

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro
de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque**

Para Optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADA POR:

Bachiller: Carlos Fernando Sandoval Santamaria

ASESOR: M.Sc. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar

LAMBAYEQUE – PERÚ
2026

TESIS

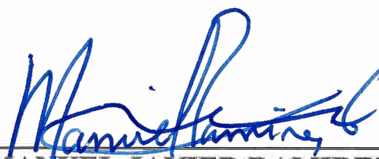
**Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro
de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:



**M. SC. ING. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
PRESIDENTE**



**MG. ING. MANUEL JAVIER RAMIREZ CASTRO
SECRETARIO**



**MG. ING. THAUZO GAD PACHAMANGO BAUTISTA
VOCAL**

TESIS

Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

AUTORES:



Bach. Carlos Fernando Sandoval Santamaría

ASESOR:



M.Sc. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 002-2026-D/FACFyM

Siendo las 08:00 am del día 12 de marzo del 2026, se reunieron vía plataforma virtual, <http://meet.google.com/yfv-rtpe-cjd>, los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada: "Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque"

Designados por Resolución N° 572-2025- D/FACFyM de fecha 20 de junio de 2025.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla	Presidente
Mg. Ing. Manuel Javier Ramírez Castro	Secretario
Mg. Ing. Thauso Gad Pachamango Bautista	Vocal

La tesis fue asesorada por el M.Sc. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar, nombrado por Resolución N° 572-2025- D/FACFyM de fecha 20 de junio de 2025.

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 171-2026-D/FACFyM de fecha 03 de marzo de 2026.

La Tesis fue presentada y sustentada por el Bachiller: Carlos Fernando Sandoval Santamaría, y 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, otorgándole el Calificativo de 16 (dieciséis) en la escala vigesimal, mención Bueno.

Por lo que queda apto para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico**, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

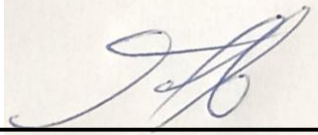
Siendo las 09:00 am se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.



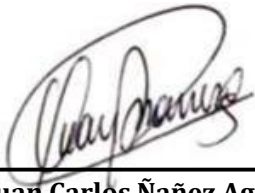
M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
Presidente



Mg. Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
Secretario



Mg. Ing. Thauso Gad Pachamango Bautista
Vocal



Mg. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar
Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

Mg. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar, usuario revisor de la tesis titulada: **“Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque”**

Cuyo autor es:

- Bach. Carlos Fernando Sandoval Santamaría

Identificado con Documento de Identidad 80485151; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de 07 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho 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, 26 de febrero del 2026



Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar
DNI N° 80485151

Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

6 %

FUENTES DE INTERNET

1 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

2

Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Trabajo del estudiante

1 %

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1 %

4

www.cambiumnetworks.com

Fuente de Internet

<1 %

5

Submitted to Universidad Internacional del Ecuador

Trabajo del estudiante

<1 %

6

Submitted to Consorcio CIXUG

Trabajo del estudiante

<1 %

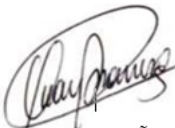
7

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

repositorio.untumbes.edu.pe



M.Sc. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar
DNI: 80485151
ASESOR

8

Fuente de Internet

<1 %

9

repositorio.uch.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

10

cnmc.es

Fuente de Internet

<1 %

11

dspace.unila.edu.br

Fuente de Internet

<1 %

12

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

13

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

repositorio.undc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

Submitted to Universidad Estatal Amazonica-

Trabajo del estudiante

<1 %

16

Yoshimura Matsuki, Jenny Mery. "Innovacion en gastronomia peruana: El rol de las redes sociales en la consolidacion de la marca "Cocina peruana".", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020

Publicación

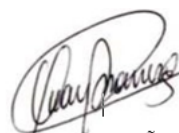
<1 %

17

core.ac.uk

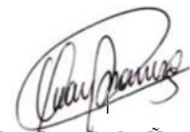
Fuente de Internet

<1 %



M.Sc. Ing. Juan Carlos Nájuez Aguilar
DNI:80485151
ASESOR

18	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
19	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
21	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to UPAEP: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla Trabajo del estudiante	<1 %
23	homero.icesi.edu.co Fuente de Internet	<1 %
24	altavoz.pe Fuente de Internet	<1 %



M.Sc. Ing. Juan Carlos Nañez Aguilar
DNI:80485151
ASESOR

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		



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: Carlos Fernando Sandoval Santamaría
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable...
Nombre del archivo: Informe_Final_-_Carlos_Sandoval.docx
Tamaño del archivo: 3.83M
Total páginas: 77
Total de palabras: 11,765
Total de caracteres: 65,539
Fecha de entrega: 26-feb-2026 09:33p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2889545545

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

Diseño de red inalámbrica para garantizar conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque

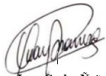
Para Optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADA POR:

Bachiller: Carlos Fernando Sandoval Santamaría

ASESOR: M.Sc. Ing. Juan Carlos Ñáñez Aguilar

LAMBAYEQUE – PERÚ
2025



M.Sc. Ing. Juan Carlos Ñáñez Aguilar
DNI: 80485151
ASESOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento tan importante en mi vida profesional.

A mis padres, por todo el esfuerzo realizado a lo largo de estos años y por confiar siempre en mis capacidades.

A mis hermanos, por su apoyo constante y por motivarme a seguir adelante cuando más lo necesitaba.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso académico.

Carlos Fernando Sandoval Santamaría

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por todo el esfuerzo que han hecho por mí y por enseñarme, con su ejemplo, que las cosas se logran con trabajo y perseverancia. Gracias por estar siempre a mi lado y por confiar en que podía alcanzar esta meta.

A mis hermanos, por su apoyo constante y por motivarme a seguir adelante, incluso en los momentos en que todo parecía difícil.

Carlos Fernando Sandoval Santamaría

INDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO	16
1.1	Antecedentes	16
1.1.1	Antecedentes Internacionales.....	16
1.1.2	Antecedentes Nacionales	17
1.2	Bases Teóricas.....	19
1.2.1	Red Inalámbrica	19
1.2.2	Conectividad Digital y Brecha Tecnológica	19
1.2.3	Redes Inalámbricas en Salud (e-Health).....	20
1.2.4	Diseño de Redes en Contextos Rurales	21
1.2.5	Redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN)	
	22	
2	CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES	23
2.1	Diseño de Contrastación de Hipótesis.....	23
2.2	Población, muestra	25
2.2.1	Población.....	25
2.2.2	Muestra	25
2.3	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	25
2.3.1	Técnicas	25
2.3.2	Instrumentos.....	25
2.3.3	Equipos y materiales	26
3	CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1	Resultados	29

3.1.1	Enlace inalámbrico punto a punto (PtP) 5 GHz.....	34
3.1.2	Enlace Punto multipunto (PmP) DE 5 GHZ	44
3.1.3	Enlace PtP en Banda Licenciada (7 GHz)	49
3.1.4	Comparativa de tres alternativas de enlace punto a punto para el backhaul.....	59
3.2	Discusión.....	66
4	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
4.1	Conclusiones	68
4.2	Recomendaciones.....	69
5	REFERENCIAS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Brecha de conectividad en países América Latina y el Caribe, 2000 a 2022.....	13
Figura 2 Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque.....	14
Figura 3 Clasificación de las redes inalámbricas.....	19
Figura 4 El poder de la conectividad digital	20
Figura 5 Ecosistemas Digitales en Salud	21
Figura 6 Conectividad inalámbrica rural	21
Figura 7 Comunicación para Dispositivos.....	22
Figura 8 Diseño de Contrastación Hipótesis.....	24
Figura 9 Evolución del acceso a Internet por ámbito geográfico (2019–2024).....	30
Figura 10 Hogares con acceso a internet según ámbito geográfico, 2019 - 2024	31
Figura 11 Cobertura nacional y centros poblados sin acceso	32
Figura 12 Vista de ubicación del nodo y orientación del enlace en Pampa Grande.....	35
Figura 13 Antena de telecomunicaciones para enlace inalámbrico	37
Figura 14 Antena parabólica de alta ganancia - Ubiquiti RocketDish RD-5G34 -	39
Figura 15 Esquina del establecimiento de salud para el emplazamiento de antena	43
Figura 16 Perfil del enlace y verificación de línea de vista entre nodos	44
Figura 17 Configuración del enlace PtP en 5.8 GHz (ePMP Force 400C).....	45
Figura 18 Parámetros de la antena receptora del enlace punto a punto	46
Figura 19 Desempeño previsto en el extremo receptor del enlace	47
Figura 20 Indicadores de desempeño del enlace PtP: disponibilidad, margen y pérdida total....	48
Figura 21 Relación capacidad disponibilidad del enlace en el extremo receptor	49

Figura 22	Perfil topográfico y verificación de despeje del enlace entre antenas.....	50
Figura 23	Configuración del enlace PtP en 7 GHz con equipo PTP07850C.....	50
Figura 24	Configuración de antena emisora: ganancia, altura y límites de EIRP	51
Figura 25	Configuración de antena receptora de 36.6 dBi: altura, pérdidas y límites de EIRP ..	53
Figura 26	Desempeño de la antena emisora: potencia recibida, capacidad IP y disponibilidad .	54
Figura 27	Desempeño antena receptora: potencia recibida, capacidad IP y disponibilidad.....	55
Figura 28	Relación capacidad - disponibilidad del enlace en antena receptora (7 GHz)	56
Figura 29	Desempeño del enlace por modulación: desde 4096 QAM hasta BPSK	58
Figura 30	Comparativa de capacidad agregada de tres alternativas PtP para backhaul	60
Figura 31	Comparativa de capacidad por dirección en tres alternativas PtP de backhaul.....	61
Figura 32	Comparativa de eficiencia espectral en alternativas PtP: 5.8 GHz vs 7 GHz	62
Figura 33	Comparación de indisponibilidad anual en alternativas PtP (5.8 GHz vs 7 GHz).....	63
Figura 34	Comparación del margen de ganancia del enlace en tres alternativas PtP	63
Figura 35	Costos estimados del enlace, banda libre (5.8 GHz) vs banda licenciada (7 GHz)	76
Figura 36	Costo promedio vs capacidad agregada	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requerimientos de ancho de banda en salud	33
Tabla 2 Parámetros técnicos del sitio “Antena Pampa Grande”	36
Tabla 3 Parámetros del nodo “Pampa Grande”	38
Tabla 4 Configuración del enlace inalámbrico PtP	40
Tabla 5 Pérdida de propagación y pérdida total del enlace.....	40
Tabla 6 Desempeño del enlace PtP en 5.825 GHz.....	41
Tabla 7 Relación entre ancho de canal y capacidad estimada del enlace	43
Tabla 8 Comparación de alternativas PtP para backhaul: 5.8 GHz (20 y 40 MHz) vs 7 GHz licenciada	59
Tabla 9 Presupuesto del enlace Punto multipunto (PmP) de 5 GHZ	74
Tabla 10 Presupuesto del enlace Punto multipunto (PmP) de 7 GHZ	75

RESUMEN

Se identificó que el Centro de Salud de Pampa Grand, distrito de Chongoyape, de la región Lambayeque, dispone de conectividad restringida para sostener servicios críticos como telemedicina y sistemas clínico administrativos, lo que limita la continuidad y el desempeño de la comunicación sanitaria, el objetivo fue diseñar una red inalámbrica que garantice conectividad estable en el establecimiento, la investigación fue cuantitativa, de diseño descriptivo y no experimental, en la simulación computacional se emplearon Radio Mobile, Ubiquiti Link Planner para el modelado topográfico y la evaluación de cobertura, potencia, latencia y disponibilidad, se compararon tres alternativas de backhaul punto a punto: 5.8 GHz con 20 MHz, 5.8 GHz con 40 MHz y 7 GHz en banda licenciada, considerando capacidad agregada y por dirección, eficiencia espectral, disponibilidad e inversión, los resultados mostraron que 5.8 GHz con 40 MHz alcanzó aproximadamente 265 Mbps agregados y 132 Mbps por dirección, con disponibilidad de 99.9995 % y costo estimado de S/ 10,500, mientras que 7 GHz logró 543 Mbps agregados y 272 Mbps por dirección con 100 % de disponibilidad, pero con costo de S/ 91,400, se concluyó que la alternativa de 5.8 GHz con 40 MHz ofrece el mejor equilibrio técnico y económico para garantizar conectividad estable, respaldando la hipótesis planteada.

Palabras clave: Enlace punto a punto; backhaul de microondas; telemedicina rural.

ABSTRACT

It was identified that the Pampa Grand Health Center, in the Chongoyape district of the Lambayeque region, has limited connectivity to support critical services such as telemedicine and clinical-administrative systems, which restricts the continuity and performance of healthcare communication. The objective was to design a wireless network that guarantees stable connectivity in the facility. The research was quantitative, descriptive, and non-experimental. Radio Mobile and Ubiquiti Link Planner were used in the computational simulation for topographic modeling and the evaluation of coverage, power, latency, and availability. Three point-to-point backhaul alternatives were compared: 5.8 GHz with 20 MHz, 5.8 GHz with 40 MHz, and 7 GHz in the licensed band, considering aggregate and per-direction capacity, spectral efficiency, availability, and investment. The results showed that 5.8 GHz with 40 MHz achieved approximately 265 Mbps aggregate and 132 Mbps per direction, with 99.9995% availability and an estimated cost of S/ 10,500, while 7 GHz achieved 543 Mbps aggregate and 272 Mbps per direction with 100% availability, but at a cost of S/ 91,400, it was concluded that the 5.8 GHz alternative with 40 MHz offers the best technical and economic balance to guarantee stable connectivity, supporting the hypothesis put forward.

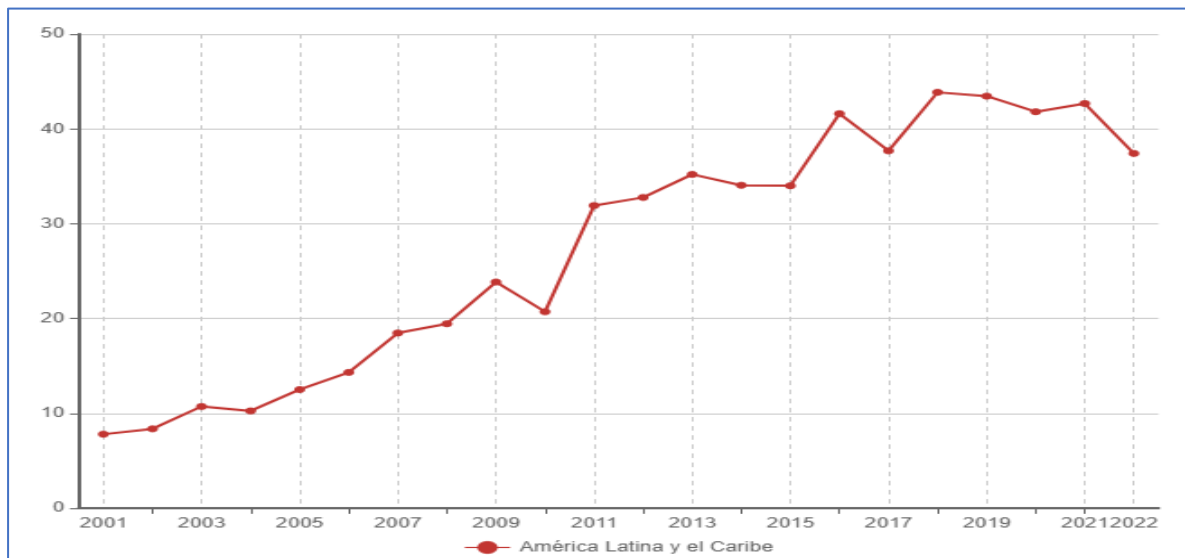
Keywords: point to point link; microwave backhaul; rural telemedicine.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la conectividad en áreas rurales continúa siendo un desafío significativo. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Observatorio de Desarrollo Digital, 2022), en 2022 existía una brecha considerable en el acceso a internet entre zonas urbanas y rurales en América Latina, lo que limita el acceso equitativo a servicios esenciales como la salud y la educación. Esta desigualdad tecnológica impide la implementación efectiva de soluciones como la telemedicina, afectando negativamente la calidad de vida de las poblaciones rurales.

Figura 1

Brecha de conectividad en países América Latina y el Caribe, 2000 a 2022



En el Perú, la brecha digital entre áreas urbanas y rurales es pronunciada. Durante el último trimestre de 2021, solo el 18.5% de los hogares en zonas rurales contaban con servicios de internet, en contraste con el 75.1% en Lima Metropolitana. Esta disparidad limita el acceso de las poblaciones rurales a servicios de salud modernos, como la telemedicina, y obstaculiza la

implementación de tecnologías que podrían mejorar la atención médica en estas áreas (INEI, 2023).

En el departamento de Lambayeque, la situación es similar. A pesar de los esfuerzos por mejorar la infraestructura digital, muchas zonas rurales aún carecen de conectividad adecuada. Esto afecta directamente a establecimientos de salud como el Centro de Salud de Pampa Grande, en el distrito de Chongoyape, que enfrenta dificultades para implementar servicios de telemedicina y acceder a sistemas de información en salud, limitando la calidad y oportunidad de la atención médica (MINSA, 2023).

Figura 2

Centro de Salud de Pampa Grande, distrito de Chongoyape, región Lambayeque



Abordar la problemática de la falta de conectividad en centros de salud rurales es crucial para mejorar la calidad de la atención médica y reducir las desigualdades en salud (González & Castañeda, 2023). La implementación de redes inalámbricas en establecimientos como el Centro de Salud de Pampa Grande permitirá la adopción de tecnologías como la telemedicina, facilitando el acceso a servicios especializados y mejorando los indicadores de salud en la región. Además, contribuirá al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la salud y el bienestar.

La presente tesis busca diseñar una red inalámbrica que garantice la conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, respondiendo a la necesidad identificada de mejorar la infraestructura digital en zonas rurales de Lambayeque. Este diseño permitirá la implementación de servicios de salud modernos, como la telemedicina, y contribuirá a cerrar la brecha digital que afecta a las poblaciones más vulnerables. La investigación se alinea con las políticas nacionales de inclusión digital y mejora de los servicios de salud en áreas rurales.

1 CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Wendt & Hildebrand (2025), presentaron como como objetivo, analizar el estado actual y las necesidades futuras de los sistemas de transferencia de pacientes traumatizados en Europa, enfatizando el rol de las telecomunicaciones en la atención hospitalaria. Se utilizó una metodología de revisión teórica basada en análisis de documentos oficiales, estudios previos y experiencias de proyectos transfronterizos. No se definió una población o muestra empírica, al tratarse de un artículo de revisión. Como instrumento, se empleó el análisis documental. Se concluye que la implementación de redes de telecomunicación unificadas, protocolos de transferencia estandarizados y registros comunes son esenciales para mejorar la calidad de la atención traumatológica en regiones con capacidades hospitalarias limitadas.

Buabbas et al. (2021) desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar la eficacia del sistema de telepatología desde la perspectiva de los usuarios en hospitales públicos. Se utilizó un diseño mixto secuencial explicativo, combinando una encuesta aplicada a 45 patólogos y entrevistas semiestructuradas con 10 especialistas. La población estuvo compuesta por patólogos activos en hospitales gubernamentales de Kuwait. Los instrumentos fueron un cuestionario validado y entrevistas. Los resultados mostraron satisfacción con la calidad del sistema, pero insatisfacción con la calidad de la información, soporte técnico y beneficios percibidos. Se concluye que el sistema es técnicamente funcional, pero su aprovechamiento es limitado por factores humanos y deficiencias organizativas.

Mahmeen et al. (2021) plantearon como objetivo, diseñar arquitecturas de red 5G privadas aplicadas a flujos de trabajo en radiología. Se empleó una metodología de diseño y simulación técnica, analizando especificaciones de red, protocolos de comunicación y aplicaciones clínicas en un hospital. No se aplicó una muestra poblacional, dado que se trata de un estudio tecnológico. Se utilizaron como instrumentos el análisis comparativo de redes y la modelación de arquitecturas. Los resultados muestran mejoras sustanciales en latencia, seguridad y rendimiento de interfaces usuario-equipo. Se concluye que el uso de redes 5G privadas en hospitales transforma los procesos radiológicos, mejorando eficiencia, precisión y atención remota en tiempo real.

.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Quispe (2023), presenta objetivo elaborar un modelo basado en los factores relevantes que influyen en el avance de la transformación digital y cuantificar la brecha de servicios digitales en salud. La investigación fue de tipo cuantitativo, con alcance correlacional, empleando el Análisis de Componentes Principales (ACP) como metodología estadística para discriminar variables significativas. Se utilizó como población los datos de 25 regiones del Perú, y como instrumentos bases de datos de ENAHO, MINSA, ESSALUD, INEI y MEF. Se concluye que la brecha digital persiste por limitaciones en infraestructura tecnológica, falta de capacitación del personal y débil compromiso institucional, obstaculizando una transformación digital efectiva del sector salud.

Rosas (2021), , analizó las causas del escaso uso de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica y propuso escenarios futuros para incentivar su uso. La investigación fue de tipo exploratorio con enfoque prospectivo y uso de métodos como análisis bibliométrico, encuestas Delphi, análisis estructural MICMAC y escenarios SMIC. La población correspondió a los proyectos nacionales y

regionales de banda ancha en Perú; la muestra fueron los factores de cambio (drivers) con mayor influencia identificados en el sistema. Como instrumentos se usaron análisis documental, bibliometría y matrices prospectivas. Se concluye que es posible maximizar el uso de las redes si se actúa sobre los entornos tecnológicos, regulatorios y de gestión con visión de futuro.

Sotelo (2021), presenta como objetivo determinar cómo influye la tecnología de banda ancha en el diseño e implementación de un sistema de comunicaciones en una zona rural no atendida por la red nacional. La metodología fue cuantitativa, con enfoque correlacional y diseño no exploratorio. La población fue la localidad de Torohuichcana (390 personas), y la muestra se obtuvo mediante encuestas a 154 habitantes y entrevistas a 5 técnicos locales. Se usaron como instrumentos fichas técnicas, simulaciones de red y cálculos de radioenlaces. Los resultados demostraron que el uso de tecnología de banda ancha mejora significativamente la cobertura, disponibilidad y calidad del servicio, validando su viabilidad técnica y social para zonas rurales andinas.

.

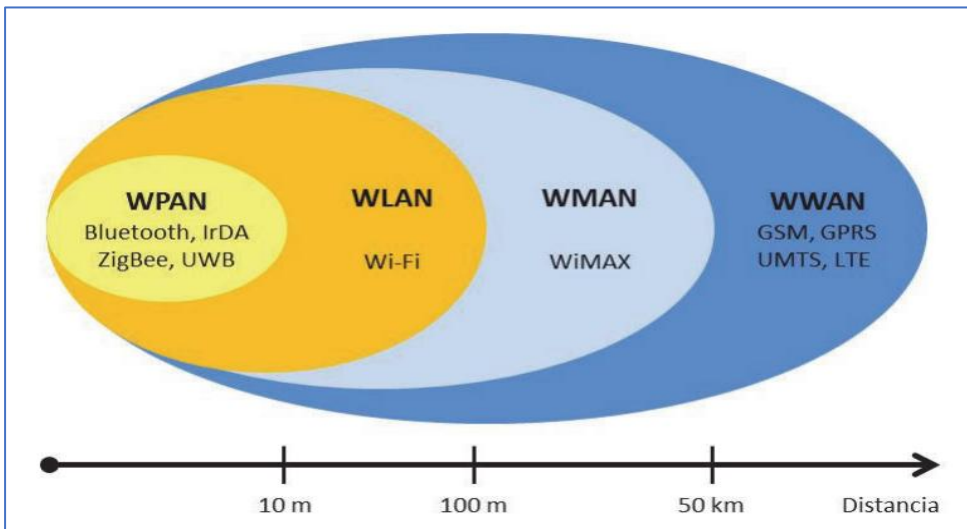
1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Red Inalámbrica

Una red inalámbrica es un sistema de comunicación que permite la transferencia de datos sin necesidad de cables físicos, utilizando señales de radiofrecuencia u ondas electromagnéticas para interconectar dispositivos. Según Tanenbaum y Wetherall (2021), este tipo de redes es especialmente útil en entornos donde el cableado resulta costoso, impráctico o inviable, como es el caso de zonas rurales o geográficamente dispersas. Las redes inalámbricas pueden operar bajo diversos estándares tecnológicos, como Wi-Fi, WiMAX, LTE o LoRaWAN, dependiendo del alcance, ancho de banda y consumo energético requerido.

Figura 3

Clasificación de las redes inalámbricas



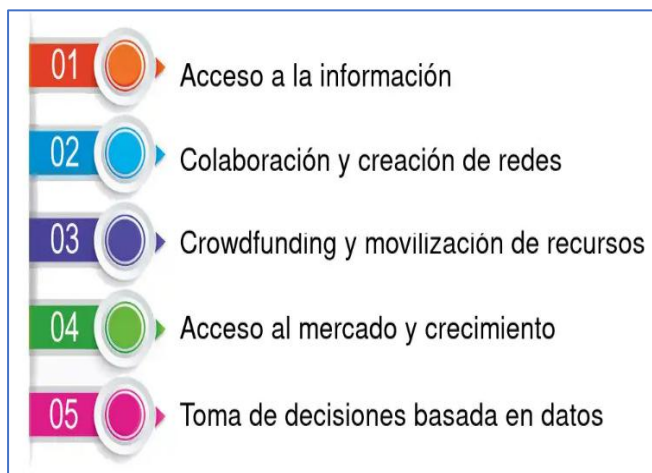
1.2.2 Conectividad Digital y Brecha Tecnológica

La conectividad digital es la capacidad de una población para acceder y utilizar servicios digitales a través de infraestructuras de telecomunicación. La falta de esta conectividad conocida como brecha digital constituye una forma de exclusión que afecta principalmente a zonas rurales

(Flores-Cueto et al., 2021), limitando el acceso a servicios esenciales como la educación y la salud, destacando que, el cierre de la brecha digital en zonas rurales es una condición necesaria para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el objetivo 9 infraestructura resiliente y el 3 salud y bienestar (Mamani, 2022) .

Figura 4

El poder de la conectividad digital

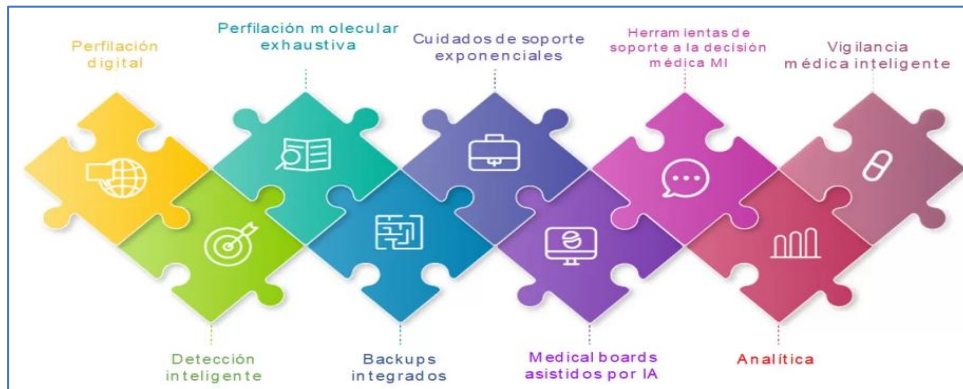


1.2.3 Redes Inalámbricas en Salud (e-Health)

La implementación de redes inalámbricas en establecimientos de salud rurales se enmarca dentro de la tendencia global del e-Health o salud digital. Esta tendencia busca integrar las tecnologías de información y comunicación (TIC) para mejorar la atención médica, la gestión de recursos y el monitoreo de pacientes en tiempo real (Buabbas et al., 2021). E-Health representa una herramienta fundamental para superar las barreras de acceso geográfico y permitir servicios como la telemedicina, especialmente en zonas alejadas (Wendt & Hildebrand, 2025).

Figura 5

Ecosistemas Digitales en Salud

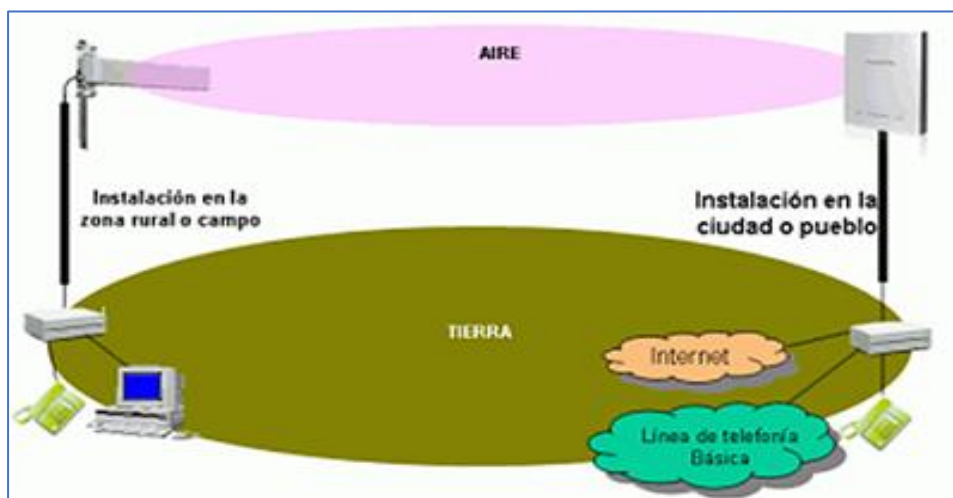


1.2.4 Diseño de Redes en Contextos Rurales

El diseño de redes inalámbricas en zonas rurales requiere considerar múltiples factores: geografía, densidad poblacional, limitaciones de energía eléctrica y cobertura de operadores, el diseño debe partir de un análisis topológico y del espectro radioeléctrico disponible, incorporando modelos de simulación que permitan anticipar la eficiencia y confiabilidad del sistema. La selección de la tecnología adecuada depende del tipo de aplicación, la disponibilidad de recursos y los objetivos del sistema (Espinoza & Oropeza, 2022).

Figura 6

Conectividad inalámbrica rural

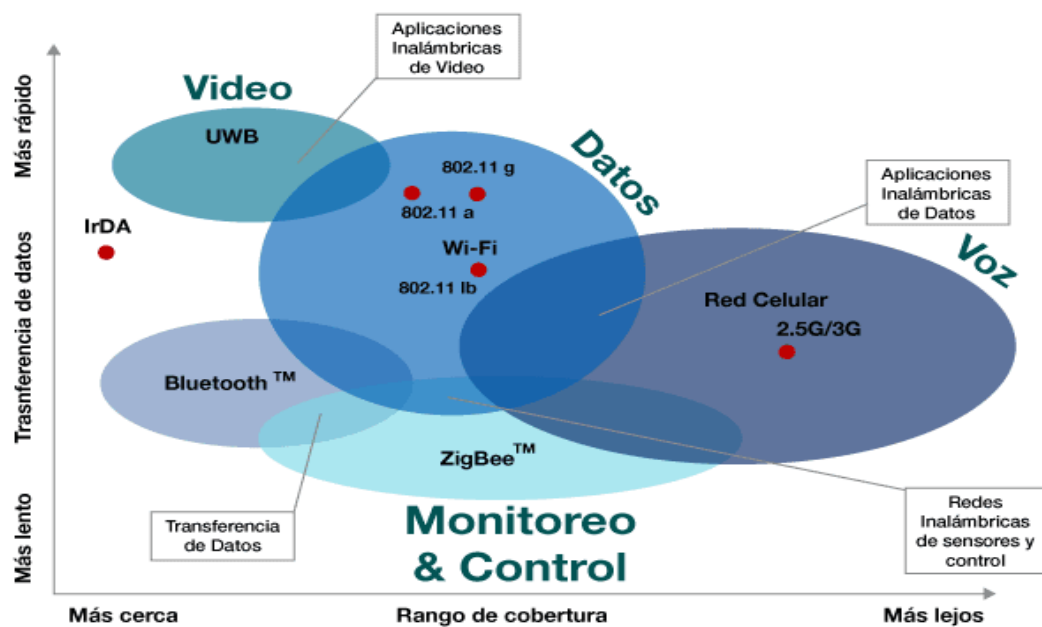


1.2.5 Redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN)

Las redes inalámbricas de área personal (WPAN), basadas en el estándar IEEE 802.15, permiten la comunicación a muy corta distancia (≈ 10 m) con bajo consumo energético y mínima infraestructura, por lo que son apropiadas para dispositivos portátiles como teléfonos inteligentes y PDAs. Emplean tecnologías como Bluetooth, IrDA, ZigBee y UWB. Bluetooth se usa en periféricos (ratones, teclados, manos libres), IrDA en enlaces punto a punto para transferencias simples, ZigBee en redes fiables de monitoreo y control de procesos, y UWB en aplicaciones multimedia que requieren alto ancho de band.

Figura 7

Comunicación para Dispositivos



2 **CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES**

2.1 Diseño de Contrastación de Hipótesis

Partiendo de los fundamentos teóricos en telecomunicaciones, banda ancha inalámbrica y conectividad digital en zonas rurales, esta investigación desarrolla un estudio técnico orientado al diseño de una red inalámbrica con el objetivo de garantizar una conectividad estable en el Centro de Salud de Pampa Grande, ubicado en el distrito de Chongoyape, región Lambayeque. Dado el contexto rural de la zona, caracterizado por dificultades topográficas, limitada infraestructura tecnológica y cobertura deficiente de servicios de telecomunicación, se plantea una solución tecnológica basada en criterios de factibilidad técnica, cobertura eficiente y sostenibilidad operativa.

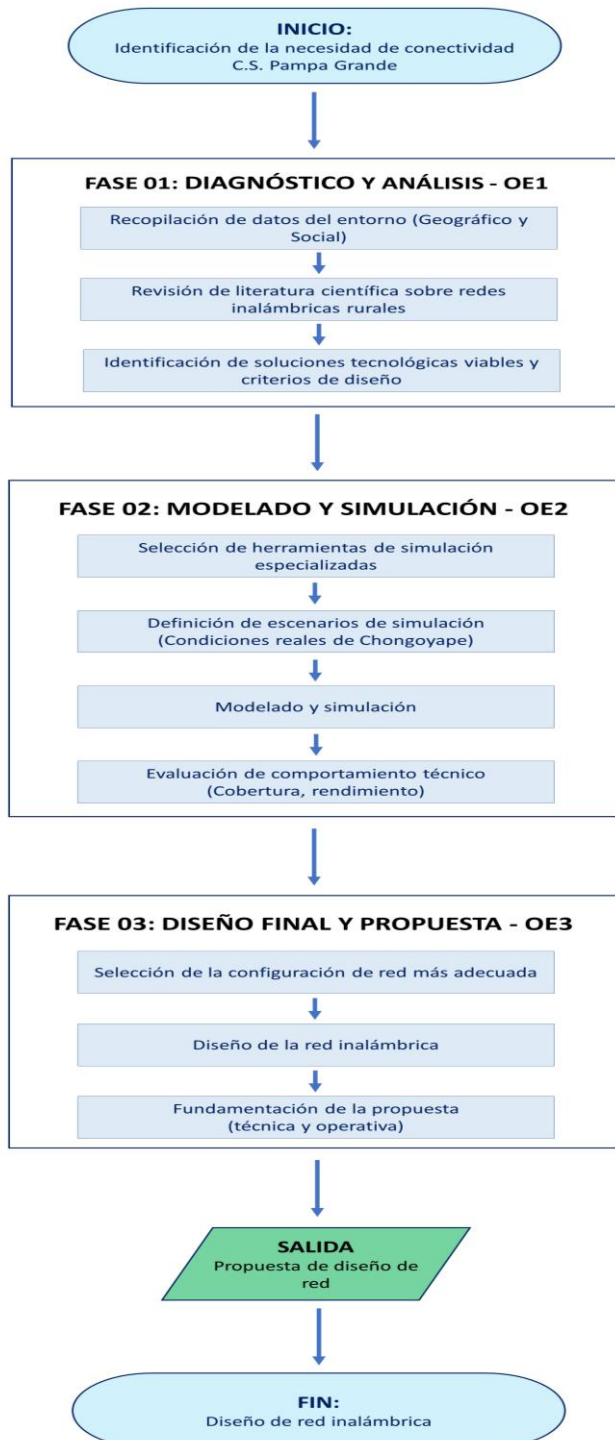
El proceso de contrastación de la hipótesis se llevará a cabo mediante la simulación computacional de distintas configuraciones de red inalámbrica, utilizando software especializado. Estas simulaciones permitirán evaluar el comportamiento de parámetros técnicos clave como latencia, potencia de señal, tasa de pérdida de paquetes y cobertura geográfica, en escenarios que representen las condiciones reales del área de estudio. El análisis de estos indicadores permitirá determinar si el diseño propuesto cumple con los requerimientos para ofrecer un servicio de conectividad confiable, continuo y adaptado al entorno rural.

La presente investigación, de tipo descriptiva, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, se centrará en validar la hipótesis mediante una evaluación técnica comparativa, utilizando como base los resultados obtenidos de las simulaciones. Asimismo, se espera que las conclusiones derivadas del estudio puedan ser replicadas a otros centros de salud ubicados en zonas rurales de la región, aportando a la reducción de la brecha digital en servicios de salud y

fortaleciendo el acceso equitativo a tecnologías de comunicación en áreas de interés social prioritario.

Figura 8

Diseño de Contrastación Hipótesis



2.2 Población, muestra

2.2.1 Población

La población está compuesta por las configuraciones de redes inalámbricas orientadas a proporcionar conectividad estable en instituciones públicas ubicadas en zonas rurales del Perú, especialmente aquellas con limitaciones de infraestructura y cobertura digital.

2.2.2 Muestra

La muestra estará conformada por modelos de redes inalámbricas diseñados para centros de salud rurales que presenten condiciones geográficas, técnicas y de accesibilidad similares a las del Centro de Salud de Pampa Grande, en el distrito de Chongoyape, región Lambayeque.

2.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

2.3.1 Técnicas

Para el desarrollo de la presente investigación, se emplearon las técnicas de revisión documental y simulación computacional. La revisión documental permitió sistematizar información técnica y científica relacionada con las redes inalámbricas en zonas rurales. La técnica de simulación, mediante software especializado, permitió modelar distintos escenarios de red y evaluar su desempeño bajo parámetros técnicos estandarizados.

2.3.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados incluyeron:

- Guías de revisión documental, para organizar la búsqueda y análisis de literatura especializada sobre diseño de redes en zonas rurales.

- Fichas técnicas para registrar características del entorno geográfico y parámetros radioeléctricos de la zona.
- Simuladores de redes inalámbricas como Radio Mobile y Ubiquiti Link Planner, que permitieron diseñar y evaluar la cobertura, potencia de señal, latencia, y disponibilidad de la red en condiciones reales.
- Hojas de cálculo y formatos de evaluación técnica para sistematizar los resultados obtenidos de las simulaciones.

2.3.3 Equipos y materiales

- Los equipos utilizados incluyeron una computadora portátil de alto rendimiento, equipada con procesador multinúcleo, memoria RAM suficiente y capacidad gráfica adecuada para ejecutar software de simulación técnica. Asimismo, se empleó acceso a internet para la descarga y actualización de bibliografía científica y mapas digitales.

3 **CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Este capítulo muestra y discute los resultados técnicos de la propuesta de red inalámbrica para el Centro de Salud de Pampa Grande, relacionando el desempeño esperado del enlace de transporte y las alternativas tecnológicas evaluadas, en primer lugar, se presentan el análisis del enlace punto a punto en 5.8 GHz, donde los parámetros de diseño como, la distancia, la frecuencia, potencia y la ganancias de antena, permiten obtener márgenes operativos elevados y niveles de potencia recibida, para mantener modulaciones de alto orden y mayores tasas de transferencia.

Se compararon tres configuraciones, PtP 5.8 GHz en modo ePTP, PtP 5.8 GHz con mayor ancho de canal y PtP en 7 GHz considerando capacidad, disponibilidad, margen de ganancia e inversión estimada, con el propósito de encontrar la opción más conveniente para una conectividad estable y sostenible, además, la discusión interpretó estos resultados en función de los requerimientos del servicio, como las implicancias en continuidad operativa, robustez del enlace y eficiencia costo - capacidad.

En el Perú, la conectividad a internet en zonas urbanas ha mostrado un crecimiento sostenido, al cierre de 2024, el 92.6 % de los hogares logró acceso a internet fijo o móvil, representando un avance superior a 16 puntos porcentuales respecto de 2019, este avance es bastante visible en el ámbito rural, donde el acceso saltó de 41.5 % en 2019 a casi 83 % en 2024; aunque, la brecha territorial persiste, observando que la cobertura 4G alcanzó el 93.85 % de la población, su presencia real es ampliamente menor, pues llega a solo el 51.88 % de los centros

poblados, demostrando que todavía coexisten cuantiosas localidades con acceso a la conectividad limitada o inexistente.

El Centro de Salud de Pampa Grande, ubicada en Chongoyape, Lambayeque, presenta una capacidad de conectividad insuficiente para sostener enlaces estables hacia servicios críticos, como telemedicina, referencia y contrarreferencia, y sistemas de información clínico y administrativa, debido a no poder garantizar continuidad y desempeño en la comunicación, se ha restringido consultas especializadas remotas, entorpeciendo la gestión oportuna de historias clínicas y la coordinación con centros de salud de mayor complejidad, trasladando la carga al paciente, obligándolo a realizar desplazamientos prolongados, produciéndole mayores costos y demoras, incrementando el riesgo sanitario.

La telemedicina ha evidenciado un crecimiento sostenido, sobretodo en entornos urbanos y semiurbanos, por ejemplo se registró 2'558,321 de atenciones bajo esta modalidad a nivel nacional (Ministerio de Salud, 2024) y, entre enero de 2024 y marzo de 2025, se superaron los 3.4 millones de atenciones (Ministerio de Salud, 2025), no obstante, en zonas rurales como Pampa Grande, la adopción continúa siendo muy limitada debido a la conectividad y la infraestructura disponible, constituyéndose un impedimento y restringiendo el aprovechamiento de los servicios digitales y condiciona una atención médica más oportuna, equitativa y con estándares adecuados de calidad.

Ante esta realidad, esta tesis propone el diseño de una red inalámbrica robusta y sostenible para el Centro de Salud de Pampa Grande, integrando el aprovechase aprovecha el uso de la fibra

óptica regional, así como enlaces punto a punto y tecnologías apropiadas para el medio rural como Wi-Fi, LTE y redes mesh, se ha considerado el uso de herramientas especializadas como Radio Mobile, Xirio o Link Planner, para analizar el desempeño en términos de cobertura, capacidad, latencia y priorización de tráfico crítico asociado a telemedicina y a la gestión de información sanitaria, se prevé un sistema escalable que asegure posible ampliaciones en el futuro sin complicar la calidad del servicio.

Al garantizar una conexión estable y eficiente, el Centro de Salud de Pampa Grande podrá incorporar servicios de telemedicina, minimizar traslados innecesarios y la reducir tiempos asociados a la referencia y contrarreferencia, además, se optimizará diagnósticos, promoviendo una gestión más consistente en la información clínico - administrativa, con mejores condiciones para la continuidad del cuidado, además, esta propuesta, contribuiría al bienestar de la localidad local, articulando con los objetivos nacionales de inclusión digital y cierre de brechas, en relación estrecha con las políticas públicas vigentes y también con los compromisos asociados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

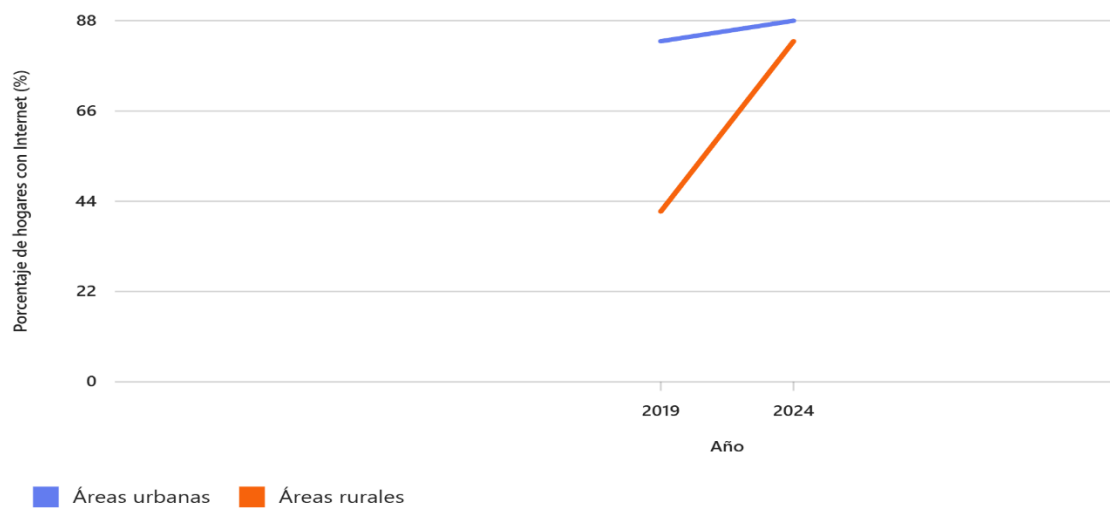
3.1 Resultados

La figura N° 09, muestra la evolución de hogares con Internet entre 2019 y 2024, comparando áreas urbanas y áreas rurales, observando en zonas urbanas una cobertura alta y relativamente estable, con un incremento moderado del 83 % en 2019 alrededor de 88 % en 2024, a diferencia, en el ámbito rural se muestran cambios muy significativos, del 44 % en 2019 a 83 % en 2024, reflejando una reducción de la brecha digital urbano - rural, aunque la cobertura urbana

muestra una ligera superioridad, es necesario plantear soluciones de conectividad robustas en escenarios rurales propios a servicios críticos como salud.

Figura 9

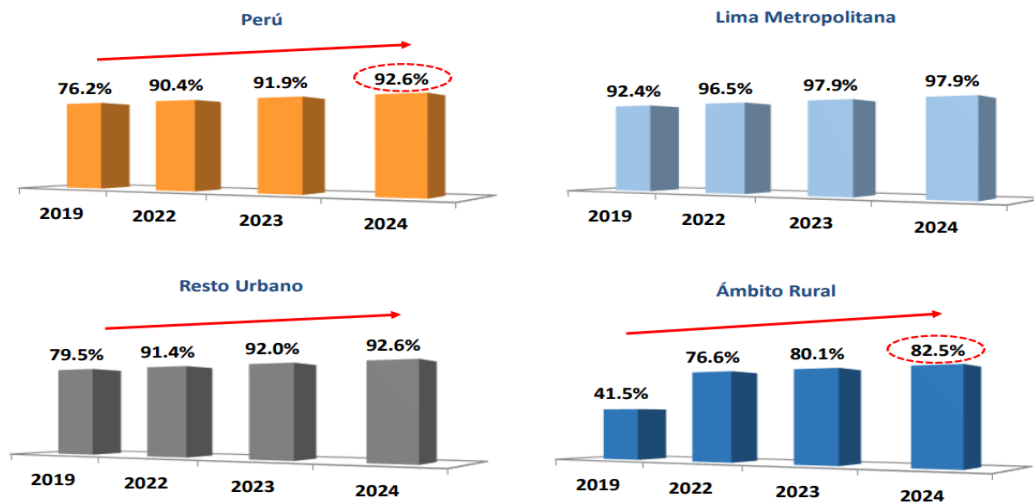
Evolución del acceso a Internet por ámbito geográfico (2019–2024)



Se aprecia un cambio en el acceso a Internet en los hogares rurales, sea mediante conexión fija o móvil, al incrementarse del 41.5 % en 2019 83 % en 2024, reportándose un nivel de acceso nacional de 92.6 % de hogares al cierre de 2024, siendo el ámbito rural con el avance más pronunciado (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, 2025), equivaliendo a cerca de 9.8 millones de hogares con conectividad a nivel país, evidenciando la magnitud del progreso alcanzado y, al mismo tiempo, permite reflexionar en la relevancia de consolidar capacidades técnicas que sostengan servicios digitales críticos en territorios rurales.

Figura 10

Hogares con acceso a internet según ámbito geográfico, 2019 - 2024



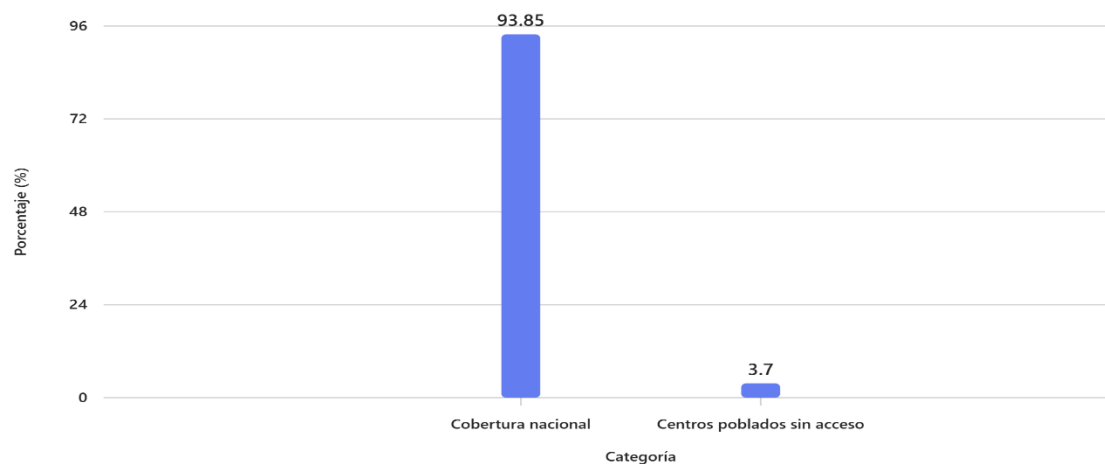
Es importante diferenciar entre cobertura y calidad del servicio, que un hogar de las zonas rurales tenga Internet, no implica, necesariamente, contar con conectividad apta para sostener servicios actuales, al cierre de 2024, apenas alrededor del 21.7 % de los hogares rurales disponía de conexión fija en el domicilio, incidiendo directamente en la estabilidad del enlace, en la capacidad efectiva y en la latencia, que son solicitadas por aplicaciones sanitarias como teleinterconsultas, teleradiología o la transmisión de imágenes médicas, por lo que la brecha que realmente importa no se limita a “estar conectados”, sino a qué tan confiable es esa conectividad; y es esta brecha de desempeño la que determina la operación digital de establecimientos como el Centro de Salud de Pampa Grande.

La figura N° 11, muestra una comparación directa entre dos indicadores de cobertura: por un lado, la cobertura nacional alcanza 93.85 %, evidenciando una alta proporción de población

atendida por el servicio; por otro, se observa que 3.7 % de los centros poblados permanece sin acceso, persistiendo localidades excluidas del servicio.

Figura 11

Cobertura nacional y centros poblados sin acceso



La red 4G alcanzó el 93.85 % de la población; aunque, cerca del 3.7 % de los centros poblados persisten sin acceso a 4G, representando alrededor de 40,500 localidades, aunque la expansión de 5G se mantiene en una fase inicial, aun cuando 4G es predominante, en zonas rurales la calidad efectiva del enlace móvil se deteriora por condiciones topográficas, congestión, limitaciones de capacidad en el backhaul y carencias en infraestructura de transporte, como fibra óptica o redes regionales.

En Pampa Grande, la presencia de la red 4G no garantiza, por sí sola, un servicio consistente para telemedicina, especialmente en horas de mayor demanda o ante condiciones climáticas adversas, debido a esta razón, la propuesta prioriza enlaces punto a punto y arquitecturas Wi-Fi y mesh que permitan anclar el tráfico clínico a un backhaul de mayor calidad, además de

incorporar reducción de latencia y control de variabilidad temporal en la red interna del establecimiento.

La tabla N° 01, presenta una tabla comparativa de referencias normativas y criterios de dimensionamiento para la demanda mínima de conectividad, en el marco regulatorio, con una exigencia de 20 Mbps de descarga y 7 Mbps de carga (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022), además la gradualidad normativa (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, 2021), además se incorpora como referencia internacional el estándar de banda ancha con 100 Mbps de descarga y 20 Mbps de carga (Federal Communications Commission, 2024).

Tabla 1
Requerimientos de ancho de banda en salud

Regulación	Descarga mínima	Carga mínima
OSIPTEL (RM. N.° 1197-2022-MTC/01.03)	20 Mbps	7 Mbps
OSIPTEL – Gradualidad normativa	70 % (hasta dic 2022)	-
- Clínica rural (~5 médicos)	10 Mbps	(no especifica)
- Clínica mediana (5 - 25 médicos)	25 Mbps	-
- Hospital	100 Mbps	-
FCC Fixed broadband (2024)	100 Mbps	20 Mbps

En zonas rurales peruanos, el dimensionamiento de conectividad se basa en el cumplimiento normativo vigente, por ello, se proyecta capacidades iguales o superiores a 30 Mbps, de modo que, además de atender con el mínimo exigible de 20 Mbps de descarga y 7 Mbps de carga en condiciones reales, se asegure con operatividad para sostener telemedicina en alta

definición y una conectividad más estable, con estos criterios, 25 Mbps puede asumirse como una base técnica, mientras que capacidades de 50 Mbps o mayores se plantean para obtener continuidad del servicio, mejor desempeño ante variaciones del enlace y margen para crecimiento de la demanda.

El establecimiento de Salud de Pampa Grande pertenece a un centro de salud con expansión de servicios, comparable a un entorno hospitalario, el diseño del enlace se plantea escalable, planificándolo con 100 Mbps de descarga y 20 Mbps de carga, permitiendo responder a escenarios de mayor intensidad de tráfico, y alineándose con la definición de banda ancha fija propuesta por la FCC.

3.1.1 Enlace inalámbrico punto a punto (PtP) 5 GHz.

Este enlace se emplea como backhaul dedicado entre dos puntos fijos que tienen línea de vista (LOS), permitiendo mantener una transmisión con elevada capacidad y baja latencia, criterios indispensables al momento de requerir estabilidad y desempeño consistente, con un diseño correcto y con parámetros de radio bien seleccionados, la capacidad puede superar fácilmente los 120 Mbps y, si incrementamos el ancho de canal a 80 MHz y se utilizan equipos basados en la norma 802.11ac, se viabiliza alcanzar rangos del orden de 300 a 400 Mbps, siempre que el entorno radioeléctrico y la disponibilidad espectral lo permitan.

La figura N° 12, muestra una vista del área de Pampa Grande, ubicando el punto de referencia para la instalación de la antena, identificado como “Antena Pampa Grande”, con un

trazo lineal en color azul representa el corredor del enlace dentro de la zona, se observa su orientación y su relación espacial con las vías y manzanas del centro poblado.

Figura 12

Vista de ubicación del nodo y orientación del enlace en Pampa Grande



▪ **Datos para el enlace:**

- ✓ **Distancia:** 0.521 km
- ✓ **Frecuencia:** 5825 MHz.
- ✓ **Potencia TX:** 30 dBm.
- ✓ **Antenas direccionales:** 34 dBi cada una (alto nivel de ganancia, típico en enlaces dedicados), MIMO 2x2
- ✓ **Margen de escucha:** 56.41 dB (excelente para modulaciones altas).

La tabla N° 02, presenta la ficha de parámetros técnicos del sitio “Antena Pampa Grande”, obtenemos las coordenadas geográficas del punto (latitud -6.748105° y longitud -79.480022°),

además, se consigna una elevación del terreno de 145.4 m y una altura de antena de 10.0 m, datos del perfil del enlace y su factibilidad geométrica, además, se detalla el azimut de orientación 205.91° respecto al norte verdadero y 207.86° respecto al norte magnético y se tiene una inclinación de -0.13°, lo que permite fijar con precisión la dirección y el ajuste fino del lóbulo de radiación para optimizar la alineación del enlace.

Tabla 2

Parámetros técnicos del sitio “Antena Pampa Grande”

Antena Pampa Grande (1)	
Latitud	-6.748105 °
Longitud	-79.480022 °
Elevación del terreno	145.4 m
Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	205.91 TN 207.86 MG °
Inclinación	-0.13 °

El punto identificado como Antena Pampa Grande cuenta con las siguientes características:

- ✓ Latitud: -6.748105°
- ✓ Longitud: -79.480022°
- ✓ Elevación del terreno: 145.4 metros sobre el nivel del mar
- ✓ Altura de la antena: 10.0 metros
- ✓ Azimut: 205.91° TN (True North) / 207.86° MG (Magnetic)
- ✓ Inclinación: -0.13°

Estos valores, constituyen la base técnica para una instalación y alineación precisas del sistema de transmisión, las coordenadas de latitud y longitud permiten georreferenciar el sitio con exactitud, así mismo, la elevación del terreno y la altura de la antena indican la geometría del

enlace y el comportamiento de la propagación, al incidir en la línea de vista, los despejes y el alcance efectivo de cobertura, el azimut determina la dirección de apuntamiento con referencia al norte verdadero y al norte magnético, y la inclinación negativa muestra un ajuste vertical descendente, que sirve para mejorar el lóbulo principal hacia el punto remoto y optimizar el desempeño del enlace en lo que respecta en estabilidad y calidad de señal.

La figura N° 13, muestra una antena encapsulada en un radomo cilíndrico blanco, montada encima de un mástil metálico.

Figura 13

Antena de telecomunicaciones para enlace inalámbrico



La tabla N° 03, muestra la configuración del nodo “Pampa Grande”, allí se consignan los datos para georreferenciar y orientar el nodo del enlace, se observa las coordenadas del sitio, latitud -6.752316° y longitud -79.482082° , la elevación del terreno en 144.2 m y la altura de la antena en 10.0 m, variables que definen el perfil del enlace y su comportamiento de propagación, además,

se muestra el azimut de apuntamiento en 25.91° respecto al norte verdadero y 27.86° respecto al norte magnético, con una inclinación positiva de 0.13° , ajuste vertical leve que afina la alineación con el punto remoto, optimizando la calidad del enlace.

Tabla 3

Parámetros del nodo “Pampa Grande”

(2) Pampa Grande	
Latitud	-6.752316°
Longitud	-79.482082°
Elevación del terreno	144.2 m
Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	25.91 TN 27.86 MG $^\circ$
Inclinación	0.13°

Estos parámetros ayudan a realizar la ubicación y el apuntamiento del sistema de transmisión, las coordenadas geográficas, latitud y longitud georreferencian el lugar con precisión, así como la elevación del terreno y la altura de instalación de la antena establecen el perfil del enlace y el comportamiento de la propagación, al incidir en el despeje, la línea de vista y el alcance efectivo de la señal, el azimut define la dirección de orientación con referencia al norte verdadero y al norte magnético, mientras que la inclinación fija el ajuste vertical para alinear el lóbulo principal hacia el punto remoto y optimizar la estabilidad del enlace.

Una ganancia de 34 dBi requiere antenas direccionales de alta directividad, de tipo parabólico o reflector, diseñadas para operar en bandas de microondas. En enlaces de acceso o backhaul es habitual hallar este nivel de ganancia en frecuencias como 5.8 GHz, 11 GHz o 18 GHz, entre otros, la elección dependerá de la tecnología adoptada, el ancho de canal, la disponibilidad espectral y las condiciones de propagación del entorno.

La figura N° 14, presenta una antena direccional tipo parabólica Ubiquiti RocketDish RD-5G34, que permite elevar la ganancia y mejorar la relación señal a ruido en enlaces punto a punto, esta antena es apropiada para backhaul inalámbrico en la banda de 5 GHz, cuyo propósito es maximizar alcance y estabilidad del enlace, disponiendo de línea de vista y de alineación precisa.

Figura 14

Antena parabólica de alta ganancia - Ubiquiti RocketDish RD-5G34 -



La tabla N° 04 corresponde a los parámetros del sistema de radio, utilizados para el dimensionamiento del enlace, observamos una potencia de transmisión de 30.00 dBm, también pérdidas por cable en transmisión y recepción de 0.50 dB en cada extremo, y ganancias de antena de 34.00 dBi tanto en TX como en RX, estos resultados que se brindan es debido al uso de antenas altamente direccionales para maximizar el enlace, la sensibilidad del receptor es de -70.88 dBm, con el que se calcula el umbral mínimo de potencia recibida requerido para conservar el desempeño esperado del enlace.

El sistema de radio se configura con una potencia de transmisión de 30.00 dBm y pérdidas por cable de 0.50 dB en cada extremo, además, se utilizan antenas direccionales con una ganancia de 34.00 dBi en el lado transmisor y 34.00 dBi en el lado receptor, la sensibilidad del receptor

queda establecida en -70.88 dBm, indicando el umbral mínimo de potencia recibida necesario para mantener el desempeño del enlace.

Tabla 4

Configuración del enlace inalámbrico PtP

Sistema de radio	
Potencia TX	30.00 dBm
Pérdida en cable TX	0.50 dB
Ganancia de antena TX	34.00 dBi
Ganancia de antena RX	34.00 dBi
Pérdida en cable RX	0.50 dB
Sensibilidad RX	-70.88 dBm

La tabla N° 05, muestra las pérdidas de propagación usadas para el cálculo del enlace, reportándose una pérdida en espacio libre de 102.04 dB, además se observa una pérdida adicional por obstrucción de 2.99 dB, no existen pérdidas asociadas a bosque ni a urbanización (0.00 dB en ambos casos), se presenta una pérdida estadística de 6.45 dB usada para representar variaciones del canal, la pérdida total estimada es de 111.47 dB, cada indicador de pérdida de propagación representa los factores que atenúan la señal entre ambos extremos del enlace

Tabla 5

Pérdida de propagación y pérdida total del enlace

	Propagation
Pérdida en espacio libre	102.04 dB
Pérdida por obstrucción	2.99 dB
Pérdida por bosque	0.00 dB
Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida estadística	6.45 dB
Pérdida total	111.47 dB

La tabla N° 06, presenta el desempeño del enlace inalámbrico modelado, se observa los parámetros principales y sus resultados, se muestra una distancia de 0.521 km con una precisión de 9.8 m, operando a 5,825 MHz, el enlace muestra una potencia de radiación isotrópica equivalente de 2,238.721 W y una ganancia total del sistema de 167.88 dB, se establece una fiabilidad de 70.000 % y obteniéndose una señal recibida de -14.47 dBm (equivalente a 42,308.97 μ V), el margen de escucha alcanza 56.41 dB, mostrando una holgura significativa frente a variaciones del canal, propicio para mantener estabilidad y continuidad del servicio.

Tabla 6

Desempeño del enlace PtP en 5.825 GHz

Performance	
Distance	0.521 km
Precisión	9.8 m
Frecuencia	5825.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	2238.721 W
Ganancia del sistema	167.88 dB
Fiabilidad requerida	70.000 %
Señ recibida	-14.47 dBm
Señ recibida	42308.97 μV
Márgen de escucha	56.41 dB

- ✓ **Potencia TX:** 30 dBm
- ✓ **Ganancia TX/RX:** 34 dBi cada una
- ✓ **Pérdidas en cables:** 0.5 dB en TX y RX
- ✓ **Pérdida total de propagación:** 111.47 dB
- ✓ **Sensibilidad RX:** -70.88 dBm

▪ **Potencia Recibida (Pr)**

Usamos la fórmula del presupuesto de enlace:

$$Pr = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{TX} - L_{RX} - L_{prop}$$

$$Pr = 30 + 34 + 34 - 0.5 - 0.5 - 111.47 = -14.47 \text{ dBm}$$

- **Comparar con Sensibilidad**

Sensibilidad RX = **-70.88 dBm**

Potencia recibida = **-14.47 dBm**

$$\text{Margen} = -14.47 - (-70.88) = 56.41 \text{ dB}$$

- **Estimar Capacidad (Mbps)**

Con un margen tan grande, el enlace puede trabajar en modulación alta (256-QAM o superior).

En equipos de 5 GHz con antenas de 34 dBi y radios profesionales (Ubiquiti AirFiber, Cambium PTP), se pueden alcanzar:

- ✓ **Enlace Full Duplex:** 700 Mbps – 1.2 Gbps
- ✓ **Enlace Half Duplex:** 350 Mbps – 600 Mbps

Esto depende del ancho de canal:

- ✓ **40 MHz:** ~300 Mbps
- ✓ **80 MHz:** ~600 Mbps
- ✓ **160 MHz:** ~1.2 Gbps

La tabla N°07, relaciona el ancho de canal con la capacidad del enlace, diferenciando entre half duplex y full duplex, observándose un aumento proporcional de la velocidad mientras aumenta el ancho de canal, con 20 MHz se estiman en 150 Mbps en half duplex y 300 Mbps en full duplex; con 40 MHz, 300 Mbps y 600 Mbps; con 80 MHz, 600 Mbps y 1.2 Gbps; y con 160 MHz, 1.2 Gbps y 2.4 Gbps, respectivamente.

Tabla 7

Relación entre ancho de canal y capacidad estimada del enlace

Ancho de canal	(Half Duplex)	(Full Duplex)
20 MHz	~150 Mbps	~300 Mbps
40 MHz	~300 Mbps	~600 Mbps
80 MHz	~600 Mbps	~1.2 Gbps
160 MHz	~1.2 Gbps	~2.4 Gbps

La figura N° 15, muestra, esquina del centro de salud que permite reconocer condiciones físicas del lugar que influyen en la selección de puntos de instalación, el despeje del enlace y la viabilidad de montar infraestructura de comunicaciones en una ubicación con buena exposición y accesibilidad.

Figura 15

Esquina del establecimiento de salud para el emplazamiento de antena



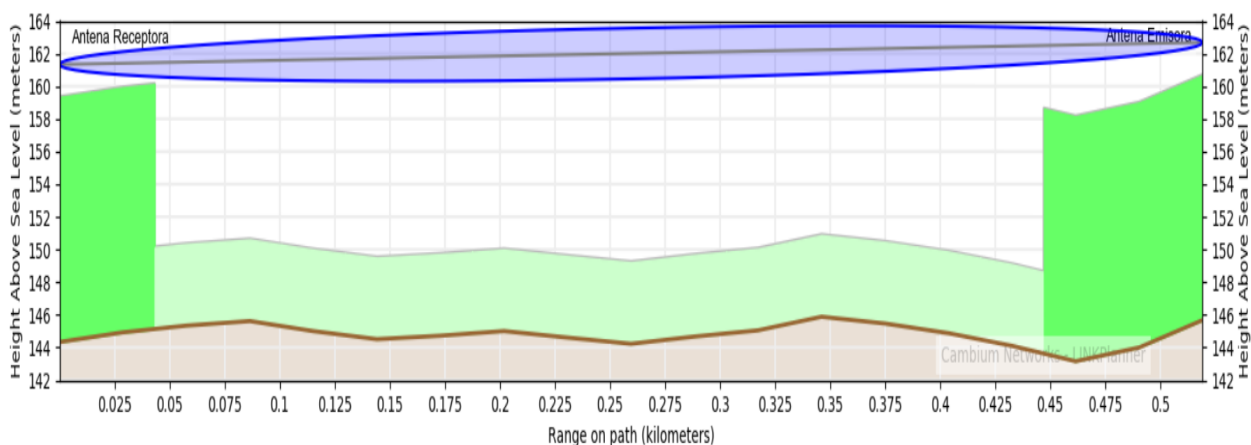
La evaluación geográfica propone como configuración más conveniente la ubicación del nodo emisor en las siguientes coordenadas -6.748105° , -79.480022° y del nodo receptor (sitio remoto) en las coordenadas -6.752316° , -79.482082° , estos puntos ofrecen las condiciones más adecuadas para el trazado del enlace y una alineación más coherente con las características del terreno.

3.1.2 Enlace Punto multipunto (PmP) DE 5 GHZ

La figura N° 16, presenta el perfil del trayecto del enlace entre la antena receptora (extremo izquierdo) y la antena emisora (extremo derecho) a lo largo de un recorrido aproximado de 0.52 km, sobre el perfil del terreno se superpone la trayectoria del enlace y su zona de despeje, representadas en azul, permitiendo evaluar la condición de línea de vista y el nivel de holgura respecto de posibles obstáculos, se puede observar un trayecto favorable, con un despeje a lo largo del tramo, asegurando la viabilidad del enlace y su estabilidad esperada en este escenario.

Figura 16

Perfil del enlace y verificación de línea de vista entre nodos



La figura N° 17, muestra la configuración de equipos, se observa que el enlace se planea en la banda de 5.8 GHz, se ha elegido para ambos extremos el modelo ePMP Force 400C, bajo la regulación en Perú y en modo PtP ePTP, con un ancho de canal de 20 MHz, una relación DL/UL adaptativa y una Higher Throughput de 4 ms, asignando como nodo maestro a la antena emisora.

Figura 17
Configuración del enlace PtP en 5.8 GHz (ePMP Force 400C)

Equipment

Region and Equipment Selection

Band

Product

Remote Product

Regulation

ePMP PTP Mode

5.8 GHz

ePMP Force 400C (preliminary)

ePMP Force 400C (preliminary)

Peru

ePTP

ePMP Configuration

Bandwidth

DL/UL Ratio

Radio Transmission Optimization

Master

20 MHz

Adaptive

Higher Throughput (4 ms)

Antena Emisora

El enlace se configura en modo ePTP, buscando un desempeño eficiente y una latencia reducida, el ancho de canal establecido en 20 MHz con el propósito de beneficiar la estabilidad y coexistencia en el espectro radioeléctrico, aunque naturalmente acota la capacidad máxima frente a configuraciones de 40 u 80 MHz, la elección de la optimización Higher Throughput con 4 ms asegura el rendimiento respecto a la tasa de datos, priorizando una menor latencia, el equipo acepta esquemas avanzados de modulación como 1024 QAM, habilitando transmisiones de datos elevados siempre que el enlace conserve condiciones radioeléctricas favorables y una relación señal a ruido suficiente.

Bajo la configuración de 20 MHz en modo ePTP para el equipo ePMP Force 400C, la capacidad depende del esquema de modulación y codificación alcanzable en condiciones

radioeléctricas favorables, en un escenario de alto desempeño, asociado a MCS11 con 1024 QAM, la tasa estimada se ubica en el orden de 150 Mbps en operación half duplex, habilitando un esquema de doble portadora (Dual Carrier) se incrementa la eficiencia del enlace, la capacidad agregada puede acercarse a 300 Mbps, valor pertinente para dimensionar el backhaul ante la demanda de servicios clínicos y administrativos del establecimiento.

La Figura N° 18, muestra la configuración de la antena receptora seleccionando una antena parabólica de alto desempeño, Cambium Networks 3 ft High Performance Dual Polar Parabolic RDH4509C, con ganancia de 32.6 dBi, estableciendo una altura de instalación de 17.0 m, además, se considera una pérdida por cable de 1.0 dB, y se muestran la potencia radiada equivalente máxima (EIRP) en 35.6 dBm y potencia máxima en 4.0 dBm.

Figura 18

Parámetros de la antena receptora del enlace punto a punto

The image shows a configuration window titled "Antena Receptora". It contains a dropdown menu with the selected antenna: "Cambium Networks 3ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4509C (32.6dBi)". Below this, there are input fields for "Antenna Height" set to "17.0 meters" (with a note "(Max height at site is 20.0 m)") and "Cable Loss" set to "1.0 dB". At the bottom, there are two rows of power settings: "Maximum EIRP" at "35.6 dBm" and "Maximum Power" at "4.0 dBm", each with an unchecked checkbox labeled "User limit".

Antena Receptora		
Cambium Networks 3ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4509C (32.6dBi)		
Antenna Height :	17.0	meters (Max height at site is 20.0 m)
Cable Loss :	1.0	dB
Maximum EIRP :	35.6 dBm	☐ User limit
Maximum Power :	4.0 dBm	☐ User limit

La antena seleccionada corresponde a un reflector parabólico de alto rendimiento, adecuada para enlaces punto a punto en la banda de 5 GHz, con una ganancia de 32.6 dBi, concentra la energía en un haz estrecho, lo que fortalece el enlace y mejora la relación señal a ruido, que aseguran capacidad y estabilidad, la altura de instalación configurada en 17 m favorece favorece

el despeje necesario para una línea de vista más permanente, además, una pérdida de 1 dB en el tramo de cable resulta aceptable; aun así, es conveniente emplear cableado de baja atenuación y una instalación cuidadosa para preservar al máximo la potencia útil entregada al sistema radiante, el EIRP máximo estimado es de 35.6 dBm manteniéndose dentro de parámetros compatibles con el marco regulatorio de Perú para operación en banda no licenciada, aportando viabilidad normativa al diseño propuesto.

La figura N° 19, muestra el desempeño en el receptor del enlace, estimándose una potencia recibida de -35 dBm con una variación aproximada de ± 4 dB, y una capacidad media IP proyectada de 132.87 Mbps frente a un requerimiento de 120.0 Mbps, lo que representa el 111 % del objetivo, además, se fija un mínimo de 120.0 Mbps y un umbral de disponibilidad mínima requerida de 99.9900 %, mientras que la disponibilidad mínima predicha alcanza 99.9995 %, estos valores aseguran que el enlace, no solo cumple el objetivo de capacidad, sino que además ofrece holgura en disponibilidad, información relevante para mantener servicios clínicos y administrativos con continuidad operativa.

Figura 19

Desempeño previsto en el extremo receptor del enlace

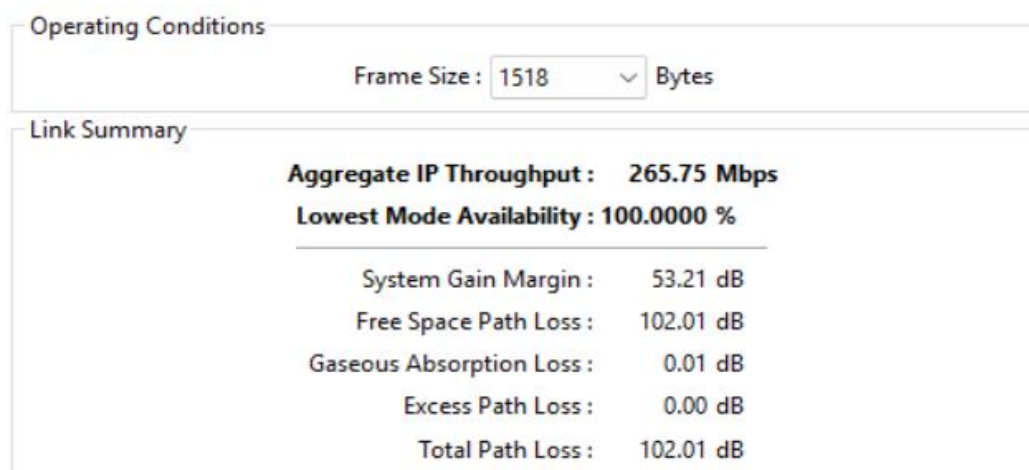
Performance to Antena Receptora	
Predicted Receive Power :	-35 dBm $\pm$ 4 dB
Mean IP Predicted :	132.87 Mbps
Mean IP Required :	120.0 Mbps
% of Required IP :	111 %
Min IP Required :	120.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	99.9995 %

La figura N° 20, presenta las condiciones de operación y los resultados del enlace, se establece un tamaño de trama de 1,518 bytes, observándose un rendimiento IP agregado de 265.75 Mbps, con una disponibilidad del modo más bajo de 100.0000 %, mostrando un comportamiento estable, en el balance de enlace, se muestra el margen de ganancia del sistema en 53.21 dB, mientras que la pérdida en espacio libre es de 102.01 dB, las pérdidas adicionales por absorción gaseosa son despreciables (0.01 dB) y no se registran pérdidas excedentes (0.00 dB), por lo que la pérdida total del trayecto coincide con la pérdida en espacio libre (102.01 dB).

- **Capacidad agregada:** 265.75 Mbps, lo que indica que el enlace está trabajando con un ancho de canal mayor (probablemente 40 MHz o Dual Carrier) y modulación alta (1024-QAM).
- **Disponibilidad:** 100 % → enlace extremadamente confiable.
- **System Gain Margin:** 53.21 dB → margen excelente, asegura estabilidad incluso en condiciones adversas.
- **Pérdidas:**
 - ✓ **Espacio libre:** 102.01 dB (coherente con enlaces de varios kilómetros en 5 GHz).
 - ✓ **Absorción gaseosa y exceso:** prácticamente nulas, lo que indica línea de vista despejada.

Figura 20

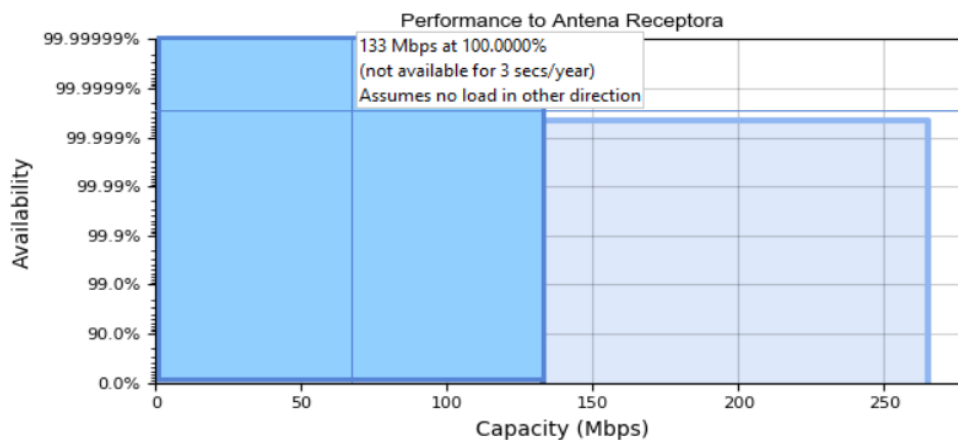
Indicadores de desempeño del enlace PtP: disponibilidad, margen y pérdida total



La figura N° 21, presenta la relación entre capacidad del enlace (Mbps) y su disponibilidad en el extremo receptor, concentrada en valores altos cercanos a 99.99 %, se destaca un punto de operación donde el enlace logra valores cercanos a 133 Mbps con disponibilidad de 100.0000 %, bajo el supuesto de ausencia de carga interferente en otras direcciones.

Figura 21

Relación capacidad disponibilidad del enlace en el extremo receptor



Este enlace en modo ePTP con antenas de alta ganancia y configuración optimizada ofrece:

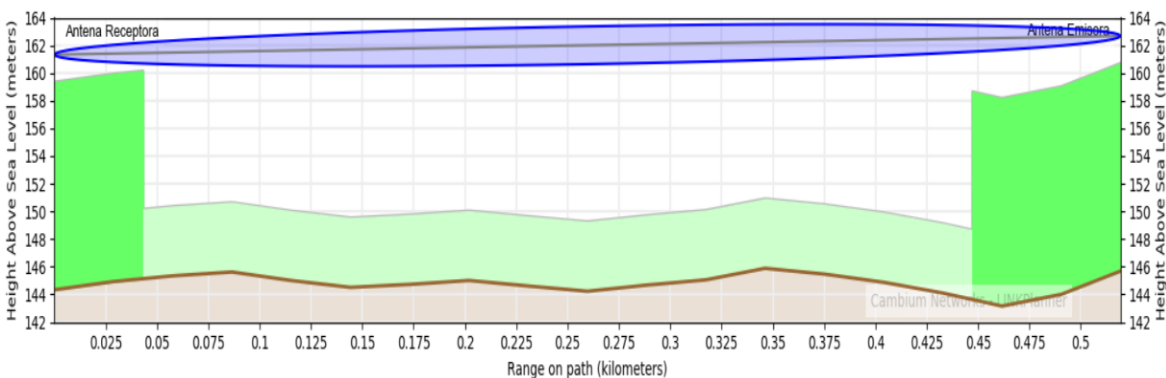
- ✓ Capacidad garantizada: 133 Mbps
- ✓ Disponibilidad: 100 % (99.99999 % real)
- ✓ Interrupción anual: prácticamente nula

3.1.3 Enlace PtP en Banda Licenciada (7 GHz)

La figura N° 22, muestra el trayecto del enlace entre la antena receptora (izquierda) y la antena emisora (derecha) a una distancia de 0.52 km, encima del terreno se superpone la trayectoria del enlace y el volumen de despeje representado en azul, permitiendo analizar la condición de línea de vista y el despeje requerido a lo largo del recorrido, presentando variaciones moderadas,

observando una holgura consistente entre la trayectoria del enlace y el terreno, indicando que es factible el radioenlace y su estabilidad esperada en la configuración de alturas evaluada.

Figura 22
Perfil topográfico y verificación de despeje del enlace entre antenas



La figura N° 23, pertenece a la configuración de un enlace punto a punto en una banda de 7 GHz, con un equipo PTP07850C, con un tipo de enlace 1+0, sin montaje remoto adicional, definiendo un espaciamiento T/R de 154 MHz y un ancho de canal de 28 MHz, operando en modo de modulación adaptativa, especificando un modo máximo de modulación 4,096 QAM y un mínimo BPSK, con polarización vertical, y indicando que la función ATPC se encuentra deshabilitada.

Figura 23
Configuración del enlace PtP en 7 GHz con equipo PTP07850C

Equipment							
Region and Equipment Selection							
Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount			
7 GHz	PTP07850C	ETSI	1+0	None			
PTP07850C Configuration							
T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi
154 MHz	28 MHz	Adaptive	12 - 4096QAM	0 - BPSK	Vertical	Disabled	Antena Emisora

Esta configuración muestra un enlace punto a punto de alta capacidad en la banda de 7 GHz, apropiada para un trabajo de backhaul, priorizando estabilidad y desempeño consistente, el ancho de canal es de 28 MHz, la modulación adaptativa, se establece con un máximo de 4,096 QAM, con tasas elevadas cuando la relación señal a ruido es favorable, mientras que el descenso a esquemas más conservadores asegura continuidad ante variaciones del canal, la separación T/R es de 154 MHz respondiendo al esquema de operación full duplex, la polarización vertical constituye una elección de diseño pudiendo ajustarse según el plan de frecuencias y la mitigación de interferencias, al mantenerse deshabilitado el ATPC, la potencia se definió de forma manual, exigiendo una cuidados calibración, garantizando márgenes adecuados y cumplimiento regulatorio, bajo entornos favorables, una configuración de 28 MHz con 4,096 QAM puede lograr rendimientos del orden de 250 Mbps en full duplex, sujeto a la parametrización final y al entorno radioeléctrico.

Figura 24

Configuración de antena emisora: ganancia, altura y límites de EIRP

Antena Emisora	
Cambium Networks 4ft Single Pol (NA & CALA Only) N070082D308 - Direct (36.6dBi)	
Antenna Height :	17.0 meters (Max height at site is 20.0 m)
Feeder Loss :	0.3 dB
Power :	PoE ▾
Ethernet Cable :	Fiber Optic SFP ▾
Maximum EIRP :	43.3 dBm ☐ User limit
Maximum Power :	7.0 dBm ☐ User limit
Tx Frequency :	-- MHz Select...
☐ Interference :	
MAC Address :	

La figura N° 24, muestra la configuración una antena parabólica de 4 pies de Cambium Networks (Single Pol), con una ganancia de 36.6 dBi, con una altura de instalación de 17.0 m, considerando una pérdida de alimentador (feeder loss) de 0.3 dB, especificando una alimentación por PoE, además del uso de enlace Ethernet mediante módulo SFP de fibra óptica, se muestran un EIRP máximo de 43.3 dBm y una potencia máxima de 7.0 dBm.

La antena corresponde a un reflector parabólico de 4 pies cerca de 1.2 m, pensado para enlaces punto a punto de alta capacidad en bandas licenciadas, su ganancia es de 36.6 dBi aportando una directividad elevada, especial para mantener enlaces de mayor alcance y mejorar la relación señal a ruido, traduciéndolo en mayor estabilidad y desempeño, con un valor de EIRP máximo de 43.3 dBm, cumpliendo con el marco regulatorio con la configuración ETSI, además, la interconexión interna mediante fibra óptica usando un módulo SFP favorece a una transmisión más eficiente dentro del nodo, con menor susceptibilidad a interferencias y capacidad suficiente para transportar el tráfico agregado del enlace, la pérdida en el feeder de 0.3 dB resulta baja, conservando con mayor eficacia la potencia útil entregada a la antena y mejora el rendimiento del enlace.

La figura N° 25, muestra la configuración de la antena receptora, es una antena parabólica Cambium Networks de 4 pies, tipo Single Pol, con ganancia de 36.6 dBi, y instalada a una altura de 17.0 m, con una pérdida de feeder de 0.3 dB, alimentación por PoE y conexión interna mediante fibra óptica a través de un módulo SFP, además, un EIRP máximo de 43.3 dBm y una potencia máxima de 7.0 dBm.

Figura 25

Configuración de antena receptora de 36.6 dBi: altura, pérdidas y límites de EIRP

Antena Receptora	
Cambium Networks 4ft Single Pol (NA & CALA Only) N070082D308 - Direct (36.6dBi)	
Antenna Height :	17.0 meters (Max height at site is 20.0 m)
Feeder Loss :	0.3 dB
Power :	PoE ▾
Ethernet Cable :	Fiber Optic SFP ▾
Maximum EIRP :	43.3 dBm ☐ User limit
Maximum Power :	7.0 dBm ☐ User limit
Tx Frequency :	-- MHz Select...
☐ Interference :	
MAC Address :	

La antena seleccionada es un reflector parabólico de 4 pies (cerca de 1.2 m), pensado para enlaces punto a punto de alta capacidad en bandas licenciadas, su ganancia es de 36.6 dBi aportando una directividad elevada, lo que beneficiando enlaces de mayor alcance y mejorando la relación señal a ruido, con impacto directo en la estabilidad y el rendimiento. El EIRP máximo es de 43.3 dBm, manteniéndose dentro del marco ETSI, además, la interconexión interna mediante fibra óptica con módulo SFP suministra un medio de transporte eficaz para el tráfico agregado, con alta capacidad y mínima degradación por interferencias, la pérdida de feeder de 0.3 dB es baja, conservando una mayor proporción de potencia útil hacia el sistema radiante, incrementando la eficiencia global del enlace.

La figura N° 26, presenta el desempeño de la antena emisora, muestra indicadores de potencia recibida, capacidad IP y disponibilidad, estimando una potencia recibida de -25 dBm con variación de ± 4 dB, una capacidad media IP predicha de 271.57 Mbps, un requerimiento de 120.0

Mbps, equivaliendo el 226 % de lo propuesto, manteniéndose un mínimo requerido de 120.0 Mbps, con una disponibilidad mínima exigida de 99.9900 %, mientras que la disponibilidad mínima predicha llega a 100.0000 % con estos valores el enlace muestra un margen considerable de capacidad y una disponibilidad sobresaliente, observándose una solidez del enlace para transportar tráfico crítico con continuidad operativa.

Figura 26

Desempeño de la antena emisora: potencia recibida, capacidad IP y disponibilidad

Performance to Antena Emisora	
Predicted Receive Power :	-25 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted :	271.57 Mbps
Mean IP Required :	120.0 Mbps
% of Required IP :	226 %
Min IP Required :	120.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Se evidencia un desempeño holgado del enlace, la potencia recibida estimada de -25 dBm representa un nivel de señal fuerte, por encima del umbral mínimo de operación, se obtiene mayor margen frente a variaciones del canal, además, el throughput IP medio predicho alcanza 271.57 Mbps, superando con amplitud el requisito de 120 Mbps y logrando un nivel de cumplimiento del 226 %, esto muestra una reserva ante la ampliación de la demanda y del tráfico concurrente, sobre la confiabilidad, se indica que la disponibilidad mínima exigida se establece en 99.99 %, mientras que la disponibilidad predicha llega a 100 %, reflejando un comportamiento altamente estable bajo las condiciones analizadas.

La propuesta de 7 GHz, apoyada en antenas de alta ganancia y el equipo PTP 7850C, muestra una capacidad efectiva del orden de 272 Mbps y un nivel de disponibilidad total, con una probabilidad de interrupción anual extremadamente baja.

La figura N° 27, muestra el desempeño previsto de la antena receptora, se muestra los indicadores como, nivel de señal, capacidad IP y disponibilidad, estimándose una potencia recibida de -25 dBm con una variación de ± 4 dB, una capacidad media IP predicha que alcanza los 271.57 Mbps, frente a un mínimo establecido de 120.0 Mbps, equivaliendo un 226 % de lo previsto, además, muestra una disponibilidad mínima exigida de 99.9900 %, mientras que la disponibilidad mínima predicha llega a 100.0000 %, se observa que no solo cumple el umbral de capacidad, sino que lo excede con margen, brindando además una disponibilidad notable para sostener tráfico crítico con continuidad operativa.

Figura 27

Desempeño antena receptora: potencia recibida, capacidad IP y disponibilidad

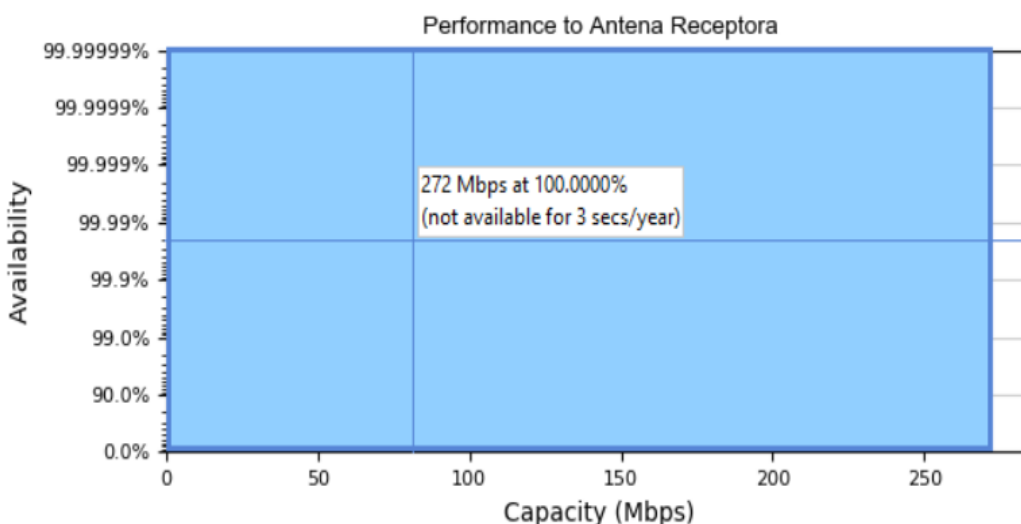
Performance to Antena Receptora	
Predicted Receive Power :	-25 dBm $\pm$ 4 dB
Mean IP Predicted :	271.57 Mbps
Mean IP Required :	120.0 Mbps
% of Required IP :	226 %
Min IP Required :	120.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Los indicadores muestran un enlace con márgenes técnicos firmes, la potencia recibida estimada es de -25 dBm, una variación de ± 4 dB, manifiesta un nivel de señal superior al umbral mínimo de operación, incrementando la tolerancia ante fluctuaciones del canal, la capacidad, expresado en el throughput IP medio predicho alcanza los 271.57 Mbps, más del doble del requerimiento de 120 Mbps, equivaliendo a un 226 % de cumplimiento, se evidencia holgura suficiente para sostener coexistencia de servicios y crecimiento de demanda, además, la disponibilidad mínima se fija en 99.99 %, mientras que la disponibilidad predicha llega a 100 %, mostrando alta confiabilidad.

La elección en 7 GHz, cimentada en antenas de 36.6 dBi y el equipo PTP 7850C, brinda una capacidad efectiva de 272 Mbps y una disponibilidad casi total, con una probabilidad de indisponibilidad anual extremadamente baja.

Figura 28

Relación capacidad - disponibilidad del enlace en antena receptora (7 GHz)



La figura N° 28, presenta la relación entre la capacidad del enlace con su disponibilidad en el extremo receptor, se observa que el enlace alcanza aproximadamente 272 Mbps con una disponibilidad de 100.0000 %, mostrando una indisponibilidad teórica del orden de 3 segundos por año, la capacidad requerida muestra valores cercanos a 99.99 %, brindando una confiabilidad prácticamente total.

El enlace puede sostener cerca de 272 Mbps con una disponibilidad de 100.0000 %, superando fácilmente el requerimiento mínimo de 120 Mbps, la indisponibilidad estimada está en el orden de 3 segundos por año, mostrando una confiabilidad excepcional, preparado para el tráfico crítico, además, la ubicación del punto de operación en la zona de mayor capacidad y máxima disponibilidad, muestra que puede operar en un escenario donde el sistema trabaja con esquemas de modulación de alto orden cuando la relación señal a ruido y las condiciones del canal lo permiten.

La operación en banda licenciada de 7 GHz brinda una capacidad efectiva cercana a 272 Mbps, lo que equivale a un agregado del orden de 540 Mbps, junto con una disponibilidad prácticamente total y una probabilidad de interrupción anual considerablemente baja.

La figura N° 29, muestra el resumen del desempeño del enlace para distintos esquemas de modulación y perfiles, desde 4096 QAM hasta BPSK, en la fila superior se presenta el throughput IP agregado máximo estimado para cada modo, se indica una disminución gradual de la capacidad mientras se reduce el orden de modulación, en las secciones “Performance to Antena Receptora” y “Performance to Antena Emisora” se reportan, para cada modo, el throughput IP máximo, el

margen de desvanecimiento (Fade Margin) y la disponibilidad del modo, recalcando que la disponibilidad se mantiene en 100 % a lo largo de los modos mostrados, mientras que el margen de desvanecimiento aumenta al usar modulaciones más resistentes al ruido, observándose la relación esperada entre capacidad y reserva de enlace.

Figura 29

Desempeño del enlace por modulación: desde 4096 QAM hasta BPSK

Los indicadores de desempeño muestran que el enlace se mantiene operando en 4096 QAM en condiciones radioeléctricas favorables y con una relación señal a ruido suficiente para aprovechar la modulación de mayor orden, en estas circunstancias la capacidad IP agregada obtiene aproximadamente 543 Mbps, equivalente a 271 Mbps por sentido, conservando una disponibilidad estimada de 100 %, además, el margen de desvanecimiento es del orden de 26.63 dB aun en la modulación más alta, muestra una reserva frente a variaciones del canal, contribuyendo a resguardar la estabilidad y continuidad del servicio.

En síntesis, la alternativa en 7 GHz presenta un desempeño sólido y altamente confiable, con capacidad superior a medio gigabit agregado y una disponibilidad prácticamente total bajo las condiciones de diseño evaluadas.

3.1.4 Comparativa de tres alternativas de enlace punto a punto para el backhaul

Tabla 8

Comparación de alternativas PtP para backhaul: 5.8 GHz (20 y 40 MHz) vs 7 GHz licenciada

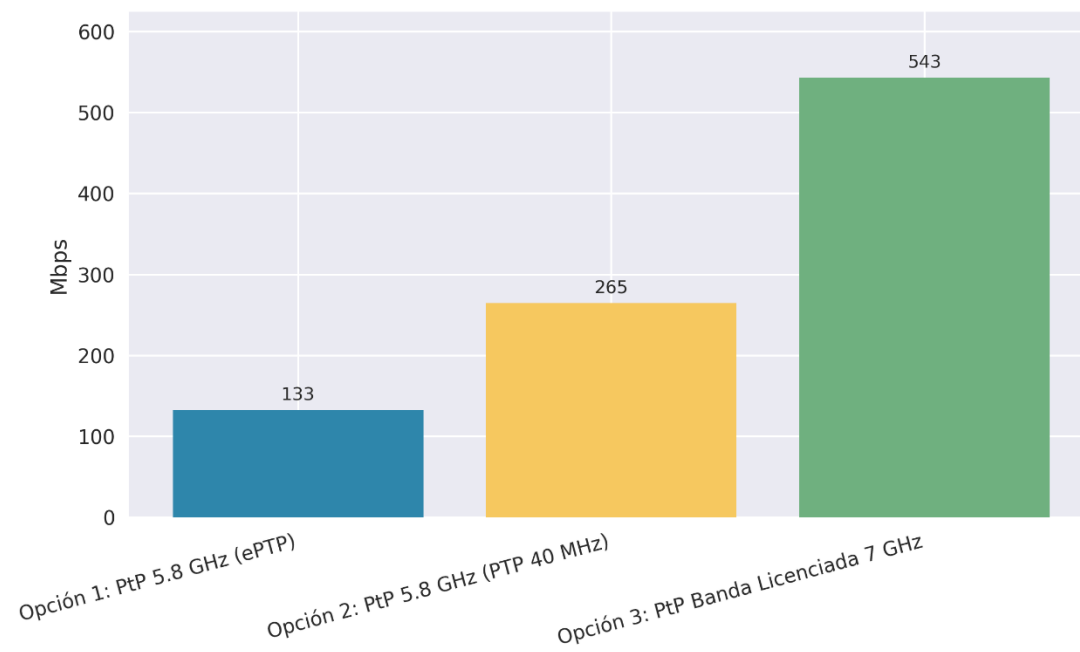
Característica	PtP 5.8 GHz (ePTP con 20 MHz)	PtP 5.8 GHz (PTP con 40 MHz)	PtP Banda Licenciada 7 GHz
Tecnología	Banda libre, modo ePTP	Banda libre, modo PTP	Banda licenciada, microondas
Equipo	Cambium ePMP Force 400C	Cambium ePMP Force 400C	Cambium PTP 7850C + antenas 4 ft
Ancho de canal	20 MHz	40 MHz	28 MHz
Modulación máxima	1024-QAM	1024-QAM	4096-QAM
Capacidad agregada	~133 Mbps	~265 Mbps	543 Mbps
Capacidad	~66 Mbps	~132 Mbps	272 Mbps
Disponibilidad	99.9995 %	99.9995 %	100 %
Margen de ganancia	>50 dB	>50 dB	65 dB
Interrupción anual	Segundos	Segundos	~3 segundos
Costo estimado (\$/)	S/. 9,400	S/. 10,500	S/. 91,400
Ventajas	Económico	Mayor capacidad	Máxima capacidad
Desventajas	Menor capacidad	Requiere más espectro libre	Costo muy alto, requiere licencia

La tabla N° 08, muestra una comparativa de tres alternativas de enlace punto a punto para el backhaul sistema propuesto, PtP en 5.8 GHz en modo ePTP con 20 MHz, PtP en 5.8 GHz con 40 MHz y PtP en banda licenciada de 7 GHz, incluye tecnología, equipo, ancho de canal,

modulación máxima, capacidad agregada y por dirección, disponibilidad, margen de ganancia, interrupción anual y costo estimado, además de ventajas y desventajas, en 5.8 GHz con 20 MHz se logra una capacidad agregada cercana a 133 Mbps con disponibilidad muy alta y un costo menor, mientras que con 40 MHz la capacidad crece a alrededor de 265 Mbps demandando mayor uso de espectro, la alternativa en 7 GHz destaca por la mayor capacidad, aproximadamente 543 Mbps agregados y 272 Mbps por dirección, con disponibilidad proyectada de 100 % y margen de ganancia superior, aunque con un costo bastante más elevado y la necesidad de poseer licencia.

Figura 30

Comparativa de capacidad agregada de tres alternativas PtP para backhaul



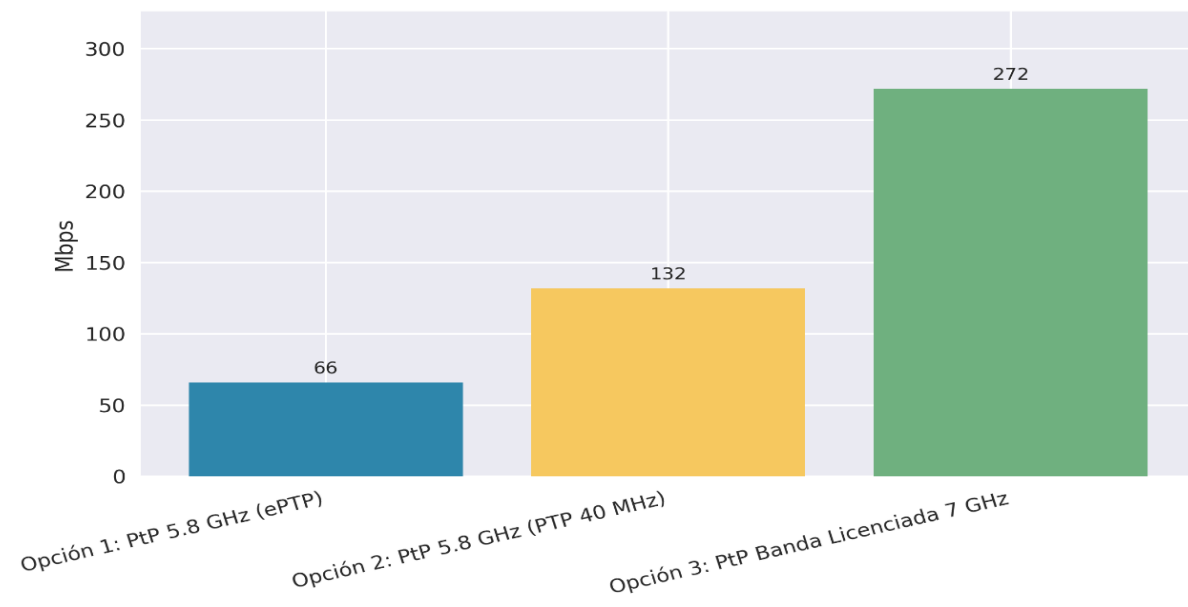
La figura N° 30, presenta la comparación de la capacidad agregada en tres alternativas de enlace punto a punto, PtP 5.8 GHz en modo ePTP, alcanza 133 Mbps; PtP 5.8 GHz con modo de 40 MHz, aumenta la capacidad a 265 Mbps; y PtP en banda licenciada de 7 GHz, logrando 543 Mbps, siendo la alternativa de mejor desempeño, la grafica muestra una ganancia progresiva de

capacidad al pasar de banda libre y menor ancho de canal hacia una solución licenciada con mejores condiciones para mantener tráfico agregado.

La figura N° 31, compara la capacidad estimada por sentido de transmisión para las tres alternativas de enlace punto a punto, PtP 5.8 GHz en modo ePTP, alcanza 66 Mbps por dirección; PtP 5.8 GHz con canal de 40 MHz, eleva este valor a 132 Mbps; y PtP en banda licenciada de 7 GHz, llega a 272 Mbps por dirección, la gráfica muestra que la elección de la banda y configuración de canal influye directamente en la capacidad disponible para tráfico ascendente y descendente.

Figura 31

Comparativa de capacidad por dirección en tres alternativas PtP de backhaul

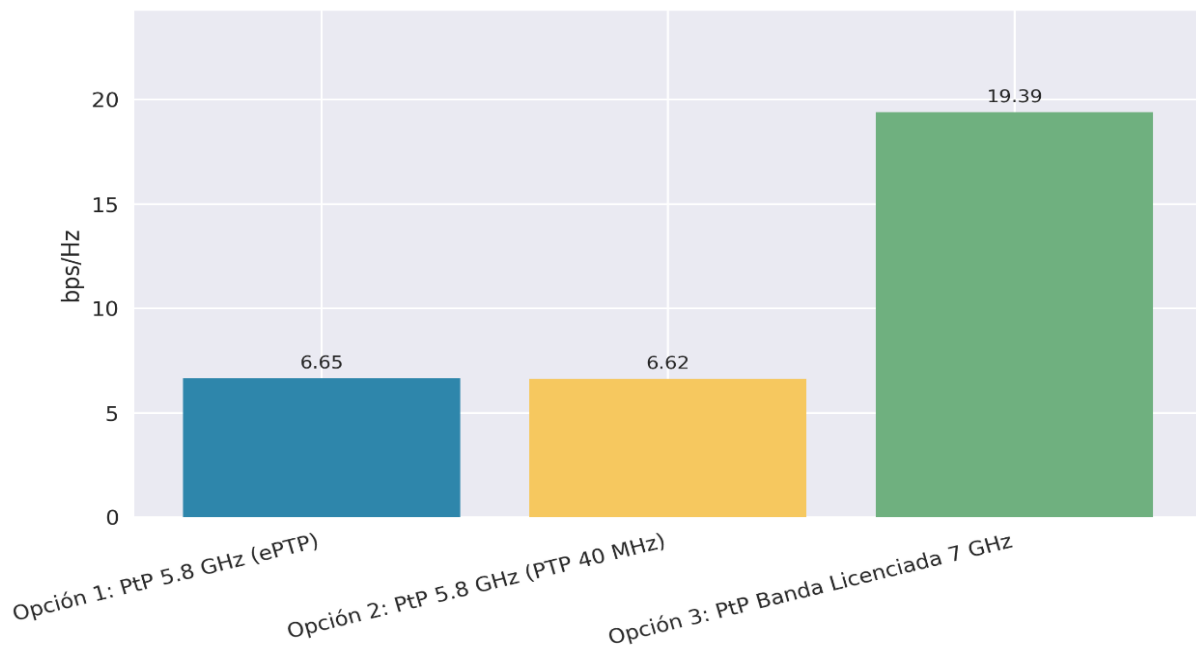


La figura N° 32, contrasta la eficiencia espectral para las tres alternativas de enlace punto a punto, se expresa en bps/Hz, ambas opciones en 5.8 GHz muestran valores equivalentes, alrededor de 6.65 bps/Hz para ePTP y 6.62 bps/Hz para PtP con 40 MHz, indicando que tienen un

rendimiento espectral similar pese al cambio de ancho de canal, a diferencia de la alternativa en banda licenciada de 7 GHz que logra alcanzar los 19.39 bps/Hz, observando un uso significativamente más eficiente del espectro.

Figura 32

Comparativa de eficiencia espectral en alternativas PtP: 5.8 GHz vs 7 GHz



La figura N° 33, compara el tiempo de indisponibilidad teórica anual para las tres alternativas de enlace punto a punto, para 5.8 GHz, tanto en modo ePTP con 20 MHz como en PtP con 40 MHz, presentan valores parecidos, del orden de 158 segundos por año, equivalente a pocos minutos de interrupción anual, a diferencia, la alternativa en banda licenciada de 7 GHz registra un valor cercano a cero segundos por año, reflejando una disponibilidad prácticamente total dentro del escenario evaluado, esta diferencia evidencia el nivel de confiabilidad para la selección

tecnológica, especialmente cuando el enlace debe asegurar servicios clínicos y administrativos que demandan continuidad operativa.

Figura 33

Comparación de indisponibilidad anual en alternativas PtP (5.8 GHz vs 7 GHz)

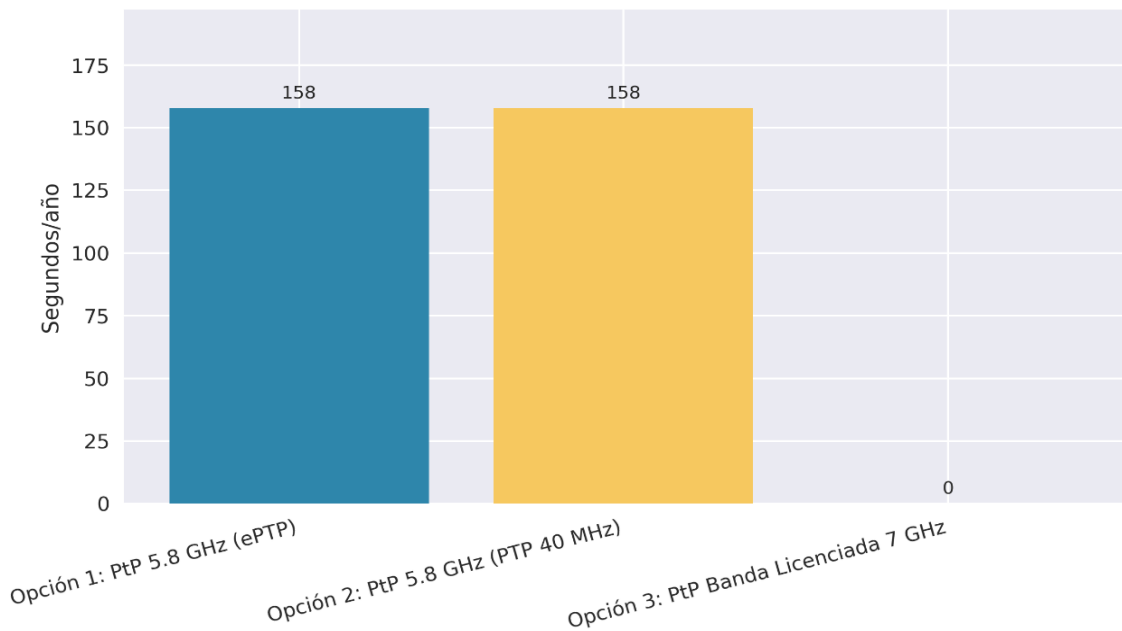
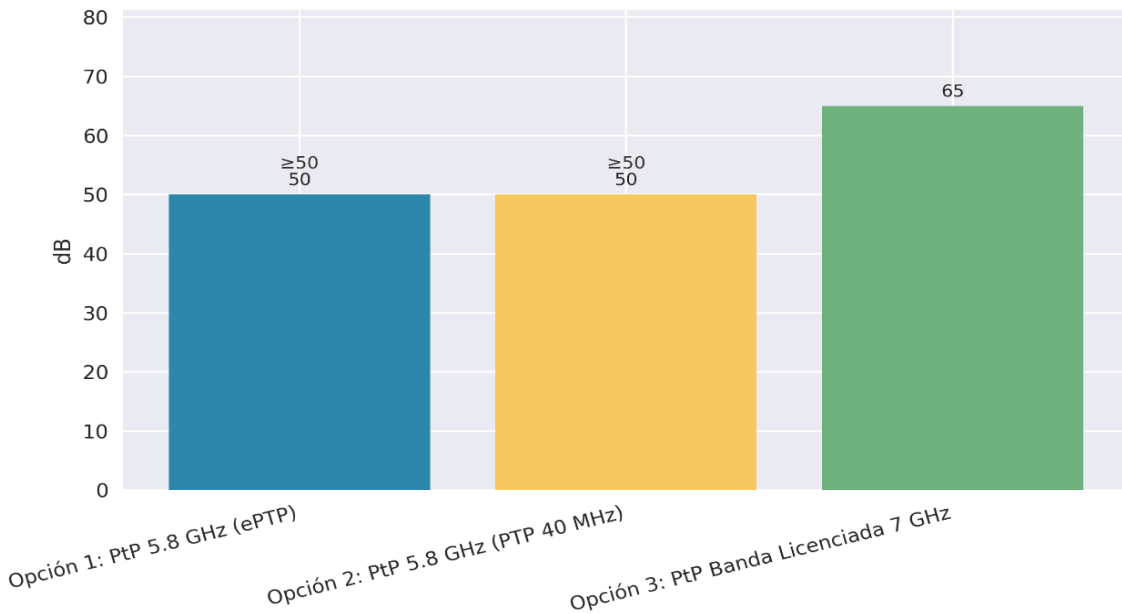


Figura 34

Comparación del margen de ganancia del enlace en tres alternativas PtP



La figura N° 34, contrasta el margen de ganancia del enlace, expresado en dB, para las tres alternativas punto a punto, en 5.8 GHz, tanto en modo ePTP 20 MHz como en PtP con 40 MHz, revelan un margen como igual o superior a 50 dB, manteniendo una reserva frente a variaciones del canal y pérdidas adicionales no previstas, para la banda licenciada de 7 GHz muestra un margen mayor de 65 dB, demostrando una holgura adicional brindado mayor estabilidad y tolerancia ante degradaciones de propagación.

Después de contrastar las tres alternativas de enlace punto a punto, se estableció que el enlace, PtP en 5.8 GHz en modo PTP con ancho de canal de 40 MHz, es la selección más beneficiosa para el proyecto, al brindar un equilibrio técnico y económico vinculado con las necesidades de conectividad del centro de salud.

En primer lugar, por su relación costo beneficio resulta visiblemente favorable, entrega una capacidad agregada aproximada de 265 Mbps, es decir, más del doble de la Opción 1 (133 Mbps), con un incremento de inversión moderado de S/. 10,500 frente a S/. 9,400, además, el costo promedio por Mbps es S/ 36 por Mbps, ubicándola como la alternativa más eficiente en términos económicos, fundamentalmente frente a la Opción 3, cuyo costo por Mbps es de S/ 150 por Mbps.

En segundo término, por el desempeño técnico, la alternativa 2 conserva una eficiencia espectral cercana a 6.63 bps/Hz, además de usar modulación 1024 QAM, también el tener mayor ancho de canal respecto de la Opción 1, aunque la Opción 3 presenta una eficiencia superior con 19.4 bps/Hz, su exigencia regulatoria y su costo elevan de forma significativa la barrera de viabilidad para el contexto del proyecto.

En tercer lugar, su disponibilidad estimada es de 99.9995 % brindando una indisponibilidad teórica de aproximadamente 158 segundos por año, mostrando criterios de alta confiabilidad en enlaces institucionales, si bien la alternativa licenciada se aproxima a disponibilidad total, la mejora no compensa el incremento de inversión.

En cuarto lugar, al operar en banda libre, se evita de procesos de licenciamiento reduciendo tiempos de despliegue y con un aumento significativo de capacidad.

3.2 Discusión

Los resultados validaron el diseño propuesto, al garantiza la conectividad estable para el Centro de Salud de Pampa Grande, con la elección de PtP 5.8 GHz en modo PTP con 40 MHz logra una capacidad agregada cercana a 265 Mbps (132 Mbps por dirección) y mantiene una disponibilidad estimada de 99.9995 %, mostrando una indisponibilidad aproximada de 158 s/año.

La comparación entre las distintas opciones muestra que el desempeño técnico de la alternativa en banda licenciada (7 GHz) presenta un alto rendimiento radioeléctrico, al mantener operación en 4096-QAM con capacidad IP agregada del orden de 543 Mbps (271 Mbps por sentido), con una disponibilidad estimada de 100 % y un margen de desvanecimiento de 26.63 dB aun en la modulación más alta, aunque, la investigación mostró que esa ganancia de desempeño conlleva un desafío económico y regulatorio, ya que la inversión es de S/ 91,400, frente a presupuestos cercanos a S/ 10,500 para la alternativa en 5.8 GHz con 40 MHz.

La literatura científica, sobre conectividad en el Perú evidencian que la solución debe combinar desempeño con condiciones reales de despliegue y mantenimiento, principalmente en zonas con restricciones de infraestructura, además los sistemas sanitarios digitales muestran que la confiabilidad del transporte de datos es la base para servicios como tele consulta, intercambio de imágenes clínicas y coordinación operativa, resaltando los enlaces de alta disponibilidad y capacidad suficiente, inclusive si no son los de mayor capacidad absoluta.

El principal aporte del estudio es evidenciar una lógica de selección tecnológica basada en criterios integrados: capacidad, disponibilidad, eficiencia espectral, margen de ganancia y costo por Mbps.

Las principales limitaciones se basan en que el estudio parte de una revisión documental y de simulación computacional (Radio Mobile y Ubiquiti Link Planner), los resultados dependen de supuestos de modelado, de la calidad de los insumos topográficos y de condiciones radioeléctricas representadas en software.

La investigación presenta un alto rigor metodológico que le brinda consistencia: i) empleo de simuladores especializados para el análisis de cobertura, potencia, disponibilidad y escenarios comparativos; ii) incorporación de indicadores de desempeño y de inversión que hacen la decisión pueda ser revisada y contrastada con base en evidencias cuantitativas.; y iii) Enfoque replicable en centros de salud rurales similares, con aplicabilidad más allá del caso analizado.

4 CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se estableció que, a partir de la evidencia examinada y de los criterios regulatorios, que la conectividad para un centro de salud rural, debe priorizar no solo el acceso, también debemos tener en cuenta la estabilidad, el ancho de banda y la latencia, por esta razón el diseño se alineó con el mínimo exigible de 20 Mbps de descarga y 7 Mbps de carga, proyectando capacidades de 30 Mbps a más, además, se consideró escenarios de demanda superior a 100 Mbps de descarga y 20 Mbps de carga.

Se confirmó, a través de modelamiento del enlace, la viabilidad técnica de un backhaul PtP en 5.8 GHz, con distancia de 0.521 km, una frecuencia 5,825 MHz, una potencia de transmisión de 30 dBm y 2 antenas direccionales de 34 dBi, la simulación alcanzó un margen de escucha de 56.41 dB, mostrando estabilidad y holgura ante las variaciones del canal, logrando el desempeño esperado.

Se concluyó que la configuración más apropiada para el Centro de Salud de Pampa Grande del distrito de Chongoyape, región Lambayeque, es el enlace inalámbrico PtP 5.8 GHz en modo PTP con 40 MHz, logrando una capacidad agregada aproximada a 265 Mbps, (cerca de 132 Mbps por dirección) y una disponibilidad estimada de 99.9995 %, con una indisponibilidad teórica de alrededor de 158 s/año.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda a la Dirección del establecimiento y a la Gerencia Regional de Salud (GERESA - Lambayeque), dar prioridad a una solución PtP 5.8 GHz con 40 MHz como backhaul, debido a que supera holgadamente las demandas y mantienen una inversión alineada con proyectos rurales, garantizando márgenes para el crecimiento de servicios digitales en salud.

Se sugiere efectuar, previo al despliegue, un levantamiento radioeléctrico del entorno para asegurar disponibilidad de espectro contiguo en 40 MHz y minimizar interferencias, de tal manera que, la capacidad estimada en el diseño se mantenga en contextos operativos reales.

Se propone desarrollar políticas para brindar prioridad de tráfico en la red interna, dirigiendo los recursos para tele consulta, intercambio de imágenes clínicas y sistemas de información en salud, con el propósito de preservar baja latencia.

Se recomienda tomar en cuenta, para escenarios de mayores exigencias de disponibilidad, un análisis costo regulatorio de banda licenciada, por su mayor margen de ganancia y desempeño, analizándola como alternativa de escalamiento, al momento que el presupuesto lo permitan.

5 REFERENCIAS

- Buabbas, A. J., Mohammad, T., Ayed, A. K., Mallah, H., Al-Shawaf, H., & Khalfan, A. M. (2021). Evaluating the success of the tele-pathology system in governmental hospitals in Kuwait: An explanatory sequential mixed methods design. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01567-x>
- Espinoza, A. A., & Oropeza, J. (2022). *Sistema de red Wimax de banda ancha inalámbrica para mejorar los servicios de cobertura en telecomunicaciones tecnología y redes aplicando la norma IEEE. 802.16 en el distrito de Huancabamba – Oxapampa, 2020* [Tesis de grado, Universidad Privada TELESUP]. <https://repositorio.utelesup.edu.pe/handle/UTELESUP/1397>
- Federal Communications Commission. (2024). *2024 Urban Rate Survey – Fixed Broadband Service*. <https://www.fcc.gov/sites/default/files/2024%20Urban%20Rate%20Survey%20Broadband%20Methodology%20ReportFinal.pdf>
- Flores-Cueto, J., Hernández, R., & Garay-Argandoña, R. (2021). Tecnologías de información: Acceso a internet y brecha digital en Perú. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 17.
- González, J., & Castañeda, R. (2023). *Conectividad a Internet para el progreso rural*. [Tesis de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/18753>
- INEI. (2023). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/el-913-de-la-poblacion-de-6-y-mas-anos-de-edad-que-usa-internet-accedio-a-traves-de-un-telefono-celular-14458/>

- Mahmeen, M., Melconian, M. R., Haider, S., Friebe, M., & Pech, M. (2021). Next Generation 5G Mobile Health Network for User Interfacing in Radiology Workflows. *IEEE Access*, 9, 102899-102907. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3097303>
- Mamani, H. (2022). *Diseño de un sistema de telecomunicaciones aplicado a la telemedicina para el acceso remoto a los servicios médicos especializados del Hospital Regional de Tacna desde los establecimientos de salud ubicados en las zonas rurales de la región Tacna* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2428>
- Ministerio de Salud. (2024). *Minsa logra más de 2.5 millones de atenciones a través de la Telemedicina en el 2024*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/1083488-minsa-logra-mas-de-2-5-millones-de-atenciones-a-traves-de-la-telemedicina-en-el-2024>
- Ministerio de Salud. (2025). *Más de 3.4 millones de atenciones por telemedicina: Un hito en la atención médica peruana*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/1132597-mas-de-3-4-millones-de-atenciones-por-telemedicina-un-hito-en-la-atencion-medica-peruana>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022). *Resolución Ministerial N.º 1197-2022-MTC/01.03*. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/3715321-1197-2022-mtc-01-03>
- MINSa. (2023). *Perfil de Situación de Salud 2023: Departamento Lambayeque*. https://www.dge.gob.pe/portal/docs/perfiles_epidemiologicos/docs/2023/pdf/Documento%20Perfil%20de%20Salud_2023_Vers%20Oficial_Lambayeque_JCPD_Final.pdf
- Observatorio de Desarrollo Digital, O. (2022). *Indicadores—Observatorio de Desarrollo Digital*. Observatorio de Desarrollo Digital, Naciones Unidas. <https://desarrollodigital.cepal.org/es/indicadores?id=414>

- Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2021). *Resolución de Consejo Directivo N.º 138-2021-CD/OSIPTEL*.
<https://www.gob.pe/institucion/osiptel/normas-legales/2243454-138-2021-cd-osiptel>
- Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2025). *Erestel: El 92.6 % de hogares peruanos tiene acceso a internet fijo y móvil*.
<https://www.gob.pe/institucion/osiptel/noticias/1247297-erestel-el-92-6-de-hogares-peruanos-tiene-acceso-a-internet-fijo-y-movil>
- Quispe. (2023). *Brecha digital en el sector salud peruano bajo el marco del Gobierno y Transformación Digital* [Tesis de grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Rosas, H. (2021). *Redes Nacionales de Banda Ancha en el Perú: Escenarios al 2030* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://www.proquest.com/openview/abc70971980bbf3ce76faa446f1d93df/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>
- Sotelo, M. A. (2021). *Diseño e implementación de una red de banda ancha en apoyo a la localidad de Torohuichcana, distrito de Pampachiri, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac-Perú* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú].
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5187>
- Wendt, K., & Hildebrand, F. (2025). Networking between hospitals. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 51(1). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s00068-025-02827-5>

ANEXOS

Anexo 01: Presupuesto del enlace Punto multipunto (PmP) de 5 GHZ

Tabla 9

Presupuesto del enlace Punto multipunto (PmP) de 5 GHZ

Part Number	Descripción	Cantidad	Precio	Total (S/)
C000000L033	Gigabit Surge Suppressor (56V), 10/100/1000 BaseT	2	S/ 300	S/ 600
C050940C121	ePMP 5 GHz Force 400C (ROW) (US cord)	2	S/ 2,200	S/ 4,400
EW-E2EPF400-WW	ePMP Force 400 Extended Warranty, 2 Additional Years	2	S/ 400	S/ 800
RDH4509C	High Performance 4.9-6 GHz, 3-FT (0.9M), DUAL-POL antenna with 2 x N-type Connector	2	S/ 1,800	S/ 3,600
COSTO TOTAL				S/ 9,400

Anexo 02: Presupuesto del enlace Punto multipunto (PmP) de 7 GHZ

Tabla 10

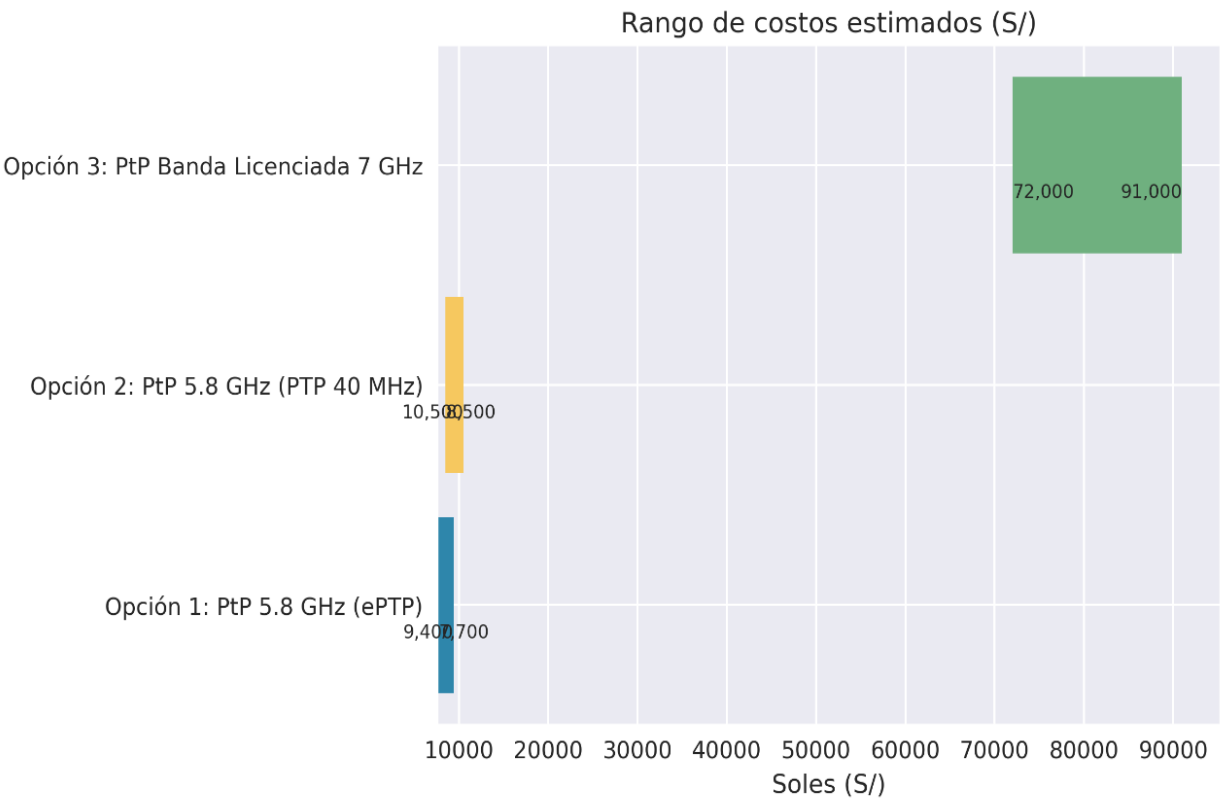
Presupuesto del enlace Punto multipunto (PmP) de 7 GHZ

Descripción	Cantidad	Precio (S/)	Total (S/)
Gigabit Surge Suppressor (56V)	4	S/ 300.00	S/ 1,200.00
PTP 850C Base	2	S/ 22,000.00	S/ 44,000.00
PTP850C Extended Warranty	2	S/ 1,500.00	S/ 3,000.00
CAT6A Outdoor Cable	2	S/ 400.00	S/ 800.00
Optical Cable	2	S/ 700.00	S/ 1,400.00
PTP 820 4' Antenna (36.6 dBi)	2	S/ 4,500.00	S/ 9,000.00
PTP 820 RFU-ODU	2	S/ 15,000.00	S/ 30,000.00
Conectores, grounding kits, feeder cables	Varios	S/ 300.00	S/ 2,000.00
Costo total estimado del enlace			S/ 91,400.00

ANEXO 03: Contraste de costos entre banda libre (5.8 GHz) y banda licenciada (7 GHz)

Figura 35

Costos estimados del enlace, banda libre (5.8 GHz) vs banda licenciada (7 GHz)



ANEXO 04: Costo promedio vs capacidad agregada

Figura 36
Costo promedio vs capacidad agregada

