m, «MIKROTIK,» [En línea]. Available: https://mikrotik.com/product/rb4011igs_rm.
- [58] hEX, «MIKROTIK,» [En línea]. Available: <https://mikrotik.com/product/RB750Gr3>.
- [59] «Tenda,» [En línea]. Available: <https://www.tendacn.com/es/product/specification/tx2.html>.
- [60] D. 5, «MIKROTIK,» [En línea]. Available: <https://mikrotik.com/product/RBDynaDishG-5HacDr3>.
- [61] Q. 5, «MIKROTIK,» [En línea]. Available: <https://mikrotik.com/product/RB911G-5HPnD-QRT>.
- [62] C. 6. [En línea]. Available: <https://www.steren.com.ec/cable-ethernet-utp-cat-6-de-90-cm.html>.
- [63] RJ-45. [En línea]. Available: <https://www.kywi.com.ec/conector-rj45-cat5-p-cable-de-red-unidad/p>.
- [64] R. Mobile. [En línea]. Available: <http://www.digdice.com/2009/05/radio-mobile-an-freeware-software-for-design-and-calculate-radio-links/>.

ANEXOS

Anexo 1. Armado de las antenas QRT y DynaDish



Anexo 2. Ubicación de las antenas Mikrotik en los exteriores de los laboratorios de Facsistel para la comunicación punto a punto



Anexo 3. Pruebas para la verificación de envío de datos mediante la técnica Bonding





Anexo 4. Ubicación de los routers en los racks del laboratorio de Telecomunicaciones



