



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

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE INALÁMBRICO BACKHAUL
SOBRE INFRAESTRUCTURA DE FIBRA ÓPTICA, UTILIZANDO
REDES DE ÚLTIMA GENERACIÓN CON MÉTODOS WI-FI 5 EN
AMBIENTE CONTROLADO.

AUTORES

GONZÁLEZ CATUTO LESLY ARIANA
PERALTA RICARDO LUIS DAVID

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR

ING. AMAYA FARIÑO LUIS MGTR.

**LA LIBERTAD, ECUADOR
2026**



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Ronald Rovira Jurado, PhD.
DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Luis Amaya Farino, Mgr.
DOCENTE GUÍA UIC/TUTOR

Ing. Karla Jácome Guerrero, Mgr.
DOCENTE ESPECIALISTA

Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgr.
SECRETARIA



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

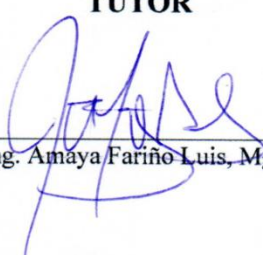
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **González Catuto Lesly Ariana** y **Peralta Ricardo Luis David**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

La Libertad, a los 04 días del mes de agosto del año 2026

TUTOR



Ing. Amaya Farfán Luis, Mgtr.



UPSE
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **LESLY GONZÁLEZ CATUTO** y **LUIS PERALTA RICARDO**

DECLARAMOS QUE:

El trabajo de Titulación, **“Implementación de un enlace inalámbrico backhaul sobre infraestructura de fibra óptica, utilizando redes de última generación con métodos Wi-Fi 5 en ambiente controlado”** previo a la obtención del título en Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 04 días del mes de agosto del año 2026

AUTORES

Lesly Ariana González Catuto

Luis David Peralta Ricardo



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

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **“Implementación de un enlace inalámbrico backhaul sobre infraestructura de fibra óptica, utilizando redes de última generación con métodos Wi-Fi 5 en ambiente controlado”**, presentado por los estudiantes, **González Catuto Lesly Ariana y Peralta Ricardo Luis David** fue enviado al Sistema antiplagio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 10%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

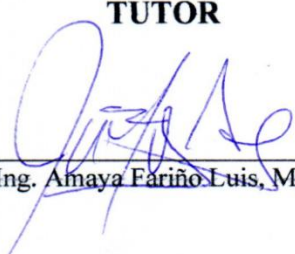
**Certificado de análisis**
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

Trabajo de grado_teleco1
ID : c647ad528b337517448e626c16364ab0efe8a45f

**10%**
Textos sospechosos

Nombre del fichero: Trabajo de grado_teleco1.txt	Depositante: AMAYA FARÍÑO LUIS MIGUEL
Tamaño del archivo original: 9,72 MB	Fecha de depósito: 20 de agosto de 2026
Número de palabras: 15.129	Tipo de carga: Interface
	fecha de fin de análisis: 20 de agosto de 2026

TUTOR


Ing. Amaya Faríño Luis, Mgtr.



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **LESLY GONZÁLEZ CATUTO y LUIS PERALTA RICARDO**

Autorizamos a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor

Santa Elena, a los 04 días del mes de agosto del año 2026

AUTORES

Lesly Ariana González Catuto

Luis David Peralta Ricardo

AGRADECIMIENTO

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

(Filipense 4:13)

Agradezco primeramente a Dios por ser mi guía, fortaleza y fuente de sabiduría durante todo este proceso académico. Gracias por permitirme superar cada desafío y brindarme la perseverancia necesaria para culminar con éxito esta importante etapa de mi vida. Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres LEYDY CATUTO Y MILTON GONZÁLEZ, por su amor, esfuerzo y apoyo constante a lo largo de mi formación académica.

A mis abuelos, Milton González, Elena Tumbaco, Pastora Correa, Héctor Catuto, por sus consejos, valores y cariño incondicional, que han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. Les agradezco profundamente por enseñarme que, con esfuerzo y dedicación es posible alcanzar cada meta que nos propongamos su ejemplo de

fortaleza y trabajo constante ha sido inspiración fundamental en cada etapa de mi vida.

Mi agradecimiento a la Universidad Estatal Península De Santa Elena y a la carrera de telecomunicaciones por brindarme los conocimientos y experiencia que han contribuido a mi formación profesional.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos y experiencia con dedicación y compromiso dejando varias enseñanzas que permanecerán a lo largo de mi vida profesional.

De manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutor, LUIS AMAYA y a la especialista KARLA JÁCOME, por su orientación, apoyo, conocimientos y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Su compromiso y acompañamiento fueron fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto.

Agradezco a mis hermanos, Cristhyn González, Milton González por acompañarme en este camino,

brindándome ánimo. Gracias por celebrar conmigo cada logro.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tíos, Andy González, Nayely González, Mariuxi González, por su apoyo y compañía. A cada uno de mis familiares y primos me siento muy afortunada de pertenecer a una familia tan especial. Con todo mi corazón, gracias por acompañarme, creer en mí y formar parte de este camino.

Mi más sincero agradecimiento a mi querida amiga Melany Sánchez y a toda su familia por el cariño, apoyo que me han brindado. Gracias por abrirme las puertas de su hogar, haciéndome sentir bienvenida.

Lesly Ariana González Catuto

Culminar esta etapa universitaria es el resultado del esfuerzo compartido con personas excepcionales a quienes deseo expresar mi gratitud.

A mis padres y familia, por ser mi motor, mi guía y mi apoyo incondicional en cada decisión. Su confianza en mis capacidades y su sacrificio diario hicieron posible que hoy pueda alcanzar esta meta.

A mi tutor, por su tiempo, su confianza en mi propuesta de investigación y por impulsarme a ir más allá de los límites técnicos establecidos, guiándome con total profesionalismo.

A mis amigos y compañeros de carrera, especialmente a aquellos que estuvieron presentes en los momentos de mayor presión, compartiendo ideas, desvelos y el entusiasmo por ver materializado este proyecto.

A todos los que, de manera directa o indirecta, aportaron un grano de arena para la realización de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

Luis David Peralta Ricardo

DEDICATORIA

Dedico este momento a todas las personas que han estado a mi lado durante este camino, a quienes con sus palabras, apoyo y cariño me han impulsado a seguir adelante.

A mi familia, por ser mi fuerza y mi compañía; a mis amigos, por los momentos compartidos y por estar presentes cuando más los necesité. Cada consejo, cada gesto de apoyo y cada muestra de confianza han significado mucho para mí.

Este logro representa también un poco de cada persona que creyó en mí y me acompañó de alguna manera. Sin olvidar que Dios ha sido mi guía y mi fortaleza en cada paso, tengo fe de que, si ÉL me puso en este camino, no habrá nadie que pueda apartarme de aquello que tiene preparado para mí.

Gracias por formar parte de esta etapa tan importante de mi vida. Con gratitud, humildad y fe, dedico este logro a todos ustedes.

Lesly Ariana González Catuto

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza necesaria para no rendirme ante las dificultades, iluminando mi camino en cada paso de esta importante etapa.

A mis padres y familiares, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mis capacidades. Gracias infinitas gracias por ser mi motivación para seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas.

A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron con palabras de aliento, consejos y apoyo durante esta etapa tan importante de mi vida, este logro también les pertenece.

Luis David Peralta Ricardo

ÍNDICE GENERAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARO QUE:.....	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO.....	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA.....	XI
ÍNDICE GENERAL.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT	XXII
INTRODUCCIÓN.....	24
CAPÍTULO I	26
1. GENERALIDADES DE LA PROPUESTA	26
1.1. ANTECEDENTES	26

1.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	27
1.3.	OBJETIVOS.....	29
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	29
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
1.4.	JUSTIFICACIÓN	30
1.5.	ALCANCE DEL PROYECTO	31
1.6.	METODOLOGÍA	33
1.7.	RESULTADOS ESPERADOS	34
CAPÍTULO II.....		36
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA.....	36
2.1.	MARCO CONTEXTUAL	36
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	37
2.2.1.	Evolución de las redes de telecomunicaciones.....	37
2.2.2.	Demandas actuales de ancho de banda.....	38
2.2.3.	Limitaciones de conectividad en zonas rurales	38
2.3.	Tecnología de fibra óptica en redes de transporte.....	39
2.3.1.	Principios de transmisión por fibra óptica.....	39
2.3.2.	Tipos de fibra: Monomodo vs. Multimodo.....	40
2.3.3.	Ventajas y desventajas de fibra óptica	41
2.4.	Enlaces inalámbricos tipo backhaul.	42
2.4.1.	Definición y características generales.	42
2.4.2.	Tipologías de backhaul: punto a punto y punto a multipunto	43
2.4.3.	Frecuencias utilizadas y consideraciones de propagación	44

2.5.	Estándar Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac)	45
2.5.1.	Aplicaciones en enlaces de backhaul	45
2.5.2.	Limitaciones	46
2.6.	Arquitecturas híbridas de Red	47
2.6.1.	Concepto y diseño de soluciones híbridas	47
2.7.	Entornos Controlados para Evaluación Tecnológica	48
2.7.1.	Importancia de los laboratorios y campus universitarios	48
2.7.2.	Consideraciones técnicas para la simulación de enlaces reales	49
2.8.	Aportes de la Investigación al Campo de las Telecomunicaciones	50
2.8.1.	Aplicabilidad de la solución propuesta	50
2.8.2.	Impacto en entornos con restricciones de infraestructura	51
CAPÍTULO III		52
3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	52
3.1.	Componentes de la propuesta	52
3.1.1.	Componentes físicos	52
3.1.2.	Componentes lógicos	60
3.2.	Arquitectura de la red	67
3.3.	Diseño de la red inalámbrica	68
3.3.1.	Diseño de topología física	68
3.3.2.	Diseño de topología lógica	68
3.4.	Configuración de equipos	71
3.4.1.	Configuración Dream Machine Pro	71

3.4.2. Instalación del controlador de UniFi	76
3.5. Estudio de Factibilidad	88
3.5.1. Factibilidad Técnica	88
CAPÍTULO IV.....	90
4.1. PRUEBAS.....	90
4.1.1. PRUEBA 1	91
4.1.2. PRUEBA 2	93
4.2. Cálculos y Análisis de Resultados	106
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES	118
REFERENCIAS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Especificaciones Ubiquiti Device Bridge Pro	53
Tabla 2 . Especificaciones Ubiquiti Device Bridge Pro sector.....	54
Tabla 3 . Especificaciones Ubiquiti Dream Machine Pro	56
Tabla 4 . Especificaciones Ubiquiti UACC-A	57
Tabla 5 . Especificaciones del módulo SPF SM311LS	59
Tabla 6 . Asignación de puertos de cada elemento de la red.....	68

Tabla 7 . Asignación direcciones IP de cada elemento de la red.....	69
Tabla 8 . Costo de equipos	89
Tabla 9 . Costo de materiales	89
Tabla 10 . Costos Totales	89
Tabla 11 . Parámetros del enlace	106
Tabla 12 . PARÁMETROS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Fibra óptica.....	41
Figura 2: Enlace backhaul	43
Figura 3. Ubiquiti Device Bridge Pro.....	53
Figura 4. Ubiquiti Device Bridge Pro Sector	55
Figura 5. Ubiquiti Dream Machine Pro	56
Figura 6. Ubiquiti UACC-A	58
Figura 7. Módulo SPF SM311LS	59

Figura 8. Enlace Radio Mobile.....	61
Figura 9. QGIS	62
Figura 10. iPerf	63
Figura 11. Zabbix	64
Figura 12. WiFiman.....	65
Figura 13. UniFi Network Server	66
Figura 14. Diagrama de la red	67
Figura 15. Ubicación de antenas en el predio universitario	71
Figura 16. Conexión a Internet	72
Figura 17. Asignación de nombre a la consola.....	72
Figura 18. Configuración sobre informes de rendimiento.....	73
Figura 19. Test de conectividad de la consola.....	74
Figura 20. Resultado del test de conectividad	74
Figura 21. Configuración finalizada de la consola	75
Figura 22. Interfaz de inicio tras culminación de configuración	75
Figura 23. Instalación de Network Server	76
Figura 24. Instalación Network Server finalizada	77
Figura 25. Identificación del Controlador	78

Figura 26. Ingreso de credenciales	78
Figura 27. Configuración red Wi-Fi	79
Figura 28. Verificación de Configuración	80
Figura 29. Proceso de adopting	81
Figura 30. Adopting UBD PRO-UBD SECTOR	81
Figura 31. Link UBD PRO-UBD SECTOR.....	83
Figura 32. Topología Link UBD PRO-UBD SECTOR	84
Figura 33. Link UBD SECTOR-2 UBD PRO	85
Figura 34. Topología Link UBD SECTOR-2 UBD PRO	86
Figura 35. Topología Link Final	87
Figura 36. Dispositivos en red.....	88
Figura 37. Inicio portal del server	91
Figura 38. Topología	92
En la Figura 39 se evidencia los usuarios que están conectado al UDM.	92
Figura 40. UDM CONECTADO AL MEDIA	93
Figura 41. UDM CONECTADO AL MEDIA CONVERTER CON SPF	94
Figura 42. UDM Transmisión conectado a la media converter con SPF	95
Figura 43. Instalación de la antena	96

Figura 44. Comprobación del funcionamiento de la antena AC Mesh	96
Figura 45. Instalación de las antenas para la conexión híbrida en la piscina de la Universidad.....	97
Figura 46. Instalación de las antenas para la conexión híbrida en la cancha sintética de la Universidad.....	97
Figura 47. Registro de dispositivos en el controlador UniFi.....	98
Figura 48. Configuración general del punto de acceso AC MESH PISCINA	99
Figura 49. Configuración general del punto de acceso AC MESH CANCHA.....	100
Figura 50. Estado operativo del enlace inalámbrico	101
Figura 51. Topología de la red implementada.....	102
Figura 52. Verificación del enlace mediante la aplicación UISP	103
Figura 53. Ubicación geográfica de los enlaces	104
Figura 54. Topología brindada en el sistema Unifi	105
Figura 55. Estado final de los dispositivos conectados	106
Figura 57. Diagrama de Margen de enlace.....	110

RESUMEN

Esta investigación implementa un enlace inalámbrico de respaldo sobre una infraestructura de fibra óptica, empleando tecnología basada en el estándar Wi-Fi 5. El objetivo es analizar el rendimiento, la capacidad y la estabilidad de una arquitectura híbrida que combina la solidez de este medio de transmisión con la flexibilidad de la comunicación inalámbrica. Para ello, se diseñó una arquitectura que incorpora equipos con capacidades MIMO 2x2, modulación adaptativa y gestión eficiente del espectro, garantizando condiciones óptimas para el transporte de datos.

La metodología se estructuró en tres fases: diseño de la solución, implementación del enlace y evaluación de parámetros de rendimiento. Durante la etapa experimental, el backhaul inalámbrico se configuró como extensión de la red troncal óptica, optimizando la potencia de transmisión, la sensibilidad y los niveles de señal. Se midieron el rendimiento, la demora, la variación y la firmeza. Así se examinó qué tan eficiente era el sistema frente a configuraciones comunes.

Los resultados muestran que el uso Wi-Fi 5 como método de backhaul mejora la redundancia, aumenta la cobertura y optimiza los recursos de infraestructura. Así, se consolida como una alternativa viable, escalable y eficiente para entornos de conectividad controlados.

Palabras claves: enlace inalámbrico, backhaul, Wi-Fi 5, fibra óptica, MIMO 2x2.

ABSTRACT

This study implements a wireless backhaul link over an existing fiber-optic infrastructure using technology based on the Wi-Fi 5 standard. The aim is to evaluate the performance, capacity, and stability of a hybrid network architecture that combines the reliability of fiber-optic transmission with the flexibility of wireless communication. To achieve this objective, a network architecture incorporating devices with 2×2 MIMO capabilities, adaptive modulation, and efficient spectrum management was designed to ensure optimal conditions for data transmission.

The research methodology consisted of three phases: solution design, link implementation, and performance evaluation. During the experimental stage, the wireless backhaul was configured as an extension of the optical backbone network by optimizing transmission power, receiver sensitivity, and signal levels. Network performance was assessed by measuring key performance indicators, including throughput, latency, jitter, and link stability, allowing comparison with conventional network configurations.

The results indicate that the implementation of Wi-Fi 5 as a backhaul solution improves network redundancy, extends coverage, and optimizes the use of existing infrastructure resources. These findings demonstrate that the proposed architecture represents a viable, scalable, and efficient alternative for controlled connectivity environments.

Keywords: wireless link, backhaul, Wi-Fi 5, fiber optics, 2x2 MIMO.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha crecido mucho la necesidad de servicios digitales. Esto pide redes más fuertes, que den conexiones rápidas, con poca demora y con un alto grado de seguridad. En este escenario, las conexiones remotas son cruciales, ya que cumplen con la función de medio de transporte de los datos desde las redes de acceso al núcleo de la red.

Una solución clave es combinar tecnologías cableadas, como la fibra óptica, con estándares actuales incluyendo Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac). Esto es útil donde poner la fibra en toda el área no es práctico por límites de terreno, edificios o dinero. El cableado óptico es una base sólida para la infraestructura de la red. Esto se debe a que tiene una gran capacidad para transmitir datos, no sufre interferencias electromagnéticas y la señal se debilita muy poco durante la comunicación. Aunque su uso puede ser más complejo y costoso en algunos casos, sus características la convierten en una solución muy eficiente y confiable destinada a transportar información. Los enlaces inalámbricos de backhaul ayudan a llevar la cobertura desde los nodos principales hasta lugares lejanos. Usan la infraestructura que ya existe, lo que reduce los costos de instalación y mantiene buena confiabilidad y rendimiento, sobre todo en entornos controlados.

Wi-Fi 5, considerado un estándar inalámbrico de vanguardia, mejora la velocidad y la eficiencia a través de tecnologías como compresión, bandas más amplias (80/160 MHz) y modulación sofisticada (256-QAM). Esto ofrece una opción intrigante para enlaces de backhaul breves y de longitud media. En esas conexiones, el Gigabit supera con facilidad las tasas por segundo en circunstancias ideales. Su uso en configuraciones administradas permite una evaluación y ajuste preciso del rendimiento a las redes exigentes.

Esta investigación evalúa la viabilidad de utilizar una conexión inalámbrica de tipo backhaul con Wi-Fi 5 apoyada en fibra óptica, en un entorno regulado. Para ello, hace pruebas desde el punto de vista técnico, funcional y financiero. También mide la eficiencia, la demora, la estabilidad y la capacidad de crecimiento del sistema. En consecuencia, los resultados permitirán desarrollar un modelo orientado a entornos institucionales o empresariales que requieran soluciones de red de alto rendimiento, de bajo costo de implementar.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, la demanda de conectividad rápida ha aumentado de forma notable. Esto se debe al crecimiento de servicios digitales como videollamadas, transmisiones en directo, aplicaciones de nube y dispositivos conectados a internet. La fibra óptica se ha vuelto la tecnología principal para las redes de transporte debido a su amplio ancho de banda, baja latencia y resistencia a las interferencias electromagnéticas. Sin embargo, su aplicación puede verse limitada por consideraciones económicas, geográficas o relacionadas con la infraestructura, en regiones rurales o con difícil acceso.

Con el propósito de superar las limitaciones de las redes cableadas, se han implementado enlaces inalámbricos de backhaul que permiten extender su cobertura de manera eficiente. Esta conexión facilita el intercambio de información entre nodos intermedios y el núcleo de la red. Esto se logra mediante el uso de tecnologías inalámbricas, como enlaces de microondas, redes Wi-Fi y sistemas de radiofrecuencia. Además, agregar el estándar IEEE 802.11ac fue un gran avance, permitiendo alcanzar velocidades de hasta 1,3 Gbps en condiciones ideales[1].

Diferentes estudios confirman que, en entornos controlados, Wi-Fi 5 puede ofrecer un rendimiento adecuado y comparable con tecnología más reciente. Esto ocurre sobre todo cuando se usa junto con redes de fibra óptica como apoyo. Han ejecutado emisiones

semejantes en escuelas académicas, zonas de fabricación y tierras de cultivo, con el objetivo de mantener el servicio sin incurrir en grandes gastos [1].

Esta investigación busca dar nuevas pruebas sobre cómo unir conexiones inalámbricas de retorno con la red de fibra. En especial, utiliza Wi-Fi 5. Esta investigación se realiza en un espacio de laboratorio controlado, a diferencia de estudios previos. Esto simplifica el propósito central: la toma de datos técnicos permite valorar el desempeño del sistema desde un punto de vista académico y práctico. Así, se ofrece una contribución importante tanto al sector educativo como al progreso de redes modernas en contextos de la vida real.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto implementa un enlace inalámbrico tipo backhaul sobre una infraestructura de fibra óptica existente. La idea es crear una red híbrida que combine la alta capacidad y confiabilidad de este medio de transmisión con la flexibilidad y facilidad de implementación de las tecnologías inalámbricas actuales. Esto es útil cuando no se pueda llevar la fibra hasta el usuario. Así se transportan datos desde un lugar principal a sitios lejanos, sin que el rendimiento de la red disminuya.

La investigación se lleva a cabo en un entorno controlado que imita situaciones reales de funcionamiento, lo que permite observar con precisión el comportamiento de la conexión inalámbrica y su integración con la infraestructura de la fibra óptica. Se usarán dispositivos compatibles con Wi-Fi 5, que permiten trabajar con canales de 80 y 160 MHz, modulación 256-QAM y tecnología MIMO, características que mejoran la eficiencia espectral y el

desempeño de la red. Con esta implementación, queremos ver cómo funciona la solución. Analizamos su rendimiento, retardo, estabilidad y resistencia a las interferencias.

El proyecto también tiene en cuenta aspectos técnicos como la planificación de la conexión, la orientación de las antenas, la configuración de los parámetros inalámbricos y la garantía de compatibilidad con la red de fibra. Además, se comparará el desempeño del enlace implementado con otras tecnologías de acceso muy usadas. Se señalarán sus ventajas, desventajas y posibles mejoras. Esto se hará con conocimientos profesionales de telecomunicaciones, asegurando que los resultados tengan valor práctico y técnico.

Este proyecto quiere demostrar que es posible integrar una conexión inalámbrica sobre una red de fibra óptica usando Wi-Fi 5. También busca ofrecer una solución que pueda ser replicada, que sea eficiente y económica para lugares donde es difícil extender la fibra. Esta idea puede ser útil en sitios como campus universitarios, parques industriales o zonas rurales, ofreciendo una opción moderna que responde a la creciente necesidad de una buena conexión.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y validar una arquitectura de red inalámbrica backhaul basada en tecnología Wi-Fi 5, que integre dispositivos Ubiquiti para garantizar una alta disponibilidad de la conectividad en el campus universitario.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la viabilidad técnico-operativa de un enlace backhaul inalámbrico con dispositivos Ubiquiti y estándar Wi-Fi 5 para la interconexión de redes en un campus universitario.
- Analizar la relación entre el diseño físico-lógico del enlace backhaul y los niveles de calidad de servicio, considerando cobertura, rendimiento y confiabilidad.
- Establecer un procedimiento comparativo entre resultados de simulación y pruebas de campo para validar el comportamiento del enlace.
- Diseñar un protocolo metodológico de evaluación del enlace backhaul en el campus universitario, incorporando herramientas de análisis, métricas técnicas y criterios de reproducibilidad.
- Evaluar el desempeño operativo del enlace inalámbrico backhaul implementado en condiciones reales de operación.
- Determinar la cobertura efectiva y la calidad de servicio de los puntos de acceso AC Mesh integrados al backhaul.

- Analizar la eficiencia del diseño de topología física y lógica adoptado en la implementación.
- Comparar los valores de la prueba de bucles de retorno, para valorar los parámetros de comunicación dentro de un entorno experimental.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Por varios años, hemos observado cómo los servicios digitales se han expandido al instante, impulsados por el auge del trabajo remoto, la educación a distancia y el uso intensivo de datos. Esta evolución ha generado una mayor necesidad de conexiones que sean más rápidas, confiables y adaptables [2]. En este caso, es esencial tener redes de transporte eficientes que garanticen un flujo constante de información desde los centros de datos hasta los usuarios. En esta ocasión, instalar fibra óptica en todas partes no es factible. Esto se debe a los altos costos o por las dificultades geográficas del terreno. Por eso, las soluciones híbridas combinan fibra óptica con conexiones inalámbricas. Así se plantean como una alternativa sólida y práctica.

Este proyecto responde a esa necesidad, proponiendo una solución que une una red de fibra óptica ya existente con una conexión inalámbrica basada en Wi-Fi 5. Esta tecnología se distingue por su velocidad, capacidad para usar canales anchos y buen rendimiento en entornos controlados. Wi-Fi 5 está ampliamente disponible en el mercado. Cuenta con una tecnología probada y puede ofrecer velocidades superiores a 1 Gbps. Esto la convierte en una opción perfecta para establecer conexiones tipo backhaul en distancias cortas o medias [2].

Realizar esta implementación en un entorno controlado ofrece una gran ventaja, ya que permite obtener datos confiables y exactos sobre el comportamiento del sistema. Esto facilita su análisis, ajuste y futura reproducción en condiciones reales. Gracias a este enfoque, las instituciones educativas, las pequeñas empresas y cualquier organización con recursos limitados pueden usar este modelo. Así logran ampliar su red de forma práctica y asequible, sin depender solo de la fibra óptica. Se trata de una solución intermedia con un gran potencial para crecer y desplegarse con rapidez.

La importancia del proyecto radica no solo en su enfoque técnico, sino también en su relevancia frente al contexto actual, donde la conectividad se ha convertido en un factor clave para el desarrollo. Esta tesis busca ofrecer una propuesta moderna, factible y económica. Permitirá mejorar la cobertura, el rendimiento y la eficiencia de las redes. Además, contribuirá al desarrollo de soluciones tecnológicas más accesibles y sostenibles para diversos sectores.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto se enfoca en desplegar y poner a prueba un enlace inalámbrico de tipo backhaul. Usa una infraestructura de fibra óptica que ya está en funcionamiento y usando tecnología Wi-Fi 5. Todo esto se hace en un ambiente controlado. La finalidad es investigar de qué manera se integran de manera eficaz los medios cableados e inalámbricos. Se estudia el rendimiento de la red mediante indicadores clave como la rapidez de transmisión, la firmeza del enlace, la latencia, la pérdida de información y el comportamiento en situaciones de mucha exigencia.

El desarrollo incluye todas las fases requeridas para activar la solución: desde la creación teórica del enlace y la selección de los equipos, hasta la configuración, las pruebas de operación y el análisis de los resultados. Por eso, se utilizarán dispositivos compatibles con el estándar IEEE 802.11ac. Se recreará un entorno que simule una red real de transporte de datos, en donde se considerarán aspectos relevantes como el estudio del ambiente físico, la planificación del uso del espectro y la alineación correcta de las antenas. El objetivo es garantizar una comunicación inalámbrica lo más eficiente posible.

El proyecto se realizará en un entorno controlado con condiciones estables, lo cual facilita la obtención de resultados técnicos exactos sin la influencia de factores externos. Es importante destacar que no se considera la implementación en lugares públicos o con usuarios móviles, dado que la atención se centra exclusivamente en la capa de transporte de datos y no en la entrega de acceso directo a usuarios finales.

Por último, este trabajo incluirá toda la documentación del proceso de implementación, los resultados obtenidos en las pruebas y las conclusiones técnicas derivadas del estudio. Dicha información permitirá repetir esta solución en otros escenarios similares. No obstante, el análisis económico minucioso sobre una ampliación comercial tampoco se incluye una comparación directa con tecnologías más modernas en especial Wi-Fi 6 o enlaces de microondas. Sin embargo, se reconocen como posibles caminos para futuras investigaciones.

1.6. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación se orienta bajo un enfoque experimental de carácter aplicado. Su propósito es comprobar si es técnicamente factible un enlace inalámbrico backhaul, que se apoya en fibra óptica y usa tecnología Wi-Fi 5, dentro de un entorno controlado. El proceso se desarrolla en fases ordenadas que permiten garantizar la validez y la reproducibilidad. En la primera etapa se revisan documentos, normas técnicas y estándares de telecomunicaciones. También se estudian trabajos académicos sobre redes ópticas e inalámbricas. Esto sirve para entender los conceptos básicos y determinar las variables clave del análisis.

En una segunda fase se diseña la topología física y lógica de la red, definiendo la ubicación de los equipos, la disposición de la fibra y la elección de módulos ópticos y conversores de medios. Se toma en cuenta la compatibilidad, la capacidad de transmisión y la eficiencia en el escenario planteado. Después se instalan los dispositivos elegidos y se configuran los parámetros iniciales como direccionamiento IP, protocolos de comunicación y criterios de calidad de servicio, asegurando que exista compatibilidad entre los elementos ópticos y los enlaces inalámbricos. Una vez que se instala la infraestructura, se realizan pruebas de eficiencia en el ambiente controlado. Allí se miden indicadores técnicos como latencia, jitter, rendimiento, nivel de señal y estabilidad de la conexión. Se registran los datos obtenidos en tablas de comparación. Así se puede examinar la evaluación entre el diseño propuesto y el comportamiento real del enlace, utilizando para ello herramientas de diagnóstico y monitoreo. Estas garantizan precisión y confiabilidad en las mediciones. En la

etapa de análisis se interpretan los resultados, identificando factores que inciden en la calidad del servicio sugiriendo ajustes orientados a la optimización del sistema.

Finalmente, la metodología incluye crear un laboratorio académico. Este espacio servirá para hacer prácticas de configuración, monitoreo y evaluación de redes híbridas, contribuyendo al aprendizaje aplicado en telecomunicaciones y generando pruebas científicas para definir guías técnicas que se puedan copiar.

1.7. RESULTADOS ESPERADOS

El examen de los resultados previstos en la implementación de un enlace backhaul inalámbrico apoyado en fibra óptica, bajo el estándar Wi-Fi 5 y en un entorno controlado, permite anticipar tanto los aportes técnicos como las implicaciones académicas del proyecto. Se propone crear un registro ordenado de rendimiento. Este registro incluye niveles de potencia, retardos en la transmisión, variaciones temporales y capacidad de transferencia. Este material constituirá una evidencia útil para documentar la gestión de la red y, al mismo tiempo, facilitará la comparación entre distintos escenarios experimentales, con el propósito de identificar tendencias operativas. Se espera mejorar la calidad de servicio y la seguridad de la infraestructura, aprovechando las ventajas que ofrece Wi-Fi 5 en relación con el incremento de la velocidad de transmisión y la reducción de la latencia, condiciones esenciales para garantizar estabilidad en situaciones de alta demanda. La incorporación de estándares y protocolos de seguridad avanzados contribuirá a proteger la integridad de los datos y reforzará la confiabilidad del sistema frente a riesgos comunes en entornos inalámbricos. El análisis de la relación entre el diseño físico y lógico de la red permitirá

evaluar la influencia de factores como la ubicación de los equipos, la elección de transceptores ópticos, el uso de conversores y la topología adoptada. Esto afectará el rendimiento global y servirá de base para la elaboración de lineamientos de buenas prácticas en futuras implementaciones.

Finalmente, se prevé que la creación de un entorno de laboratorio facilite la realización de metodologías experimentales orientadas a la configuración, supervisión y evaluación del enlace, lo que favorecerá la formación aplicada de los estudiantes y el fortalecimiento de la investigación en el área de telecomunicaciones. De esta forma, los resultados no se limitan a comprobar la viabilidad técnica de la propuesta, sino que también buscan generar evidencia académica sólida y contribuir al desarrollo de capacidades profesionales.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA

2.1. MARCO CONTEXTUAL

La transformación digital ha incrementado la demanda de conectividad de alto rendimiento, impulsada por el crecimiento de servicios entre los que se destacan las videoconferencias, el streaming, aplicaciones en la nube y dispositivos IoT. La fibra óptica se consolida como el medio principal de transporte de datos por su alta capacidad y baja latencia, aunque su despliegue en zonas rurales enfrenta limitaciones geográficas y costos elevados. Los enlaces inalámbricos tipo backhaul son una solución complementaria. Permiten extender la cobertura de forma eficiente, usando tecnologías como Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac), integrando redes híbridas que combinan la robustez de la fibra con la flexibilidad de los sistemas inalámbricos para lograr conectividad escalable y adaptable.

En la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se detectó la necesidad de implementar una arquitectura de red que permita evaluar tecnologías emergentes bajo condiciones controladas. Este entorno de estudio ayuda a crear proyectos de prueba. Así se pueden revisar soluciones tecnológicas que luego se usan en situaciones reales. Dicho trabajo se ubica en este contexto. Busca mostrar que es posible un enlace inalámbrico de respaldo sobre fibra óptica utilizando redes modernas con métodos Wi-Fi 5, aportando tanto al conocimiento científico como al fortalecimiento de capacidades técnicas en la región.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Evolución de las redes de telecomunicaciones

Las redes de telecomunicaciones han evolucionado desde las antiguas líneas telegráficas hasta los actuales sistemas digitales de alta velocidad. Inicialmente, las comunicaciones se basaban en señales analógicas transmitidas por cables de cobre, limitadas en capacidad de transmisión y alcance. Con la digitalización y la incorporación de técnicas como la multiplexación por división de tiempo (TDM), surgieron arquitecturas más eficientes y escalables, capaces de transportar voz e información al mismo tiempo [2].

El avance hacia las redes de datos impulsó el desarrollo de infraestructuras como Frame Relay, ATM y, posteriormente, arquitecturas IP. Asimismo, la evolución de tecnologías de acceso, entre las que destacan ADSL, fibra óptica, LTE y 5G, ha permitido integrar servicios de voz, video y datos. Estos avances consolidaron un modelo de comunicación basado en paquetes, que favorece una mayor eficiencia espectral y un mejor aprovechamiento del ancho de banda disponible. [3].

Hoy, las redes de telecomunicaciones se orientan a ofrecer servicios convergentes mediante esquemas de virtualización y gestión centralizada. Esta evolución también contempla la integración de inteligencia artificial para la optimización del tráfico y la mejora de la experiencia del usuario, convirtiendo las redes en infraestructuras dinámicas y adaptables.

2.2.2. Demandas actuales de ancho de banda

Las demandas de ancho de banda han aumentado drásticamente gracias a la generalización de los servicios digitales. Las videollamadas nítidas, el contenido transmitido en vivo, el aprendizaje en línea, los videojuegos y los sitios de entretenimiento necesitan conexiones rápidas y sin retrasos [3]. Las industrias que se están volviendo digitales y las modalidades de trabajo remoto también han incrementado en gran medida la carga sobre las redes.

Los dispositivos IoT, los sensores de fábrica y servicios en la nube se usan mucho. Esto requiere una conectividad constante y a gran escala. Por eso, el crecimiento del tráfico de datos ha acelerado la actualización de las conexiones centrales y de acceso. También ha impulsado la integración de tecnologías como GPON, Ethernet 10 G y redes inalámbricas de alto rendimiento.

Para cumplir con estas exigencias, se necesitan soluciones que aseguren escalabilidad, redundancia y ahorro de energía. Las redes deben aguantar picos de tráfico y dar calidad de servicio según el tipo de aplicación [3]. En este contexto, las redes híbridas y los sistemas de backhaul se vuelven fundamentales para garantizar una conectividad robusta.

2.2.3. Limitaciones de conectividad en zonas rurales

Llevar infraestructura de telecomunicaciones a las zonas rurales enfrenta obstáculos, la escasez de poblaciones, el terreno difícil y las escasas ganancias para los proveedores crean

una brecha digital. Limita el acceso a servicios cruciales como la educación, la atención médica y el crecimiento económico para estas regiones.

La instalación de cables de fibra óptica es costosa. Esto se debe a que el terreno dificulta las obras y hay poca infraestructura existente. Además, la fiabilidad del suministro de energía y la seguridad de los equipos también plantean problemas importantes [3].

Dadas estas limitaciones, los enlaces de retorno inalámbricos ofrecen una solución rápida y efectiva. Esto extiende el alcance de la red central a lugares lejanos, conectándose a fibra donde sea posible y brindando servicios más rápidos con costos operativos más bajos.

2.3. Tecnología de fibra óptica en redes de transporte

2.3.1. Principios de transmisión por fibra óptica

La transmisión por fibra óptica se basa en el principio físico de la reflexión interna total, que permite que la luz permanezca confinada dentro del núcleo durante su propagación. Este fenómeno ocurre debido a la diferencia entre los índices de refracción de la región central y el revestimiento, lo que reduce la atenuación de la señal y permite transportar la información a largas distancias sin necesidad de repetidores [4].

Las fuentes de luz, como los LED o los láseres, transforman la representación digital en pulsos luminosos, los cuales se propagan a través del medio de transmisión hasta alcanzar el extremo receptor. Allí los fotodetectores convierten la luz nuevamente en señales eléctricas para procesarlas. La calidad de la transmisión depende de algunos factores, como la longitud

de onda utilizada, la pureza del material y lo bien unidas que estén los segmentos del enlace óptico.

A diferencia de los cables eléctricos, la fibra no se ve afectada por las interferencias electromagnéticas, lo que la convierte en una alternativa adecuada para entornos con alta presencia de ruido electromagnético, debido a que la señal se mantiene fuerte, puede viajar más de 80 kilómetros sin necesidad de un refuerzo, en especial cuando se utilizan amplificadores ópticos como los EDFA [4].

2.3.2. Tipos de fibra: Monomodo vs. Multimodo

La fibra monomodo presenta un núcleo muy delgado, de alrededor de 8 a 10 micrones de diámetro, por el que se conduce un único modo de propagación. Esta característica reduce la dispersión de la señal y favorece la transmisión de información a altas velocidades sobre largas distancias, por lo que resulta idónea para redes troncales y sistemas de transporte metropolitano [5]. Utiliza longitudes de onda de 1310 a 1550 nm, necesitando láseres para la emisión de luz.

La fibra multimodo posee un núcleo de mayor diámetro, de aproximadamente 50 a 62.5 micrones, que permite la propagación simultánea de varios modos ópticos. Esta característica incrementa la dispersión de la señal por lo que su aplicación se limita a enlaces de corta distancia, generalmente de hasta 2 km. No obstante, presenta un menor costo y una implementación más sencilla; además, emplea LED como fuente de luz y se utiliza ampliamente en redes LAN y centros de datos [5].

La elección del tipo de fibra depende de la aplicación. Los usuarios prefieren la fibra monomodo para larga distancia y redes de telecomunicaciones públicas, pero la fibra multimodo se adapta mejor a configuraciones corporativas y de campus que necesitan flexibilidad con gastos iniciales más bajos.

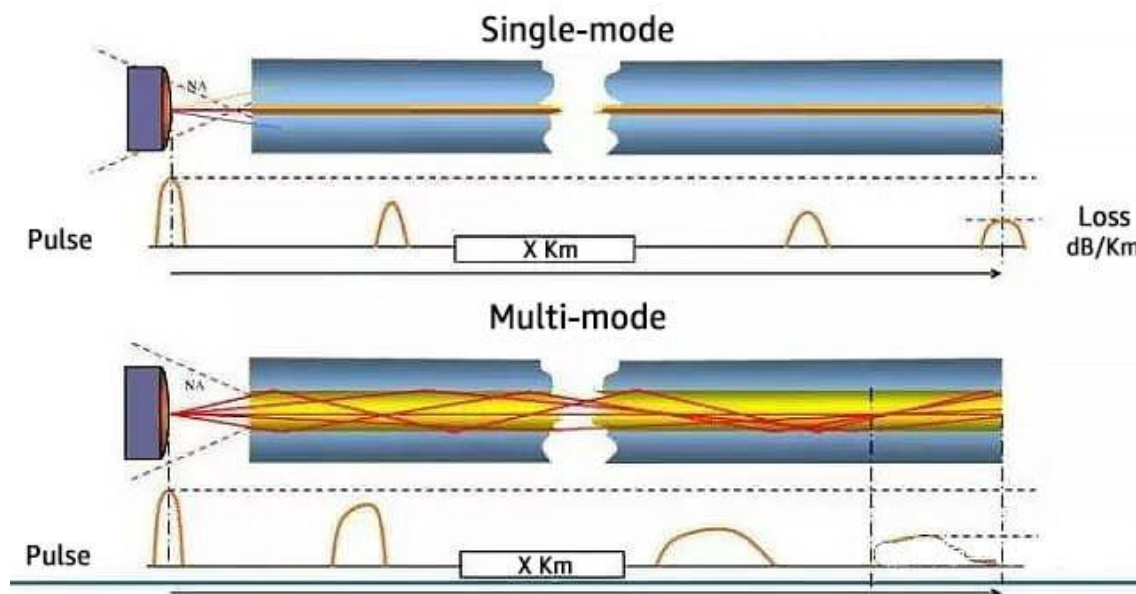


Figura 1: Tipos de Fibra óptica

Fuente: Imagen tomada de [5]

2.3.3. Ventajas y desventajas de fibra óptica

Los cables de fibra óptica tienen una ventaja: su enorme capacidad de ancho de banda. Esto supera a otros métodos de transmisión. Además, resisten el ruido electromagnético. Por eso son ideales para sitios industriales, áreas subterráneas y lugares con muchas interferencias. También tienen una pérdida de señal mínima y una larga vida útil. Esto los convierte en una inversión duradera y escalable.

Sin embargo, las desventajas incluyen el alto costo inicial de instalación, que se debe tanto a los materiales como a la mano de obra calificada necesaria para el tendido y el empalme [6]. Las tareas de mantenimiento también demandan herramientas de precisión como fusionadoras OTDR y medidores de potencia óptica, además de la fragilidad del cableado frente a daños físicos.

Una limitación es su poca flexibilidad en entornos cambiantes o de instalación rápida, donde los sistemas inalámbricos tienen una ventaja, las soluciones actuales a menudo integran fibra óptica en el núcleo de una red, incorporando enlaces de acceso inalámbrico para proporcionar flexibilidad operativa sin sacrificar la capacidad de la red principal [6].

2.4. Enlaces inalámbricos tipo backhaul.

2.4.1. Definición y características generales.

Los enlaces inalámbricos de retorno son configuraciones que transmiten datos. Conectan sitios distantes a la red principal. Se usan para enlazar estaciones base, repetidores o nodos de distribución con centros de datos o redes troncales. Así se evita usar medios físicos como cable de cobre o fibra óptica. Estos enfoques utilizan ciertas bandas de frecuencia para crear conexiones confiables con grandes capacidades [7].

Entre sus características clave se encuentran la facilidad de configuración, escalabilidad y tienen un costo más bajo que las soluciones cableadas. Esto da flexibilidad al planificar redes. Permite instalar comunicación en lugares donde no se puede poner cable

físico. La eficiencia espectral y las técnicas de modulación avanzadas les permiten alcanzar un rendimiento comparable a los enlaces cableados en distancias medias.

Los sistemas de backhaul pueden funcionar en bandas con o sin licencia y, con frecuencia incorporan tecnologías como MIMO, formación de haces (beamforming) y sincronización GPS con el fin de mejorar la estabilidad del enlace [7]. Estas características los convierten en una alternativa adecuada para situaciones donde la red crece rápido, la conexión es temporal o se necesita cubrir áreas lejanas sin instalaciones anteriores.

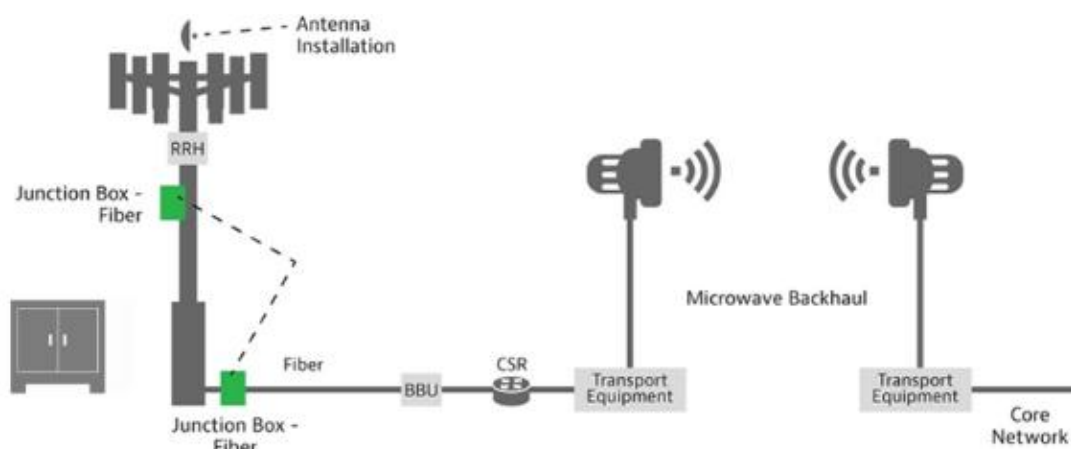


Figura 2: Enlace backhaul

Fuente: Imagen tomada de [7]

2.4.2. Tipologías de backhaul: punto a punto y punto a multipunto

Las conexiones de retorno inalámbricas generalmente se dividen en dos tipos principales: punto a punto y punto a multipunto [8]. En una configuración PtP, una antena transmisora establece un enlace directo mediante un canal dedicado de alta capacidad. Este

esquema resulta más adecuado para comunicaciones de larga distancia y la transmisión de altos volúmenes de datos entre dos puntos.

Por su parte, los enlaces PtMP permiten que una estación base central (hub) se comunique con múltiples transceptores remotos (nodos). En este esquema, todos comparten el mismo canal de transmisión, por lo que el ancho de banda se divide entre ellos [8]. Esta configuración es especialmente adecuada cuando se requiere ampliar la cobertura hacia múltiples ubicaciones, como en implementaciones rurales o suburbanas.

La decisión entre PtP y PtMP depende de aspectos como la forma del terreno, cuántos sitios necesitan conectarse, qué tan separados están los nodos y las necesidades de ancho de banda. PtP aporta mayor estabilidad y rendimiento, mientras que PtMP reduce costos y simplifica las tareas de mantenimiento, principalmente cuando se utiliza en redes mixtas soportadas por fibra o enlaces de respaldo destinados a garantizar la continuidad del servicio [8].

2.4.3. Frecuencias utilizadas y consideraciones de propagación

Los enlaces de retorno inalámbricos operan en diversos espectros de frecuencia, algunas con licencia y otras sin ella, las bandas de 4 GHz y 5 GHz constituyen opciones ampliamente utilizadas debido al respaldo de los fabricantes y al equilibrio que ofrecen entre cobertura y velocidad. Sin embargo, pueden verse afectadas por interferencias derivadas de la alta ocupación del espectro. En cambio, las bandas con licencia, como 6 GHz, 11 GHz, 18 GHz e incluso hasta 80 GHz, proporcionan canales más estables y mayor estabilidad, aunque requieren altos costos de licenciamiento [9].

Las características de propagación varían según la frecuencia empleada. Los rangos inferiores del espectro ofrecen una mejor penetración de obstáculos y una mayor confiabilidad, aunque presentan una menor capacidad de transmisión [9]. Por su parte, las frecuencias superiores, específicamente las correspondientes a microondas y ondas milimétricas, requieren una línea de vista despejada y son más susceptibles a la pérdida provocada por la lluvia y la vegetación.

El diseño de un enlace de retorno requiere considerar factores como la atenuación de la distancia, la altura de la torre o mástil, la curvatura terrestre, la zona de Fresnel y la interferencia del entorno. Para ello, las herramientas de planificación, entre ellas los programas de simulación de enlaces de radio, ayudan a modelar estos parámetros y optimizar el rendimiento del sistema. Además, la selección de frecuencias debe cumplir con las regulaciones establecidas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) en Ecuador, que dictan los usos permitidos y la potencia máxima en cada banda.

2.5. Estándar Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac)

2.5.1. Aplicaciones en enlaces de backhaul

Wi-Fi 5 ha demostrado ser una tecnología adecuada para enlaces de retorno inalámbrico de corta y mediana distancia, especialmente cuando se busca ampliar la cobertura de redes troncales o campus universitarios. Su gran capacidad y poca demora permiten conectar puntos de acceso repartidos en un entorno controlado. Esto ayuda a que la información fluya de forma eficiente por las distintas partes de la infraestructura [10].

Las antenas para enlaces de retorno compatibles con Wi-Fi 5, entre ellas las desarrolladas por Ubiquiti y MikroTik, incorporan funciones como alineación precisa, control de potencia y selección dinámica de canales, lo que aumenta la eficiencia del enlace y reduce la interferencia. Estas características las convierten en una alternativa versátil y de alto desempeño para escenarios que requieren flexibilidad operativa sin comprometer la calidad de la comunicación [10].

Cuando ya hay cables de fibra óptica instalados, Wi-Fi 5 se integra bastante bien como una forma adicional de llegar a lugares donde el cableado no es práctico o resulta costoso; esto cubre configuraciones a corto plazo, áreas rurales cerca de ciudades y redes que se extienden rápidamente para eventos o nuevas secciones de edificios que se encuentran en universidades o parques tecnológicos.

2.5.2. Limitaciones

Incluso con sus muchas ventajas, Wi-Fi 5 tiene algunos inconvenientes que debemos tener en cuenta al configurarlo; al funcionar solo en la banda de 5 GHz, ofrece una menor capacidad de penetración a través de obstáculos, por lo que su rendimiento disminuye en entornos con muros gruesos o estructuras metálicas. Además, esta banda proporciona un alcance inferior al de 2.4 GHz, pudiendo necesitar potencialmente más puntos de acceso para cubrir un área.

La velocidad de Wi-Fi 5 también puede verse afectada por la interferencia generada por otras redes inalámbricas que operan en esa banda, especialmente en entornos urbanos [10]. Aunque la formación de haces (beamforming) y la selección automática de canales

ayudan a reducir este efecto. Pero es recomendable analizar previamente el espectro. Así se identifican los enlaces menos congestionados antes de la implementación.

Además, para aprovechar al máximo Wi-Fi 5, ambos equipos deben ser compatibles con sus funciones avanzadas, como MU-MIMO y 256-QAM, en situaciones con dispositivos más antiguos o mixtos, las velocidades pueden disminuir. Al usarlo para backhaul, es aconsejable actualizar todo a la vez.

2.6. Arquitecturas híbridas de Red

2.6.1. Concepto y diseño de soluciones híbridas

La combinación de líneas de fibra óptica con conexiones inalámbricas para obtener ventajas de cada una es lo que hacen que las configuraciones de red híbridas, es posible construir redes que ofrezcan alta velocidad, resiliencia y espacio para crecer. Aquí, la fibra forma la estructura principal. La tecnología inalámbrica sirve como punto de acceso o para ampliar el alcance. Esta combinación de tecnología resulta útil en lugares donde no es práctico colocar cables por todas partes [11].

Crear configuraciones híbridas requiere pensar bien en la estructura. Por ejemplo, hay que ubicar centros clave, puntos de distribución y estaciones para el usuario final. Asegurarse de que la tecnología óptica y de radio funcionen bien juntas es clave, lo que implica seleccionar equipos que utilicen puertos SFP, convertidores de medios y sistemas de control unificados para realizar comprobaciones y correcciones [11].

Estas redes aprovechan la velocidad y la capacidad que da la fibra. También usan la configuración rápida y la adaptabilidad de la tecnología inalámbrica [11]. Por eso son ideales

para conectar pueblos pequeños con ciudades, expandir redes universitarias o unir edificios separados. Además, son adecuadas cuando la demanda de conexión crece rápido y se necesita una solución flexible que no dependa solo del cableado.

2.7. Entornos Controlados para Evaluación Tecnológica

2.7.1. Importancia de los laboratorios y campus universitarios.

Entornos como los laboratorios de redes y los campus universitarios constituyen espacios idóneos para evaluar nuevas tecnologías de telecomunicaciones. En estas instalaciones se pueden recrear condiciones reales de trabajo. También documentar detalladamente los resultados para verificar el funcionamiento, si son compatibles y cómo rinden las soluciones probadas. Estas pruebas resultan fundamentales antes de realizar implementaciones de gran escala en entornos públicos o rurales.

Los terrenos universitarios nos brindan muchos elementos tecnológicos para usar, como edificios que se conectan entre sí, áreas abiertas, laboratorios con herramientas especiales y energía confiable [12]. Estas condiciones permiten simular escenarios de conectividad reales, tales como enlaces punto a punto, punto a multipunto y redes híbridas. Además, contar con estudiantes y personal técnico especializado nos ayuda a analizar los resultados de cerca y mejorar las cosas.

Además, los laboratorios permiten realizar diferentes configuraciones, frecuencias, niveles de potencia y reglas de red, sin interferir con las redes telefónicas normales. Esto

ayuda a que surjan nuevas ideas y alienta a las escuelas a trabajar con empresas de tecnología, lo que fomenta la transferencia de conocimiento y crear soluciones para el mundo real.

2.7.2. Consideraciones técnicas para la simulación de enlaces reales.

Simular conexiones del mundo real dentro de laboratorios requiere un enfoque técnico y cuidadoso. Para comenzar, debes asegurarte absolutamente de que haya una línea de visión clara entre los puntos de envío y recepción, si no la hay, averiguar cómo afectan los obstáculos a las cosas usando herramientas de simulación de señales [12]. También es vital pensar en qué tan altas se encuentran las antenas y cómo están orientadas, asegurándose de que la zona de Fresnel no esté bloqueada, ya que eso en realidad afecta la calidad del enlace.

Configurar de forma correcta el equipo es importante. Esto significa seleccionar los medios apropiados, ajustar la potencia de envío, elegir la modulación y el ancho de canal adecuados, y añadir seguridad como WPA2 o inicios de sesión con certificados. [12]. Todas estas configuraciones deben ajustarse para adaptarse a las necesidades del entorno y a lo que el hardware puede manejar.

Por último, el área de prueba debe coincidir exactamente con el entorno real. Por ejemplo, usar distancias precisas, añadir alguna interferencia controlada y simular cambios ambientales. Poder imitar cosas entre ellas oscilaciones de señal, caídas breves o sobrecarga de tráfico facilita a obtener una visión completa de cómo deberían funcionar las cosas. Esto ayuda a tomar decisiones inteligentes al diseñar y armar el sistema final.

2.8. Aportes de la Investigación al Campo de las Telecomunicaciones

2.8.1. Aplicabilidad de la solución propuesta.

Usar enlaces inalámbricos tipo backhaul sobre fibra óptica es una solución técnica viable. Así se puede mejorar la conectividad en regiones con pocos recursos o problemas de geografía. Su aplicabilidad se evidencia en múltiples escenarios, incluyendo la expansión de redes académicas, el acceso comunitario a Internet, y la interconexión de entidades públicas en zonas dispersas [13]. Esta arquitectura híbrida permite ofrecer servicios con calidad comparable a las redes totalmente cableadas, pero con mayor rapidez y menor costo de despliegue.

La solución también es adaptable a contextos en constante crecimiento, donde la demanda de conectividad varía en función del desarrollo urbano o institucional. Gracias a su flexibilidad, se pueden ampliar tramos inalámbricos o sustituirlos por fibra según la disponibilidad de recursos y el comportamiento del tráfico. Esta escalabilidad convierte al enfoque híbrido en una herramienta estratégica para garantizar la continuidad del servicio a largo plazo.

Además, la propuesta puede integrarse con políticas públicas orientadas a la inclusión digital y al cierre de la brecha tecnológica. En países como Ecuador, donde aún existen comunidades desconectadas, estas soluciones pueden acelerar el cumplimiento de los objetivos de conectividad nacional, permitiendo el acceso equitativo a servicios digitales esenciales como educación, salud y gobierno electrónico [13].

2.8.2. Impacto en entornos con restricciones de infraestructura.

Los estudios muestran que las tecnologías híbridas pueden romper los viejos límites de infraestructura, ayudando a áreas que de otra manera podrían permanecer desconectadas y excluidas digitalmente. En lugares donde no es posible instalar cables de fibra óptica por cuestiones de terreno o de costo, el uso de enlaces de retorno inalámbricos ofrece una forma práctica y buena de mantenerse conectado.

El efecto directo se muestra en una mejor educación a través de plataformas en línea, acceso remoto a los recursos escolares y conversaciones entre las ubicaciones escolares [13]. El sector de la salud también se beneficia de la conectividad mediante la prestación de consultas médicas a distancia, la gestión digital de la información clínica y la coordinación de servicios de emergencia. Asimismo, la conectividad fortalece la administración de los gobiernos locales al facilitar la automatización de procesos y el acceso a la información pública.

Indirectamente, estar conectado impulsa la economía al facilitar las compras en línea, junto con la capacitación de habilidades y nuevas ideas en beneficio en la sociedad. Esto puede generar empleo, pequeñas empresas más fuertes y más oportunidades para los jóvenes en comunidades rurales o lejanas. Así pues, los efectos de la solución sugerida van más allá de lo técnico y contribuyen al progreso humano y social.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. Componentes de la propuesta

3.1.1. Componentes físicos

Para la implementación de la red que se tiene como propuesta, se cuenta con antenas de la marca Ubiquiti por la compatibilidad que ofrece con los demás dispositivos disponibles para la red, a continuación, se detallarán los componentes de la red.

- **Antenas Ubiquiti Bridge Pro.**

Es un dispositivo de la marca Ubiquiti que trabaja en la banda de operación de 5 GHz, mediante el estándar IEEE 802.11ac Wave 2. Este elemento se encuentra optimizado para alcanzar una alta capacidad de transmisión, trabajar con una baja latencia y una gran estabilidad dentro de la transmisión en escenarios Outdoor para enlaces de retorno ya que mediante la cobertura focalizada reduce en gran medida las interferencias de redes cercanas.

Tabla 1. Especificaciones Ubiquiti Device Bridge Pro

UBIQUITI DEVICE BRIDGE PRO	
Estándar	IEEE 802.11ac Wave 2
Frecuencia	5180 – 5825 MHz
Spatial Streams	2
Área de cobertura	5 km
Dimensiones	Ø189.5 x 64.3 mm
Método de alimentación	PoE, PoE+
Canales	20/40/80 (MHz)
Voltaje soportado	42.5 – 57 DC
Interfaces de red	(2) GbE RJ45
Máximo Consumo de energía	9 W
Tasa Máxima de Datos	867 Mbps
Temperatura	-40 a 60 °C

Fuente: Información tomada de Interprojeckt [14]



Figura 3. Ubiquiti Device Bridge Pro

Fuente: Imagen tomada de [14]

- **Antena Ubiquiti Bridge Pro-Sector.**

Es un dispositivo que se encuentra diseñado para funcionar en escenarios Outdoor donde se requiere enlazar múltiples puntos distantes a una sede central, de una manera eficiente. Dentro del ambiente de UniFi es una solución óptima para campos extensos como ambientes universitarios, industriales, su frecuencia de operación es la banda de 5 GHz con el estándar 802.11ac. Cuenta con una antena sectorial que es de una apertura horizontal de alrededor de 90° y cuya ganancia de esta es de 17dBi por lo que su rango de cobertura es bastante amplio, con una línea de vista optima a diversos puntos situados a una distancia máxima de 5 kilómetros [15].

Tabla 2. Especificaciones Ubiquiti Device Bridge Pro sector

UBIQUITI DEVICE BRIDGE PRO-SECTOR	
Estándar	IEEE 802.11ac Wave 2
Frecuencia	5180 – 5825 MHz
Spatial Streams	2
Área de cobertura	5 km
Dimensiones	360.9 x 129.6 x 71.4mm
Método de alimentación	PoE
Canales	20/40 (MHz)
Voltaje soportado	42.5 – 57 DC
Interfaces de red	(1) GbE RJ45
Máximo Consumo de energía	6 W
Tasa Máxima de Datos	400 Mbps (BW40)
Temperatura	-40°C a 60 °C

Fuente: Información tomada de Interprojeckt [15]



Figura 4. Ubiquiti Device Bridge Pro Sector

Fuente: Imagen tomada de [15]

- **DREAM MACHINE PRO**

Es un dispositivo controlador Unifi Network que tiene diferentes funcionalidades de varios elementos en uno solo, lo que favorece en la gestión de red para un enlace backhaul, la relevancia que ofrece en esta arquitectura es la administración de la red y la optimización en parámetros de calidad de servicio, el equipo ofrece una puerta de enlace con WAN 10G SFP + para conexiones de alta velocidad, 8 interfaces de Gigabit Ethernet [16].

Tabla 3. Especificaciones Ubiquiti Dream Machine Pro

DREAM MACHINE PRO	
Procesador	Quad ARM Cortex-A57 Core (1.7 GHz)
Memoria del sistema	4 GB DDR4
Fuente de alimentación	50 W/12 V
Rango de Voltaje	100 a 240 V AC
Dimensiones	442.4 x 43.7 x 285.6 mm
Interfaz de red	(8) LAN: GbE puerto RJ45 (1) WAN: GbE puerto RJ45
Interfaz SPF+	(1) LAN: 10G SFP+ (1) WAN: 10G SFP+
Voltaje soportado	42.5 – 57 DC
Capacidad de tráfico IDS/IPS	3.5 Gbps
Máximo Consumo de energía	33 W
Protección ESD/EMP	Aire: $\pm 15kV$, contacto: $\pm 8kV$
Rango de Temperatura en operación	-10°C a +40 °C

Fuente: Información tomada de Ubiquiti [16]



Figura 5. Ubiquiti Dream Machine Pro

Fuente: Imagen tomada de [16]

- **CONVERTIDOR DE MEDIOS UACC-A.**

Es un convertidor de medio de Ethernet a fibra óptica, mediante este elemento se ofrece una solución eficiente y es compatible con diversos elementos tecnológicos. Al ser un conversor compacto cuenta con un puerto Ethernet de 1 Gbps y una interfaz para la sección de fibra óptica mediante el SFP (Small Form- factor Pluggable), por la arquitectura ofrece una mayor flexibilidad ante otros conversores, ya que el dispositivo está diseñado para entornos donde se requiera extender una cobertura de más de 100 metros sin afectar el rendimiento de la red [17].

Tabla 4. Especificaciones Ubiquiti UACC-A

UACC-A	
Estándar y Protocolos	IEEE 802.3i, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab
Interfaz	1 puerto Gigabit SFP 1 puerto RJ45 a 1000M
Longitud de onda	Depende del módulo a utilizar
Media de red 100BASE-FX	Fibra monomodo / Fibra multimodo
Dimensiones	76.5 x 76.5 x 26.8 mm
Media de red 1000BASE-T	UTP categoría 5, cable 5e, cable 6 EIA/TIA-568 100Ω STP
Fuente de alimentación	Adaptador de corriente externo
LED	Estatus. Ethernet
Máximo Consumo de energía	1.5 W
Rango de Temperatura en operación	-40 a 60 °C
Compatibilidad	EdgeSwitch, EdgeRouter

Fuente: Información tomada de Ubiquiti [17]



Figura 6. Ubiquiti UACC-A

Fuente: Imagen tomada de [17]

- **MODULO SPF TL-SM311LS.**

Small Form-factor Pluggable es un elemento dentro de las infraestructuras modernas de telecomunicaciones, que se encarga de la conversión de una señal eléctrica a señal óptica y viceversa, esto favorece a la transmisión de datos de alta velocidad ya sea sobre enlaces de fibra o de cobre. Es una solución eficiente para la extensión de redes de alta velocidad de forma estable, por medio de su conector LC su integración es fácil con varios equipos de telecomunicaciones, el módulo trabaja en dúplex con un bajo BER lo que es primordial para conservar la fiabilidad de los datos en redes de gran demanda ya que la velocidad de transmisión es de 1 Gbps [18].

Tabla 5. Especificaciones del módulo SPF SM311LS

SPF TL-SM311LS	
Estándar y Protocolos	IEEE 802.3z, CSMA/CD, TCP/IP
Seguridad & Emisiones	FCC, CE
Longitud de onda	1310 nm
Cable	Fibra monomodo
Tipo de Fibra	Modo individual 9/125 μm
Puerto conector	LC/UPC
Fuente de alimentación	3.3 V
Longitud máxima del cable	10 km
Tasa máxima de datos	1.25 Gbps
Rango de Temperatura en operación	0 a +70 °C

Fuente: Información tomada de [18]



Figura 7. Módulo SPF SM311LS

Fuente: Imagen tomada de [18]

3.1.2. Componentes lógicos

- **Radio Mobile**

Es un software de simulación de enlaces para sistemas de comunicación inalámbrica, mediante datos de elevación son relevantes para elaborar las diversas topografías que se requiera, por lo que de esta forma ofrece la posibilidad de calcular pérdidas entre dos o más puntos con una precisión óptima. Ofrece como funcionalidad principal de poseer múltiples variables a configurar dentro de los sistemas de comunicación como frecuencia, ganancia de la antena, altura de instalación de la antena, potencia de transmisión y sensibilidad lo cual se llega a evidenciar en simulaciones donde se representa las áreas de cobertura y las interferencias.

El software ofrece la integración con otras plataformas por los datos que contiene como STRM (Shuttle Radar Topography Mission) que ayudan en su precisión y también por su bajo consumo de recursos en temas de computación lo vuelven una gran herramienta para trabajos profesionales en fase de estudios sobre factibilidad y diseño de enlaces en diversos escenarios [19].

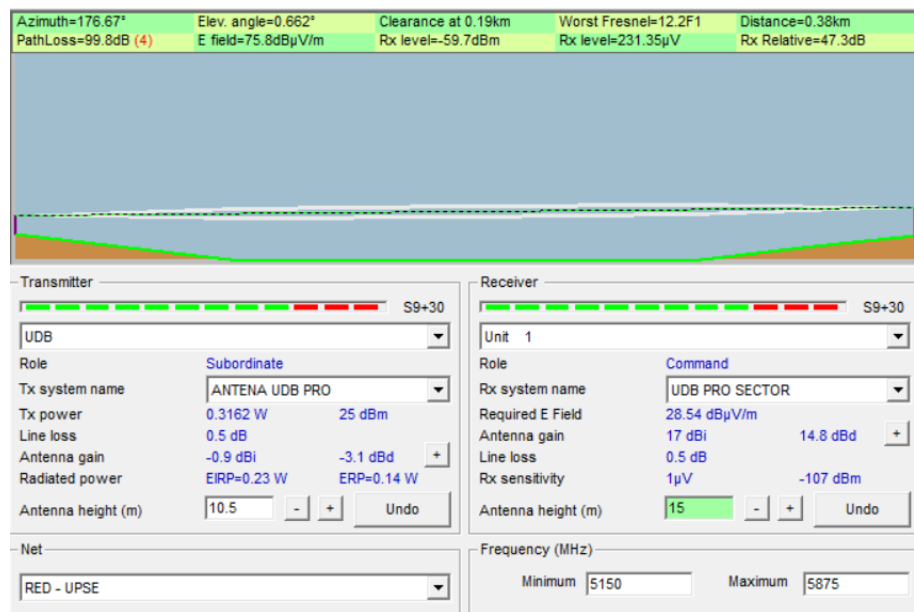


Figura 8. Enlace Radio Mobile

Fuente: Imagen elaborada por autor

- QGIS

Es una herramienta de información geográfica con una alta exactitud, dentro del campo de las redes la herramienta da la facilidad de ubicar diversos elementos que integran la red como lo son estaciones, torres, rutas de fibra y enlace debidamente georreferenciado. Dentro de proyectos para telecomunicaciones facilita al análisis para zonas de cobertura, elaboración de mapas, identificación de zonas sin acceso al servicio y diseño de un trayecto óptimo de la red a implementar. Dentro del software ofrece la funcionalidad de estudios para línea de vista entre dos sectores, uso de información sobre elevación para elaborar diversos mapas que favorecen un estudio técnico optimo [20].

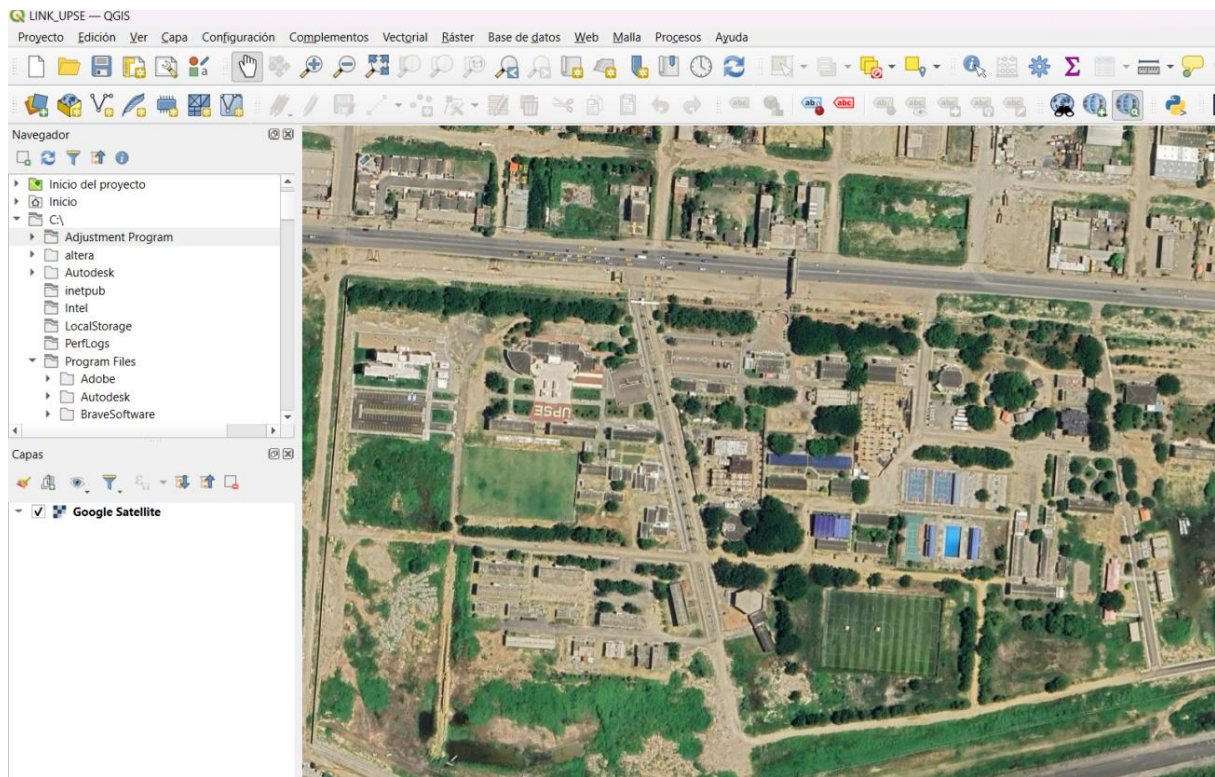
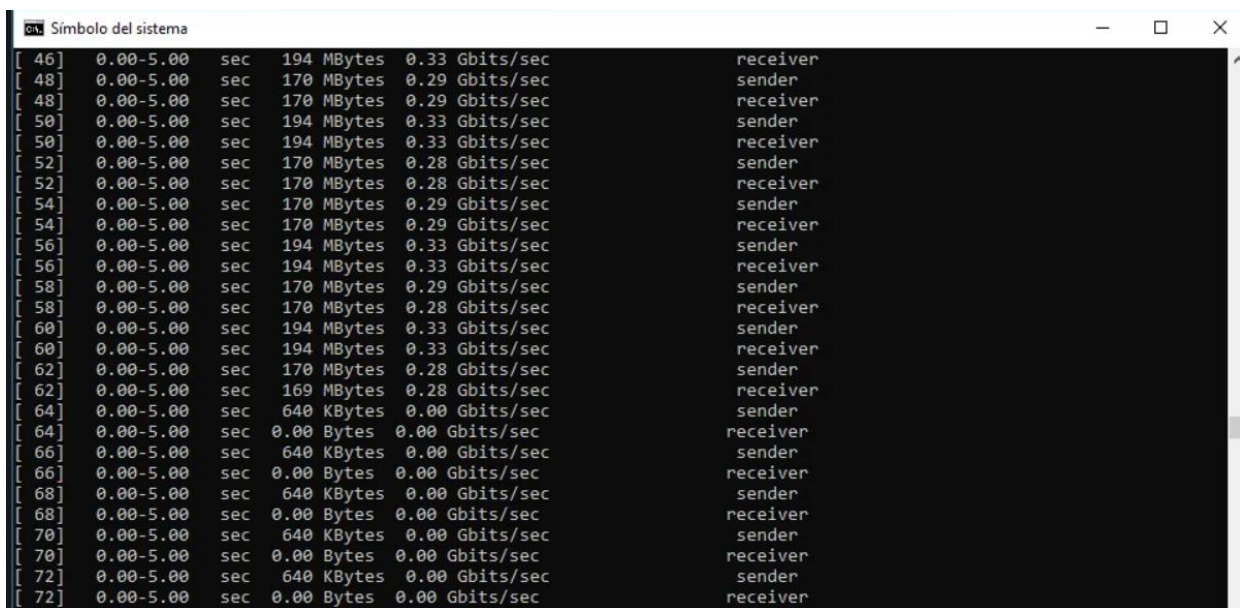


Figura 9. QGIS

Fuente: Imagen elaborada por autor

- **iPerf**

Es una herramienta que evalúa el rendimiento de una red bajo una arquitectura cliente-servidor para elaboración de pruebas sobre ancho de banda, latencia, jitter y pérdida de paquetes ya sea del protocolo UDP como del TCP, eso ayuda a corroborar sobre el funcionamiento correcto de los enlaces. Existen diversos parámetros que se adaptan para pruebas como establecer tamaños de buffer, duración de la prueba, puertos utilizados y un sinnúmero de pruebas. Es compatible con diversas plataformas como Linux, Windows y MacOS por lo que permite integrar scripts automatizados para diagnósticos sobre los niveles de servicio de una forma continua [21].



```
Símbolo del sistema
[ 46] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec receiver
[ 48] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.29 Gbits/sec sender
[ 48] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.29 Gbits/sec receiver
[ 50] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec sender
[ 50] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec receiver
[ 52] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.28 Gbits/sec sender
[ 52] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.28 Gbits/sec receiver
[ 54] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.29 Gbits/sec sender
[ 54] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.29 Gbits/sec receiver
[ 56] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec sender
[ 56] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec receiver
[ 58] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.29 Gbits/sec sender
[ 58] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.28 Gbits/sec receiver
[ 60] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec sender
[ 60] 0.00-5.00 sec 194 MBytes 0.33 Gbits/sec receiver
[ 62] 0.00-5.00 sec 170 MBytes 0.28 Gbits/sec sender
[ 62] 0.00-5.00 sec 169 MBytes 0.28 Gbits/sec receiver
[ 64] 0.00-5.00 sec 640 KBytes 0.00 Gbits/sec sender
[ 64] 0.00-5.00 sec 0.00 Bytes 0.00 Gbits/sec receiver
[ 66] 0.00-5.00 sec 640 KBytes 0.00 Gbits/sec sender
[ 66] 0.00-5.00 sec 0.00 Bytes 0.00 Gbits/sec receiver
[ 68] 0.00-5.00 sec 640 KBytes 0.00 Gbits/sec sender
[ 68] 0.00-5.00 sec 0.00 Bytes 0.00 Gbits/sec receiver
[ 70] 0.00-5.00 sec 640 KBytes 0.00 Gbits/sec sender
[ 70] 0.00-5.00 sec 0.00 Bytes 0.00 Gbits/sec receiver
[ 72] 0.00-5.00 sec 640 KBytes 0.00 Gbits/sec sender
[ 72] 0.00-5.00 sec 0.00 Bytes 0.00 Gbits/sec receiver
```

Figura 10. iPerf

Fuente: Imagen tomada de [21]

- **Zabbix**

Es una plataforma de análisis y monitoreo de red en tiempo real para servidores, dispositivos de red, servicios y demás componentes de red que son vitales para un óptimo estado operativo de la misma. El aplicativo permite establecer alertas automatizadas por diversos medios como correo o por mensajería y analizar la información de las gráficas sobre el rendimiento, esto favorece a la optimización de recursos para un administrador y en las decisiones basadas en patrones e historial de la red.

La plataforma es una gran herramienta para redes corporativas, así como para proveedoras de servicio ya que permite una estabilidad importante y es útil como también la gestión de scripts y funciones automatizadas para la detección de errores y toma de decisiones para su respectiva corrección de estas [22].



Figura 11. Zabbix

Fuente: Imagen tomada de [22]

- **WiFiman**

Es una aplicación proporcionada por Ubiquiti para el análisis de redes inalámbricas donde se identifica los dispositivos que se encuentran enlazados a la red, detección de interferencias y la verificación de canales sin ocupar dentro de la red. La aplicación tiene una interfaz muy amigable con el usuario con respecto a las opciones como las gráficas sobre el estado de la red, pruebas de velocidad como identificación de dispositivos anormales dentro la red, respecto a los canales eso favorece a la gestión principal del equipo intermediario y puntos AP de internet.

Al ser un producto Ubiquiti es una herramienta de fácil integración por las diversas funcionalidades que ofrece dentro de un ambiente inalámbrico para etapas de análisis y mantenimiento de redes de esta índole.

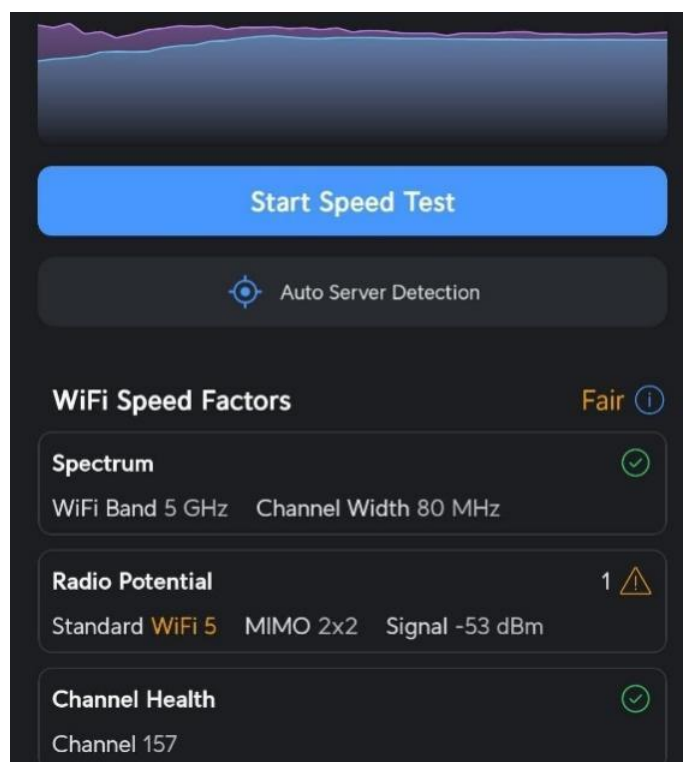


Figura 12. WiFiman

Fuente: Imagen elaborada por autor

UniFi Network Server.

Se encuentra orientado para entornos empresariales de infraestructura de media escala como extensas, la plataforma se encuentra basada en la nube la cual permite administrar la red y todos sus componentes que la integran. Dentro de la plataforma se realiza gestiones de tráfico, balanceo de cargas, implementación de VLANs y más tareas de control con respecto a la red.

Por el despliegue de redes que se realiza dispone de una compatibilidad de estándar 802.11ac y 802.11ax, el UniFi Controller permite la elaboración de reportes como también la visualización de la red respecto a su topología, por lo para proyectos profesionales lo vuelven una herramienta atractiva referente al costo -beneficio de la plataforma.

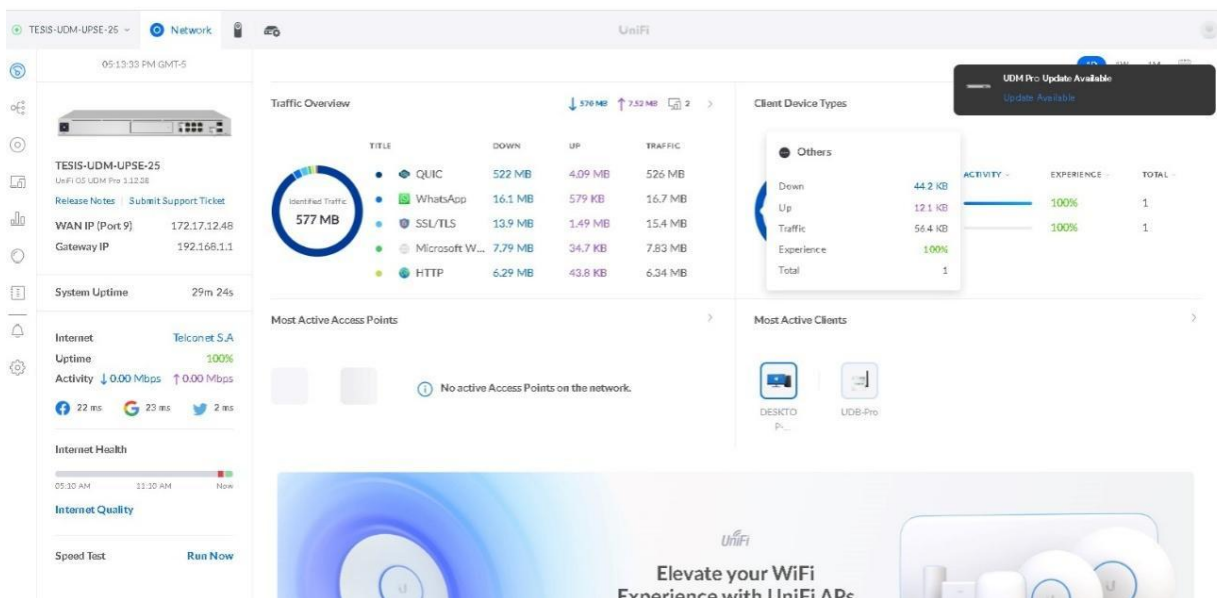


Figura 13. UniFi Network Server

Fuente: Imagen elaborada por autor

3.2. Arquitectura de la red

La arquitectura implementada en el sistema es de punto a multipunto (P2MP) como se ilustra en la figura 14, conformada por una antena principal que se encuentra conectada al controlador de red, de este equipo van conectados mediante fibra a la media converter y posteriormente, a la antena principal que se encarga de realizar el enlace con las dos antenas secundarias de la red como cliente y ya se comunican con el usuario final.

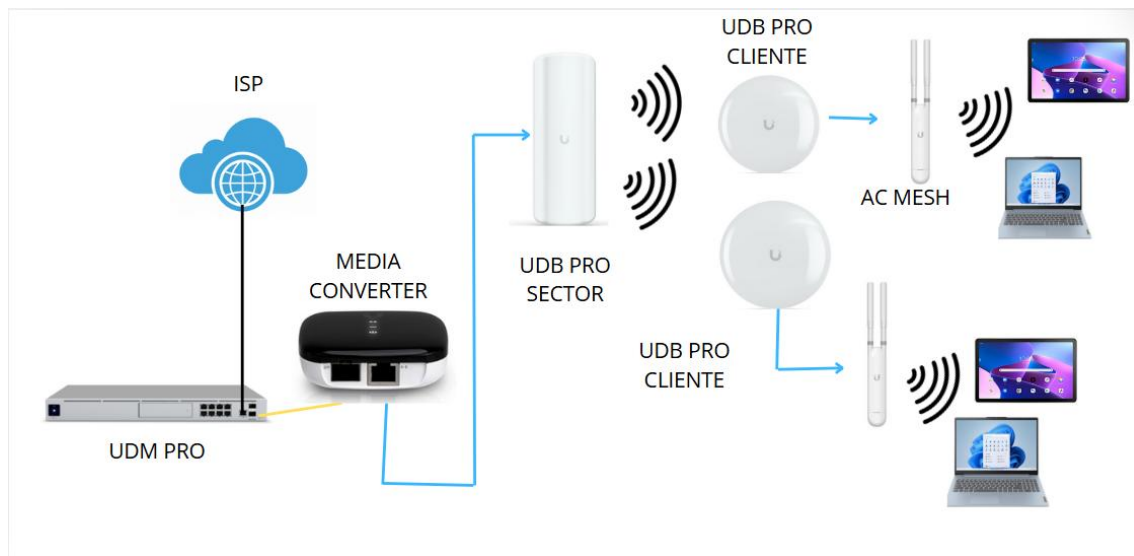


Figura 14. Diagrama de la red

Fuente: Imagen elaborada por autor

El sistema se encuentra conformado por: controlador de red UDM PRO y antenas de Ubiquiti, el equipo UDM PRO es un elemento esencial de la red ya que en aquel se realizarán las configuraciones correspondientes para un enlace que cumpla con los requerimientos para un ámbito universitario.

3.3. Diseño de la red inalámbrica

Brevemente se ha explicado cómo está distribuida la arquitectura de la red y las características técnicas de cada elemento que forma la red inalámbrica, dentro de la sección se comparte información sobre la topología física y lógica que se establece para la red.

3.3.1. Diseño de topología física

La propuesta se elaboró en base a la implementación de un enlace inalámbrico y una parte cableada, se tiene como finalidad que los usuarios finales obtengan acceso a internet a través de sus dispositivos en zonas que se evidenció que eran de baja cobertura y mostraban parámetros deficientes con respecto a calidad de servicio. Para la red se tiene una topología de punto a multipunto como antena central, se estableció la antena UDB PRO-SECTOR con su respectiva conexión al UDM PRO.

3.3.2. Diseño de topología lógica

Dentro de la topología lógica se establece las interfaces configuradas, para trabajar dentro de la red para garantizar un óptimo funcionamiento. En la siguiente tabla, se muestra la respectiva asignación de puertos de cada dispositivo de la red.

Tabla 6. Asignación de puertos de cada elemento de la red

Equipo	Puerto	Conectado con
UDM	Ethernet 1	ISP
UDM	Ethernet 2	PC
MEDIA CONVERTER	SFP+	UDM

MEDIA CONVERTER	RJ45	ANTENA UDB SECTORIAL
ANTENA UDB SECTORIAL	Wireless	ANTENA UDB#1 ANTENA UDB #2
ANTENA UDB #1	ETH 2 PoE	AC POINT MESH #1
ANTENA UDB #2	ETH 2 PoE	AC POINT MESH #2

Fuente: Tabla elaborada por autor

Finalizada la asignación de puertos de los elementos que integran la red se realizó una tabla de las direcciones IP de cada equipo, donde se evidencia la dirección para la antena principal que es la UDB Sector, las de puente que son las UDB PRO y sus AP finales, esto permite evitar inconvenientes en la identificación de los dispositivos.

En la siguiente tabla se detalla las direcciones establecidas para cada equipo de la red

Tabla 7. Asignación direcciones IP de cada elemento de la red

IP ASIGNADAS	
UDB PRO-SECTOR	192.168.1.198
UDB PRO -EDIFICIO PISCINA	192.168.1.210
UDB PRO- EDIFICIO NUEVO	192.168.1.94
AP PISCINA	192.168.1.249
AP EDIFICIO NUEVO	192.168.1.80

Fuente: Tabla elaborada por autor

Escenario de trabajo

Se diseñaron los equipos que se utilizarán para la red backhaul los cuales están en sectores externos dentro del predio universitario como en sector interno del laboratorio de telecomunicaciones. Los equipos son los siguientes:

- Antenas UniFi Bridge Device
- Antena UniFi Bridge Sector
- Ubiquiti Dream Machine
- Media Converter

Respecto con la implementación de equipos, en la parte interna del laboratorio de Telecomunicaciones en un rack se encuentra ubicado el Ubiquiti Dream Machine que cumple con la función de controlador de la red, a un costado del rack se encuentra el media converter que se encargará de la transmisión entre la fibra óptica del controlador y el cable ethernet de la Antena UniFi Bridge Sector.

Por otro lado en la parte exterior del laboratorio se encuentra la Antena UniFi Bridge que actúa como elemento principal de nuestra red , en otro punto del predio universitario como el sector de la piscina se optó por ubicar una antena UniFi Bridge Device que actuará de puente entre el enlace principal del laboratorio hasta un cliente final , de la misma forma se estableció colocar una antena en el bloque de Facsistel la cual es la antena UniFi Bridge Device que cumple con la cobertura requerida , el diseño es una simulación 3D como se logra observar en la figura , donde se aprecia la ubicación de cada antena.

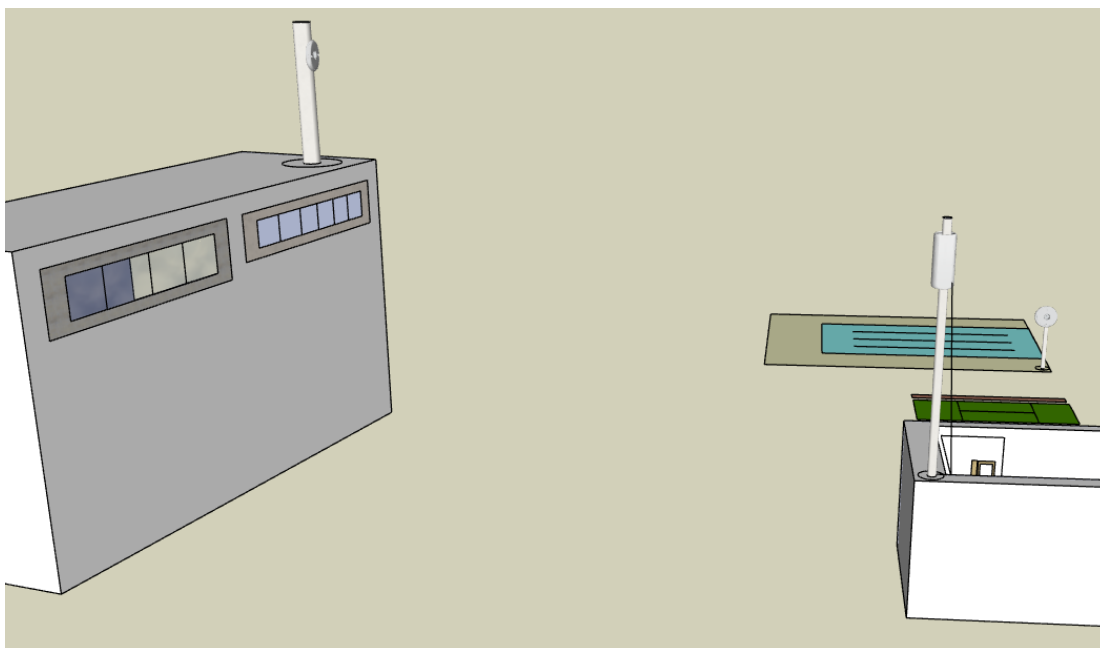


Figura 15. Ubicación de antenas en el predio universitario

Fuente: Imagen elaborada por autor

3.4. Configuración de equipos

3.4.1. Configuración Dream Machine Pro

Para realizar la configuración del dispositivo Dream Machine Pro se debe conectar el equipo mediante cable ethernet, una vez realizado aquello se mostrará que está reconociendo la conectividad con el proveedor de Internet.



Figura 16. Conexión a Internet
Fuente: Imagen elaborada por autor

Luego de ingresar a la IP 192.168.1.1 en nuestro navegador, se comienza con la asignación de un nombre para la consola.

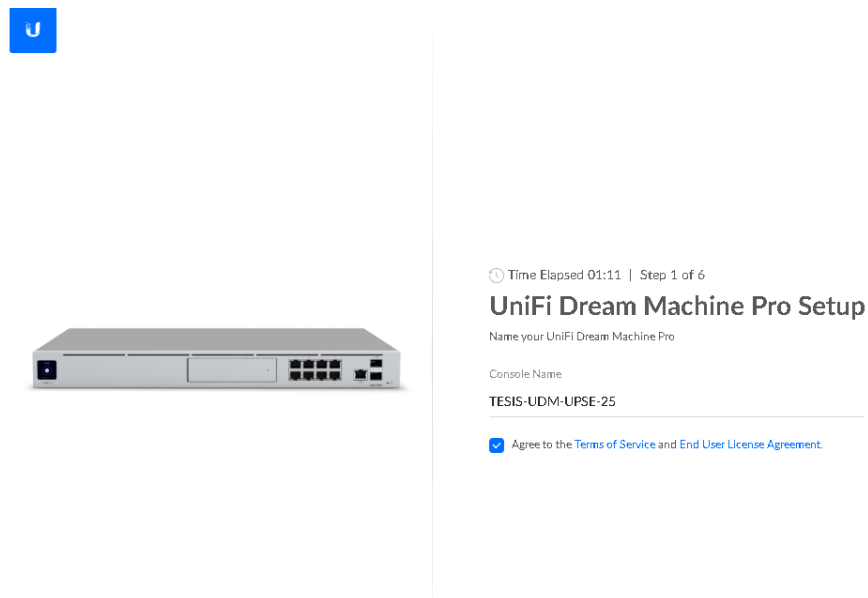


Figura 17. Asignación de nombre a la consola

Fuente: Imagen elaborada por autor

En la parte de configuración se habilita la sección para notificaciones, diagnóstico y rendimiento, de esta forma se tiene de forma detallada el rendimiento del equipo.

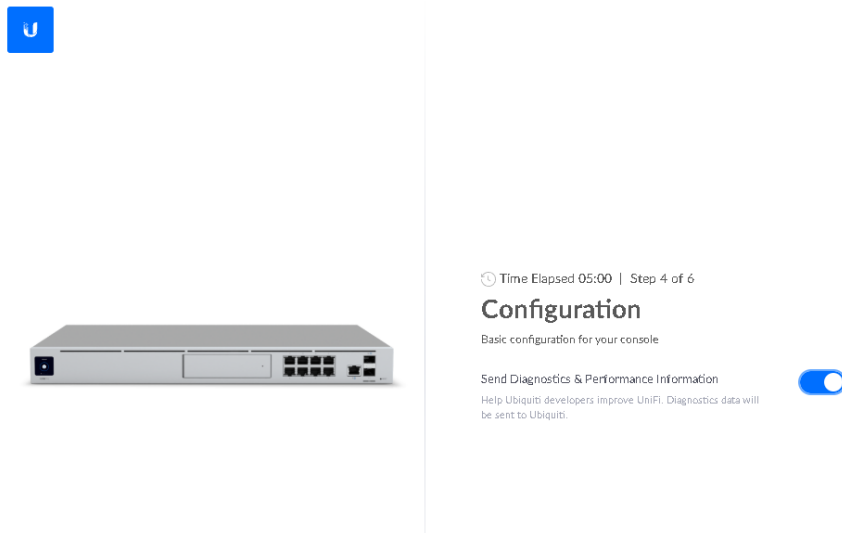


Figura 18. Configuración sobre informes de rendimiento

Fuente: Imagen elaborada por autor

Para culminar con la configuración de una correcta manera, el equipo efectúa una prueba de conectividad de internet en parámetros de velocidad.

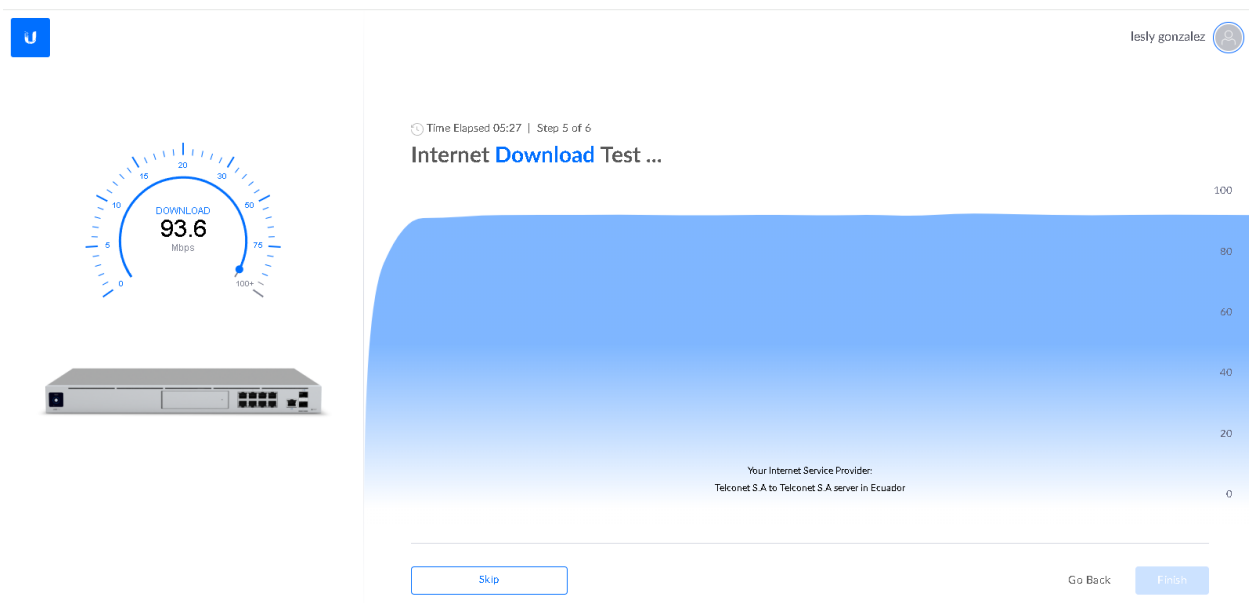


Figura 19. Test de conectividad de la consola

Fuente: Imagen elaborada por autor

Al culminar la prueba de velocidad por parte del dispositivo UDM PRO, presentará los resultados de la prueba realizada y se finaliza la conexión con la nube.

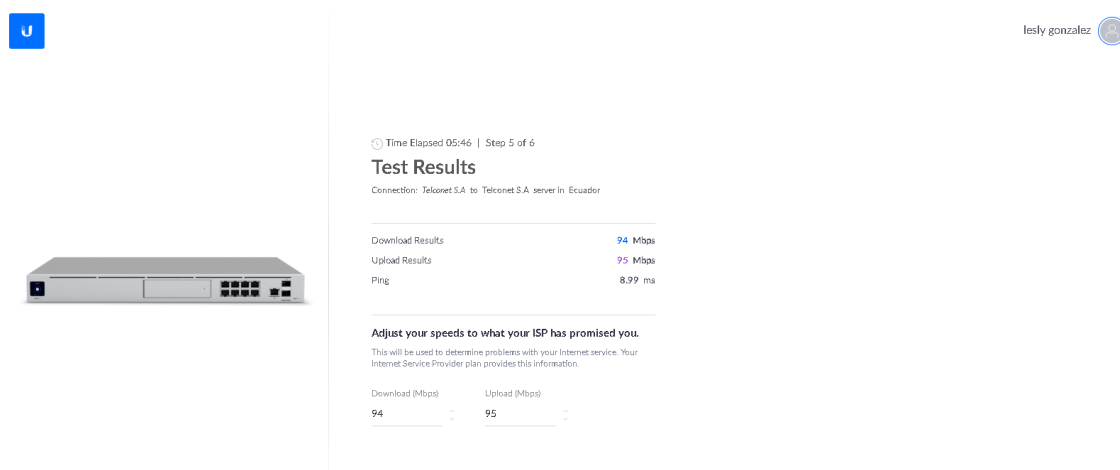


Figura 20. Resultado de la prueba de conectividad

Fuente: Imagen elaborada por autor

Finalmente se cumple con la configuración inicial al dispositivo central de la red que es el UDM, por lo tanto, al ingresar a la interfaz de este para la administración de todos los componentes de la red.

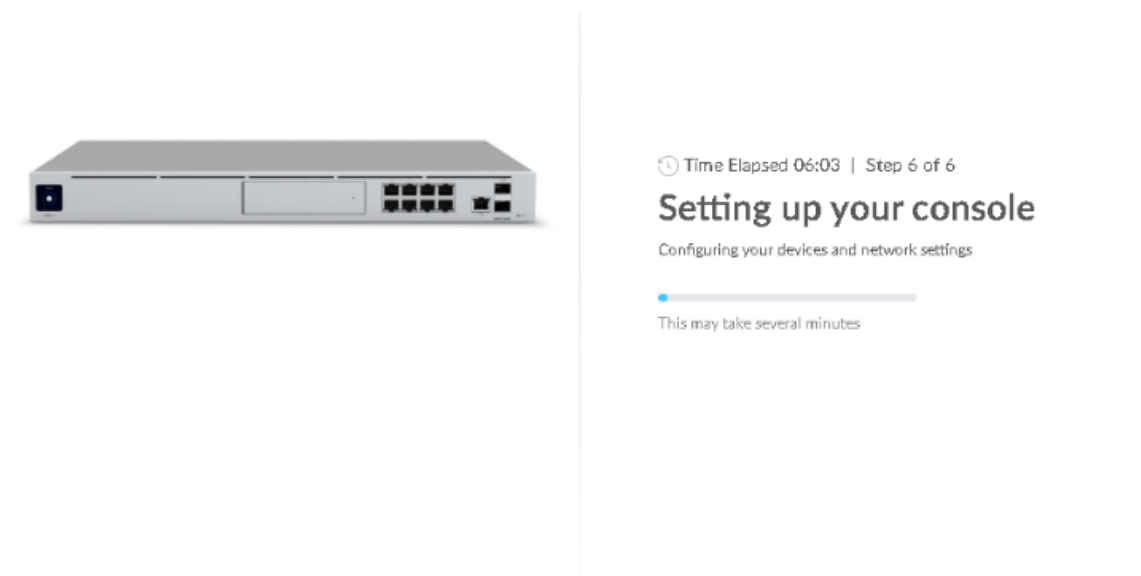


Figura 21. Configuración finalizada de la consola

Fuente: Imagen elaborada por autor

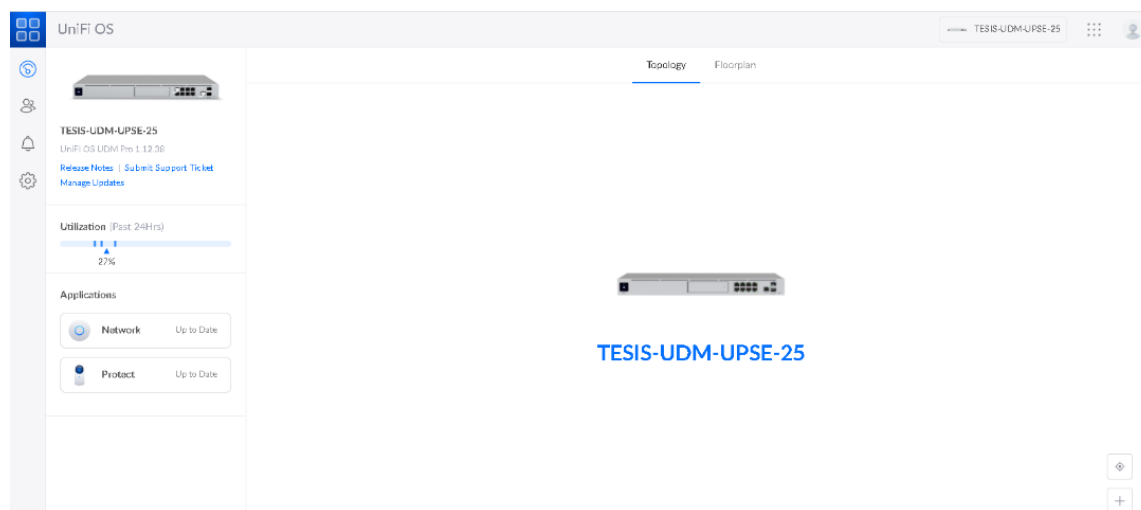


Figura 22. Interfaz de inicio tras culminación de configuración

Fuente: Imagen elaborada por autor

3.4.2. Instalación del controlador de UniFi

- ❖ Por medio de la página oficial de Ubiquiti se procede a descargar el controlador que es el siguiente: <https://ui.com/download/releases/network-server>, finalizada la descarga del archivo se procede a ejecutar el archivo como administrador.
- ❖ Al ejecutar el archivo se procede a seleccionar el botón de instalar, tomará unos pocos minutos en lo que se culmine la instalación del software



Figura 23. Instalación de Network Server

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Finalizada la instalación del programa ya podemos acceder al UniFi Controller, de la misma manera, aparecerá el launch para acceder por medio de un navegador web predeterminado.



Figura 24. Instalación Network Server finalizada

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Al acceder a la administración del servidor, se debe asignar un nombre al controlador y aceptar los términos de servicio

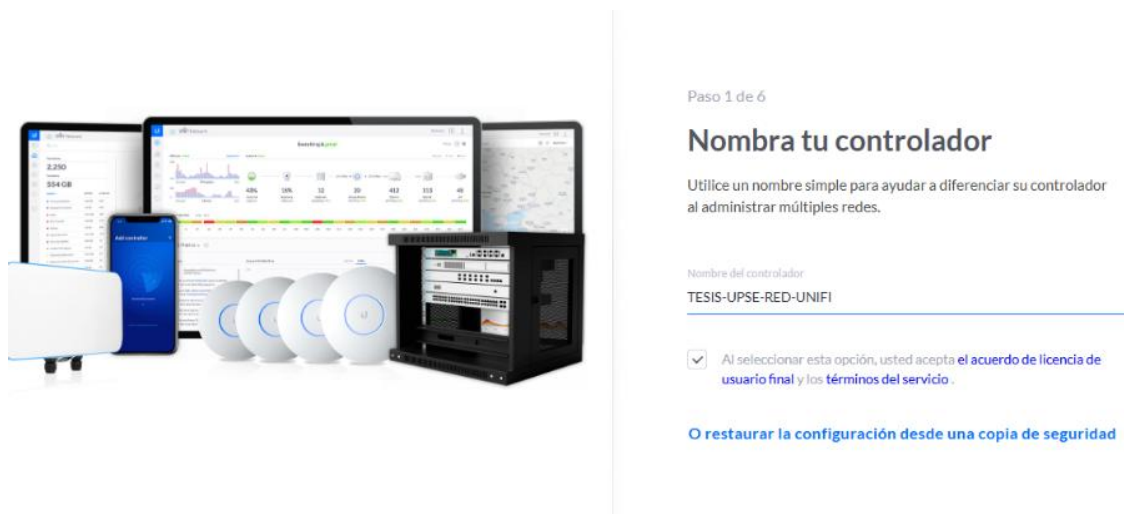


Figura 25. Identificación del Controlador

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Posterior a la asignación de un nombre para nuestro controlador se requiere de una cuenta de Ubiquiti, la cual las credenciales de acceso son las siguientes:

Correo: telecomunicaciones.upse@outlook.com



Figura 26. Ingreso de credenciales

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Para la creación de la red inalámbrica, se puede configurar el SSID de la red como también la activación de la red para doble banda en este caso de 2.4 GHz y 5 GHz.

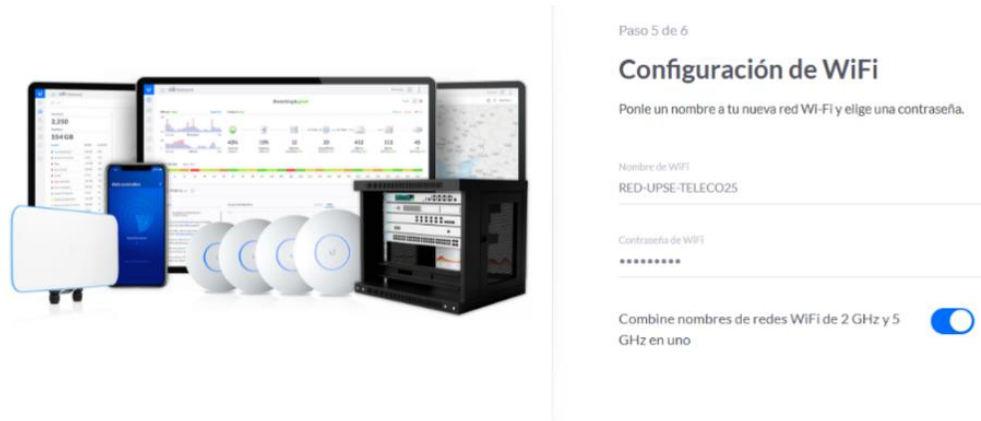


Figura 27. Configuración red Wi-Fi

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Como último paso de este proceso se revisa los datos asignados en esta configuración, si se ingresó un dato de manera errónea para corregir aquello se debe de restablecer la consola para configurar nuevamente el equipo. Como dato no menor se debe seleccionar el país y su respectiva zona horaria, en este ejemplo se optó por seleccionar EE. UU.



Figura 28. Verificación de Configuración

Fuente: Imagen elaborada por autor

Asociar UniFi Device Bridge a la red.

- ❖ Las antenas Device Bridge deben encontrarse con alimentación mediante su adaptador PoE para que enciendan, ya en funcionamiento se encienden los LEDS del dispositivo.

Mediante la plataforma de Network server de Ubiquiti, seleccionamos en el apartado de Devices para la búsqueda de las antenas UniFi Device Bridge, si se encuentran dentro de la misma red lógica dentro del panel dará una notificación de pending adoption a este dispositivo, en caso de que no se reconozca el dispositivo se recomienda restablecer por defecto las antenas.

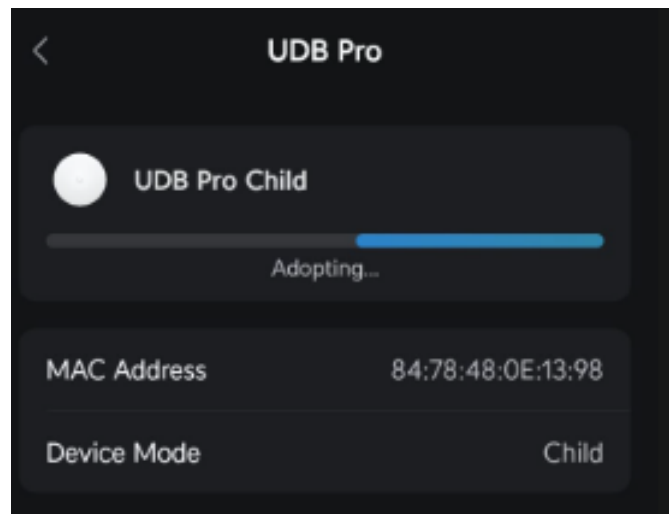


Figura 29. Proceso de adopting

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ El proceso de adopción tomará unos minutos ya que el equipo central de la red en este caso el UDM envía una configuración básica y se levanta una sesión para asociar el o los dispositivos dentro de nuestro ecosistema de UniFi.

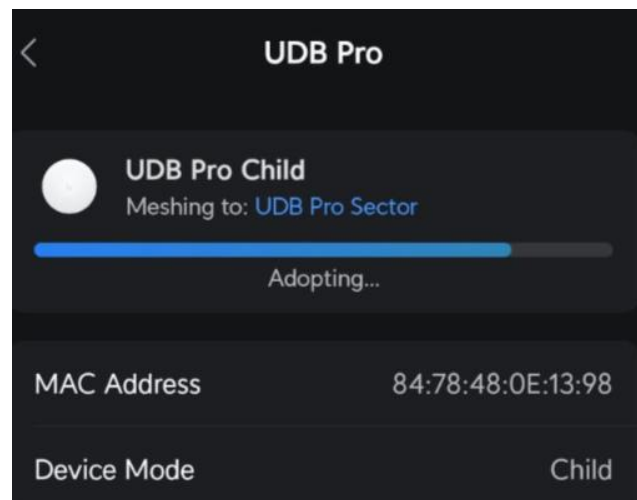


Figura 30. Adopting UDB PRO-UBD SECTOR

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Como se muestra en la figura 29, se realizó un proceso de adopting de Parent – Child entre una UniFi Device Bridge Pro y UDB Sector, donde la UDB Pro

se configuró como Child lo que significa que trabaja como cliente dentro de este enlace, en cambio la antena UDB Sector es el Parent ya que se encuentra asociado directamente al UDM y este dispositivo gestiona y sincroniza el enlace.

- ❖ Se encuentra un solo enlace de red entre el UDB Sector con una dirección local de 192.168.1.198 y con su respectiva MAC 84:78:48:32:8f:c6, es una configuración predeterminada en lo que se estableció en el canal 154 con un ancho de banda de 40 MHz bajo el estándar 802.11ac.

El valor de Tx retries es un valor significativamente bueno ya que nos muestra un 0% en reintentos de transmisión por lo que el enlace se encuentra totalmente estable y con un desempeño adecuado entre estos dos nodos de la red.

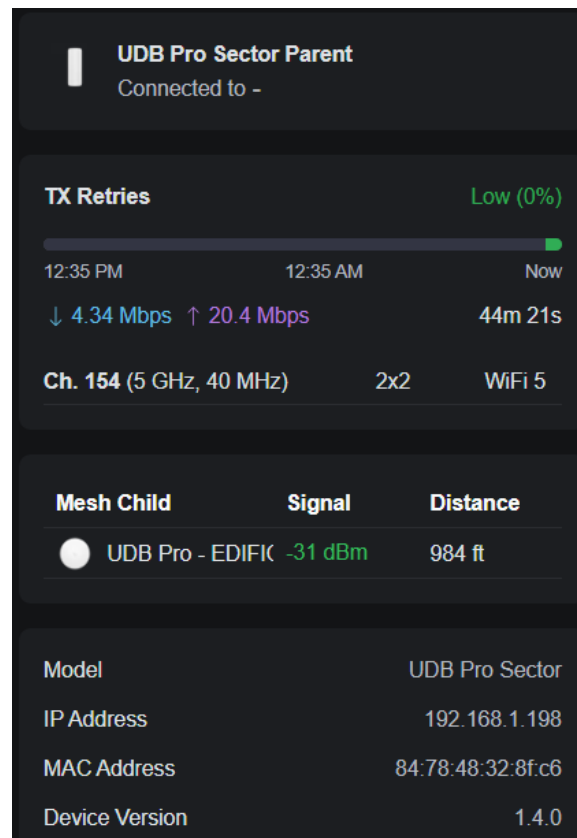


Figura 31. Link UDB PRO-UBD SECTOR

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Dentro del panel del controlador de UniFi tenemos la opción de visualizar la topología de los nodos que se enlazaron, se aprecia como el UDB Sector es el Parent y se encarga de emitir una señal al nodo distante de UDB PRO que está en modo bridge se representa en la figura 31. Cabe mencionar que la señal es bastante óptima ya que nos refleja que se recibe una potencia -31 dBm en la figura 30.

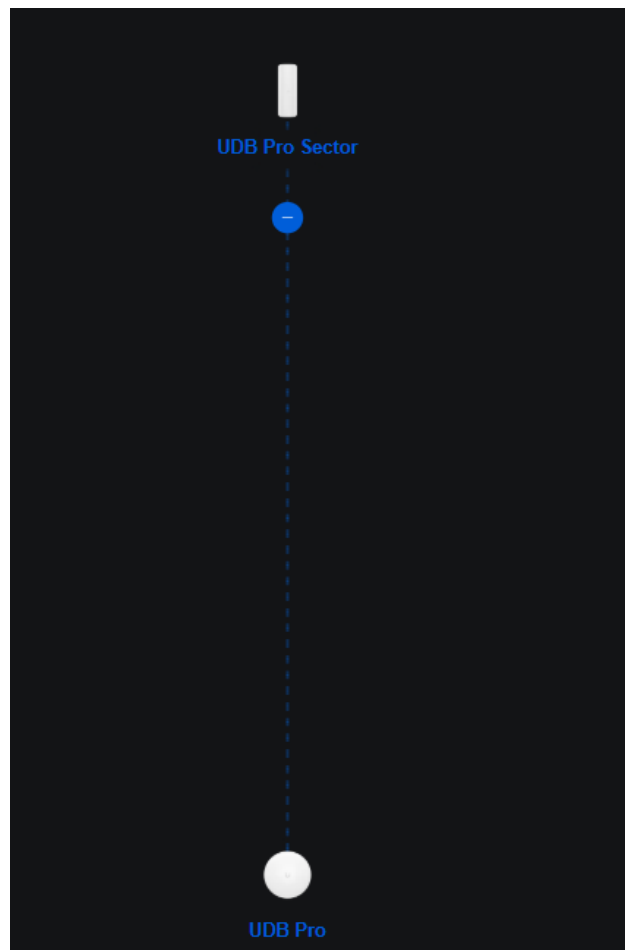


Figura 32. Topología Link UDB PRO-UBD SECTOR

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Continuando con el proceso de la red se implementó un enlace más entre la antena principal UDB Sector con dos UDB Pro, la configuración predeterminada se estableció en el canal 33 y su transmisión es bastante buena ya que refleja un valor de 0% de reintentos de transmisión con una potencia de señal considerablemente buena al recibir entre -62 y -64 dBm por parte de la antena principal.



Figura 33. Link UBD SECTOR-2 UBD PRO

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ En el panel volvemos a la sección de topología para ver cómo se encuentra conformada la red, consta que el enlace es óptimo de parte de las antenas clientes reciben de manera constante la señal de la antena principal conectada al UDM.

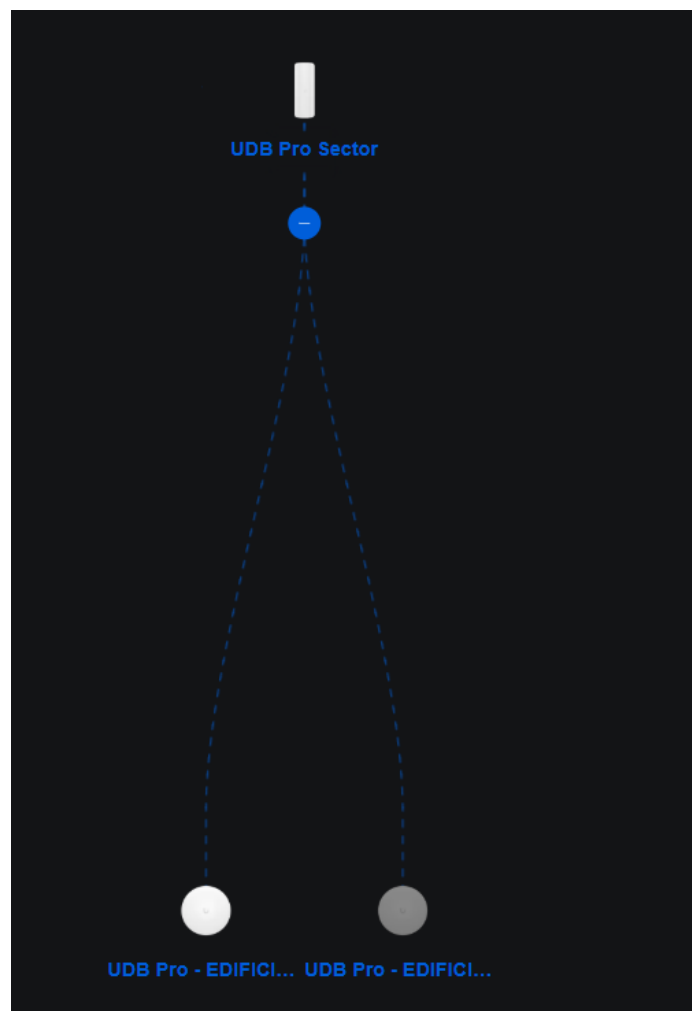


Figura 34. Topología Link UBD SECTOR-2 UBD PRO

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Como se estableció ya dos nodos secundarios, se puede extender la red esa es una ventaja considerable en este tipo de topologías por lo que en esta sección se implementan dos Access Point que son los encargados de distribuir datos al usuario final, estas se encuentran de manera cableada a los puertos ethernet de cada antena de nodo secundario en la figura 34 se evidencia de mejor manera la red implementada.

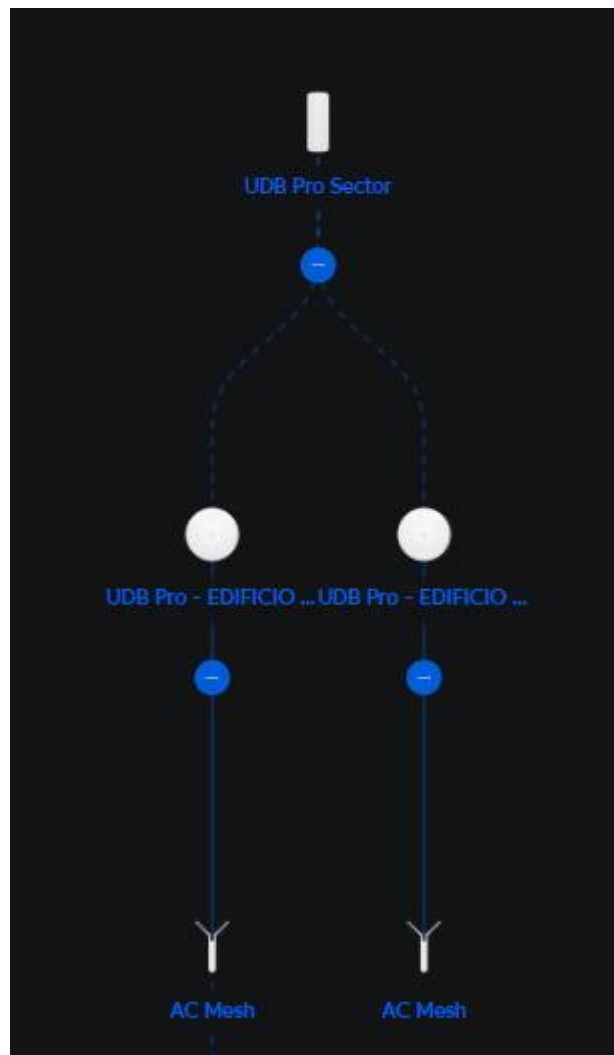


Figura 35. Topología Link Final

Fuente: Imagen elaborada por autor

- ❖ Dentro de la plataforma nos ubicamos en la sección de Devices y nos refleja todos los dispositivos que se encuentran en la red, la topología mallada se representa con el parámetro de dispositivo principal es a la cual se encuentra conectado varios elementos, todos perfectamente operativos con el tema de la comunicación inalámbrica y los diversos canales que ocupan los Access Point.

Inicio

Red

UniFi

Dispositivos inalámbricos

Bus Reiniciar

Tipo	Nombre	Solicitud	Estado	Dirección IP	Enlace asoc...	Dispositivo prin...	Cap. 2.4 G...	Cap. 5 GHz	Cap. 6 GHz	Conectado	Experienc...	Uso de 24 h...
	Sector Pro de la UDB	Red	A hoy	192.168.1.198	-	-	-	-	-	0	-	722 MB
	Malla de CA	Red	A hoy	192.168.1.249	FE	UDB Pro - EDIFL... # 1 11 (20 MHz)	44 (80 MHz)	-	0	Sin clientes	358 MB	
	UDB Pro - EDIFICIO ...	Red	A hoy	192.168.1.210	Malla	Sector Pro de la UDB	-	-	0	-	400 MB	
	Malla de CA	Red	A hoy	192.168.1.80	GbE	UDB Pro - EDIFL... # 1 11 (20 MHz)	48 (80 MHz)	-	0	Sin clientes	295 MB	
	UDB Pro - EDIFICIO ...	Red	A hoy	192.168.1.94	Malla	Sector Pro de la UDB	-	-	0	-	317 MB	

Figura 36. Dispositivos en red

Fuente: Imagen elaborada por autor

3.5. Estudio de Factibilidad

3.5.1. Factibilidad Técnica

En este proyecto la factibilidad se fundamenta por la utilización de dispositivos con un alto desempeño para garantizar una eficiencia, estabilidad y escalabilidad de la red dentro de un espacio controlado, los dispositivos tienen características compatibles lo cual su integración es óptima y armónica.

En la documentación se detalla los procesos que se deben cumplir en la parte de la configuración de los elementos y las características que posee cada uno.

Costos de la propuesta

Se detalla el valor de cada dispositivo y material que se requirió para la implementación de la red, en la tabla a continuación se refleja la información.

Tabla 8. Costo de equipos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MARCA	P. UNIDAD	P. TOTAL
1	Dream Machine PRO	Ubiquiti	\$360,00	\$360,00
1	UDB-Pro-Sector	Ubiquiti	\$320,00	\$320,00
2	UDB-Pro	Ubiquiti	\$220,00	\$440,00
2	AC-Mesh	Ubiquiti	\$120,00	\$240,00
1	Media Converter	Ubiquiti	\$70,00	\$70,00
TOTAL				\$1430,00

Fuente: Tabla elaborada por autor

Tabla 9. Costo de materiales

Cantidad	Descripción	P. Unidad	P. Total
1	Ponchadora	\$3,50	\$3,50
1	Tester	\$11,00	\$11,00
15m	Cable Cat 6	\$2,50	\$37,50
100	RJ45	\$0.15	\$15
10m	Cable patch monomodo	\$12,00	\$12,00
TOTAL			\$79,00

Fuente: Tabla elaborada por autor

Tabla 10. Costos Totales

COSTOS TOTALES	
DESCRIPCION	COSTO
Costos de Equipos	\$1430,00
Costos de Materiales	\$79,00

TOTAL	\$1509,00
--------------	-----------

Fuente: Tabla elaborada por autor

CAPÍTULO IV

4.1. PRUEBAS

El proyecto tiene como finalidad implementar una red inalámbrica robusta y confiable en las instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a través del diseño y validación de puntos de acceso ubicados estratégicamente en sectores que carecen de una cobertura de internet adecuada.

Para el desarrollo de esta propuesta, se efectuó un análisis técnico y topológico del entorno universitario, con el objetivo de identificar las zonas con baja conectividad y determinar los lugares idóneos para la instalación de los equipos emisores de señal. Los dispositivos fueron configurados y administrados mediante el controlador Unifi, una plataforma que permite realizar el seguimiento centralizado del sistema inalámbrico, gestionar los parámetros operativos y recopilar información en tiempo real sobre el rendimiento de la red.

Gracias a esta implementación, fue posible optimizar la distribución de la señal Wi-Fi 5 dentro del campus, incrementar la calidad del servicio en los puntos críticos y analizar el comportamiento del enlace a partir de los registros obtenidos por el controlador UniFi, los cuales incluyen indicadores de cobertura, velocidad de transmisión, cantidad de usuarios conectados y estabilidad del canal de comunicación.

4.1.1. PRUEBA 1

Las gráficas de las pruebas realizadas se obtendrán en el interfaz de UniFi.

PASOS PARA INGRESAR A LA INTERFAZ DE UNIFI:

- Iniciar el servidor de UniFi.
- Credenciales: telecomunicaciones.upse@outlook.com
- Contraseña: teleco12345

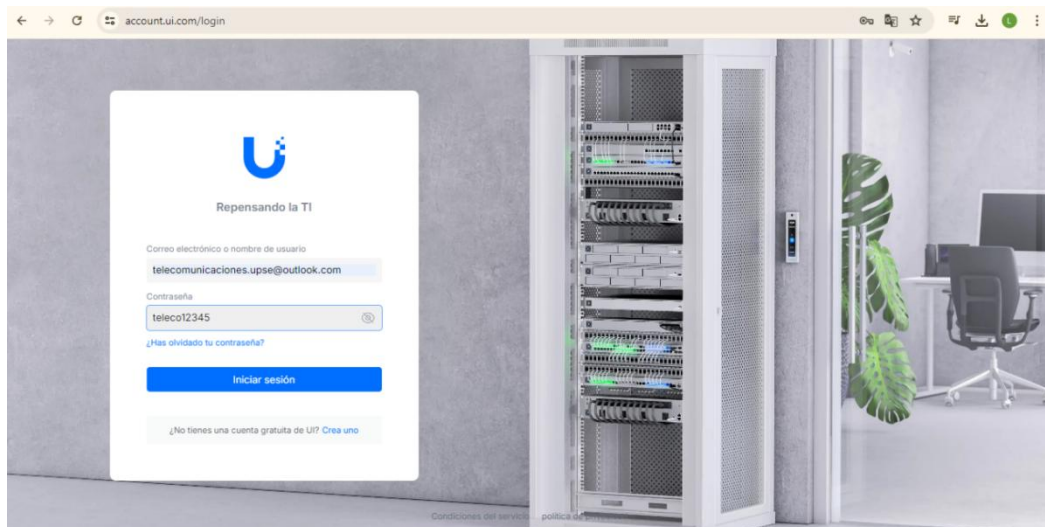


Figura 37. Inicio portal del servidor

Fuente: Imagen elaborada por autor

- Debemos dirigirnos a “Mapas”, visualizamos la topología de nuestra red y los usuarios que tenemos conectados.

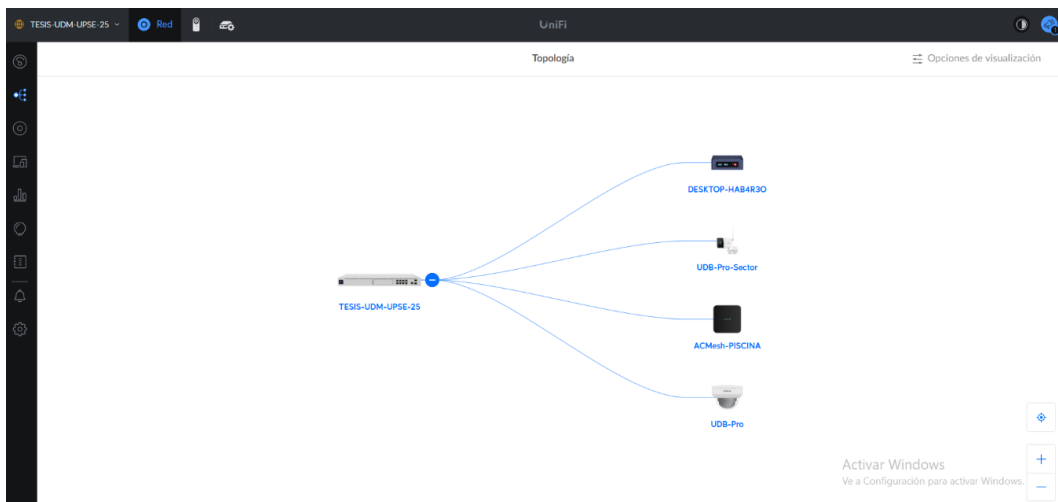


Figura 38. Topología

Fuente: Imagen elaborada por autor

En la **Figura 39** se evidencia los usuarios que están conectados al UDM.

The screenshot shows the UniFi network user list. The table lists connected devices with their details. The table has the following columns: Tipo, Nombre, Solicitad, Estado, Dirección IP, Enlace asoc., Dispositivo prin., Canal 2.4 GHz, Cap. 5 GHz, Cap. 6 GHz, Conectado, Experiencia, and Uso 24 horas.

Tipo	Nombre	Solicitad	Estado	Dirección IP	Enlace asoc.	Dispositivo prin.	Canal 2.4 GHz	Cap. 5 GHz	Cap. 6 GHz	Conectado	Experiencia	Uso 24 horas
Sector Pro de la UDB	Sector Pro de la UDB	Rad	A hoy	192.168.1.198	GbE	-	-	-	-	0	-	5,26 MB
Malla de CA	Malla de CA	Rad	A hoy	192.168.1.249	GbE	UDB Pro # 1	1 (20 MHz)	161 (80 MHz)	-	0	Sin clientes	-
UDB Pro	UDB Pro	Rad	A hoy	192.168.1.36	Malla	Sector Pro de la UDB	-	-	-	0	-	4,67 MB

Figura 39. Topología Prueba 1 MESH AC

Fuente: Imagen elaborada por autor

- Tenemos la antena principal Device Bridge Pro-Sector
- 2 Antenas Device Bridge Pro
- 2 AP, ac mesh

La conexión de forma inalámbrica se realizó con éxito, la implementación de la tecnología backhaul, como la implementación se realizó directamente dentro de la UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA se tuvo que adquirir un media Converter SFP, ayudará que la antena principal sector reciba una conexión más estable y con menos interferencia.

4.1.2. PRUEBA 2

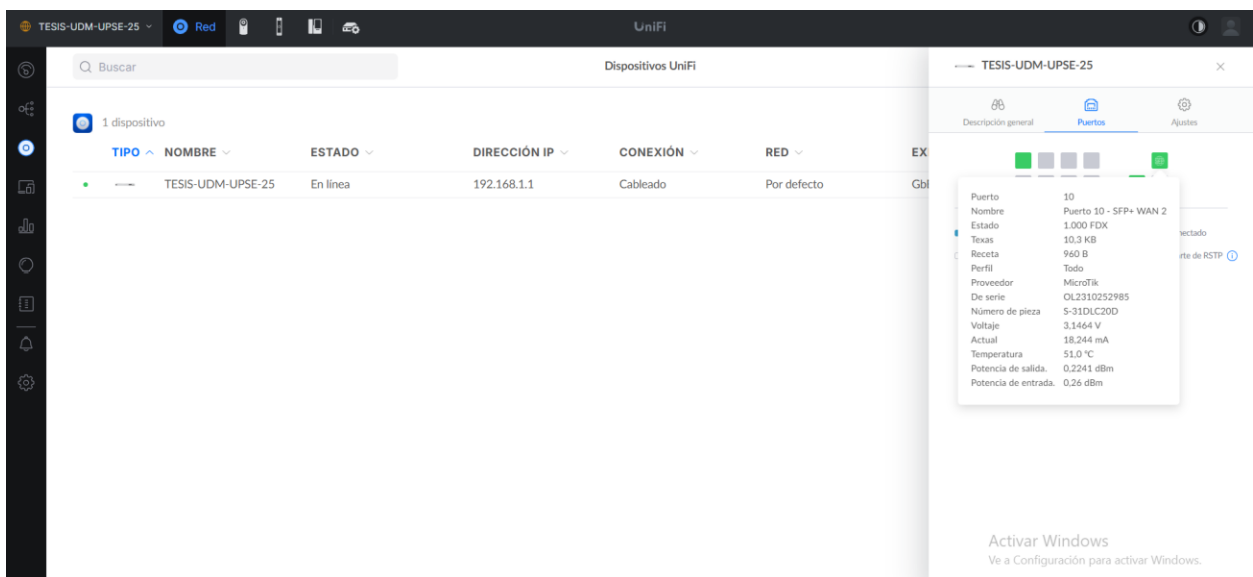


Figura 40. UDM CONECTADO AL MEDIA

Fuente: Imagen elaborada por autor

- Tenemos conectado el media Converter con el controlador UDM.



Figura 41. UDM CONECTADO AL MEDIA CONVERTER CON SPF

Fuente: Imagen elaborada por autor



Figura 42. UDM Transmisión conectado a la media converter con SPF

Fuente: Imagen elaborada por autor

- Instalación de la antena principal Device bridge Pro-Sector



Figura 43. Instalación de la antena

Fuente: Imagen elaborada por autor



Figura 44. Comprobación del funcionamiento de la antena AC Mesh

Fuente: Imagen elaborada por autor

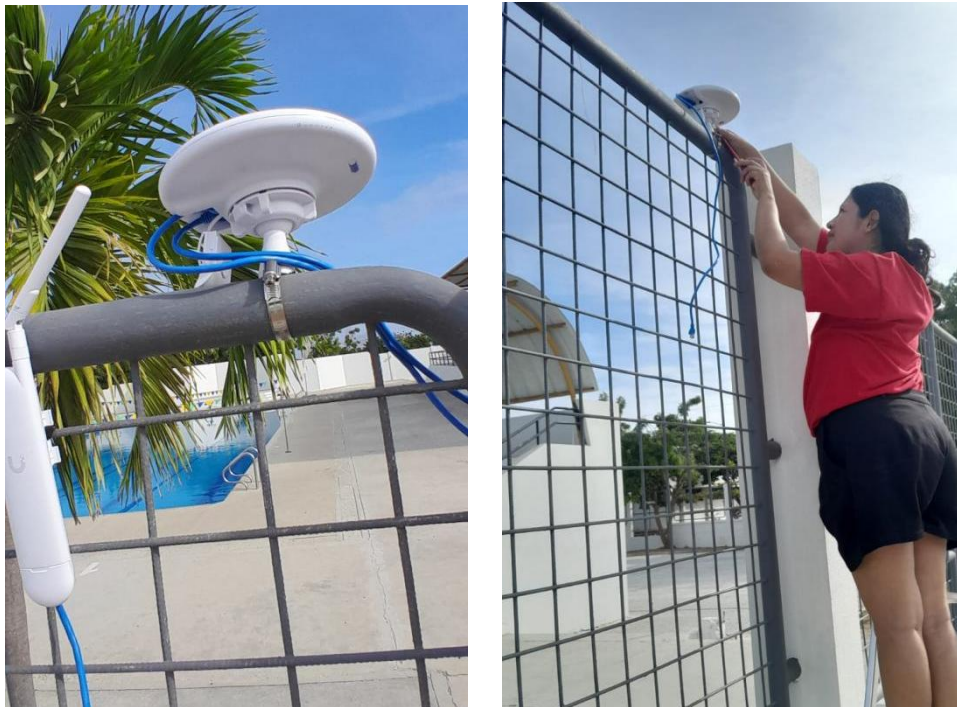


Figura 45. Instalación de las antenas para la conexión híbrida en la piscina de la Universidad

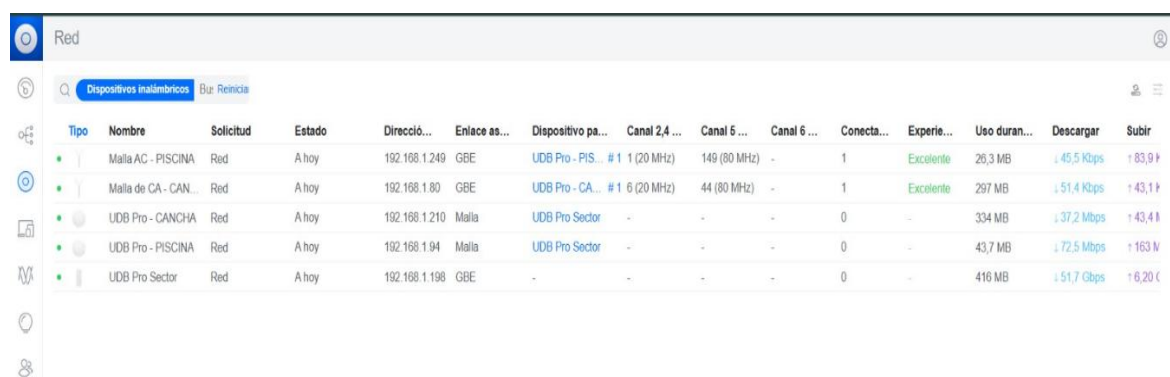
Fuente: Imagen elaborada por autor



Figura 46. Instalación de las antenas para la conexión híbrida en la cancha sintética de la Universidad

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 47** muestra la interfaz del controlador UniFi con el listado de los dispositivos incorporados a la red. En esta sección se verifica el estado de adopción, la dirección IP, el modelo del equipo, la versión del firmware y el estado de conexión de cada dispositivo. Esta configuración inicial permite confirmar que todos los equipos fueron detectados correctamente y se encuentran operativos antes de realizar las pruebas de funcionamiento de la red.



Tipo	Nombre	Solicitud	Estado	Direcció...	Enlace as...	Dispositivo pa...	Canal 2,4 ...	Canal 5 ...	Canal 6 ...	Conecta...	Experie...	Uso duran...	Descargar	Subir
★	Malla AC - PISCINA	Red	A hoy	192.168.1.249	GBE	UDB Pro - PIS... # 1	1 (20 MHz)	149 (80 MHz)	-	1	Excelente	26,3 MB	↓ 45,5 Kbps	↑ 83,9 P
★	Malla de CA - CAN...	Red	A hoy	192.168.1.80	GBE	UDB Pro - CA... # 1	6 (20 MHz)	44 (80 MHz)	-	1	Excelente	297 MB	↓ 51,4 Kbps	↑ 43,1 P
★	UDB Pro - CANCHA	Red	A hoy	192.168.1.210	Malla	UDB Pro Sector	-	-	-	0	-	334 MB	↓ 37,2 Mbps	↑ 43,4 P
★	UDB Pro - PISCINA	Red	A hoy	192.168.1.94	Malla	UDB Pro Sector	-	-	-	0	-	43,7 MB	↓ 72,5 Mbps	↑ 163 P
★	UDB Pro Sector	Red	A hoy	192.168.1.198	GBE	-	-	-	-	0	-	416 MB	↓ 51,7 Gbps	↑ 6,20 C

Figura 47. Registro de dispositivos en el controlador UniFi

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 48** presenta la configuración básica del punto de acceso inalámbrico dentro del controlador UniFi. En esta etapa se establece el nombre del dispositivo, la red de administración y los parámetros generales de funcionamiento, garantizando la correcta integración del equipo dentro de la infraestructura inalámbrica implementada.

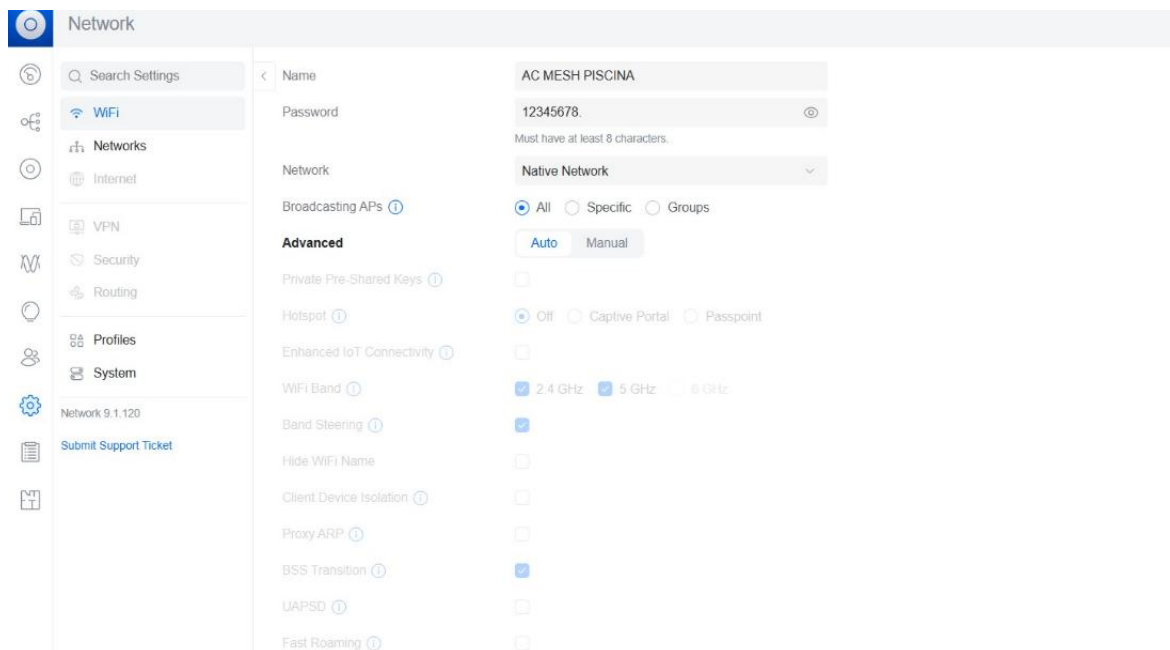


Figura 48. Configuración general del punto de acceso AC MESH PISCINA

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 49** muestra las opciones avanzadas de configuración del punto de acceso, donde se ajustan parámetros relacionados con la potencia de transmisión, bandas de frecuencia, ancho de canal y otras características de operación. Estas configuraciones permiten optimizar el rendimiento del enlace inalámbrico y adaptar el comportamiento del equipo a las condiciones del escenario de implementación.

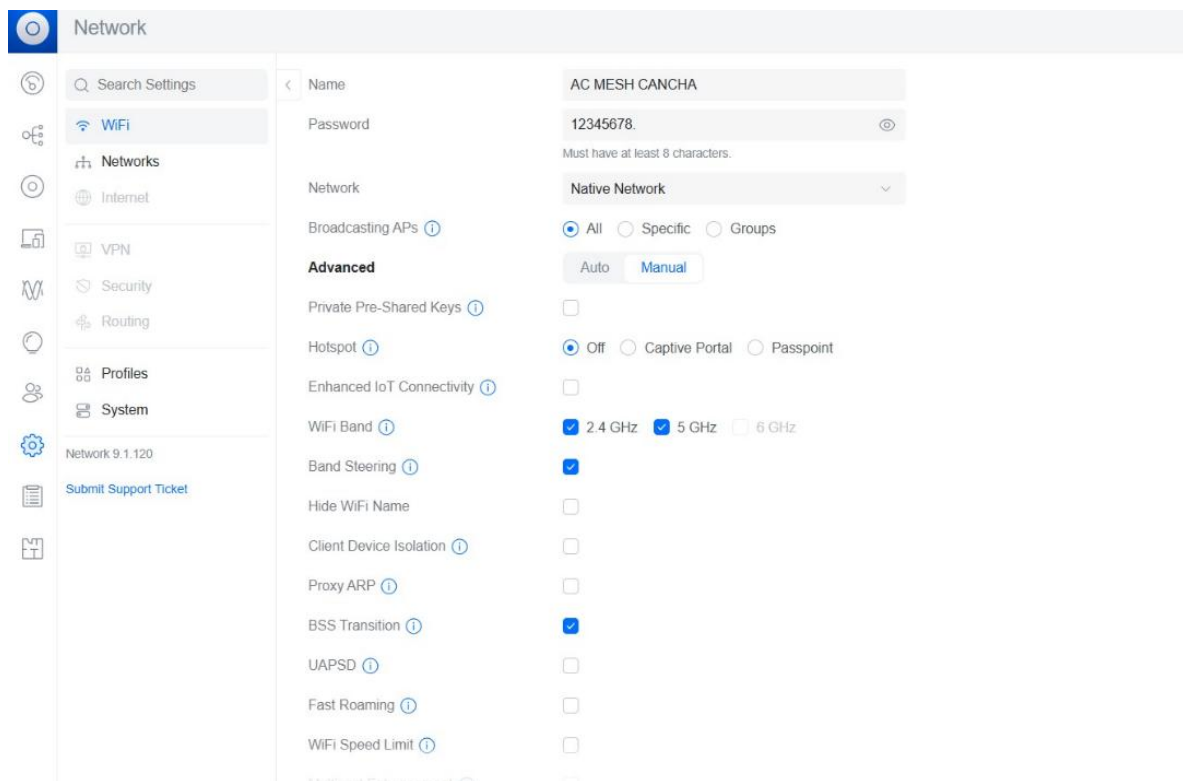


Figura 49. Configuración general del punto de acceso AC MESH CANCHA

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 50** presenta el estado de funcionamiento del punto de acceso una vez finalizada su configuración. En la interfaz se observa que el dispositivo se encuentra conectado y administrado correctamente por el controlador, además de mostrar información sobre los clientes asociados, el tráfico cursado y los indicadores generales de desempeño.

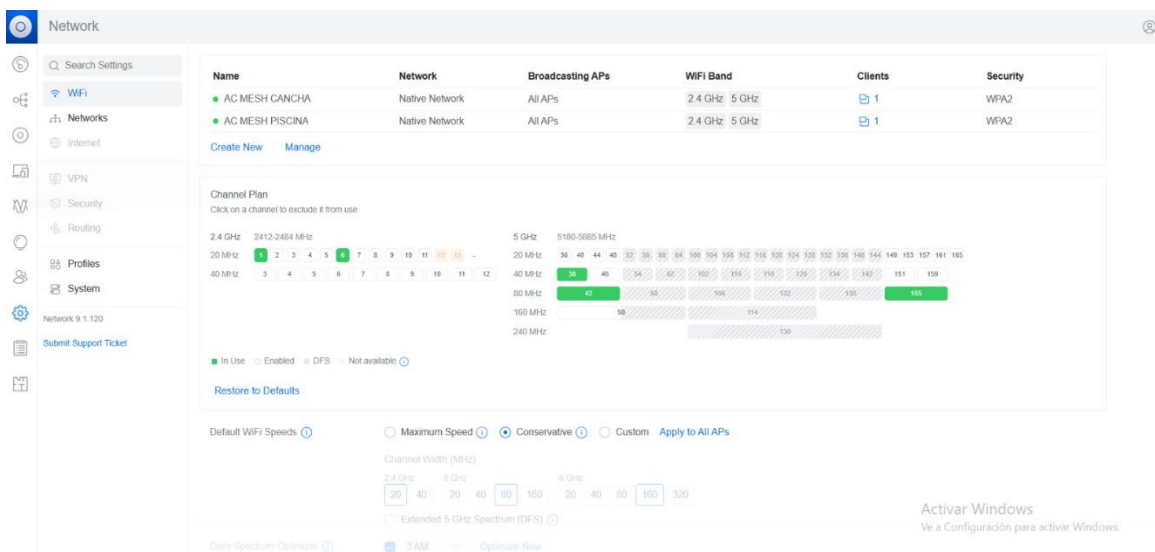


Figura 50. Estado operativo del enlace inalámbrico

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 51** representa el diagrama lógico de la red diseñada para la implementación del proyecto. Se observa la interconexión entre el Gateway, el switch y los diferentes puntos de acceso inalámbricos, permitiendo visualizar la estructura general de la infraestructura y la distribución de los equipos que conforman la red.

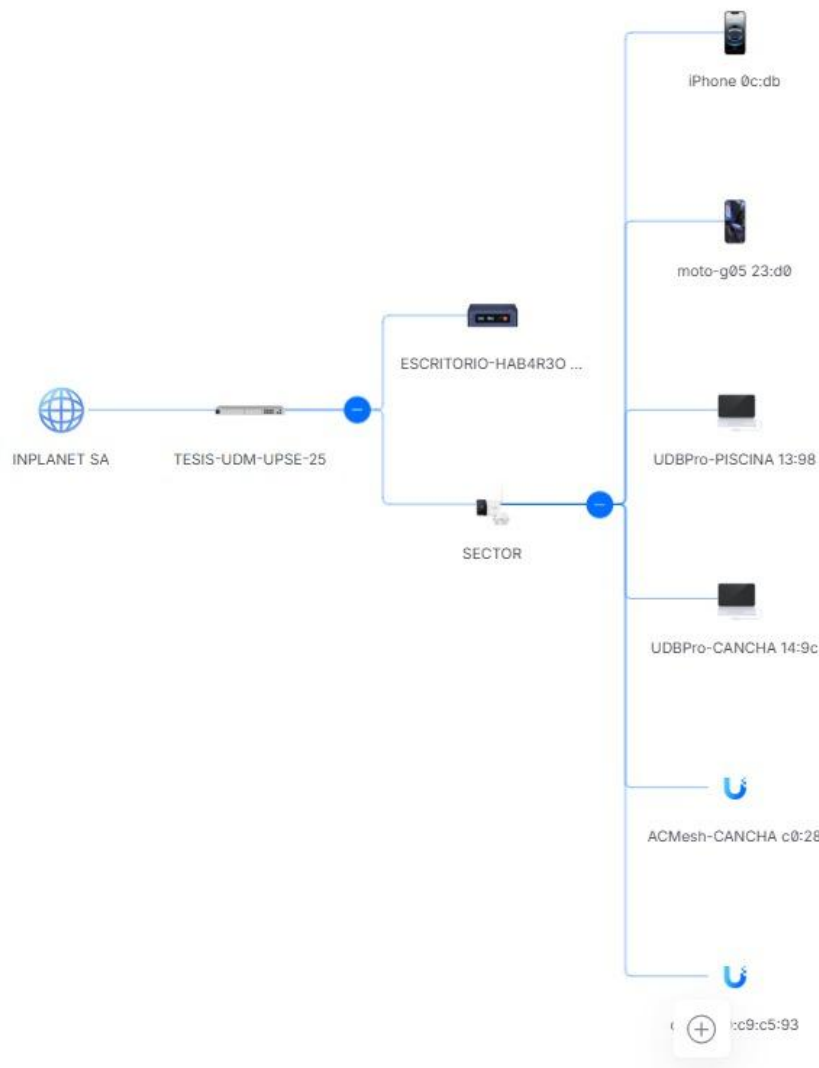


Figura 51. Topología de la red implementada

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 52** muestra la información obtenida desde la aplicación UISP durante el proceso de verificación del enlace inalámbrico. Se presentan parámetros como la intensidad de la señal recibida (RSSI), el canal de operación, el ancho de banda y la capacidad estimada del enlace, indicadores que permiten evaluar la calidad de la comunicación establecida entre los dispositivos.

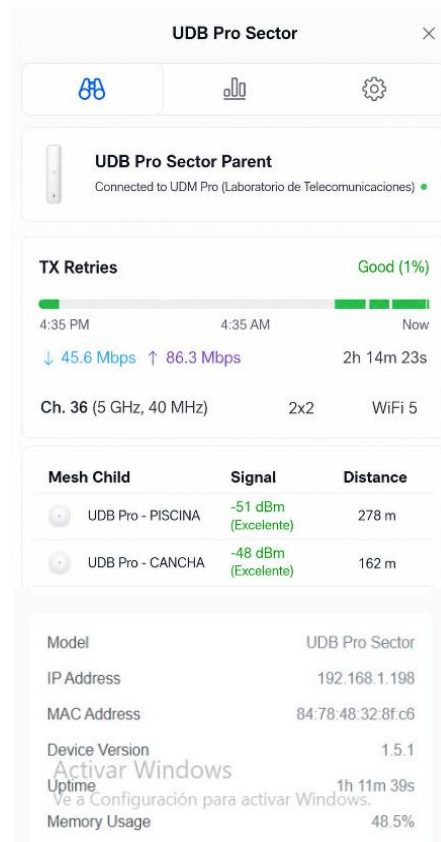


Figura 52. Verificación del enlace mediante la aplicación UISP

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 53** presenta la ubicación de los equipos sobre una vista satelital, indicando la trayectoria de los enlaces inalámbricos establecidos entre los diferentes puntos de la red. Esta representación permite verificar la línea de vista entre los dispositivos y comprobar que la ubicación seleccionada es adecuada para la transmisión inalámbrica.



Figura 53. Ubicación geográfica de los enlaces

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 54** ilustra la topología definitiva de la red implementada, donde se observa la distribución jerárquica del punto de acceso principal y los enlaces hacia los equipos ubicados en cada sector. Esta representación facilita la comprensión de la arquitectura de la solución desarrollada y la forma en que se distribuye la conectividad entre los distintos nodos.

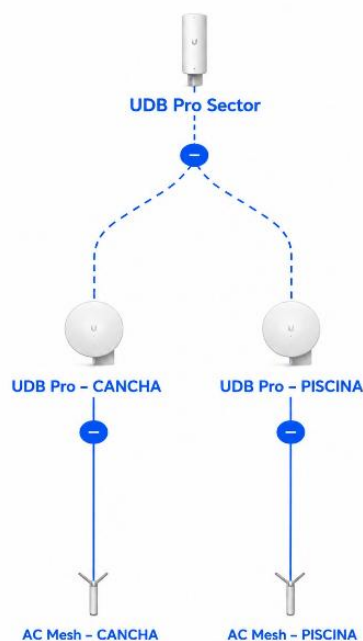


Figura 54. Topología brindada en el sistema UniFi

Fuente: Imagen elaborada por autor

La **Figura 55** muestra el controlador UniFi una vez concluida la implementación, evidenciando que todos los dispositivos fueron adoptados correctamente y permanecen en estado operativo. Además, se visualizan indicadores de conexión, direcciones IP asignadas y estadísticas generales que confirman el correcto funcionamiento de la infraestructura de red implementada.

Nombre	Prov...	Conexión	Red	WiFi	Experien...	Tecnolo...	Canal	Direcci...	Actividad	Descar...	Subir	Uso duran...	Tiempo de ac
iPhone @c0db	Apple, Inc.	Por defecto	-	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.166	29,4 Kbps	↓ 456 Kbps	↑ 14,5 Kbps	227 MB	2h 41m 51s
ESCRITORIO-H...	Beelink	TESIS-UDM-UP...	Por defecto	-	Excelente	FE	-	192.168.1.32	167 Kbps	↓ 168 Kbps	↑ 15,3 Kbps	2,40 GB	2h 41m 20s
moto-g95 23.d0	Google Inc.	Por defecto	-	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.126	9,27 Kbps	↓ 984 bps	↑ 936 bps	40,8 MB	13m 52s
ERIKA-N a2.0f	Google Inc.	-	-	-	-	-	-	192.168.1.171	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	-	17 de julio de
ERIKA-N 51.d0	Google Inc.	-	-	-	-	-	-	192.168.1.235	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	-	17 de julio de
ERIKA-N a5.8c	Google Inc.	-	-	-	-	-	-	192.168.1.224	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	-	17 de julio de
ERIKA-N a7.9d	Google Inc.	-	-	-	-	-	-	192.168.1.28	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	-	17 de julio de
d8b370:c9:c5...	Ubiquiti Inc	Por defecto	-	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.249	0 bps	↓ 536 ps	↑ 536 ps	8,56 MB	2h 41m 33s
ACMesh-CAN...	Ubiquiti Inc	Por defecto	-	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.80	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	9,00 MB	2h 41m 34s
SECTOR	Wansview	TESIS-UDM-UP...	Por defecto	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.198	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	11,0 MB	2h 41m 32s
UDBPro-PISCI...	-	Por defecto	-	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.94	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	10,9 MB	2h 41m 30s
UDBPro-CANC...	-	Por defecto	-	-	Excelente	GBE	-	192.168.1.210	0 bps	↓ 0 bps	↑ 0 bps	23,5 MB	2h 41m 34s

Figura 55. Estado final de los dispositivos conectados

Fuente: Imagen elaborada por autor

4.2. Cálculos y Análisis de Resultados

Parámetros y características de la antena

Se revisan las características para generar una simulación de forma idónea, en donde se tiene en cuenta, factores atmosféricos, parámetros y aspectos que se presentan en el campo de operación, tales como:

Tabla 11. Parámetros del enlace

PARÁMETROS DEL ENLACE	CARACTERÍSTICAS
Tipo de antena	Sectorial Integrada
Frecuencia de operación	5150 – 5875 MHz
Polarización	Dual
Ganancia de la antena	17 dBi
Potencia de transmisión	25 dBm
Sensibilidad de recepción	-90 dBm
Perdida por cable	2dB
Tipo de clima	Factores externos

Fuente: Tabla elaborada por autor

Tabla 12. PARÁMETROS

PARÁMETROS DEL ENLACE	CARACTERÍSTICAS
Tipo de antena	Direccional integrado
Frecuencia de operación	5150 – 5875 MHz
Polarización	Dual
Ganancia de la antena	19 dBi
Potencia de transmisión	25 dBm
Sensibilidad de recepción	-90 dBm
Pérdida por cable	2dB
Tipo de clima	Factores externos

Fuente: Tabla elaborada por autor

Ya al contar con estos datos primordiales de ambos dispositivos como es la parte principal que es una estación base y de nuestro cliente CPE como se observa en tabla 11 y 12. Con la finalidad de obtener la distancia correspondiente empleamos la herramienta de Google Earth en referencia a los puntos de la antena estación y de la antena cliente.

Cálculo de la pérdida por espacio libre

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 32.44$$

La frecuencia de operación (f_{MHz}) es de 5500 y la distancia que separa cada antena es de 347 metros, convirtiendo a km nos queda 0.347 (d_{km}) entre el punto principal con el punto cliente.

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(0.347_{km}) + 20 \log_{10}(5500_{MHz}) + 32.44$$

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(0.347_{km}) + 20 \log_{10}(5500_{MHz}) + 32.44$$

$$FSPL(dB) = 20 \times (-0.45969) + 20 \times (3.740362) + 32.44$$

$$FSPL(dB) = -9.19 \text{ dB} + 74.8072 \text{ dB} + 32.44 \text{ dB}$$

$$FSPL(dB) = 98.09$$

Al obtener este valor de 98.09 dB que es nuestro valor de pérdida de potencia nos sirve para calcular el Link Budget para calcular el rendimiento de nuestro sistema de comunicación inalámbrica

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) + G_R(dBi) - FSPL(dB) - L_c(dB)$$

$$P_R(dBm) = 25 \text{ (dBm)} + 17 \text{ (dBi)} + 19 \text{ (dBi)} - 98.09 \text{ (dB)} - 2 \text{ (dB)}$$

$$P_R(dBm) = 61 - 98.09 - 2$$

$$P_R(dBm) = -39.09$$

Al obtener el valor de Link Budget, debemos comparar con otros valores de sensibilidad típicas de receptores en comunicación inalámbrica, los resultados van a variar ya que dependen del ancho de banda, MCS y modo.

Cálculo Margen

$$\text{Margin} = P_R(dBm) - \text{Sensibilidad}$$

$$MCS0 @20 \text{ MHz} = -39.09 - (-92.0)$$

$$MCS0 @20 \text{ MHz} = 52.9 \text{ dB}$$

$$MCS7 @20 \text{ MHz} = -39.09 - (-71.0)$$

$$MCS7 @20 \text{ MHz} = 31.91 \text{ dB}$$

$$MCS9 @20 \text{ MHz} = -39.09 - (-65.0)$$

$$MCS9 @20 \text{ MHz} = 25.9 \text{ dB}$$

$$MCS0 @40 \text{ MHz} = -39.09 - (-95.0)$$

$$MCS0 @40 \text{ MHz} = 55.9 \text{ dB}$$

$$MCS7 @40 \text{ MHz} = -39.09 - (-74.0)$$

$$MCS7 @40 \text{ MHz} = 34.9 \text{ dB}$$

$$MCS9 @40 \text{ MHz} = -39.09 - (-68.0)$$

$$MCS9 @40 \text{ MHz} = 28.9 \text{ dB}$$

$$MCS0 @80 \text{ MHz} = -39.09 - (-98.0)$$

$$MCS0 @80 \text{ MHz} = 58.9 \text{ dB}$$

$$MCS7 @80 \text{ MHz} = -39.09 - (-77.0)$$

$$MCS7 @80 \text{ MHz} = 37.9 \text{ dB}$$

$$MCS9 @80 \text{ MHz} = -39.09 - (-71.0)$$

$$MCS9 @80 \text{ MHz} = 31.9 \text{ dB}$$

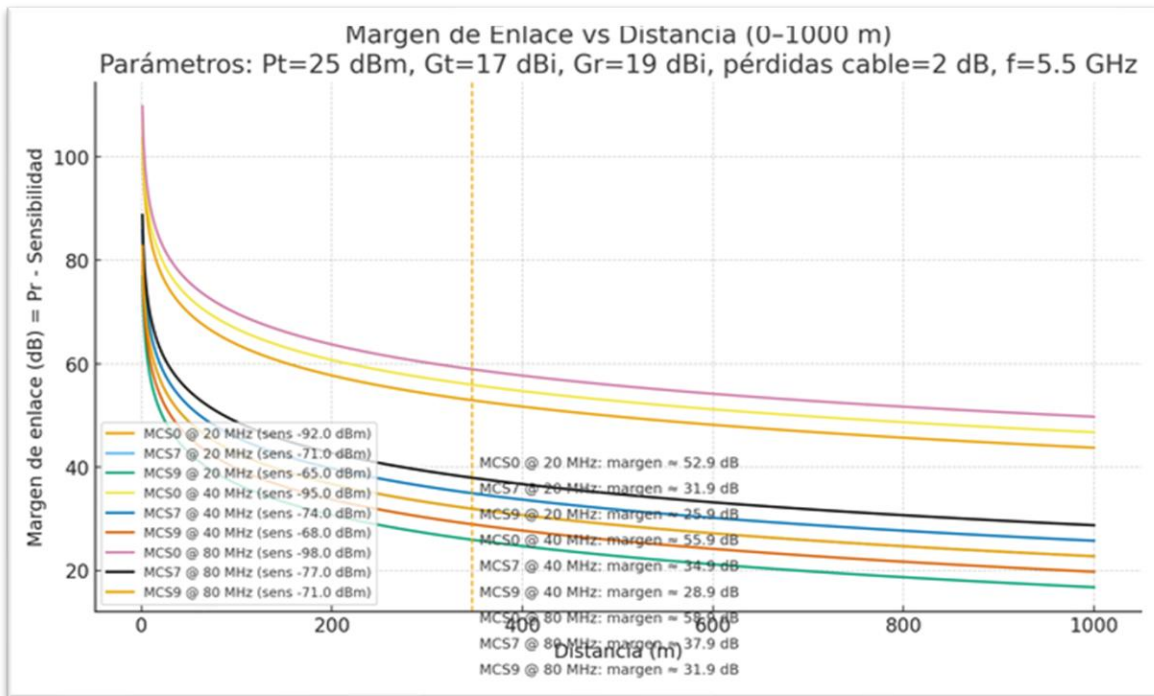


Figura 56. Diagrama de Margen de enlace

Dentro de la gráfica margen de enlace en la MCS9 a 20 MHz nos muestra un valor de aproximadamente 26 dB por lo que nos indica que el enlace es robusto, en los otros casos al cambiar el ancho de canal, la sensibilidad empeora perjudicando un poco.

Ruido térmico

$$NF(dBm) = -174 + 10\log_{10}(B)$$

$$B = 20 \text{ MHz} = 20 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$NF_{20}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(B)$$

$$NF_{20}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(20 \times 10^6)$$

$$NF_{20}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(20,000,000)$$

$$NF_{20}(dBm) = -174 + 73.01$$

$$NF_{20}(dBm) = -100.99$$

$$\mathbf{B = 40\ MHz = 40 \times 20 \times 10^6\ Hz}$$

$$NF_{40}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(B)$$

$$NF_{40}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(40 \times 10^6)$$

$$NF_{40}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(40,000,000)$$

$$NF_{40}(dBm) = -174 + 76.02$$

$$NF_{40}(dBm) = -97.98$$

$$\mathbf{B = 80\ MHz = 20 \times 20 \times 10^6\ Hz}$$

$$NF_{80}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(B)$$

$$NF_{80}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(80 \times 10^6)$$

$$NF_{80}(dBm) = -174 + 10\log_{10}(80,000,000)$$

$$NF_{80}(dBm) = -174 + 79.03$$

$$NF_{80}(dBm) = -94.97$$

Ruido efectivo en el dispositivo receptor

NF = 6 dB

$$RE(dBm) = RF + NF$$

$$RE_{20}(dBm) = -101 + 6$$

$$RE_{20}(dBm) = -95$$

$$RE_{40}(dBm) = -98 + 6$$

$$RE_{40}(dBm) = -92$$

$$RE_{80}(dBm) = -95 + 6$$

$$RE_{80}(dBm) = -89$$

SNR Real

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

Caso 20 MHz

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

$$SNR (dB) = -39.09 - (95)$$

$$SNR (dB) = 55.91$$

Caso 40 MHz

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

$$SNR (dB) = -39.09 - (92)$$

$$SNR (dB) = 52.91$$

Caso 80 MHz

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

$$SNR (dB) = -39.09 - (89)$$

$$SNR (dB) = 49.91$$

Cálculo enlace Laboratorio – Edificio Aulas

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 32.44$$

La frecuencia de operación (f_{MHz}) es de 5500 y la distancia que separa cada antena es de 147metros, convirtiendo a km nos queda 0.147 (d_{km}) entre el punto principal con el punto cliente.

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(0.147_{km}) + 20 \log_{10}(5500_{MHz}) + 32.44$$

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(0.147_{km}) + 20 \log_{10}(5500_{MHz}) + 32.44$$

$$FSPL(dB) = 20 \times (-0.832508) + 20 \times (3.740362) + 32.44$$

$$FSPL(dB) = -16.65 dB + 74.8072 dB + 32.44 dB$$

$$FSPL(dB) = 90.59$$

Al obtener este valor de 90.59 dB que es nuestro valor de pérdida de potencia nos sirve para calcular el Link Budget para tener en cuenta sobre el rendimiento de nuestro sistema de comunicación inalámbrica

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) + G_R(dBi) - FSPL(dB) - L_c(dB)$$

$$P_R(dBm) = 25 (dBm) + 17 (dBi) + 19 (dBi) - 98.09 (dB) - 2 (dB)$$

$$P_R(dBm) = 61 - 90.59 - 2$$

$$P_R(dBm) = -31.6$$

Al obtener el valor de Link Budget, debemos comparar con otros valores de sensibilidad típicas de receptores en comunicación inalámbrica, los resultados van a variar ya que dependen del ancho de banda, MCS y modo.

Cálculo del margen

$$\text{Margin} = P_R(dBm) - \text{Sensibilidad}$$

$$MCS0 @20 MHz = -31.6 - (-92.0)$$

$$MCS0 @20 MHz = 60.4dB$$

$$MCS7 @20 MHz = -31.6 - (-71.0)$$

$$MCS7 @20 MHz = 39.4 dB$$

$$MCS9 @20 MHz = -31.6 - (-65.0)$$

$$MCS9 @20 MHz = 33.4 dB$$

$$MCS0 @40 MHz = -31.6 - (-95.0)$$

$$MCS0 @40 MHz = 63.4 dB$$

$$MCS7 @40 MHz = -31.6 - (-74.0)$$

$$MCS7 @40 MHz = 42.4 dB$$

$$MCS9 @40 MHz = -31.6 - (-68.0)$$

$$MCS9 @40 MHz = 36.4 dB$$

$$MCS0 @80 MHz = -31.6 - (-98.0)$$

$$MCS0 @80 MHz = 66.4 dB$$

$$MCS7 @80 MHz = -31.6 - (-77.0)$$

$$MCS7 @80 MHz = 45.4 dB$$

$$MCS9 @80 MHz = -31.6 - (-71.0)$$

$$MCS9 @80 MHz = 39.4 dB$$

SNR Real

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

Caso 20 MHz

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

$$SNR (dB) = -31.06 - (95)$$

$$SNR (dB) = 63.94$$

Caso 40 MHz

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

$$SNR (dB) = -31.06 - (92)$$

$$SNR (dB) = 60.94$$

Caso 80 MHz

$$SNR (dB) = P_R(dBm) - NF$$

$$SNR (dB) = -31.06 - (89)$$

$$SNR (dB) = 57.94$$

CONCLUSIONES

- La arquitectura implementada demostró que la integración entre la infraestructura de fibra óptica existente y un enlace inalámbrico backhaul basado en Wi-Fi 5 es técnicamente viable, garantizando estabilidad operativa y continuidad en el transporte de datos dentro del campus universitario.
- Las pruebas de campo y simulación evidenciaron que los dispositivos Ubiquiti con estándar Wi-Fi 5 ofrecen niveles de rendimiento adecuados para un entorno académico, alcanzando una relación óptima entre capacidad de transmisión, cobertura y calidad de servicio, incluso bajo escenarios de carga moderada.
- El análisis del diseño físico-lógico confirmó que factores como alineación, altura, canalización y potencia de transmisión influyen directamente en parámetros de la calidad de servicio, como latencia, jitter y rendimiento, demostrando que una planificación adecuada mejora significativamente la confiabilidad del enlace backhaul.
- El procedimiento metodológico permitió realizar mediciones reproducibles y comparables entre simulaciones y pruebas reales. Esto facilitó la validación del comportamiento del enlace y demostró la importancia de combinar herramientas de software con evaluaciones en campo para obtener resultados consistentes.
- Los puntos de acceso AC Mesh integrados al backhaul proporcionaron una cobertura efectiva y estable, cumpliendo con los criterios de calidad de servicio establecidos. Su implementación permitió ampliar el alcance de la red sin afectar la estabilidad del sistema híbrido fibra-inalámbrico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ajustar periódicamente parámetros como ancho de canal, potencia de transmisión y selección de frecuencia, con el fin de evitar interferencias y mantener la eficiencia del enlace en ambientes donde la densidad de dispositivos inalámbricos puede variar.
- Para garantizar la disponibilidad de la red, es conveniente integrar herramientas de monitoreo continuo (SNMP, gráficos de tráfico, alertas de latencia) que permitan anticipar fallos, degradación del servicio o posibles saturaciones del enlace inalámbrico.
- Es recomendable establecer un programa de mantenimiento conjunto para la infraestructura de fibra óptica y los equipos Ubiquiti Wi-Fi 5, con el fin de asegurar estabilidad operativa, prevenir pérdidas por deterioro físico y mantener alineados los equipos de transmisión.
- El protocolo diseñado puede emplearse como guía para futuras implementaciones o ampliaciones del sistema backhaul. Se sugiere documentar sus resultados periódicamente para generar una base de datos comparativa que respalde mejoras continuas.
- Dado el crecimiento de la demanda de ancho de banda en entornos universitarios, se recomienda planificar una transición gradual hacia tecnologías más recientes, como Wi-Fi 6 o Wi-Fi 6E, que permiten mayor eficiencia espectral, menor latencia y mejor manejo de alta densidad de usuarios.

REFERENCIAS

- [1] «VIAVI Solutions,» [En línea]. Available: <https://www.viavisolutions.com/es-es/literature/fibra-optica-en-redes-5g-es-documentos-tecnicos-y-bibliografia-es.pdf>.
- [2] CORDIS, 2020. [En línea]. Available: <https://cordis.europa.eu/article/id/250854-fibres-weave-their-threads-in-5g-wireless/es>.
- [3] GSMA, enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2021/02/wireless-backhaul-spectrum-positions-spanish.pdf>.
- [4] M. Joindot, «Sistemas y redes de transporte de fibra óptica,» researchGate.
- [5] «telefonica.com,» 9 abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/tipos-fibra-optica/>.
- [6] «FiberMall,» 6 septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.fibermall.com/es/blog/single-mode-and-multi-mode-fiber.htm>.
- [7] «abcxperts,» [En línea]. Available: <https://abcxperts.com/docs/que-es-un-enlace-backhaul/?srsId=AfmBOor6p5HblfPepwLj0mbegdKZqrVPVordAPXDj7HqqElr4h06xX>.
- [8] «VIAVI,» [En línea]. Available: <https://www.viavisolutions.com/es-es/soluciones/backhaul>.
- [9] J. Garzón, «ResearchGate,» junio 2014. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/322701876_Analysis_Of_The_Feasibility_Of_Wireless_Backhaul_Technology_Implementation_In_Colombian_Rural_Areas.
- [10] W. S. Sarango Espinosa, «Implementación de enlaces backhaul para backbone de wisp mediante el uso del sistema operativo routers,» Quito, 2011.
- [11] «wray castle,» 16 septiembre 2024. [En línea]. Available: https://wraycastle.com/es/blogs/glossary/what-is-hybrid-5g-architecture?srsId=AfmBOopl5NfZ1Ajl1WPqu_VU5HuYmKAw7c0W7IDcfrPWLZYiQ1dv4LF1.
- [12] M. A. Montaña Argote y C. L. Cortés, «Revista UIS Ingenierías,» 24 abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365006/html/>.
- [13] G. Letelier Buscaglia, «Diseño y configuración de un backhaul inalámbrico para largas distancias y alto rendimiento».

- [14] U. Inc., «SYSCOM,» [En línea]. Available: <https://www.syscom.mx/producto/UDB-PRO-Ubiquiti-Inc-239536.html>.
- [15] U. Inc., «Inter Project,» [En línea]. Available: <https://interprojekt.pl/es/p/ubiquiti-udb-pro-sector.html>.
- [16] U. Inc., «Tienda Oficial UI.,» [En línea]. Available: <https://store.ui.com/us/en/products/udm-pro>.
- [17] U. Inc., «Tienda Oficial UI.,» UniFi Access Ethernet Repeater (UACC-AE), [En línea]. Available: <https://store.ui.com/us/en/category/accessories-cables-dacs/collections/accessories-ethernet-repeater/products/uacc-ae>.
- [18] TP-Link, «SYSCOM,» [En línea]. Available: <https://www.syscom.mx/producto/TLSM311LM-TP-LINK-141344.html>.
- [19] «Ve2dbe.com,» 2 diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.ve2dbe.com/english1.html>.
- [20] B. Harmon, «GitHub Pages,» [En línea]. Available: https://baharmon-github-io.translate.goog/intro-to-qgis?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc.
- [21] S. De Luz, «Redes Zone,» 25 mayo 2025. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/iperf3-medir-velocidad-lan-wifi-internet/>.
- [22] Zabbix, «Zabbix,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.zabbix.com/documentation/4.0/es/manual/introduction/features>.