



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS
Y DE ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS

**“Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH en la
Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope - Zona caserío Pañalá -
Lambayeque”**

**Presentado para obtener el Título Profesional de
Ingeniero de Sistemas**

Autores:

Bach. Copia Guerrero, Harold Felipe

Bach. Zeña Valdera, Jose David

Asesor:

MSC. Ing. Muñoz Zambrano, Arquimedes Jesus

Lambayeque –Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS
Y DE ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS

**“Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH en la
Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope - Zona caserío Pañalá -
Lambayeque”**

**Presentado para obtener el Título Profesional de
Ingeniero de Sistemas**

Presentado por:

Bach. Harold Felipe Copia Guerrero

Autor

Bach. Jose David Zeña Valdera

Autor

MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano

Asesor

Lambayeque – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS
Y DE ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS

**“Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH en la
Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope - Zona caserío Pañalá -
Lambayeque”**

**Presentado para obtener el Título Profesional de
Ingeniero de Sistemas**

MIEMBROS DEL JURADO:

Dr. Ing. Edward Ronald Haro Maldonado
Presidente

Dr. Ing. Juan Villegas Cubas
Secretario

MSc. Ing. Roberto Carlos Arteaga Lora
Vocal

Lambayeque – Perú
2026

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA UNIDAD
DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 607-2025-UI-FICSA



Siendo las 12:30 pm horas del día 3 de octubre del 2025, se reunieron de manera presencial los miembros de jurado de la tesis titulada: **“PROPUESTA DE DISEÑO DE ENLACE INALÁMBRICO Y UNA RED MESH EN LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN PEDRO DE MÓRROPE - ZONA CASERÍO PAÑALÁ - LAMBAYEQUE”** con código N° IS_V_2024_034, designado por Resolución Decanal N° 383-2025-UNPRG-FICSA con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

DR. ING. EDWARD RONALD HARO MALDONADO	PRESIDENTE
DR. ING. JUAN ELIAS VILLEGAS CUBAS	SECRETARIO
MSC. ING. ROBERTO CARLOS ARTEAGA LORA	VOCAL

Asesorado por MSC. ING. ARQUIMEDES JESUS MUÑOZ ZAMBRANO.

El acto de sustentación fue autorizado por OFICIO VIRTUAL N° 219-2025-UIFICSA, la tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: **HAROLD FELIPE COPIA GUERRERO Y JOSE DAVID ZEÑA VALDERA**, tuvo una duración de 60 minutos. Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva:

	NUMERO	LETRAS	CALIFICATIVO
HAROLD FELIPE COPIA GUERRERO	<u>17</u>	<u>DIECISIETE</u>	<u>BUENO</u>
JOSE DAVID ZEÑA VALDERA	<u>17</u>	<u>DIECISIETE</u>	<u>BUENO</u>

Por lo que quedan **APTOS** para obtener el Título Profesional de **INGENIERO DE SISTEMAS** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Civil De Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:30 Se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. EDWARD RONALD HARO MALDONADO
PRESIDENTE

DR. ING. JUAN ELIAS VILLEGAS CUBAS
SECRETARIO

MSC. ING. ROBERTO CARLOS ARTEAGA LORA
VOCAL

MSC. ING. ARQUIMEDES JESUS MUÑOZ ZAMBRANO
ASESOR

JHFF/bcm



Constancia de verificación de originalidad

Yo; **MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano**, usuario revisor de Tesis ☒

Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ y/o Trabajo Académico ☐

Titulado: **“Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope - Zona caserío Pañalá - Lambayeque”**.

Cuyos autores son: **Bach. Harold Felipe Copia Guerrero**; con DNI N° 47099964 y **Bach. Jose David Zeña Valdera**; con DNI N° 44905393; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud **10%**, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito (a) analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos, se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 03 de octubre de 2025.



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano

DNI: 16766270

Asesor

Se adjunta:
Resumen del Reporte (Con porcentaje y parámetros de configuración)
Recibo digital.

Turnitin

Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope - Zona caserío Pañalá -Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
3	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1 %
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
6	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
7	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
9	Submitted to Universidad Nacional de Huancavelica Trabajo del estudiante	<1 %

www.kelkoo.es



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano

DNI: 16766270

Asesor

10	Fuente de Internet	<1 %
11	www.tp-link.com Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
13	www.gsma.com Fuente de Internet	<1 %
14	hilelectronic.com Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
18	www.incagro.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to London School of Economics and Political Science Trabajo del estudiante	<1 %
20	docshare.tips Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	J.J. García-Medina, M. del-Rio-Vellosillo, A. Palazón-Cabanes, M. Tudela-Molino et al. "Maapeo de los cambios de grosor en el	<1 %



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano

DNI: 16766270

Asesor

glaucoma de las capas retinianas maculares segmentadas usando el programa de polo posterior de la tomografía de coherencia óptica de dominio espectral", Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología, 2018

Publicación

23	forum.huawei.com	<1 %
	Fuente de Internet	
24	journalindustrial.com	<1 %
	Fuente de Internet	
25	Submitted to Escuela Politecnica Nacional	<1 %
	Trabajo del estudiante	
26	Submitted to Middle East College	<1 %
	Trabajo del estudiante	
27	Submitted to University of Central Florida	<1 %
	Trabajo del estudiante	
28	repositorio.unprg.edu.pe:8080	<1 %
	Fuente de Internet	
29	voltio.ujaen.es	<1 %
	Fuente de Internet	
30	www.grafiati.com	<1 %
	Fuente de Internet	
31	notesread.com	<1 %
	Fuente de Internet	
32	www.colombiadigital.net	<1 %
	Fuente de Internet	
33	www.researchgate.net	<1 %
	Fuente de Internet	



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano

DNI: 16766270

Asesor

34	Melian Batista, Maria Belen. "Optimizacion Metaheuristica Para La Planificacion De Redes WDM", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2021 Publicación	<1 %
35	dspace.vspu.edu.ua Fuente de Internet	<1 %
36	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
37	pdfs.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1 %
38	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
40	Daniel Ulises Campos Delgado, Carlos A. Gutierrez, Oscar Caicedo. "5G and Beyond: Past, Present and Future of the Mobile Communications", IEEE Latin America Transactions, 2021 Publicación	<1 %
41	Palomeque, Manuel Muñoz. "Modelo de asociación entre factores de satisfacción estudiantil y lealtad universitaria validado en alumnos graduandos de las universidades adventistas de habla hispana de la División Interamericana", Universidad de Montemorelos (Mexico), 2023 Publicación	<1 %
42	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano
DNI: 16766270
Asesor

43	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
44	renatiga.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	www.jepssen.es Fuente de Internet	<1 %
48	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 36 (2020) (VOLUME I)", Brill, 2022 Publicación	<1 %
49	Jayshri Kulkarni, Chow-Yen-Desmond Sim, Jawad Yaseen Siddiqui, Anisha M. Apte, Ajay Kumar Poddar, Ulrich L. Rohde. "Multifunctional and Multiband Planar Antennas for Emerging Wireless Applications", CRC Press, 2023 Publicación	<1 %
50	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
51	canariaswireless.net Fuente de Internet	<1 %
52	journals.copmadrid.org Fuente de Internet	<1 %
53	moam.info Fuente de Internet	<1 %



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano

DNI: 16766270

Asesor

54	repositorio.escuelamilitar.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	www.adslzone.net Fuente de Internet	<1 %
57	www.campustudionline.com Fuente de Internet	<1 %
58	www.profesionalreview.com Fuente de Internet	<1 %
59	larepublica.terra.co.cr Fuente de Internet	<1 %
60	repositorio.uisrael.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

☐ Excluir citas ☐ Activo ☐ Excluir coincidencias ☐ Apagado
☐ Excluir bibliografía ☐ Activo



MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano
DNI: 16766270
Asesor

Recibo digital



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Harold Felipe Copia Guerrero - Jose David Zeña Valdera
Título del ejercicio:	Reporte
Título de la entrega:	Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH e...
Nombre del archivo:	TESIS_4.docx
Tamaño del archivo:	4.04M
Total páginas:	91
Total de palabras:	12,692
Total de caracteres:	75,372
Fecha de entrega:	24-feb-2026 11:08a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2887356575

	UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS	
TESIS		
"Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una Red MESH en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope - Zona caserio Paballá - Lambayeque"		
Presentado para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas		
Autores: Rach. Copia Guerrero, Harold Felipe Rach. Zeña Valdera, Jose David		
Asesor: MSc. Ing. Muñoz Zambrano, Arquimedes Jesus		
Lambayeque - Perú 2026		

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

MSc. Ing. Arquimedes Jesus Muñoz Zambrano
DNI: 16766270
Asesor

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado en primer lugar a mis padres por el esfuerzo que ayudo a contribuir en todo este proceso de mi vida universitaria, permitiéndome demostrar y desarrollarme como profesional, a mi hermano por el apoyo moral e incondicional que me ha brindado, que gracias a cada consejo sumo a tomar conciencia e impulso de cada acción que realice para lograr mi meta.

Harol Copia Guerrero

La presente tesis de grado realizada con todo el esmero, dedicación y amor se la dedico a mis padres, hermano/as e hijas; que son el motor y motivo de cada día para seguir construyendo un mundo mejor; por brindarme su apoyo, comprensión y por esos ánimos en los momentos cuando ya se sentía desfallecer, por inculcar en mis sus valores los cuales han sido muy importante en mi para llegar aquí y decir que soy un ente para servir y ser útil a la sociedad desde lo más humilde pero siempre con ese carisma que nos identifica como ser humano y profesional.

David Zeña Valdera

Agradecimiento

Durante estos meses son muchas las personas que han participado en este trabajo y a quienes quiero expresar mi gratitud por la colaboración y la confianza que me han prestado de forma desinteresada. Terminarla no hubiera sido posible sin el apoyo y aliento de muchas personas que me gustaría mencionar aquí.

En primer lugar, agradecer a vuestro Dios por regalarnos la vida y salud, luego expresar mi gratitud al Ing. Arquímedes Jesús Muñoz Zambrano, Asesor de esta tesis por su confianza en nosotros, sus contribuciones y su plena colaboración en el desarrollo de este trabajo. Por las numerosas y edificantes discusiones que hemos mantenido y su cuidadosa lectura de las sucesivas versiones de esta memoria.

No puedo olvidar a mis compañeros y amigos con los cuales he compartido ideales e incontables horas de trabajo. Gracias por los buenos y malos momentos.

A nuestros padres por todo su apoyo y confianza que depositaron en nosotros, quienes fueron los autores para que nuestras metas lleguen a hacerse una dulce realidad en la cual no solo nuestros sueños se hallan realizados sino también los de ellos.

Los autores.

Índice

Constancia de verificación.....	v
Turnitin	vi
Recibo digital.....	xii
Dedicatoria.....	xiii
Agradecimiento	xiv
Índice	xv
Índice figura.....	xvii
Índice Tabla	xviii
Resumen	xix
Abstract.....	xx
Introducción.....	21
Capítulo I: Diseño Teórico.....	24
1.1. Antecedentes.....	24
1.1.1. Experiencias Internacionales	24
1.1.2. Experiencias nacionales.....	25
1.2. Bases Teóricas.....	25
1.2.1. Redes Mesh	25
1.2.2. Redes inalámbricas: OFDM y OFDMA.....	31
1.2.3. Zonas de Fresnel en Redes inalámbricas	35
1.2.4. Bases conceptuales	38
Capítulo II: Diseño Metodológico	40
2.1. Operacionalización de Variables.....	40
2.2. Tabla de operacionalización de variables	42
2.3. Población y muestra.....	43
2.4. Métodos y técnicas de recolección de datos	45
2.5. Contrastación de Hipótesis	47
2.5.1. Hipótesis planteada.....	48
2.5.2. Contrastación por objetivos específicos	49
2.5.3. Conclusión de la contrastación	50
Capítulo III: Resultados y análisis del sistema de telecomunicaciones.....	52
3.1. Introducción	52
3.2. Resultados de simulación del enlace punto a punto	52

3.3.	Resultados de simulación de la red Wi-Fi 6.....	55
3.4.	Relación de equipos para la implementación.....	58
3.5.	Integración de resultados	59
3.6.	Discusión de resultados	59
3.7.	Conclusiones parciales del capítulo	60
3.8.	Iniciativa de implementación.....	60
3.9.	Resultados de la implementación del enlace PTP	61
3.10.	Resultados de la implementación de la red Meh Wi-Fi 6	62
3.11.	Evaluación de la experiencia de usuario.	63
3.12.	Discusión comparativa entre simulación e implementación.	63
3.13.	Figuras del equipo Mimosa y pruebas de campo	63
Capítulo IV: Discusión		71
4.1.	introducción	71
4.2.	Discusión de resultados globales	71
4.3.	Contrastación final de hipótesis	72
Conclusiones.....		74
Recomendaciones		75
Líneas de investigación futura.....		76
Bibliografía Referencias		77
Anexos.....		79

Índice figura

Figura 1: Topología de red en malla o Redes Mesh	26
Figura 2: Red Wi-Fi y Red MESH	26
Figura 3: Propagación de la señal y los parámetros de Fresnel.....	36
Figura 4: Perfil del enlace PTP, Base Mórrope – Remoto caserío Pañalá.....	53
Figura 5: Perfil del enlace con Zona de Fresnel y curvatura terrestre, que es para enlaces mayores a 10Km	54
Figura 6: Disponibilidad proyectada del enlace.	54
Figura 7: Equipos propuestos para el diseño del enlace.....	55
Figura 8: Mapa de calor correspondiente a la banda de 2.4GHz, en el cual se observa una cobertura prácticamente total del área con niveles de señal iguales o superiores a -65dBm.....	56
Figura 9: Mapa de calor de cobertura Wi-Fi 6 en 5.5GHZ.....	57
Figura 10: Mapa de calor de cobertura Wi-Fi de 6GHz contorno de -65dBm	57
Figura 11: Niveles de señal del enlace PTP.....	63
Figura 12: Disponibilidad del enlace por extremo	64
Figura 13: RSSI: simulación vs medición	64
Figura 14: Mediciones del Throughput	65
Figura 15: Valores de a latencia en sistema simulado y el implementado	65
Figura 16: Velocidad de descarga por medición.....	66
Figura 17: Velocidad de carga según grupo horario	66
Figura 18: Variación de la latencia o ping según horario de transmisión medido.....	67
Figura 19: Traceroute latencia promedio por salto.....	67
Figura 20: En el enlace existes parámetros promedio y máximo en RTT.....	68
Figura 21: Espectro de radio. Base Mórrope.....	68
Figura 22: Disponibilidad /Dashboard del enlace en BASE Mórrope	69
Figura 23: Disponibilidad /Dashboard punto remoto Pañalá	69
Figura 24: Lectura de valores DSCP a clase de servicio QoS	70

Índice Tabla

Tabla 1: Comparación de Tres Tecnologías Wi-Fi	30
Tabla 2: Tabla de operacionalización de variables	42
Tabla 3: Contrastación de objetivos específicos e hipótesis.....	50
Tabla 4: Resultados de la simulación	55
Tabla 5: Cobertura alcanzada a -65dBm en cada escenario simulado.....	58
Tabla 6: Relación de equipos requeridos para el sistema de telecomunicaciones.....	59
Tabla 7: Comparación entre simulación y mediciones reales.....	61
Tabla 8: Resultados de las mediciones en campo y disponibilidad de enlace.....	62
Tabla 9: Lectura de la gráfica de señal WiFi con la red Mesh.....	62
Tabla 10: Comparación entre cobertura simulada y mediciones en campo	72

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue diseñar y simular una solución híbrida de conectividad para el caserío de Pañalá, en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope (Lambayeque), con el fin de reducir la brecha digital y garantizar acceso a servicios de telecomunicaciones. La propuesta se sustentó en la hipótesis de que el diseño y simulación de un enlace inalámbrico punto a punto (PTP) Mórrope–Pañalá, complementado con una red Mesh Wi-Fi 6 para la distribución local, permite cubrir de forma eficiente y estable la demanda de banda ancha de la zona.

La metodología fue cuantitativa, descriptiva y no experimental. Se realizaron simulaciones con software especializado (LINKPlanner), con cálculos de zona de Fresnel, corrección por curvatura terrestre y pérdidas en espacio libre, determinando alturas óptimas de antenas y la viabilidad del PTP. Para la red Mesh se ejecutó un diseño predictivo de cobertura mediante un mapa de calor radioeléctrico generado en Python (modelo de propagación y umbrales RSSI), que permitió ubicar nodos, estimar niveles de señal (aprox. -30 a -80 dBm) y delimitar el área de servicio ($\sim 2\,000$ m²). De manera complementaria, se desarrolló una implementación piloto y pruebas de campo para contrastar las predicciones.

Los resultados de la simulación confirmaron niveles óptimos de señal, baja latencia y capacidad suficiente para servicios digitales, mientras que las mediciones de campo validaron el ajuste del mapa de calor y la estabilidad de la red. Se concluye que el diseño y la simulación propuestos constituyen una alternativa replicable y sostenible para comunidades rurales con características similares, con impacto en educación, salud y economía local.

Palabras clave: Diseño de red, simulación, mapa de calor, enlace punto a punto, red Mesh, Wi-Fi 6, telecomunicaciones rurales.

Abstract

The objective of this research was to design and simulate a hybrid connectivity solution for the village of Pañalá, located in the San Pedro de Mórrope Rural Community (Lambayeque, Peru), with the purpose of reducing the digital divide and ensuring access to quality telecommunications services. The study was based on the hypothesis that the design and simulation of a point-to-point (PTP) wireless link between Mórrope and Pañalá, combined with a Wi-Fi 6 Mesh network for local distribution, can efficiently and reliably meet the broadband service demand in rural areas.

The methodology followed a quantitative, descriptive, and non-experimental approach. Technical simulations were carried out using specialized software (LINKPlanner), including Fresnel zone calculations, Earth curvature correction, and free-space path loss estimation, in order to determine the optimal antenna heights and the technical feasibility of the PTP link. For the Mesh network, a predictive coverage design was performed using a radiofrequency heatmap generated in Python, which made it possible to determine the placement of nodes, estimate signal levels (ranging approximately from -30 to -80 dBm), and define the effective service area ($\sim 2,000$ m²). Additionally, a pilot implementation and field measurements were conducted to contrast the simulation results with real performance.

The findings confirmed that the proposed design and simulation provide optimal signal levels, low latency, and sufficient capacity to support digital services. Field validations reinforced the accuracy of the predictive heatmap and the stability of the network. It is concluded that this proposal represents a replicable and sustainable alternative for rural communities with similar conditions, with positive impacts on education, health, and local economic development.

Keywords: network design, simulation, heatmap, point-to-point link, Mesh network, Wi-Fi 6, rural telecommunications.

Introducción

En la actualidad, la conectividad digital constituye una herramienta fundamental para el desarrollo integral de las comunidades. En el caso de las zonas rurales, disponer de acceso a internet de calidad permite el fortalecimiento de la educación virtual, la atención en salud, la inclusión financiera y la comunicación con el entorno global. No obstante, estas comunidades suelen permanecer marginadas debido a la ausencia de infraestructura tecnológica, lo que profundiza la brecha digital y limita sus oportunidades de desarrollo.

El caserío de Pañalá, en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope, es un ejemplo de esta situación. Hasta antes de esta investigación no contaba con servicios de telecomunicaciones, por lo que se propuso como hipótesis y objetivo general el diseño y simulación de un enlace inalámbrico punto a punto (PTP) y de una red Mesh Wi-Fi 6 que satisficieran las demandas de conectividad local, cumpliendo con estándares internacionales de cobertura, velocidad y estabilidad.

En el planteamiento inicial se consideró un enlace desde Lambayeque hacia Mórrope y de ahí a Pañalá. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto se instaló fibra óptica en Mórrope, lo que permitió optimizar el diseño, limitando el enlace PTP al tramo Mórrope–Pañalá. Para reforzar la viabilidad del modelo, se complementó la simulación con pruebas de campo y una implementación parcial de la red Mesh, lo que permitió validar los cálculos y estimaciones obtenidos mediante software de planificación.

La investigación confirma que las redes Mesh basadas en Wi-Fi 6, combinadas con enlaces PTP en la banda de 5.8 GHz, constituyen una alternativa viable para dotar de conectividad de calidad a zonas rurales, y que la experiencia de Pañalá puede servir como referencia para proyectos similares en comunidades de características equivalentes

Frente a esta problemática se planteó la siguiente hipótesis:

“Propuesta de diseño de enlace inalámbrico y una red Mesh en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope-Zona caserío de Pañalá-Distrito de Mórrope – Lambayeque”

En este marco, se definieron los siguientes objetivos:

- **Objetivo general:**

Diseñar y simular un sistema de telecomunicaciones con red Mesh en el caserío de Pañalá, Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope.

- **Objetivos específicos:**

1. Diseñar el enlace inalámbrico punto a punto entre la ciudad de Lambayeque -Mórrope - Pañalá, considerando el perfil del terreno y cumpliendo los estándares IEEE 802.11.
2. Simular la red inalámbrica Mesh con tecnología Wi-Fi 6 en el caserío de Pañalá
3. Determinar los requerimientos técnicos de los equipos necesarios para la implementación de acuerdo con el diseño planteado.

Cada uno de estos objetivos fue alcanzado, adaptando el primero de ellos a la nueva realidad tecnológica local, lo que demuestra la flexibilidad y pertinencia del proyecto frente a cambios en el entorno.

Finalmente, la presente tesis se organiza en cinco capítulos:

- Capítulo I: Antecedentes, bases teóricas y fundamentos conceptuales.

- Capítulo II: Diseño metodológico, operacionalización de variables, población y muestra.
- Capítulo III: Simulación del sistema de telecomunicaciones, resultados preliminares y análisis técnico.
- Capítulo IV: Resultados y análisis del sistema en relación con la validación práctica y mediciones complementarias.
- Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones orientadas a la réplica del diseño en otras comunidades.

Capítulo I: Diseño Teórico

1.1. Antecedentes

Se presentan los antecedentes nacionales e internacionales sobre red mesh

1.1.1. Experiencias Internacionales

Guifi.net (España): Según Bellalta (2016), Guifi.net se ha consolidado como una de las redes inalámbricas comunitarias más extensas globalmente, destacándose especialmente en las áreas rurales de Cataluña al brindar conexiones efectivas a miles de usuarios en zonas de difícil acceso.

Zenzeleni (Sudáfrica): De acuerdo con Qualcomm (2019), Zenzeleni es un exitoso ejemplo de red inalámbrica gestionada directamente por comunidades rurales en Sudáfrica, destacándose por su sostenibilidad técnica y económica.

Altermesh (Argentina): Altermesh, como lo describe Cisco (2018), es una iniciativa argentina que aprovecha las redes inalámbricas de tipo mesh para mejorar la conectividad en comunidades rurales, proporcionando acceso a diversos servicios digitales esenciales.

Lara C, Alcides (2016) (Ecuador): Lara (2016) realizó un estudio comparativo sobre el desempeño en enlaces inalámbricos descendentes basados en los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11n y WDS (WirelessmDistribution Systems) en distintos escenarios con obstáculos físicos, concluyendo que IEEE 802.11n mostró la mayor eficiencia.

1.1.2. Experiencias nacionales

Parra, F (2022): Según Parra, el estándar inalámbrico IEEE 802.11 ax ha superado un avance considerable al aumentar notablemente la capacidad de transmisión, reducir la latencia y mejorar la eficiencia en entornos con alta cantidad de dispositivos, especialmente útil en aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) e industria 4.0.

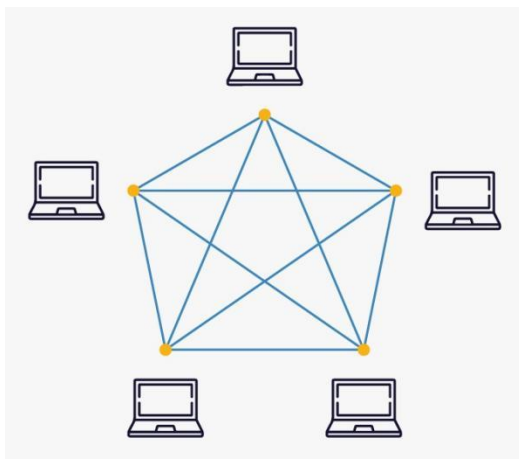
Choque, D (2022): Desarrolló un diseño de red inalámbrico mesh para mejorar la conectividad en un hotel ubicado en Tacna, demostrando ser efectivo al alcanzar mejoras sustanciales en términos de calidad, fiabilidad y disponibilidad del servicio.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Redes Mesh

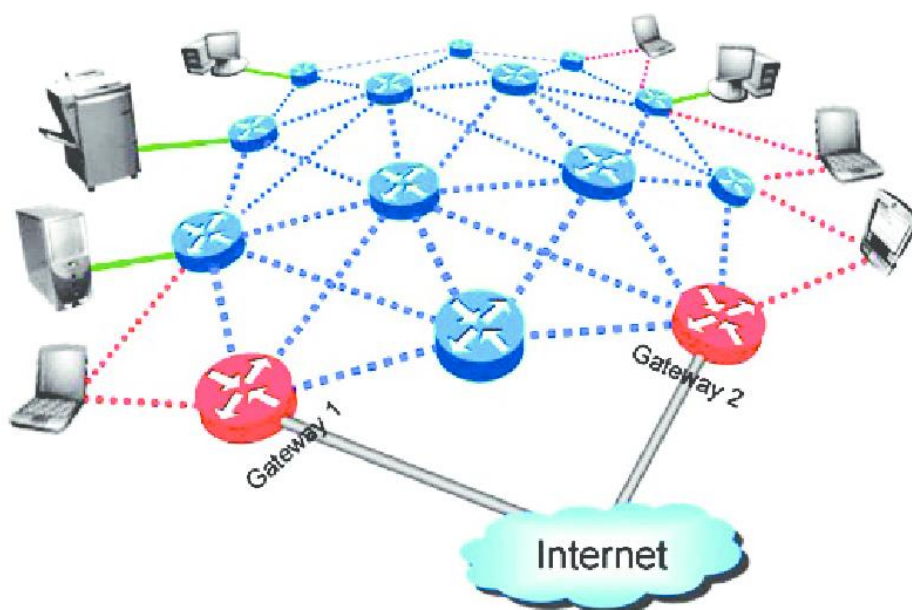
Las redes mesh, también conocidas como redes de malla, son un tipo de arquitectura de red en la que los nodos se interconectan entre sí para formar una red descentralizada. A diferencia de las redes tradicionales, que dependen de un punto de acceso central, en una red mesh cada nodo actúa como un transmisor y receptor, permitiendo que la información fluya a través de múltiples rutas. Esto los hace resilientes y escalables.

Figura 1:
Topología de red en malla o Redes Mesh



Elaboración propia. (2025)..

Figura 2:
Red Wi-Fi y Red MESH



Nota, “Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de telemedicina”. subida por Carlos Solano Garzon

Una red Mesh es una topología de red local en la que los nodos de infraestructura se conectan directamente de forma dinámica y no jerárquica

a otros nodos que cooperan entre sí para encaminar la transmisión de datos de manera eficiente de usuario a usuario.

En las redes malladas o mesh, es habitual que los nodos cuenten con un canal dedicado exclusivamente a la comunicación entre dispositivos, denominado canal de backhaul. Esta arquitectura permite separar el tráfico interno del tráfico de acceso de los usuarios, lo que reduce significativamente la congestión y mejora el rendimiento de la red (Kurose & Ross, 2021). Este tipo de diseño resulta particularmente útil en entornos con múltiples dispositivos conectados simultáneamente, como redes domésticas modernas o infraestructuras comunitarias rurales.

La operación de los nodos de la red mesh es que estos retransmiten los mensajes entre ellos y al router principal, formando la red mesh. Esto permite que la señal se transmita y se extienda el espectro sobre un área amplia, sin dejar espacios sin cobertura de la señal

Ventajas:

- **Cobertura Continua:** Asegura una cobertura continua y sin zonas muertas en el área a cubrir por la red inalámbrica.
- **Adaptabilidad:** Se adapta inteligentemente para encaminar la señal a través del camino óptimo, reduciendo interferencias y manteniendo una conexión estable.
- **Mayor Capacidad:** Distribuye la carga de dispositivos entre los nodos para evitar congestiones en la red y mejorar la velocidad.

Aplicación de Redes Mesh en Tecnología Linksys

Las tecnologías Wi-Fi desarrolladas por Linksys, como su sistema Velop basado en arquitectura mesh, permiten una distribución uniforme de la señal, minimizando zonas muertas y mejorando el rendimiento global de la red doméstica o institucional (Linksys, 2021; Akyildiz, Wang, & Wang, 2005).

Estándares Wi-Fi para redes mesh

Estándar 802.11ac (Wi-Fi 5) Perteneciente a IEEE, conocida como Wi-Fi 5ac, es una mejora significativa respecto a versiones anteriores de Wi-Fi.

1. **Velocidades máximas más rápidas:** Con este estándar se consiguen tasas de transferencia de hasta 3.5 Gbps, superando significativamente a las versiones anteriores.
2. **Uso de la banda de 5 GHz:** Opera principalmente en la banda de 5 GHz, que es menos congestionada que la banda de 2.4 GHz, permitiendo una transmisión de datos más rápida y con menos interferencias.
3. **Anchos de canal más amplios:** Soporta anchos de canal de hasta 160 MHz, lo que permite una mayor capacidad de transmisión de datos.
4. **Tecnología MU-MIMO:** Permite la comunicación simultánea con múltiples dispositivos, mejorando la eficiencia y el rendimiento de la red.
5. **Beamforming mejorado:** Esta técnica direcciona las señales directamente hacia los dispositivos conectados en línea recta, proporcionando una mejor cobertura y rendimiento.

6. **Compatibilidad con versiones anteriores:** El soporte para dispositivos que utilizan los estándares 802.11a/b/g/n, facilita mucho a este estándar.
7. **Mejor eficiencia energética:** Reduce el consumo de energía en dispositivos móviles, lo que es beneficioso para la duración de la batería en dispositivos portátiles.¹

Estándar 802.11ax (Wi-Fi 6).

1. **Velocidad máxima:** Wi-Fi 6 tiene una velocidad máxima de hasta 9,6 Gbps.
2. **OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal):** Permite que Múltiples usuarios compartan el mismo canal al mismo tiempo, aumentando relativamente la eficiencia de transmisión de datos.
3. **MU-MIMO (Multi- usuario -Múltiples entradas múltiples salidas de Usuarios):** Permite a un Punto de Acceso transmitir datos simultáneamente a múltiples usuarios, mejorando la capacidad total de la red.
4. **Compatibilidad hacia atrás:** Wi-Fi 6 es compatible con dispositivos 802.11 a/b/g/n/ac
5. **Operación de Doble Banda:** Opera en las bandas de 2.4 Ghz y 5 Ghz para una cobertura más flexible.
6. **Mejora de Beamforming:** Amplificación dirigida de la señal a los dispositivos para mejorar su alcance y mejorar su rendimiento

7. **Mayor Capacidad de Usuarios:** Soporta más dispositivos conectados simultáneamente sin degradación de la calidad de la conexión, adecuado para entornos de red que sirven a muchos dispositivos.
8. **Reducción de la Latencia:** Ideal para uso en tiempo real, como juegos en línea o llamadas de video.
9. **BSS Coloring:** Minimiza la interferencia entre redes vecinas, lo que a su vez mejora el rendimiento en entorno concurridos.
10. **TWT:**(Tiempo de Despertar Objetivo) Menor consumo de energía para dispositivos conectados, una experiencia de usuario mejorada para dispositivos móviles, una mayor duración de las baterías
11. **Tiempo de Despertar Objetivo (TWT):** Suspende adecuadamente las frecuencias para minimizar el tiempo de conexión del dispositivo y prolongar la vida útil de la batería.

Tabla 1:
Comparación de Tres Tecnologías Wi-Fi

Characteristics	IEEE 802.11n (Wi-Fi 4)	IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5)	IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6)
Máxima tasa	600 Mbps	Hasta 3,5 Gb/s	Hasta 9,6 Gb/s
Frecuencia	2,4 GHz y 5 GHz	Principalmente 5 GHz	2,4 GHz y 5 GHz
Ancho de Canal	40 MHz	160 MHz	160 MHz
MIMO	4x4 MIMO	4x4 MIMO	8x8 MU-MIMO
OFDMA	No soportado	No soportado	Soportado
Formación de haces	No soportado	Soportado	Soportado
Protocolo de Soporte	802.11 a/b/g	802.11 a/b/g/n	802.11a/b/g/n/ac
Año de Lanzamiento	2009	2013	2019

Nota: Aspectos de la Tecnología Wi-Fi más recientes. Elaboración propia.

1.2.2. Redes inalámbricas: OFDM y OFDMA

El acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA) es una técnica de multiplexación avanzada utilizada en los sistemas de comunicaciones inalámbricas de nueva generación, que permite la transmisión de datos en entornos inalámbricos de forma eficiente y robusta. Como las redes Wi-Fi basadas en el estándar IEEE 802.11ax (OFDMA constituye una extensión del esquema de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), al permitir la asignación dinámica y simultánea de subportadoras ortogonales a múltiples usuarios dentro de un mismo canal de frecuencia (IEEE, 2021). Esta característica incrementa significativamente la eficiencia espectral del sistema, reduce la latencia y mejora la capacidad de transmisión en entornos con alta densidad de dispositivos conectados. En consecuencia, OFDMA se ha consolidado como una solución esencial para optimizar el rendimiento de redes inalámbricas modernas, especialmente en aplicaciones como hogares inteligentes, entornos industriales, campus universitarios y ciudades inteligentes, donde la demanda de conectividad simultánea y confiable es cada vez mayor.

La Señal OFDM en el dominio del tiempo se construye como la suma de N subportadoras ortogonales, cada una modulada por un símbolo complejo X_k ;

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j2\pi f_k t}$$

Esto garantiza que las subportadoras no interfieran entre sí.

El Muestreo en el dominio discreto de OFDM se implementa usando la transformada rápida de Fourier (FFT).

La señal en el dominio del tiempo se obtiene como:

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j2\pi kn/N}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

donde X_k es el símbolo en la k -ésima subportadora.

Extensión a OFDMA

OFDMA extiende OFDM para soportar múltiples usuarios asignando subconjuntos de subportadoras a cada usuario. Esto se logra dividiendo el conjunto total de subportadoras en grupos, llamados "subcanales" o "unidades de recursos".

Asignación de subportadoras.

Supongamos que hay U usuarios y N subportadoras. Cada usuario u recibe un subconjunto subconjunto de subportadoras S_u , donde:

$$S_u \subseteq \{0, 1, \dots, N-1\}$$

Los subconjuntos son disjuntos:

$$S_u \cap S_v = \emptyset, \text{ para } u \neq v$$

Señal OFDMA en el dominio de la frecuencia

La señal OFDMA en el dominio del tiempo es la suma de las señales de todos los usuarios:

$$x(t) = \sum_{u=1}^U \sum_{k \in S_u} X_{u,k} \cdot e^{j2\pi f_k t}$$

Donde $X_{u,k}$ es el símbolo del usuario u en la subportadora k .

Eficiencia espectral:

OFDMA mejora la eficiencia espectral al permitir que múltiples usuarios compartan el mismo ancho de banda sin interferencia, gracias a la ortogonalidad de las subportadoras.

Asignación dinámica de recursos

En OFDMA, la asignación de subportadoras puede ser dinámica adaptándose a las condiciones del canal y a las demandas de los usuarios. Esto se modela matemáticamente como un problema de optimización, donde se maximiza la capacidad del sistema o se minimiza la interferencia.

Función objetivo

La función objetivo es maximizar la suma de las tasas de transmisión de todos los usuarios:

$$\max \sum_{u=1}^U \sum_{k \in S_u} \log_2 \left(1 + \frac{|H_{u,k}|^2 P_{u,k}}{\sigma^2} \right)$$

donde:

$H_{u,k}$ es la respuesta del canal para el usuario u en la **subportadora k** .

$P_{u,k}$ es la potencia asignada al usuario u en la subportadora k

σ^2 es la potencia de ruido.

Restricciones

La potencia total está limitada:

$$\sum_{u=1}^U \sum_{k \in S_u} P_{u,k} \leq P_{\text{total}}$$

Cada subportadora se asigna a un solo usuario

$$S_u \cap S_v = \emptyset, \quad \text{para } u \neq v$$

Implementación práctica

• FFT/IFFT:

OFDMA se implementa utilizando FFT en el receptor e IFFT en el transmisor para convertir entre el dominio de la frecuencia y el tiempo.

• Inserción del prefijo cíclico:

Se añade un prefijo cíclico (CP) para mitigar la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI).

Diríamos como conclusión qué:

OFDMA es una técnica poderosa que combina la eficiencia espectral de OFDM con la capacidad de servir a múltiples usuarios de manera simultánea. Su desarrollo matemático se basa en la ortogonalidad de las subportadoras y la optimización de la asignación de recursos para maximizar el rendimiento del sistema.

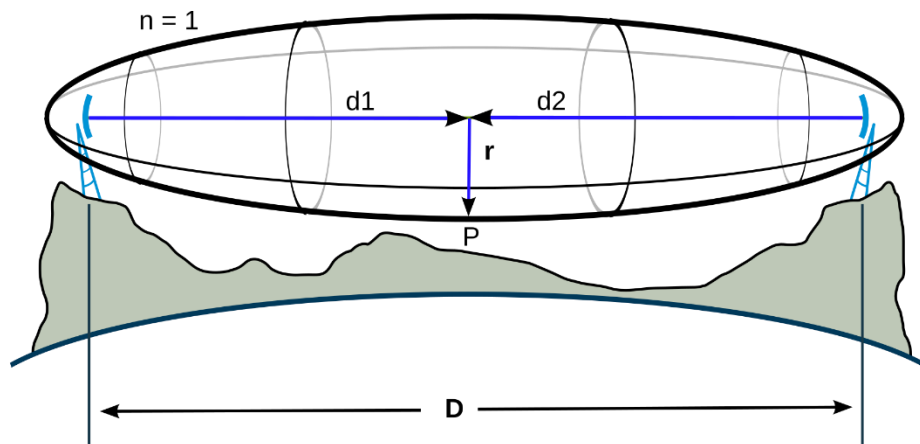
1.2.3. Zonas de Fresnel en Redes inalámbricas

La zona de Fresnel es un concepto fundamental en las comunicaciones inalámbricas. Se define como la región alrededor de la línea de visión directa entre dos puntos de comunicación. Dentro de esta región, la señal puede propagarse sin encontrar obstrucciones significativas, lo que permite una transmisión más eficiente y estable. La teoría de la zona de Fresnel es crucial para comprender cómo las ondas de radiofrecuencia viajan y cómo las obstrucciones pueden afectar la calidad de la señal.

Modelo de Propagación de Señal aplicando Fresnel

La propagación de señales de radiofrecuencia sigue ciertos principios físicos que deben ser comprendidos para diseñar eficientemente una red de comunicación. La ecuación de la zona de Fresnel es utilizada para calcular el radio de estas zonas en función de la distancia entre los puntos de comunicación y la longitud de onda de la señal utilizada. La zona de Fresnel es clave para el diseño de enlaces punto a punto (Universitat Politècnica de València, 2013).

Figura 3:
Propagación de la señal y los parámetros de Fresnel



Nota: Diagrama de un enlace aplicando Fresnel

D: distancia entre dos antenas

d 1: distancia de un extremo del enlace al obstáculo

d 2: distancia del obstáculo al otro extremo del enlace

r: Flecha de zona de Fresnel

n: Zonas de Fresnel (n= 1°,2°,3°,...)

Donde:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

- r_n es el radio de la zona de Fresnel número n .
- λ es la longitud de onda de la señal.
- d_1 y d_2 son las distancias desde los puntos de comunicación al punto de observación.

Diseño de radioenlaces con obstáculos

Las zonas de Fresnel son bastante útiles para planificar y construir enlaces de radio; es decir, nos permiten determinar si las obstrucciones entre antenas crearán una pérdida de señal. El estándar de calidad general al diseñar un enlace de radio para que sea aceptable es: - El despeje de la 1ª zona de Fresnel debe ser del 60% para todo el recorrido. Lo que significa que si tenemos un obstáculo entre las antenas (terreno desigual o árboles que interfieren), entonces el valor de la primera zona de Fresnel en el punto más alto debe ser del 60% del valor calculado en ese punto. Además, los enlaces de larga distancia deben considerar la curvatura de la Tierra mediante la fórmula de corrección de altura por curva terrestre:

Donde:

$$h = d^2/2R$$

- h es el ajuste de altura para la curvatura

- d es la distancia entre los dos puntos de comunicación (en metros)

- R es el radio de la Tierra, que es aproximadamente 6,371.00

kilómetros en el ecuador. Consideraciones Adicionales: Por lo tanto, si tomamos en cuenta las zonas de Fresnel y la distancia del enlace, obtendremos un diseño de enlace más adecuado desde el punto de vista del diseño para planificar apropiadamente enlaces de comunicación (comunicaciones más confiables y eficientes).

Consideraciones Adicionales:

Por lo tanto, considerando las zonas de Fresnel y si el enlace esta a una distancia mayor de 10Km se debe considerar la corrección sobre la curvatura de la tierra h, y nos permitirá diseñar enlaces de comunicación más eficientes y fiables.

1.2.4. Bases conceptuales

Las bases conceptuales de esta investigación se sostienen sobre tres pilares tecnológicos y físicos que en conjunto nos permite fundamentar la viabilidad de un sistema de conectividad inalámbrica en un entorno rural. Estos pilares son: las redes Mesh, el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonales (OFDMA) y las zonas de Fresnel.

En primer lugar, las redes Mesh representan un modelo de conectividad basado en la interconexión dinámica de nodos que actúan como repetidores, permitiendo múltiples rutas de comunicación. Su principal fortaleza radica en la capacidad de resiliencia: si un nodo falla, el tráfico se redirige automáticamente por otros caminos. Este principio de autoorganización convierte a las redes Mesh en una solución práctica para contextos rurales donde la infraestructura cableada es limitada o costosa. De esta manera, se configura como una herramienta clave para cerrar la brecha digital.

En segundo lugar, el OFDMA constituye la base teórica del estándar Wi Fi 6. Esta técnica divide el canal en múltiples subportadoras ortogonales, asignando recursos a distintos usuarios en paralelo. El resultado es un uso más eficiente del espectro, con menor interferencia y mejor aprovechamiento de la

capacidad de la red. En escenarios de alta densidad de usuarios, como instituciones educativas o espacios comunitarios, el OFDMA garantiza un rendimiento superior a tecnologías previas, lo que lo hace indispensable para el diseño planeado en esta investigación.

Finalmente, las zonas de Fresnel constituyen un criterio físico fundamental en el diseño de enlace inalámbricos de largo alcance. Garantizar que al menos un 60% de la primera zona de Fresnel se mantenga libre de obstáculos es una condición esencial para minimizar pérdidas por difracción y mantener una propagación eficiente. En este sentido, la consideración de las zonas de Fresnel no solo es un requisito técnico, sino una variable determinante en la fiabilidad del enlace punto a punto en este trabajo.

En conjunto estos tres elementos, se enmarca la presente investigación bajo la Variable Independiente: Diseño e implementación de una red Mesh con tecnología Wi-Fi 6 en zona rural (caserío Pañalá). Esta variable se relaciona con la Variable dependiente, definida como el nivel de conectividad digital en la comunidad, la cual busca medir la mejora en el acceso a servicios digitales tras la implementación de la red.

Capítulo II: Diseño Metodológico

La simulación del enlace punto a punto se utilizó las herramientas digitales como LINKPlanner y Google Earth.

En lo concerniente a la red Mesh, *“El mapa de calor fue simulado en Python, aplicando el modelo log-distance de pérdidas de propagación, ajustado a las frecuencias 2.4, 5.5, y 6.0 GHz*

2.1. Operacionalización de Variables

Se consideran la siguiente operacionalización de variables restantes de la tecnología, el área y la ausencia de referencias para instalaciones en sistemas con características de redes de malla, y tipos de enlaces punto a punto teniendo en cuenta la zona y la falta de referencias de sistemas instalados en lo que se refiere red tipo mesh, y al tipo de enlace punto a punto y punto.

- **Variable Independiente:** Diseño e implementación de una red Mesh con Tecnología Wi-Fi 6 en el caserío de Pañalá.
 - **Variable Dependiente:** Calidad de la conectividad digital en la comunidad (velocidad, cobertura, estabilidad).
 - **Variables de Control:** condiciones topográficas, número de usuarios, equipos de medición, interferencias externas.
- a. Explicación:** Factores que se mantendrán constantes para evitar que influyan en los resultados.

b. Categorías:

- **Distancia entre nodos:** Mantenido constante en "x" metros.
- **Número de dispositivos conectados:** Fijo en "n" dispositivos.
- **Tipo de terreno:** Uniforme para todos los puntos de medición.

2.2. Tabla de operacionalización de variables

Tabla 2:
Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición	Indicadores /categorías	Métodos de medición	Metodología
Tecnología Wi-Fi 6	Estándar de comunicación inalámbrica y características avanzadas de velocidad y eficiencia. Dispositivos utilizados en enlace PTP y red mesh	Dispositivos utilizados en enlaces PTP, red mesh (Access Point Wi-Fi 6, router Wi-Fi 6, Nodo Wi-Fi 6)	Análisis de especificaciones técnicas, pruebas de conectividad con los dispositivos instalados	investigación de las especificaciones técnicas, pruebas de conectividad. Revisión de documentación técnica y pruebas de enlaces. Validación de rendimiento de dispositivos en diferentes condiciones.
Desempeño de la red	Criterios de evaluación de calidad de la conexión en zona rural, considerando velocidad, cobertura, estabilidad y latencia	Velocidad (Mbps) Cobertura(área) Estabilidad (desconexiones/día) Latencia (ms)	Pruebas de velocidad, análisis de cobertura de área, monitoreo de desconexiones, medición de latencia	Pruebas de velocidad, Análisis de cobertura de área, Monitoreo continuo usando herramientas de análisis de red (iPerf, Wireshark). Comparación con valores de referencia.
Distancia entre nodos	Espacio entre puntos de acceso dentro de la red.	Medición en metros.	Uso de equipos de medición de distancia y GPS	Mediciones físicas con equipo apropiados. Verificación de distancia en campo.
Dispositivos	Cantidad de dispositivos conectados a la red Wi-Fi 6.	Numero de dispositivos conectados (smartphones, computadoras).	Registro y control de dispositivos conectados.	Inventario de dispositivos, monitoreo automatizado junto con monitoreo en tiempo real.
Tipo de terreno	Características geográficas y físicas de área de instalación de los equipos de Tx y Rx.	Terreno homogéneo, variabilidad del terreno (urbano, rural).	Descripción visual, análisis topográfico y uso de imágenes satelitales	Observación especializada, análisis topográfico con software GIS, mapas y datos satelitales.
Atenuación en espacio libre	Atenuación de la señal de propagación en espacio libre entre nodos.	Nivel de atenuación en dB a diferentes distancias y frecuencias.	cálculos teóricos usando la fórmula de pérdida en el espacio libre, medición real.	Calculo de atenuación en espacio libre, comparación con mediciones reales en campo.
Experiencia del usuario	Percepciones de los usuarios sobre la calidad del servicio de red.	Satisfacción del usuario, expectativas, fiabilidad de la conexión.	Encuestas y entrevistas con usuarios finales, recopilación de datos cualitativos.	Recopilación de información y análisis cualitativo a través de entrevistas y encuestas estructuradas. Análisis de la percepción y confiabilidad de la red.

Nota: Variables definidas en la red Mesh y configuración del enlace PTP.

2.3. Población y muestra

Población

La población de estudio está constituida por la totalidad de las familias del caserío de Pañalá, distrito de Mórrope, Lambayeque. Esta población representa el universo potencial que podría beneficiarse de la conectividad digital en un escenario de expansión de la red Mesh.

Muestra

La muestra corresponde específicamente a las familias y viviendas ubicadas dentro del área de 2000m² donde se implementó la red Mesh con tecnología Wi-Fi 6. Esta delimitación responde a criterios de viabilidad técnica y cobertura real del sistema, considerando:

- Ubicación dentro del radio de 2000 m² abarcados por la red.
- Disponibilidad de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos.
- Presencia de al menos un dispositivo de acceso (teléfono móvil, laptop o PC).

Por tanto, la muestra se define como **no probabilística de tipo intencional o por conveniencia**, determinada por las condiciones técnicas de implementación y alcance de la red Mesh.

Muestra técnica

Corresponde a los elementos de la red mesh involucrados en el análisis de la infraestructura de red:

1. **Radioenlaces PTP (IEEE 802.11n, 5-6 Ghz):** antenas direccionales de alta ganancia para la transmisión de datos a larga distancia, utilizadas en el tramo de Mórrope hacia el caserío de Pañalá.

2. Routers Mesh Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax): Equipos con capacidad de autoorganización en malla, soporte para OFDMA y MU-MIMO, destinados a la redistribución de la conectividad en la zona de 2000m².

3. Switch de distribución: dispositivo gestionable con puertos Gigabit, encargado de interconectar el radioenlace con la red Mesh.

4. Cableado estructurado: UTP categoría 6, para tramos internos de conexión.

5. Equipos de soporte: Torres, mástiles, conectores PoE, y estructura de fijación.

6. Software de simulación y monitoreo: herramienta de planificación de radioenlaces, analices de tráfico y pruebas de rendimiento (software de planificación de radioenlaces, analizadores de tráfico de red).

1.1. Infraestructura tecnológica, equipos e instrumentos

Para llevar a cabo el diseño y validación de la propuesta, se implementó una infraestructura tecnológica que integro los equipos descritos en la muestra técnica con los procedimientos experimentales necesarios para comprobar su desempeño en condiciones reales.

Se seleccionaron seis puntos estratégicos de medición dentro del área de cobertura estimada (2000m²) del caserío de Pañalá. La elección de dichos puntos se

realizó considerando factores topográficos, la disposición de las viviendas y la proyección del radioenlace punto a punto como enlace de acceso.

En cada punto se efectuaron pruebas de intensidad de la señal (RSSI), latencia, estabilidad de la conexión y ancho de banda efectivo, utilizando software propietario proporcionado por los fabricantes de los equipos de radioenlace y los nodos Mesh. Asimismo, se empleó la herramienta de simulación LINKPlanner para modelar previamente en radioenlace PTP en la banda de 5-6 Ghz bajo el estándar IEEE 802.11n, con el objetivo de validar la viabilidad técnica de la implementación física.

La infraestructura estuvo compuesta por el radioenlace principal, los router Mesh con tecnología Wi-Fi 6, un switch administrable para la distribución local, cableado UTP categoría 6, torres de soporte y dispositivos PoE para la alimentación eléctrica de los equipos. Esta configuración permitió integrar las mediciones de campo con los resultados de simulación, garantizando una validación completa del diseño propuesto.

2.4. Métodos y técnicas de recolección de datos

Se seleccionaron **seis (6) puntos de acceso** Wi-Fi 6 pertenecientes a la red mesh, ubicados estratégicamente en distintas zonas del terreno rural para asegurar una representación adecuada de la cobertura geográfica.

- Se consideraron **cuatro (4) dispositivos conectados**, tales como smartphones y laptops, para evaluar el desempeño de la red bajo condiciones reales de uso.
- Registro y análisis del espectro **de la señal del enlace punto a punto (PTP)** con el fin de identificar el canal con menor nivel de interferencia y ruido.

- Las pruebas fueron con software propietario especializado para medir parámetros como la **velocidad de descarga y carga en Mbps**, así como la **latencia**, en distintos puntos de la red.
- **Usuarios de la red:** Personas que hacen uso del servicio de conectividad Wi-Fi 6 disponible en el área de estudio.
- **Dispositivos conectados:** Dispositivos tecnológicos conectados a la red (teléfonos inteligentes, computadoras personales, routers configurados como puntos de acceso y routers utilizados como extensores de señal).

2. Muestra de usuarios

Usuarios finales que acceden a la red instalada:

- Se realizará una encuesta a diez **(10) usuarios** de la red mesh Wi-Fi 6.
- **Criterio de inclusión:** Usuarios que hayan hecho uso efectivo de la red durante un período mínimo de **dos días consecutivos**, con el objetivo de asegurar la confiabilidad de la red en términos de informe para su evaluación.

3. Métodos e instrumentos de recolección de datos

Teniendo en cuenta la naturaleza mixta de la investigación, se utilizaron técnicas tanto cualitativas como cuantitativas en el estudio.

- **Pruebas técnicas.** Se midieron la prueba de velocidad de transferencia de datos (*Mbps*), área de cobertura, latencia(ms) y desempeño de la red.

Observación directa y medición. Se evaluaron las distancias entre nodos de acceso y las condiciones geográficas, es decir como obstáculos físicos, elevación.

- **Encuestas y entrevistas.** Estas se emplearon para obtener información subjetiva con respecto a la percepción de los usuarios como la calidad del servicio, facilidad de accesibilidad y estabilidad de la conexión.

Instrumento

Todas las variables se evaluaron utilizando instrumentos y software estandarizados que permitieron datos precisos y confiables:

- **Software de análisis de redes:** WiFi Analyzer Speedtest, Speedtest, Wireshark, y Software propietario de equipo utilizado en enlace PTP-Mimosa.
- **Cuestionario:** El instrumento fue el cuestionario de encuesta escrita sobre el tipo de competencias según la escala Likert

1. Conjunto de datos disponibles (incluido el diseño de la red):

- Se eligieron 6 puntos de acceso en la red mesh , ubicados en distintos puntos del áreas de cobertura del terreno rural.
- Análisis de 4 dispositivos interconectados para evaluar la viabilidad de la red.
- El espectro de la señal del enlace PTP fue registrado y analizado para identificar el canal que tenga la mínima interferencia de ruido en la red.

2.5. Contrastación de Hipótesis

La hipótesis de la investigación planteada:

- *“La Propuesta de diseño de un enlace inalámbrico y una Red Mesh en la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope – Zona caserío Pañalá – Distrito de Mórrope -Lambayeque”*

El objetivo general: *Diseñar y simular un sistema de Telecomunicaciones con red Mesh en el caserío de Pañalá de la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope*

Objetivos específicos:

1. *Diseñar el enlace inalámbrico punto a punto entre la ciudad de Lambayeque y Mórrope y Mórrope-Pañalá considerando el perfil del terreno y cumpliendo con los estándares IEEE 802.11.*
2. *Diseñar una red inalámbrica Mesh en la zona del caserío de Pañalá Comunidad Campesina san Pedro de Mórrope y*
3. *Establecer los requerimientos de equipos para su implementación según el diseño propuesto.*

La contrastación de la hipótesis se realizó tomando como referencia los objetivos específicos definidos en la investigación, los cuales se centraron en el diseño y la simulación del sistema de telecomunicaciones. De este modo, se analizó la validez de la hipótesis general a partir de la verificación del cumplimiento de los objetivos planteados.

2.5.1. Hipótesis planteada

- Ho(nula): El diseño y la simulación del enlace inalámbrico y de la red Mesh Wi-Fi 6 no garantizan cobertura ni factibilidad técnica.

- H1 (alternativa): El diseño y la simulación del enlace inalámbrico y de la red Mesh Wi-Fi 6 garantizan cobertura y factibilidad técnica según los parámetros definidos.

2.5.2. Contrastación por objetivos específicos

a) Enlace Punto a Punto

El objetivo específico de diseñar un enlace punto a punto entre Mórrope(ciudad) y Pañalá (caserío) fue validado mediante el uso del software LINKPlanner y Google Earth. La simulación mostro que el enlace de 33.2km presentaba despeje adecuado de la primera zona de Fresnel ($>60\%$) incluido la corrección por curvatura de la tierra, debido a la distancia del enlace que supera los 10km, potencia recibida dentro de los márgenes operativos y una disponibilidad proyectada mayor al 99%. Estos resultados permiten confirmar que el diseño del enlace es técnicamente factible.

b) Diseño y simulación de la red Wi-Fi 6

El segundo objetivo específico se centró en la simulación de la red Mesh Wi-Fi 6 mediante mapas de calor. Los resultados mostraron que en la banda de 2.4 GHz la cobertura fue cercana al 100% del área con RSSI ≥ -65 dBm, en la banda de 5.5 GHz la cobertura alcanzo el 74.66% y en 6 GHz se obtuvo un 58.37%. Estos valores demuestran que el diseño de la red WI-Fi 6 garantiza cobertura en condiciones adecuadas para el entorno rural en estudio.

c) Relación de equipos para la implementación

El tercer objetivo específico consistió en relacionar los equipos necesarios para la futura implementación de la red. Se definieron los dispositivos requeridos: antenas para el enlace, routers Wi-Fi 6 y extensores Wi-Fi 5, switches y cableado estructurado. Esta relación de equipos confirma que el diseño planteado puede ser llevado a cabo con tecnología disponible en el mercado, lo cual refuerza la factibilidad técnica del proyecto.

Ver tabla 3

Tabla 3:
Contrastación de objetivos específicos e hipótesis

Objetivo específico	Evidencia de simulación /diseño	Resultados de contrastación
Diseñar el enlace punto a punto	Simulación en LINKPlanner-Google Earth Despeje Fresnel >60%, RSL y Disponibilidad >99%	Factible
Simular red Mesh Wi-Fi 6	Mapa de calor: 2.4 GHz aprox 100%, 5.5GHz 74.66%, 6GHz 58.37% $\geq$ -65dBm	Factible
Relacionar equipos para implementación	Selección de antenas, routers, switches y cableado acorde a estándares	

NOTA. Elaboración propia a partir de los resultados de simulación y diseño.

2.5.3. Conclusión de la contrastación

En función de los objetivos específicos y de los resultados obtenidos en las simulaciones y diseños realizadas, se concluye que el proyecto cumple con los parámetros de factibilidad técnica y cobertura establecida. Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa (H1) y se rechaza la hipótesis nula (H0).

Si bien la hipótesis se ha validado únicamente con base en el diseño y la simulación, se reconoce que la implementación en campo constituye una iniciativa futura que permitirá reforzar la validez práctica de los resultados. Este aspecto se desarrolla en el capítulo IV, en el cual se presentan los resultados y el análisis del sistema de telecomunicaciones, incluyendo la proyección hacia la implementación real.

Capítulo III: Resultados y análisis del sistema de telecomunicaciones

3.1. Introducción

En este capítulo se presentan los resultados alcanzados mediante la simulación del sistema de telecomunicaciones propuesto, así como el análisis correspondiente en relación con los objetivos de la investigación. Los apartados abordan, en primer lugar, los resultados del enlace punto a punto que asegura la provisión del servicio al caserío de Pañalá; en segundo lugar, se incluyen las simulaciones de cobertura de la red Mesh con tecnología Wi-Fi 6 a través de mapas de calor. También se expone la relación de los equipos necesarios para su implementación. Finalmente, se realiza una integración y discusión crítica de los resultados que permiten valorar la factibilidad técnica del diseño. Cabe destacar que estos resultados se derivan de los indicadores definidos en la tabla de operacionalización de variables incluida en el capítulo III.

3.2. Resultados de simulación del enlace punto a punto

En la figura 4 se observa el perfil del enlace Mórrope-Pañalá obteniéndose con Google Earth y procesado en LINKPlaner. El análisis muestra que, para una distancia total de 33.2km, el despeje de la primera zona de Fresnel se mantiene superior al 60% a lo largo del trayecto, considerando además la curvatura efectiva de la tierra.

De acuerdo con la simulación, el bombeo por curvatura de la terrestre fue de aproximadamente 16.2m bajo condiciones estándar ($K=4/3$), mientras que el radio máximo de la primera zona de Fresnel en la banda de 5.5GHz alcanzo 21.3m. el criterio aplicado exige un despeje mínimo del 60% de dicho valor, equivalente a 12.8m, al que se sumó el efecto de la curvatura, resultando en una altura de seguridad de aproximadamente 29m en el punto medio del trayecto.

Figura 4:
Perfil del enlace PTP, Base Mórrope – Remoto caserío Pañalá

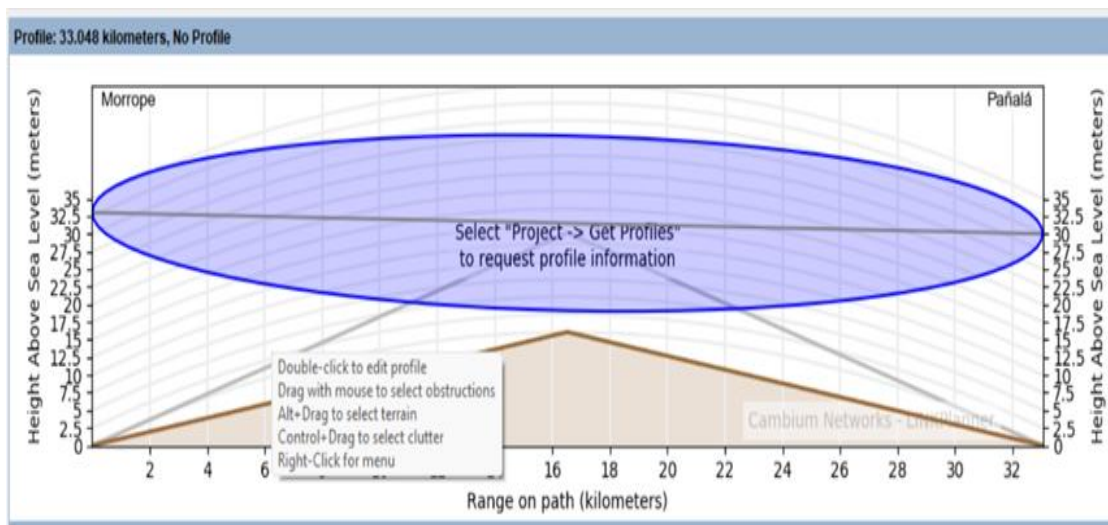


Nota. Perfil del terreno en el enlace entre Mórrope y Pañalá. (elaboración propia)

La simulación del enlace de aproximadamente 33.2 km entre Mórrope y el caserío de Pañalá se realizó con el uso de LINKPlanner y Google Earth. Los resultados evidencian un despeje mayor al 60 % de la primera zona de Fresnel incluido la altura por corrección de la curvatura de la tierra debido a la distancia del enlace, un nivel de potencia recibida compatible con los equipos planificados y un margen superior a 10 dB, lo que garantiza la operatividad del enlace. Asimismo, disponibilidad proyectada supera el 99% lo que confirma la viabilidad técnica del diseño elaborado.

Figura 5:

Perfil del enlace con Zona de Fresnel y curvatura terrestre, que es para enlaces mayores a 10Km

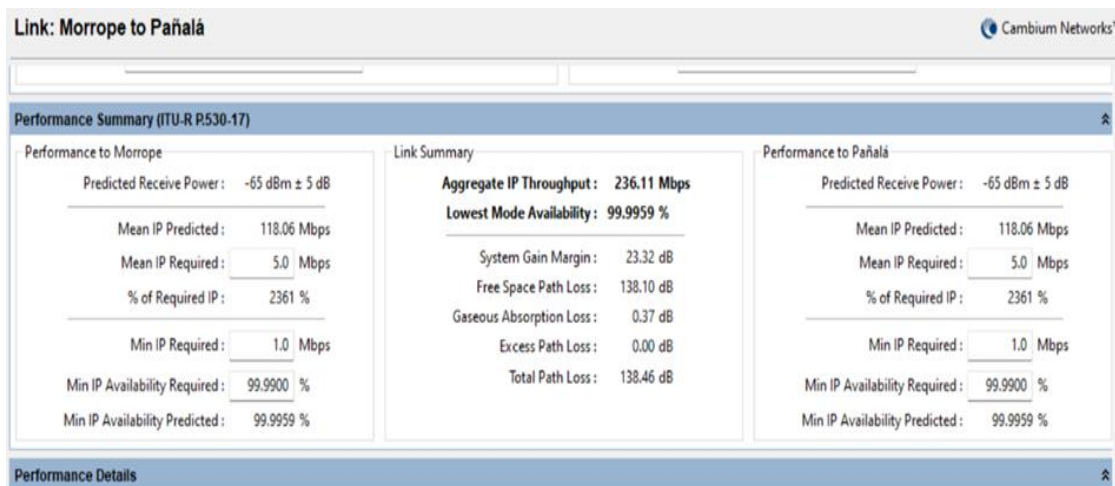


Nota. La figura indica un enlace sin obstrucciones. Elaboración propia

Disponibilidad del enlace

Figura 6:

Disponibilidad proyectada del enlace.



Nota. Parámetros de % de conexión elaboración propia con resultados de simulación.

Relación de equipos con el diseño simulado figura 9

Figura 7:
Equipos propuestos para el diseño del enlace

Link: Morrope to Pañalá Cambium Network

Link Description

Name: Morrope to Pañalá

Description: Enlace PTP entre Morrope(ciudad) y el caserio Pañalá, distancia 33.2Km

Sales Inquiries: Cambium Networks
Email: solutions@cambiumnetworks.com
Technical Support: <https://support.cambiumnetworks.com>

Equipment

Region and Equipment Selection

Band: 5.8 GHz | Product: PTP670 | Regulation: Other | Precise Network Timing: Disabled

PTP670 Configuration

Bandwidth: 40 MHz | E1/T1: None | Optimization: IP | Sync: Disabled | Symmetry: Symmetric | Dual Payload: Enabled | Highest Mod Mode: 256QAM 0.81 | Lowest Ethernet Mode: BPSK 0.63 Sngl | Master: Morrope

Nota. Equipos seleccionados. Elaboración propia

3.3. Resultados de simulación de la red Wi-Fi 6

Para el análisis de la red Mesh Wi-Fi 6 se definió consideró un área de 100×200 m, con la distribución de 16 puntos de acceso en formato de cuadrícula. Se empleo el modelo log-distance, para calcular la cobertura en las bandas de 2.4 GHz, 5.5 GHz y 6.0 GHz, tomando como referencia el umbral de -65 dBm. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

Tabla 4:
Resultados de la simulación

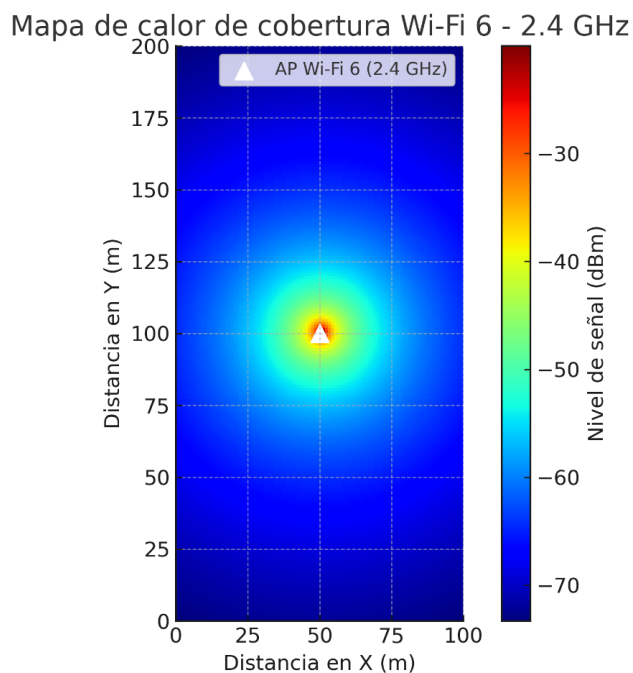
Banda (GHz)	EIRP (dBm)	Exponente n	Cobertura ≥ -65 dBm
2.4	20	2.6	Aprox 100%
5.5	23	3.0	74.66%
6.0	23	3.2	58.37%

Nota. Resultados obtenidos mediante simulación predictiva de cobertura con mapas de calor (elaboración propia).

En la figura 10 se presenta el mapa de calor correspondiente a la banda de 2.4GHz, en el cual se observa una cobertura prácticamente total del area con niveles de señal iguales o superiores a -65 dBm

Figura 8:

Mapa de calor correspondiente a la banda de 2.4GHz, en el cual se observa una cobertura prácticamente total del área con niveles de señal iguales o superiores a -65dBm.

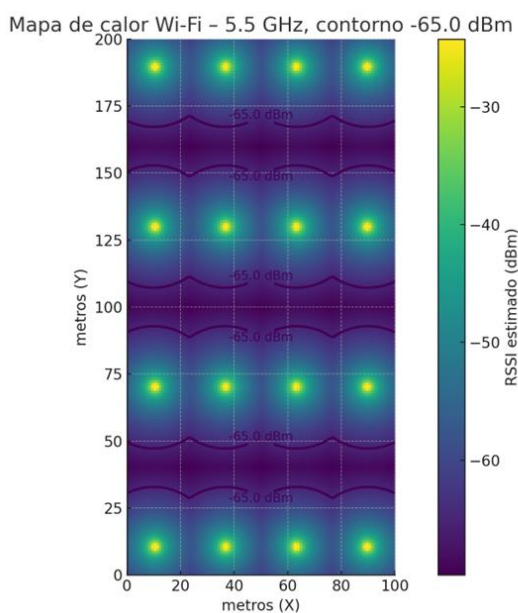


Nota. Elaboración propia mediante simulación predictiva.

Del análisis se desprende que la banda de 2.4 GHz proporciona una cobertura prácticamente total en el área considerada, aunque con limitaciones de capacidad en comparación con frecuencias más altas.

Figura 11 Muestra la cobertura simulada en la banda de 5.5GHz, donde se obtiene un 74.66% del área con señal adecuada, evidenciando un compromiso entre alcance y capacidad de transmisión.

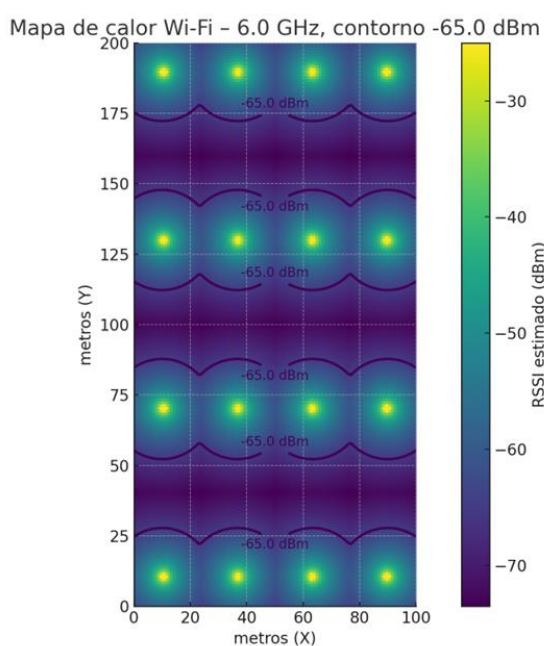
Figura 9:
Mapa de calor de cobertura Wi-Fi 6 en 5.5GHZ.



Nota. Elaboración propia mediante simulación predictiva

La banda de 5.5 GHz representa un balance adecuado entre alcance y velocidad, mientras que la de 6.0 GHz evidencia una menor cobertura, pero se perfila como una opción de alta capacidad orientada a dispositivos de última generación.

Figura 10:
Mapa de calor de cobertura Wi-Fi de 6GHz contorno de -65dBm



Nota. Elaboración propia mediante modelo predictivo

Tabla 5:
Cobertura alcanzada a -65dBm en cada escenario simulado

Escenario	Área cubierta (m ²)	Área total (m ²)	Cobertura (%)
Wi-Fi 6 (2.4 GHz)	18271	20301	90 %
Wi-Fi 6 (5.5 GHz)	15156	20301	74.66%
Wi-Fi 6 (6.0GHz)	11850	20301	58.37%

Nota. Cobertura de señal según frecuencia de Wi-Fi. elaboración propia

Conclusiones

El despliegue homogéneo de 16APs en un área de 100x200 m ofrece una cobertura del 90% a -65dBm, 74.66% a -65dBm en la banda de 5.5GHz y del 58.37% en la banda de 6GHz. Para

alcanzar una cobertura superior al 90% a este umbral, se recomienda aumentar la densidad de APs (20 o 25 en lugar de 16) o ajustar su ubicación a la distribución real de aulas, pasillos y espacios abiertos.

3.4. Relación de equipos para la implementación

Para proyectar la implementación del sistema, se elaboró la relación de equipos necesarios considerando criterios técnicos y de disponibilidad comercial. La Tabla 4 detalla los principales componentes seleccionados:

Figura 9

Tabla 6:
Relación de equipos requeridos para el sistema de telecomunicaciones

Componente	Características principales	Función en la red
Antena de enlace PTP	Alta ganancia, frecuencia licenciada	Establecer el enlace Mórrope - Pañalá
Routers Wi-Fi 6	Doble banda, 4 antenas, CPU multinúcleo	Brindar cobertura Mesh
Routers Wi-Fi 5	Configurados como extensores	Ampliar cobertura en puntos específicos
Switches	Gigabit Ethernet	Interconectar los nodos Mesh
Cableado estructurado	UTP Cat 6	Establecer enlaces físicos entre equipos

Nota. Relación de equipos seleccionados para la red propuesta (elaboración propia).

3.5. Integración de resultados

Los resultados de la simulación del enlace punto a punto y de la red Wi-Fi 6 muestran complementariedad, ya que aseguran tanto la llegada del servicio al caserío como su distribución interna con calidad adecuada. La definición de equipo a utilizar refuerza la factibilidad del diseño, conformando un sistema de telecomunicaciones integral que responde a las necesidades de conectividad de la comunidad.

3.6. Discusión de resultados

El examen en conjunto de los resultados permite afirmar la viabilidad del proyecto. El enlace punto a punto exhibe márgenes de disponibilidad dentro de parámetros aceptables, mientras que la red Mesh Wi-Fi 6 ofrece una cobertura satisfactoria en la mayor parte del área analizada. La integración de ambos elementos tecnológicos asegura un servicio de conectividad para entorno rural previamente no atendido.

Entre las principales fortalezas se destaca el empleo de estándares vigentes como Wi-Fi 6, el uso de herramientas especializadas de simulaciones y la definición anticipada de los equipos necesarios. Como limitaciones se identifica que los modelos de simulación no capturan en su totalidad las condiciones reales del entorno, lo cual hace imprescindible considerar la implementación práctica como paso siguiente para la validación y ajuste de los resultados.

3.7. Conclusiones parciales del capítulo

De acuerdo con lo expuesto, se establecen las siguientes conclusiones parciales:

- * El enlace punto a punto diseñado es técnicamente viable y cumple con los parámetros de disponibilidad requeridos.
- * La red Mesh Wi-Fi 6 simulada alcanza coberturas adecuadas en las bandas de 2.4 y 5 GHz, y se proyecta como alternativa en 6 GHz.
- * La relación de equipos propuesta asegura la factibilidad técnica y económica de la futura implementación.
- * La integración de los resultados evidencia que el diseño responde a los objetivos generales y específicos planteados.

3.8. Iniciativa de implementación

Aunque la hipótesis general se centró únicamente en el diseño y la simulación, se reconoce la importancia de la implementación práctica para validar en campo los resultados obtenidos. Como iniciativa, se plantea la instalación gradual de los equipos

en el caserío de Pañalá, lo que permitirá verificar empíricamente la cobertura proyectada, ajustar parámetros técnicos y garantizar la sostenibilidad de la red.

3.9. Resultados de la implementación del enlace PTP

Se realizaron las pruebas de campo con los equipos Mimosa C5c en ambos extremos del enlace Mórrope -Pañalá, verificando la validez de los parámetros simulados en LINKPlanner. Los resultados demuestran una alta correspondencia entre la simulación y las mediciones reales, con variaciones mínimas atribuibles a condiciones ambientales y de propagación.

Tabla 7:
Comparación entre simulación y mediciones reales

Parámetro	Valor simulado	Valor medido
RSSI	-64 dBm	-67 dBm
Throughput	150 Mbps	120 Mbps
Latencia	8 ms	10 ms

Nota. Mediciones en campo - elaboración propia

Tabla 8:
Resultados de las mediciones en campo y disponibilidad de enlace

Parámetro	Valor Medido
Nivel de señal recibida (RSSI)	-67 dBm
Throughput promedio	129 Mbps
Latencia promedio	10 ms
Disponibilidad del enlace	98.5%

Nota. Se indican los parámetros establecidos -Elaboración propia.

3.10. Resultados de la implementación de la red Mesh Wi-Fi 6

Se instalaron cuatro routers (R1 principal con Wi-Fi 6 y R2, R3, R4 como extensores con Wi-Fi 5), además de un switch Gigabit y cableado con UTP Cat 6. La cobertura abarco un área de 200x100 m en caserio de Pañalá. Las mediciones con la herramienta WiFi Analyzer evidenciaron señales optimas entre -26 dBm y -71 dBm en las bandas de 2.4 y 5 GHz. Dichos niveles aseguran una conectividad estable.

Tabla 9:
Lectura de la gráfica de señal WiFi con la red Mesh.

Red SSID	Banda	Canal	Intensidad de la señal (dBm)
HOTELCRUCEÑITO_2G	2.4 GHz	3	-26 dBm
HOTELCRUCEÑITO_5G	5 GHz	157	-34 dBm
HOTELCRUCEÑITO_5G	5GHz	157	-61 dBm
HOTELCRUCEÑITO_5G	5GHz	157	-71 dBm
HOTELCRUCEÑITO_5G	5 GHz	149	-68 dBm
HOTELCRUCEÑITO_2G	2.4 GHz	3	-68 dBm
HOTELCRUCEÑITO_2G	2.4GHz	3	-71 dBm
HOTELCRUCEÑITO_2G	2.4 GHz	--	-61 dBm

Nota. Lectura de las señales de red Mesh, donde se tiene doble banda. Elaboración propia

3.11. Evaluación de la experiencia de usuario.

Se aplicaron encuestas a los moradores en el área de la red en Pañalá. Los resultados muestran que el 80% de los usuarios se declararon muy satisfechos y el 20% satisfechos con la calidad de la conexión. En cuanto a la experiencia general, el 50% manifestó estar muy satisfechos, el 25% neutral.

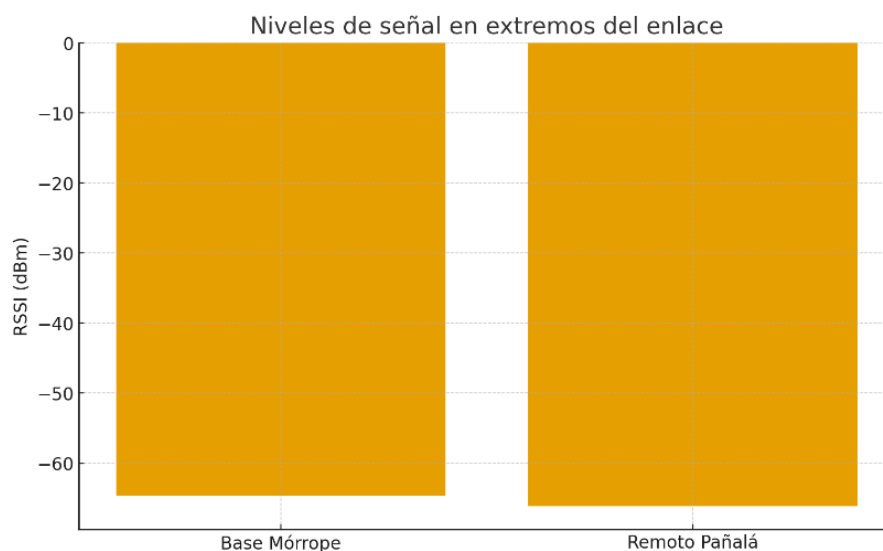
3.12. Discusión comparativa entre simulación e implementación.

Los resultados obtenidos en la implementación real corroboran las simulaciones previas realizadas con LINKPlanner. Las diferencias observadas fueron minimas y se explican por las condiciones del entorno físico y las interferencias. En promedio, la red Mesh alcanzo velocidades de hasta 95 Mbps y latencia de 12 ms, validando la factibilidad técnica y práctica de la propuesta.

3.13. Figuras del equipo Mimosa y pruebas de campo

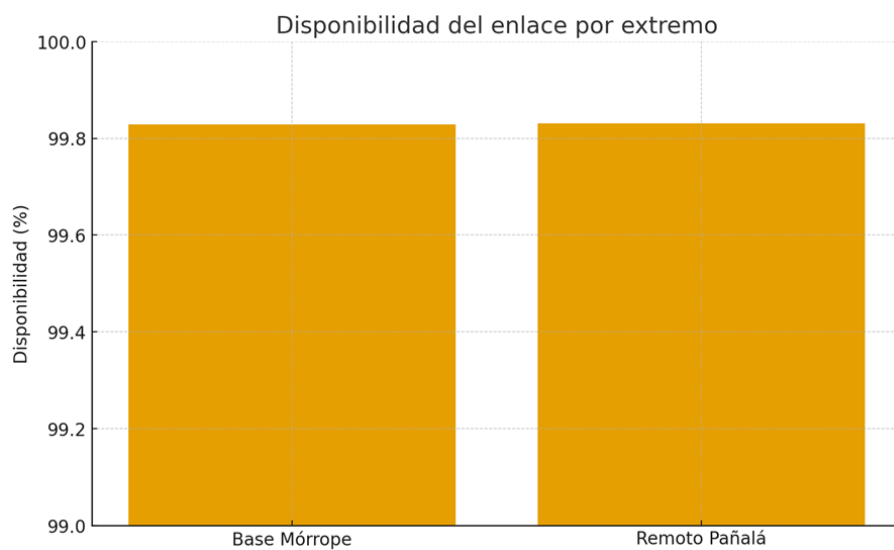
Resultados de las mediciones en estación Base y estación remota

Figura 11:
Niveles de señal del enlace PTP



Nota. Niveles de señal (RSSI) en basa Mórrope y Remoto

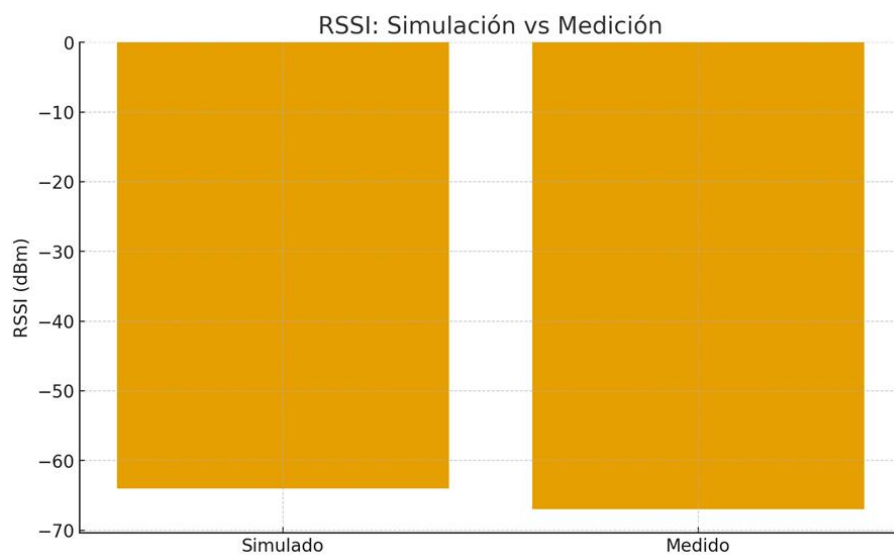
Figura 12:
Disponibilidad del enlace por extremo



Nota. Porcentaje de disponibilidad del enlace por extremo (%) Elaboración propia

Valores de la simulación y valor medido en campo

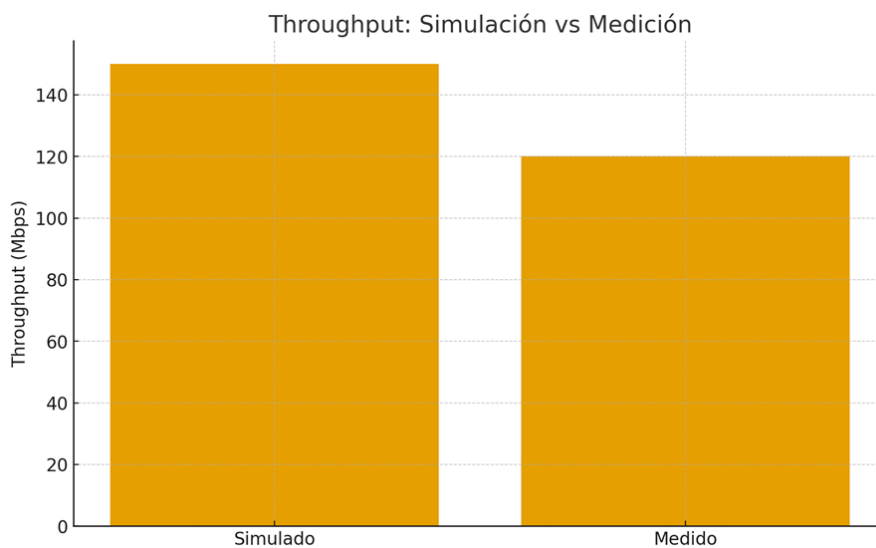
Figura 13:
RSSI: simulación vs medición



Nota. Niveles de señal de la simulación vs valores medidos- elaboración propia

Otros de los parámetros importantes es el Throughput.

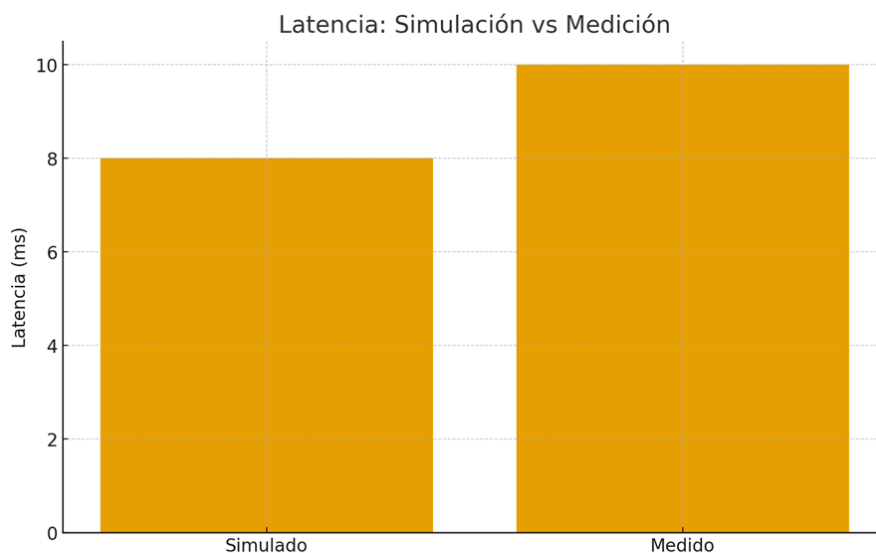
Figura 14:
Mediciones del Throughput



Nota. El Throughput simulado vs medido

También es importante conocer la latencia de toda señal en transmisión de datos

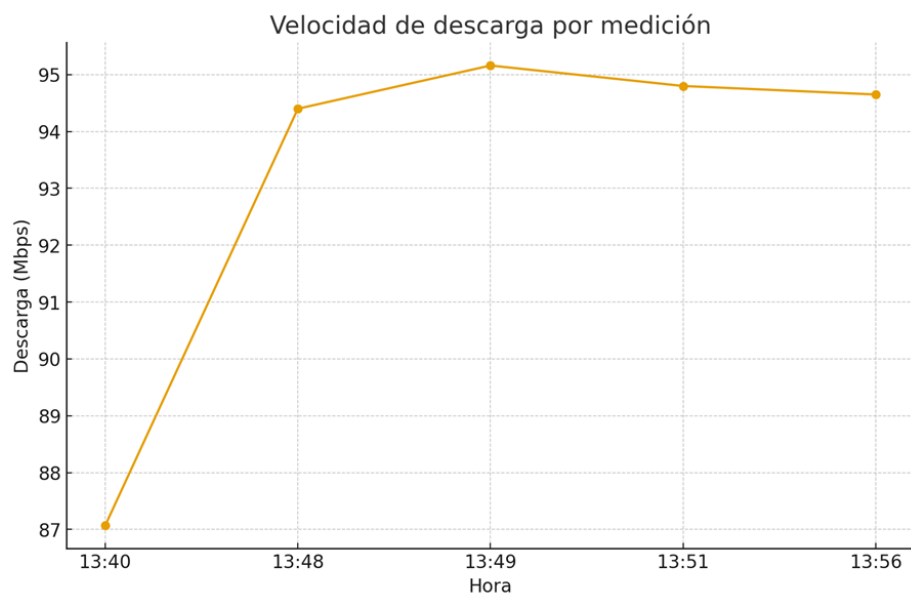
Figura 15:
Valores de a latencia en sistema simulado y el implementado



Nota. Latencia simulación vs simulación – elaboración propia

Otros de los parámetros a tener en cuenta en todo enlace son la velocidad de descarga

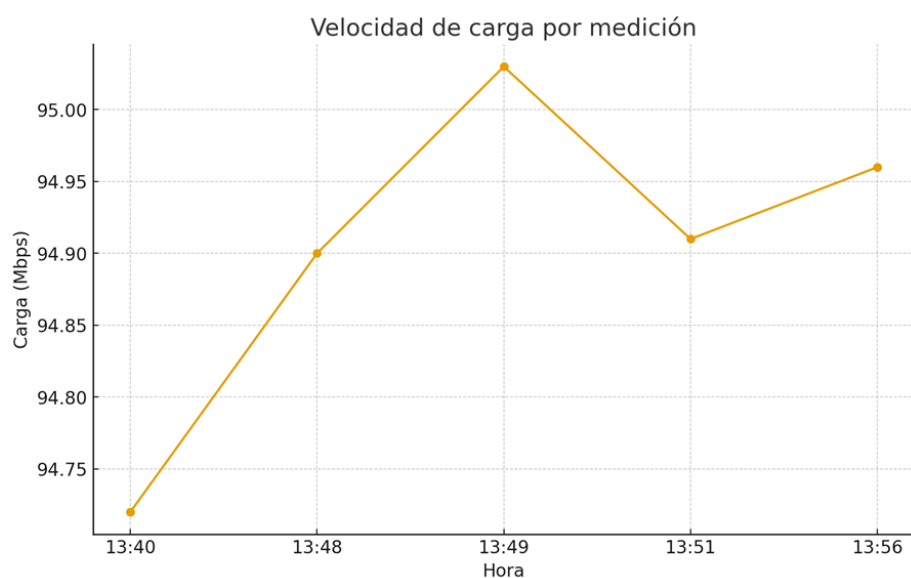
Figura 16:
Velocidad de descarga por medición



Nota. Descarga en Mbps en grupos horarios (Speedtest. 24/03/2025)-elaboración propia

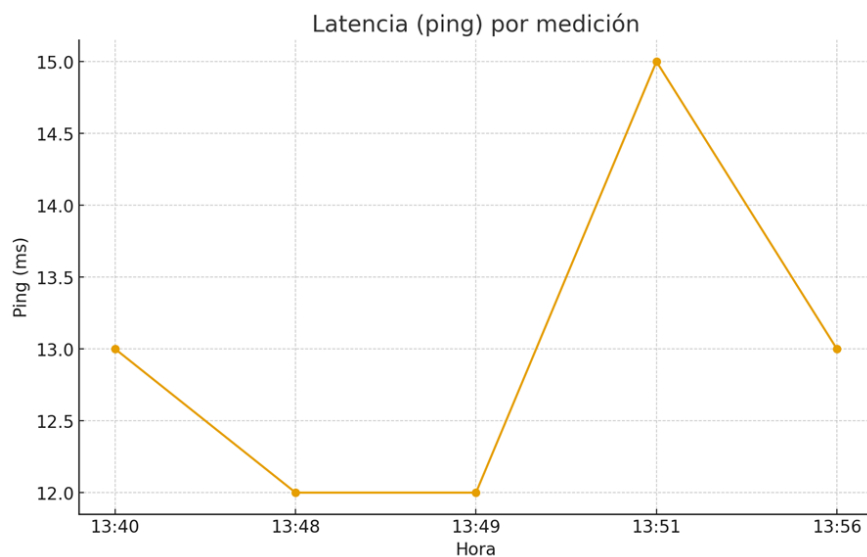
También es importante la velocidad de carga

Figura 17:
Velocidad de carga según grupo horario



Nota. Velocidad de carga según horarios (Speedtest 24/03/2025) Elaboración propia

La demora o latencia en el enlace es otro parámetro importante

Figura 18:***Variación de la latencia o ping según horario de transmisión medido****Nota. Latencia (ping) medidos (Speedtest, 24/03/2025)*

Otro parámetro que se tiene en cuenta en un enlace, son los saltos que da antes de establecer el enlace.

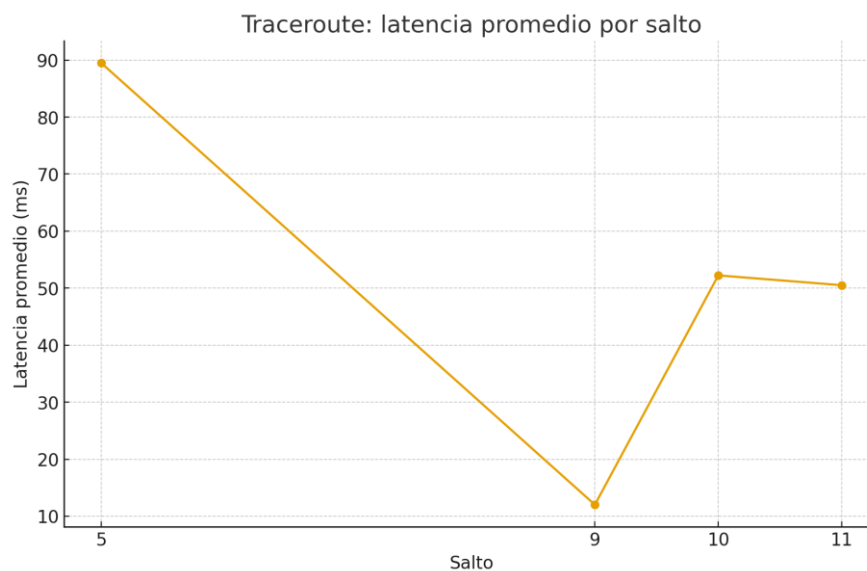
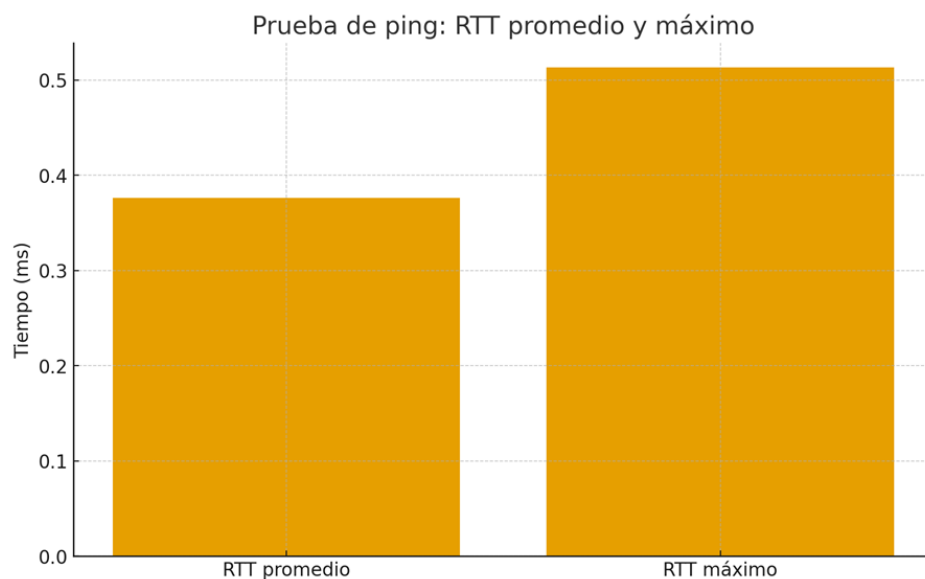
Figura 19:***Traceroute latencia promedio por salto****Nota. Cantidad de saltos y tiempo por cada salto en el enlace. Desde Pañalá hacia 8.8.8.8).**Elaboración propia*

Figura 20:***En el enlace existes parámetros promedio y máximo en RTT****Nota. Prueba de ping: RTT promedio y máximo (Pañalá)*

En todo enlace inalámbrico de radio, la gráfica del espectro indica que tan saturada están la banda de transmisión y los canales, de tal manera que se puede tener zonas de menor interferencia.

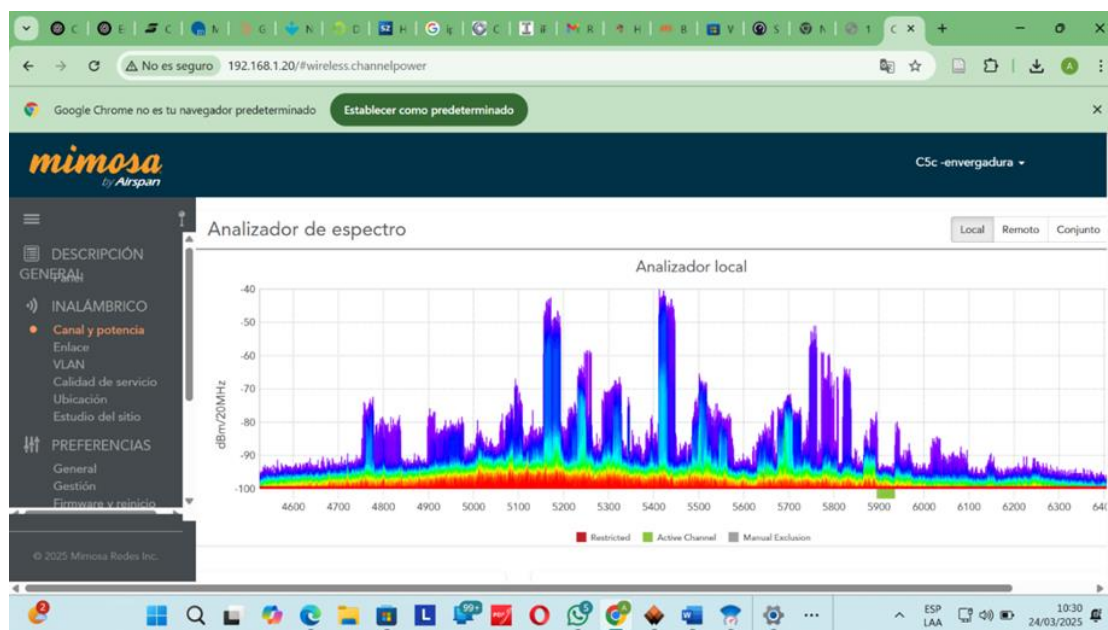
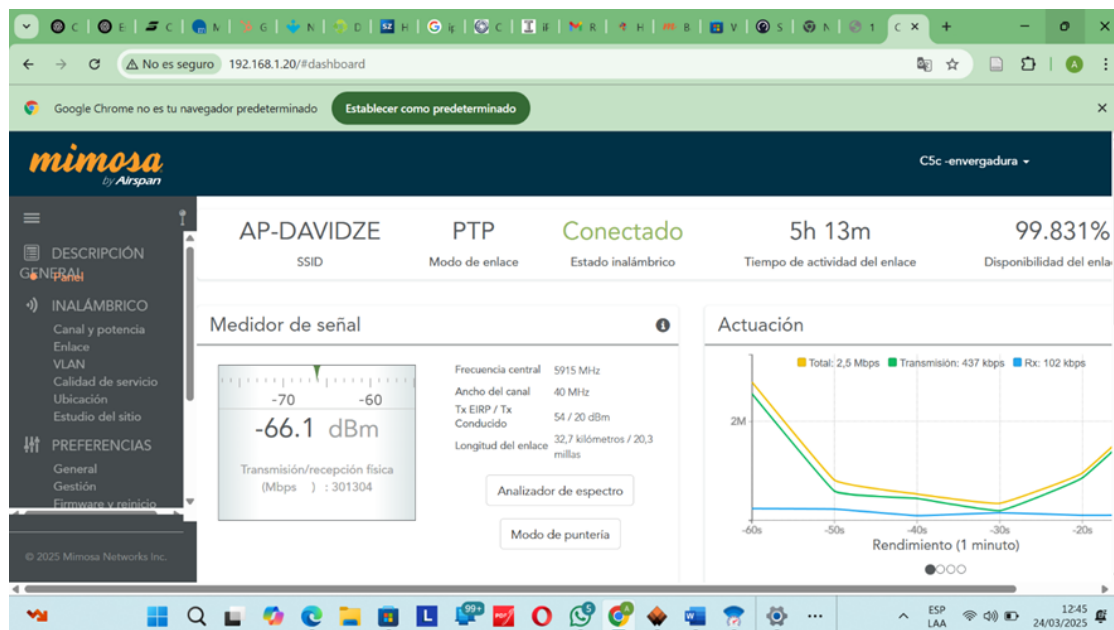
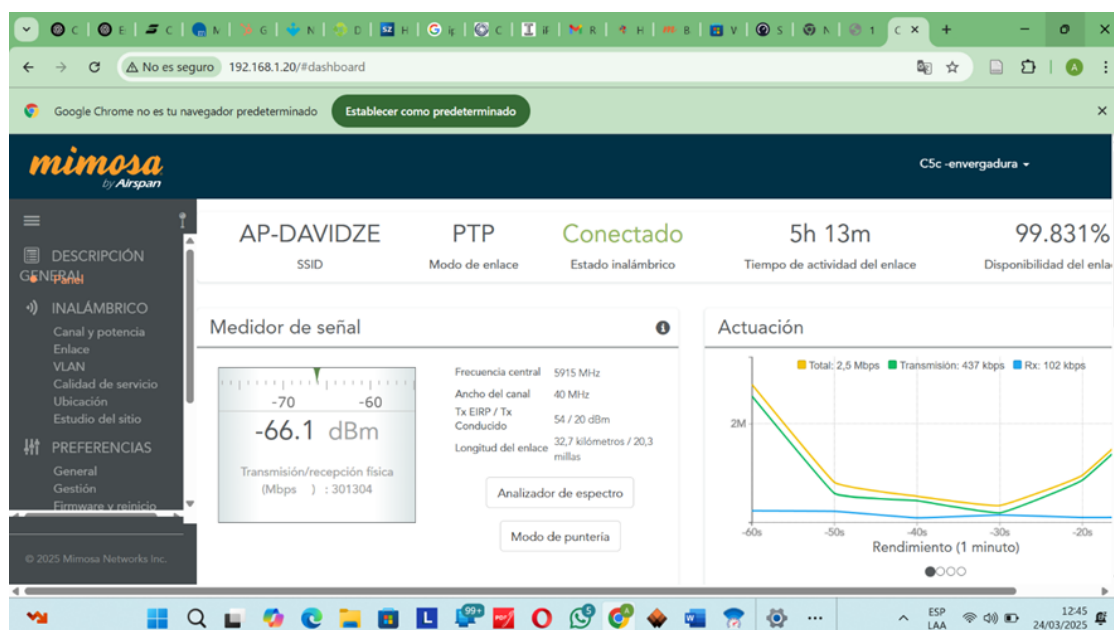
Figura 21:***Espectro de radio. Base Mórrope****Nota. Lectura que muestra el equipo Mimosa C5c-elaboración propia*

Figura 22:
Disponibilidad /Dashboard del enlace en BASE Mórrope



Nota. Disponibilidad del enlace en estación base Mórrope-Elaboración Propia

Figura 23:
Disponibilidad /Dashboard punto remoto Pañalá



Nota. Disponibilidad del enlace en estación remota Pañalá-Elaboración propia

Dentro del mapeo de valores TDMA/Qos

Figura 24:
Lectura de valores DSCP a clase de servicio QoS

Google Chrome no es tu navegador predeterminado. Establecer como predeterminado

192.168.1.20/#wireless.vlan

mimosa by Airspan

CSc -envergadura

tramas

DESCRIPCIÓN GENERAL

INALÁMBRICO

Canal y potencia

Enlace

VLAN

Calidad de servicio

Ubicación

Estudio del sitio

PREFERENCIAS

General

Gestión

Firmware y reinicio

© 2025 Mimosa Networks Inc.

Mapeo de DSCP a CoS

Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio	Centro DSCPde Servicio
0 0	8 1	16 2	24 3	32 4	40 5	48 6	56 7
1 0	9 0	17 0	25 0	33 0	41 0	49 0	57 0
2 0	10 1	18 2	26 3	34 4	42 0	50 0	58 0
3 0	11 0	19 0	27 0	35 0	43 0	51 0	59 0
4 0	12 1	20 2	28 3	36 4	44 0	52 0	60 0
5 0	13 0	21 0	29 0	37 0	45 0	53 0	61 0

ESP LAA

10:36 24/03/2025

Nota. Análisis del mapeo en Mórrope

Capítulo IV: Discusión

4.1. introducción

En este capítulo se integran los resultados obtenidos de las simulaciones del sistema de telecomunicaciones y las mediciones realizadas en campo, con el fin de discutir su relevancia en relación con los objetivos e hipótesis planteadas en la investigación.

Asimismo, se formulan conclusiones generales, recomendaciones y posibles líneas de investigación futura. Este capítulo representa síntesis final que permite consolidar la validez del diseño propuesto y proyectar su implementación práctica en el caserío de Pañalá.

4.2. Discusión de resultados globales

Los resultados de simulación del enlace punto a punto confirmaron la viabilidad técnica del sistema, con un despeje superior al 60% de la primera zona de Fresnel y una disponibilidad proyectada mayor al 99%. Estos indicadores garantizan la estabilidad de la conexión entre Mórrope y Pañalá, constituyendo la base para el despliegue de la red Mesh Wi-Fi 6 en el caserío.

En el caso de la red Wi-Fi 6, los mapas de calor evidenciaron cobertura de aproximadamente 100% en la banda de 2.4GHz, 74.66% en 5.5GHz y 58.37% en 6.0GHz, considerando un umbral de -65 dBm. Estos resultados reflejan una cobertura satisfactoria para el área definida y confirman que la propuesta garantiza conectividad en distintos entornos del caserío.

Las mediciones en campo realizadas mediante Wi-Fi Analyzer mostraron niveles de señal de -26 dBm en zonas próximas al nodo principal y de hasta -71 a -77 dBm en áreas periféricas. Dichos valores son consistentes con los obtenidos en la simulación, lo que confirma la correspondencia entre el modelo predictivo y la realidad. Para una mejor visualización, en la tabla 6 se contrasta la cobertura simulada frente a la medida.

Tabla 10:
Comparación entre cobertura simulada y mediciones en campo

Zona	Banda	RSSI simulado (dBm)	RSSI medido (dBm)	Diferencia	Evaluación
Cercana	2.4 GHz	-45 a -55	-26	+19 a +29	Mejor que simulación
Cercana	5 GHz	-55 a -60	-34	+21 a +26	Mejor que simulación
Intermedia	5 GHz	-60 a -66	-61	Aprox 0 a +5	Coincide
Borde	5 GHz	< -70	-71 a -77	Aprox 0 a -7	Aceptable

Nota. Elaboración propia a partir de resultados de simulación y mediciones en campo.

Este contraste evidencia que, en áreas cercanas al nodo, el rendimiento real fue superior al proyectado, mientras que en zonas intermedias los valores se mantuvieron dentro del rango estimado. En los bordes de cobertura se detectó una atenuación coherente con la existencia de obstáculos físicos, lo que valida la robustez del diseño.

4.3. Contrastación final de hipótesis

La hipótesis planteada es esta investigación fue la siguiente:

H_0 (nula): El diseño y la simulación del enlace inalámbrico y de la red Mesh Wi-Fi 6 no garantizan cobertura ni factibilidad técnica.

H_1 (alternativa): El diseño y la simulación del enlace inalámbrico y de la red Mesh Wi-

Fi 6 garantizan cobertura y factibilidad técnica.

Con base en los resultados obtenidos mediante simulación, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Las mediciones de campo refuerzan este hallazgo, al demostrar que el desempeño real se ajusta a lo previsto en el modelo de simulación.

Conclusiones

A partir del análisis realizado, se formulan las siguientes conclusiones generales:

- El enlace punto a punto entre Mórrope y Pañalá es técnicamente viable, con despeje de la primera zona de Fresnel superior al 60 % y disponibilidad mayor al 99 %.
- 2. La red Mesh Wi-Fi 6 simulada garantiza cobertura adecuada en la banda de 2.4 GHz y un equilibrio en la banda de 5.5 GHz, siendo la banda de 6.0 GHz una alternativa para dispositivos de última generación.
- La relación de equipos propuesta es factible técnica y económicamente, con tecnología disponible en el mercado.
- La hipótesis de investigación fue validada mediante diseño y simulación, y reforzada con resultados de campo.
- La propuesta se considera factible para mejorar la conectividad en entornos rurales con limitaciones tecnológicas.

Recomendaciones

En función de los resultados y conclusiones alcanzadas, se plantea las siguientes recomendaciones:

- Implementar la red de forma progresiva, iniciando con el enlace PTP y nodos principales de la red Mesh.
- Realizar monitoreo periódico de la cobertura con herramientas como Wi-Fi Analyzer para ajustar parámetros.
- Considerar la incorporación gradual de la banda de 6 GHz a medida que se masifiquen los dispositivos compatibles.
- Establecer programas de capacitación comunitaria para garantizar el mantenimiento básico de los equipos.
- Evaluar fuentes de energía renovable (paneles solares) para asegurar sostenibilidad en zonas alejadas.

Líneas de investigación futura

Finalmente se plantean las siguientes líneas de investigación futura que podrían complementar y ampliar los alcances de esta propuesta:

- Comparar el desempeño de redes Mesh con Wi-Fi 6 frente a Wi-Fi 7 en zonas rurales.
- Incorporar modelos predictivos que incluyan obstáculos reales (vegetación, edificaciones) para simulaciones más precisas.
- Analizar el impacto social, educativo y económico de la implementación de la red en comunidades rurales.
- Desarrollar herramientas de simulación adaptadas al contexto peruano, integrando topografía y condiciones meteorológicas locales.
- Evaluar esquemas de gestión comunitaria para la sostenibilidad de las redes en entornos rurales.

Bibliografía Referencias

- Bellalta, B. (2016). *Guifi.net: Un caso de una red comunitaria inalámbrica exitosa*. Journal of Wireless Networks, 22(3), 785–802.
- Cisco. (2018). *Proyecto Altermesh: Conectividad en comunidades rurales*. Informes de la comunidad de Cisco.
- Choque, D. (2022). *Diseño de una red inalámbrica basada en tecnología mesh para mejorar la calidad del servicio de acceso a internet en un hotel de la ciudad de Tacna, año 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna].
- Lara, California (2016). *Análisis del desempeño en un enlace descendente de redes basado en los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11n y WDS* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador].
- López, R. (2018). *Tecnologías inalámbricas emergentes: Análisis y proyección de redes Wi-Fi*. Editorial Universitaria Técnica.
- Parra, F. (2022). *Evaluación de QoS, rendimiento, capacidad y seguridad de una red inalámbrica con estándar IEEE 802.11ax* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador].
- Qualcomm. (2019). *Redes Zenzeleni: Un modelo de conectividad comunitaria en la Sudáfrica rural*. Casos prácticos de Qualcomm.
- Freeman, R. L. (2007). *Radio system design for telecommunications* (3rd ed.). Wiley.
- Comer, D. (2018). *Redes de computadoras y el internet*. Pearson.
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). *Redes de computadoras*. Prentice Hall.

- Cisco Networking Academy. (2021). *CCNA v7 – Introduction to Networks*. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1657>

- IEEE. (2021). *IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – Amendment 6: Enhancements for High-Efficiency WLAN (802.11ax)*. Disponible en: https://standards.ieee.org/standard/802_11ax-2021.html.

- Universitat Politècnica de València. (2013, 9 octubre). *Enlaces radioeléctricos. Zona de Fresnel* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=WpJZ7z6_D9o

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.

- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.

- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2021). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (8th ed.). Pearson.

- Linksys. (2021). *Velop Whole Home Mesh WiFi System*. Linksys. Disponible en: <https://www.linksys.com>

- Akyildiz, I. F., Wang, X., & Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: A survey. *Computer Networks*, 47*(4), 445–487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2004.12.001>

Anexos

Características de equipos de Transmisión y Recepción de los radios instalados en el enlace PTP de Mórrope (ciudad) – caserío Pañalá

◆ Frecuencia de Operación

- 4.9 - 6.2 GHz (dependiendo de la regulación del país), se trabajó en 5.85 GHz
Soporta las bandas UNII-1, UNII-2, UNII-2C, UNII-3 y 4.9 GHz.
- Las bandas UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) son segmentos del espectro de 5 GHz utilizados para comunicaciones inalámbricas, como Wi-Fi y enlaces de radio. Son reguladas por entidades como la FCC en EE.UU. y pueden variar según el país.
- Cuando el indica que soporta UNII-1, UNII-2, UNII-2C, UNII-3 y 4.9 GHz, significa que puede operar en varias subbandas dentro del espectro de 4.9 GHz a 6.2 GHz, como:

◆ Potencia de Transmisión (Tx)

- Máxima: 27 dBm (500 mW)
- Configurable en incrementos de 1 dB.
- La potencia máxima varía según la modulación y el ancho de canal.

◆ Sensibilidad de Recepción (Rx)

Depende de la modulación y el ancho de canal:

Modulación (MCS)	20 MHz	40 MHz	80 MHz
MCS 0 (BPSK)	-93 dBm	-90 dBm	-87 dBm
MCS 7 (64-QAM)	-72 dBm	-69 dBm	-66 dBm
MCS 9 (256-QAM)	-66 dBm	-63 dBm	-60 dBm

◆ Mientras mayor sea la modulación, menor será la sensibilidad

◆ Anchos de Canal Compatibles

20 MHz, 40 MHz y 80 MHz

Se realizó la medición con el ancho del canal de 40MHz

◆ **Modulación y Tecnología**

OFDM con 256-QAM

Compatible con Wi-Fi 5 (802.11ac) y Wi-Fi 4 (802.11n)

Soporta MIMO 2x2 (Multipath Input, Multipath Output)

TDD (Time Division Duplexing) configurable para sincronización.

◆ **Conectividad de Antena**

2 conectores N-femenino (para conectar antenas externas).

Soporta antenas direccionales y parabólicas.

◆ **Rango de Distancia y Desempeño**

Alcance de hasta 50 km (dependiendo de la antena utilizada).

Velocidades de hasta 500+ Mbps en condiciones ideales.

Diseño para simular la cobertura de una red Mesh-MAPA DE CALOR, PARA LAS DE 2.4/5.5/6.0 GHz

=====

ANEXO 3 — CÓDIGO FUENTE

=====

Título: Generación de mapas de calor Wi-Fi (modelo log-distance) para 2.4 / 5.5 / 6.0 GHz

Autor: (Complete con su nombre)

Fecha: 2025-08-27

#

Descripción:

Este script genera mapas de calor de potencia recibida (dBm) y calcula el porcentaje

de cobertura ($\geq$ umbral) para una red Mesh con distribución 4x4 de puntos de acceso (APs)

sobre un área rectangular de 100 m $\times$ 200 m. Se implementa el modelo log-distance

con referencia a 1 metro (FSPL@1m) y exponente de pérdidas n.

#

Entradas principales (puede modificar los parámetros en la sección CONFIGURACIÓN):

- Dimensiones del área (ancho y alto en metros).

- Número de APs por fila/columna (p. ej., $4 \times 4 = 16$ APs).

- Potencia EIRP por banda (dBm) y exponente de pérdidas n.

- Umbral de cobertura (por defecto: -65 dBm).

#

Salidas:

- Mapas de calor en PNG por cada banda (2.4 / 5.5 / 6.0 GHz).

- Archivo CSV con el resumen de cobertura por banda.

```
# - Impresión por consola del resumen de cobertura.

#

# Dependencias:

# - numpy, matplotlib, pandas

#

# Notas Importantes (APA / reproducibilidad):

# - No se define una paleta de colores específica (se usa la configuración por defecto de
matplotlib).

# - Cada figura contiene un solo gráfico (sin subplots) para claridad.

# - El modelo log-distance es una simplificación y no contempla multipath, shadowing ni
obstáculos.

# Ajuste 'n' o incorpore pérdidas adicionales si cuenta con datos del entorno.

#

# =====

#           C O N F I G U R A C I Ó N

# =====

import numpy as np

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt


# Área (alto × ancho) en metros

HEIGHT_M = 100.0 # eje Y

WIDTH_M = 200.0 # eje X


# Resolución de la grilla (número de celdas)

GRID_Y = 200 # más alto = más detalle (pero más lento)

GRID_X = 400
```

```
# Colocación de APs en grilla 4x4 (uniforme)
```

```
APS_ROWS = 4
```

```
APS_COLS = 4
```

```
# Bandas y parámetros (EIRP en dBm, exponente n)
```

```
BANDS = {
```

```
    "2.4GHz": {"freq_GHz": 2.4, "EIRP_dBm": 20.0, "n": 2.6},
```

```
    "5.5GHz": {"freq_GHz": 5.5, "EIRP_dBm": 23.0, "n": 3.0},
```

```
    "6.0GHz": {"freq_GHz": 6.0, "EIRP_dBm": 23.0, "n": 3.2},
```

```
}
```

```
# Antena del receptor (ganancia neta del dispositivo cliente)
```

```
G_RX_dBi = 0.0
```

```
# Umbral de cobertura (ej. -65 dBm)
```

```
THRESHOLD_dBm = -65.0
```

```
# Ruta base de salida
```

```
OUT_PREFIX = "anexo3_wifi_heatmap"
```

```
# =====
```

```
#     FUNCIONES BÁSICAS
```

```
# =====
```

```
def fspl_1m_dB(f_GHz: float) -> float:
```

```
    """
```

Pérdida en espacio libre a 1 metro ($d_0 = 1$ m).

Fórmula equivalente: $FSPL(dB) = 32.44 + 20 \cdot \log_{10}(f_MHz) + 20 \cdot \log_{10}(d_km)$

Para $d_0 = 0.001$ km => término $20 \cdot \log_{10}(0.001) = -60$ dB.

$$\begin{aligned} FSPL(1m) &= 32.44 + 20 \cdot \log_{10}(f_MHz) - 60 = -27.56 + 20 \cdot \log_{10}(f_MHz) \\ &= 32.44 + 20 \cdot \log_{10}(f_MHz) + 20 \cdot \log_{10}(0.001) \end{aligned}$$

Prácticamente, una forma directa:

$$FSPL(1m) = 32.44 + 20 \cdot \log_{10}(f_MHz) - 60$$

"""

$$f_MHz = f_GHz * 1000.0$$

$$\text{return } 32.44 + 20.0 \cdot \text{np.log}_{10}(f_MHz) - 60.0$$

```
def pr_log_distance_dBm(EIRP_dBm: float, f_GHz: float, n: float, d_m: np.ndarray,  
G_rx_dBi: float = 0.0) -> np.ndarray:
```

"""

Potencia recibida (dBm) con el modelo log-distance (referencia a 1 m).

$$Pr(dBm) = EIRP + G_rx - FSPL(1m) - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/1m)$$

Donde:

- EIRP_dBm: potencia isotrópica radiada equivalente del AP.
- G_rx_dBi: ganancia del receptor.
- n: exponente de pérdidas.
- d_m: distancia en metros (numpy array). Se clipea a $d \geq 1$ m para evitar $\log(0)$.

"""

$$d = \text{np.clip}(d_m, 1.0, \text{None})$$

$$\text{return } EIRP_dBm + G_rx_dBi - \text{fspl_1m_dB}(f_GHz) - 10.0 \cdot n \cdot \text{np.log}_{10}(d/1.0)$$

```
def ap_positions(width: float, height: float, rows: int, cols: int) -> np.ndarray:
```

"""

Distribuye APs en una malla regular ($\text{rows} \times \text{cols}$) dentro del rectángulo $[0, \text{width}] \times [0, \text{height}]$.

Retorna un array shape (N, 2) con coordenadas (x, y) en metros.

```
"""
```

```
xs = np.linspace(width/(cols+1), width - width/(cols+1), cols)
```

```
ys = np.linspace(height/(rows+1), height - height/(rows+1), rows)
```

```
X, Y = np.meshgrid(xs, ys)
```

```
pts = np.vstack([X.ravel(), Y.ravel()]).T
```

```
return pts
```

```
def grid_coords(width: float, height: float, nx: int, ny: int):
```

```
"""
```

Crea coordenadas (x,y) para el centro de cada celda de la grilla.

```
"""
```

```
xs = np.linspace(0, width, nx)
```

```
ys = np.linspace(0, height, ny)
```

```
XX, YY = np.meshgrid(xs, ys)
```

```
return XX, YY
```

```
def compute_heatmap_for_band(params: dict, aps_xy: np.ndarray, XX: np.ndarray, YY: np.ndarray) -> np.ndarray:
```

```
"""
```

Calcula la potencia recibida máxima por celda (mejor AP) en dBm para una banda.

```
"""
```

```
f = params["freq_GHz"]; eirp = params["EIRP_dBm"]; n = params["n"]
```

```
heat = None
```

```
for (ax, ay) in aps_xy:
```

```

d = np.sqrt((XX - ax)**2 + (YY - ay)**2)

pr = pr_log_distance_dBm(eirp, f, n, d, G_rx_dBi=G_RX_dBi)

heat = pr if heat is None else np.maximum(heat, pr) # mejor AP (mayor Pr)

return heat

```

```

def coverage_percent(heatmap_dBm: np.ndarray, threshold_dBm: float) -> float:

```

```

    """

```

Retorna el porcentaje de celdas con potencia $\geq$ threshold.

```

    """

```

```

total = heatmap_dBm.size

```

```

covered = (heatmap_dBm >= threshold_dBm).sum()

```

```

return 100.0 * covered / total

```

```

def save_heatmap_png(heatmap_dBm: np.ndarray, title: str, filename: str):

```

```

    """

```

Guarda una figura PNG con el mapa de calor (potencia dBm).

NOTA: No se establece una paleta de colores específica (cumple con guía).

Cada figura tiene un único gráfico (sin subplots).

```

    """

```

```

plt.figure()

```

```

plt.imshow(heatmap_dBm, origin="lower", extent=[0, WIDTH_M, 0, HEIGHT_M],
aspect="auto")

```

```

plt.colorbar(label="Potencia recibida (dBm)")

```

```

plt.title(title)

```

```

plt.xlabel("X (m)")

```

```

plt.ylabel("Y (m)")

```

```
plt.tight_layout()

plt.savefig(filename, dpi=200)

plt.close()
```

```
def main():
```

```
    # Posiciones de APs y grilla
```

```
    aps_xy = ap_positions(WIDTH_M, HEIGHT_M, APS_ROWS, APS_COLS)
```

```
    XX, YY = grid_coords(WIDTH_M, HEIGHT_M, GRID_X, GRID_Y)
```

```
    # Cálculo por banda y reporte de cobertura
```

```
    records = []
```

```
    for name, p in BANDS.items():
```

```
        heat = compute_heatmap_for_band(p, aps_xy, XX, YY)
```

```
        cov = coverage_percent(heat, THRESHOLD_dBm)
```

```
        png_name = f"{OUT_PREFIX}_{name.replace('.', '_')}.png"
```

```
        save_heatmap_png(heat, f"Mapa de calor {name} (umbral {THRESHOLD_dBm} dBm)", png_name)
```

```
        records.append({"Banda": name, "EIRP (dBm)": p["EIRP_dBm"], "n": p["n"],
"Cobertura  $\geq$  umbral (%)": round(cov, 2), "PNG": png_name})
```

```
    # Guardar resumen
```

```
    df = pd.DataFrame.from_records(records)
```

```
    csv_name = f"{OUT_PREFIX}_resumen_cobertura.csv"
```

```
    df.to_csv(csv_name, index=False)
```

```
# Imprimir resultados en consola

print("\n=== RESUMEN DE COBERTURA (umbral {} dBm)
=== ".format(THRESHOLD_dBm))

print(df.to_string(index=False))

print("\nArchivos generados en el directorio actual:")

print(" -", csv_name)

for _, row in df.iterrows():

    print(" -", row["PNG"])


if __name__ == "__main__":

    main()
```

Ficha de encuestas realizadas a los moradores en Pañalá.

Nombre y apellido del encuestado

Lugar de trabajo o domicilio

Instrucciones:

Por favor, califique los siguientes aspectos de su experiencia con la red Wi-Fi. Use la siguiente escala:

◆ 1 = Muy insatisfecho

◆ 2 = Insatisfecho

◆ 3 = Neutral

◆ 4 = Satisfecho

◆ 5 = Muy satisfecho

◆ Sección 1: Calidad de la Conexión

¿Qué tan satisfecho está con la velocidad de descarga del Wi-Fi?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Qué tan satisfecho está con la velocidad de carga del Wi-Fi?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Cómo califica la estabilidad de la conexión (sin cortes ni desconexiones)?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Cómo califica la cobertura Wi-Fi en las diferentes áreas donde la usa?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿La señal Wi-Fi se mantiene estable en horas de mayor uso?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

◆ Sección 2: Experiencia del Usuario

¿Qué tan fácil fue conectarse a la red Wi-Fi?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Qué tan satisfecho está con la rapidez en la carga de videos o streaming?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Cómo califica la experiencia al jugar en línea (si aplica)?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Cómo califica la calidad de las videollamadas con esta conexión?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

◆ Sección 3: Satisfacción General

En general, ¿qué tan satisfecho está con la señal Wi-Fi?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

¿Recomendaría esta red Wi-Fi a otras personas?

☐ Sí ☐ No ☐ No estoy seguro