

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



**“DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE
SAN JUAN, CAJAMARCA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

AUTOR:

CLISMÁN CIDANI SEGURA FLORIÁN

ASESOR:

DR. ING. CARLOS JESUS KOO LABRIN

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: CLISMÁN CIDANI SEGURA FLORIÁN

DNI: 76038909

Escuela Profesional: INGENIERÍA DE SISTEMAS

2. Asesor: DR. ING. CARLOS JESÚS KOO LABRÍN

Facultad: INGENIERÍA

3. Grado académico o título profesional

- Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. Tipo de Investigación:

- Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE
SAN JUAN, CAJAMARCA"

6. Fecha de evaluación: 28 de enero 2026

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12 %

9. Código Documento: trn:oid:::3117:550345757

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

- APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 2 de febrero del 2026



FIRMA DEL ASESOR
DR. ING. CARLOS JESÚS KOO LABRÍN

DNI: 07626109



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 02/02/2026 09:40:55-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0044-2026

TITULO : *DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA*

ASESOR : *Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrín.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **cinco días del mes de febrero de 2026**, siendo las doce horas (12:00 m.) en la sala de Audiovisuales (Edificio 4K) de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Yter Antonio Vallejos Díaz.
Vocal : Dr. Ing. Oscar Gilberto Zocón Alva.
Secretario : Dr. Ing. José Camilo Micha Ortiz.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA*, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Sistemas *CLISMÁN CIDANI SEGURA FLORIAN*, asesorado por el Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrín, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 97 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 97 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 10 PTS *Dieciocho* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *Dieciocho* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *13:05* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Yter Antonio Vallejos Díaz.
Presidente

Dr. Ing. Oscar Gilberto Zocón Alva.
Vocal

Dr. Ing. José Camilo Micha Ortiz.
Secretario

Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrín.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios por ser el motor principal en nuestras vidas, por acompañarnos y permitirnos estar aquí. Agradezco a mis padres porque desde pequeño me enseñaron el significado de perseverar y luchar por nuestros sueños. Al mismo tiempo quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Carlos Jesus Koo Labrin, por su guía experta y paciencia durante todo el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres WILSON SEGURA GALARRETA Y RENI FLORIAN CRISOLOGO, y hermana SAYDA SEGURA FLORIAN por su amor incondicional y constante apoyo en cada paso de este camino. A mis amigos, por ser mi fuente de inspiración y alegría en los momentos más desafiantes. Y a todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a enriquecer este proyecto con su sabiduría y apoyo.

CONTENIDO

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes teóricos	4
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1. Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica	8
2.2.2. Banda Ancha	8
2.2.3. Diseño de la Red de Telecomunicaciones	8
2.2.4. Infraestructura instalada	8
2.2.5. Acceso eficiente a Internet	9
2.2.6. Viabilidad económica	9
2.2.7. Tecnologías de Transporte	10
2.2.8. Tecnologías de acceso	11
2.2.9. Radioenlace (PTP/PTMP)	13
2.3. Definición de términos básicos	14
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Procedimiento	16
3.2. Tratamiento y análisis de datos	20
3.3. Presentación de resultados	20
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	102
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
Conclusiones.....	110
Recomendaciones	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	119

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Cobertura en cada localidad según el operador.....	21
Tabla II: Localidades del distrito de San Juan y su respectiva población.....	25
Tabla III: Instituciones educativas en el distrito de San Juan	26
Tabla IV: Comisarías y Centros de Salud del distrito	28
Tabla V: Estimación de ancho de banda.....	28
Tabla VI: Costo de implementación de la red	89
Tabla VII: Presupuesto de implementación de infraestructura de red San Juan.....	94
Tabla VIII: Presupuesto supervisión de obra.....	95
Tabla IX: Presupuesto expediente técnico	96
Tabla X: Presupuesto para el mantenimiento anual	97
Tabla XI: Presupuesto total de implementación	98
Tabla XII: Radioenlaces para análisis económico	99
Tabla XIII: Comparación de costos entre radioenlace y fibra óptica	100

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Mapa satelital del distrito de San Juan	16
Fig. 2: Etapas de la Metodología	17
Fig. 3: Proceso de recolección de datos.....	19
Fig. 4: Vista satelital de los operadores por localidad en el distrito de San Juan	22
Fig. 5: Electrificación del distrito de San Juan	23
Fig. 6: Reconocimiento de Yumagual Alyo y Chusac	23
Fig. 7: Reconocimiento de Cochapampa	24
Fig. 8: Diseño de la RDNFO en Cajamarca	25
Fig. 9: Distribución de las localidades.....	30
Fig. 10: Distribución de ancho de banda por localidad	31
Fig. 11: Ubicación de Torres	31
Fig. 12: Diagrama de red con línea vista.....	32
Fig. 13: Diagrama de red en Link Planner con línea vista	33
Fig. 14: Diagrama de red con línea vista y área de alcance	33
Fig. 15: Enlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1	34
Fig. 16: Perfil de Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1	35
Fig. 17: Disponibilidad del radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1 ..	36
Fig. 18: Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2	36
Fig. 19: Perfil de Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2	37
Fig. 20: Disponibilidad del radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2 ..	37
Fig. 21: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco	38
Fig. 22: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco	39
Fig. 23: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco	39
Fig. 24: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata	40
Fig. 25: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata	41
Fig. 26: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata	41
Fig. 27: Radioenlace entre Torre Lanchepata y Torre Huacraruco.....	42
Fig. 28: Perfil de Radioenlace entre Torre Lanchepata y Torre Huacraruco	43
Fig. 29: Disponibilidad del radioenlace entre Torre Lanchepata y Torre Huacraruco ...	43
Fig. 30: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar	44
Fig. 31: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar.....	45
Fig. 32: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar.....	45
Fig. 33: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca.....	46
Fig. 34: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca	47
Fig. 35: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca.....	48
Fig. 36: Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz	48
Fig. 37: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz	49
Fig. 38: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz.....	50
Fig. 39: Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani.....	51
Fig. 40: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani	52
Fig. 41: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani	52
Fig. 42: Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo	53
Fig. 43: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo	54
Fig. 44: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo	55
Fig. 45: Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo	55

Fig. 46: Perfil de Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo	56
Fig. 47: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo.....	57
Fig. 48: Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron.....	58
Fig. 49: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron	59
Fig. 50: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron	59
Fig. 51: Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p & Quivinchan.....	60
Fig. 52: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p & Quivinchan	61
Fig. 53: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p&Quivinchan	61
Fig. 54: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa	62
Fig. 55: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa	63
Fig. 56: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa.....	64
Fig. 57: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo	64
Fig. 58: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo	65
Fig. 59: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo.....	66
Fig. 60: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho	67
Fig. 61: Perfil del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho	68
Fig. 62: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho.....	68
Fig. 63: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa	69
Fig. 64: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa.....	70
Fig. 65: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa.....	71
Fig. 66: Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo	71
Fig. 67: Perfil de Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo.....	72
Fig. 68: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo	73
Fig. 69: Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre la Laguna.....	74
Fig. 70: Perfil de Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre la Laguna.....	75
Fig. 71: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre la Laguna	75
Fig. 72: Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo.....	76
Fig. 73: Perfil de Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo	77
Fig. 74: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac&YumagualBajo.....	78
Fig. 75: Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden ..	78
Fig. 76: Perfil de Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden	79
Fig. 77: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden	80
Fig. 78: Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto	80
Fig. 79: Perfil de Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto	81
Fig. 80: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto	82
Fig. 81: Mapa de cobertura de la red de acceso a internet y hogares beneficiarios de las localidades del distrito de San Juan.....	83
Fig. 82: Perfil entre Torre San Juan 1 y Casa1	84
Fig. 83: Perfil entre Torre San Juan 1 y Casa2.....	86
Fig. 84: Ficha de validación de instrumento entrevista	123
Fig. 85: Ficha de validación de instrumento Ficha de registro de datos	124

RESUMEN

El distrito de San Juan, en la región Cajamarca, presenta una marcada brecha digital debido a su geografía montañosa, la dispersión de sus localidades y la limitada infraestructura de telecomunicaciones, lo que restringe el acceso de la población a servicios de comunicación, educación virtual, salud y trámites en línea. Frente a esta problemática, el objetivo de la investigación fue diseñar una red de telecomunicaciones con radioenlaces que permita interconectar los centros poblados con la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica y con el nodo existente en la capital distrital, optimizando la ubicación de torres y el dimensionamiento del ancho de banda para garantizar una conectividad eficiente y viable económicamente. El estudio tuvo enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, nivel descriptivo y diseño no experimental transversal, e incluyó el diagnóstico de la infraestructura actual, el cálculo de la demanda de ancho de banda (10 Mbps por vivienda y 30 Mbps por institución pública, alcanzando 17 660 Mbps para 30 localidades), así como la simulación de los radioenlaces mediante Google Earth Pro y LINKPlanner. Los resultados muestran enlaces punto a punto y punto multipunto con línea de vista completa, márgenes de ganancia del sistema superiores a 39 dB, potencias recibidas entre -25 y -31 dBm, disponibilidades del 99.999 % y throughputs agregados mayores a 2,2 Gbps por enlace, suficientes para cubrir la demanda proyectada. En el aspecto económico, la propuesta requiere una inversión total de USD 1 202 070,75 sin IGV, que integra expediente técnico, supervisión, implementación de infraestructura y mantenimiento anual, demostrando que el diseño es técnica y financieramente factible para cerrar la brecha de conectividad en el distrito de San Juan y servir como modelo replicable en otros contextos rurales similares.

Palabras Claves: Red de telecomunicaciones, Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, throughput, radioenlace.

ABSTRACT

The district of San Juan, in the Cajamarca region, faces a significant digital divide due to its mountainous geography, the dispersed nature of its communities, and limited telecommunications infrastructure. This restricts the population's access to communication services, online education, healthcare, and online procedures. To address this problem, the research aimed to design a telecommunications network using radio links to interconnect the populated centers with the National Fiber Optic Backbone Network and the existing node in the district capital. This involved optimizing tower placement and bandwidth sizing to ensure efficient and cost-effective connectivity. The study employed a quantitative, applied, descriptive, and non-experimental cross-sectional design. It included a diagnosis of the current infrastructure, calculation of bandwidth demand (10 Mbps per household and 30 Mbps per public institution, totaling 17,660 Mbps for 30 communities), and simulation of the radio links using Google Earth Pro and LINKPlanner. The results show point-to-point and point-to-multipoint links with full line of sight, system gain margins exceeding 39 dB, received power between -25 and -31 dBm, 99.999% availability, and aggregate throughputs greater than 2.2 Gbps per link, sufficient to meet projected demand. Economically, the proposal requires a total investment of USD 1,202,070.75 (excluding VAT), which includes technical documentation, supervision, infrastructure implementation, and annual maintenance. This demonstrates that the design is technically and financially feasible for closing the connectivity gap in the San Juan district and can serve as a replicable model in other similar rural contexts.

Key Words: Telecommunications network, National Backbone Fiber Optic Network, throughput, radio link.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la era de la globalización y de las tecnologías de la información, el acceso a redes de telecomunicaciones y a internet se ha convertido en un aspecto fundamental para el desarrollo social, económico y educativo de las comunidades. En el contexto internacional, varios países han avanzado en la expansión de redes de fibra óptica, alcanzando tasas de penetración superiores al 50% en regiones como Estados Unidos, Singapur y Corea del Sur, donde más del 90% de la población ya cuenta con cobertura de banda ancha [1], por otro lado Chile también ha avanzado en conectividad con el proyecto Fibra Óptica Nacional (FON), que desplegó 10,000 km de fibra óptica. Este proyecto, operativo desde 2022, beneficia a más de 3.7 millones de personas en 202 comunas, con un subsidio estatal de más de \$75,000 millones [2]. Por el contrario, en el Perú aún persiste una gran brecha digital, siendo el país con menor penetración de fibra óptica en Sudamérica [3]. Las zonas rurales son las más afectadas, con solo un 11% de cobertura de internet fijo y un 89% sin acceso [4]. Esto hace evidente que el acceso mediante tecnologías inalámbricas y microondas sigue siendo muy limitado, a pesar de la promulgación de la Ley 29904 que tiene como objetivo promover la banda ancha a nivel nacional [5], su implementación enfrenta retrasos debido a los desafíos geográficos y económicos, dificultando el cierre de la brecha digital en áreas rurales. En Cajamarca, el Gobierno Regional (GRC) impulsa el proyecto de banda ancha para conectar distritos del departamento y cubrir 1,210 localidades y 2,168 instituciones, beneficiando a 374,000 habitantes [6]. Sin embargo, el distrito de San Juan, pese a su alta necesidad, carece de acceso a internet adecuado debido a su accidentado relieve geográfico, lo cual dificulta la instalación de infraestructura en telecomunicaciones. Esta falta de conectividad afecta la educación, oportunidades laborales y la inclusión digital, perpetuando la pobreza en el área. Según el INEI, el distrito presenta un 36.1% de pobreza extrema, con solo un 47.25% de su población con educación primaria, un 24.46% con secundaria y solo un 2% con estudios superiores [7], [8].

La investigación planteó como problema principal, ¿Como diseñar una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca?, para abordar este

problema se plantearon las siguientes preguntas específicas: (1) ¿Cuál es la infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan?, (2) ¿Qué características técnicas debe tener el diseño de la red de telecomunicaciones para vencer las barreras geográficas del distrito de San Juan?, (3) ¿Cómo evaluar la eficiencia y el desempeño de la red propuesta mediante simulaciones en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas?, y (4) ¿Cuál es la factibilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos y de mantenimiento (OPEX)?

Esta investigación es crucial al proponer una solución inalámbrica terrestre para llevar banda ancha al distrito de San Juan, donde la falta de redes y la pobreza extrema limitan el desarrollo y la competitividad de la población. Socialmente, beneficiará a la comunidad al mejorar el acceso a servicios como educación, empleo, salud y mercados, impulsando el desarrollo económico y la calidad de vida. Teóricamente, examina la demanda de ancho de banda y el rendimiento de redes con frecuencias de 6 GHz y 5.8 GHz, con un diseño resistente a interferencias y optimizado para cobertura. En lo práctico, brinda información clave sobre redes de Backhaul y Acceso, apoyando proyectos sostenibles e incentivando la colaboración pública y privada. Metodológicamente, integra simulación de redes y análisis financiero para evaluar la viabilidad técnica y económica, cubriendo aspectos frecuentemente separados en otros estudios.

El alcance de la investigación se delimitó al diseño de una red de telecomunicaciones para los centros poblados de San Juan que cuentan con más de 15 hogares. El estudio abarca aspectos técnicos y económicos, centrándose en la simulación de la red y la evaluación de su viabilidad financiera. Solo se consideran las condiciones geográficas y socioeconómicas de Perú en 2024.

El objetivo general de la investigación es “Diseñar una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca”. Para alcanzar este fin, se establecieron objetivos específicos que incluyeron (1), Diagnosticar la infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan, (2) Realizar un diseño técnico detallado de la red de telecomunicaciones que sea idóneo para vencer las barreras geográficas y técnicas específicas del distrito de

San Juan, (3)Desarrollar simulaciones del diseño de la red utilizando software especializado para evaluar su desempeño y eficiencia en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas y (4)Evaluar la factibilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta tanto costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos y de mantenimiento (OPEX).

Para guiar esta investigación, se planteó la hipótesis general “El diseño de una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca, garantiza un acceso eficiente a internet y es financieramente posible”. A su vez, se definieron las siguientes hipótesis específicas: (1) La infraestructura de telecomunicaciones existente en el distrito de San Juan es insuficiente y requiere mejoras significativas, (2) Las características técnicas para el diseño son enlaces inalámbricos de largo alcance, antenas de alta ganancia, torres de transmisión ubicadas en puntos estratégicos y tecnologías como wi-fi, wimax y fibra óptica, que permiten superar las barreras geográficas y técnicas del distrito de San Juan, (3)La eficiencia y el desempeño de la red de telecomunicaciones se pueden evaluar mediante simulaciones con software especializado como LinkPlanner, que permite modelar su comportamiento en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas y (4)La factibilidad económica mediante el análisis de costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos y de mantenimiento (OPEX) es rentable y financieramente viable a largo plazo.

El proyecto está dividido en cinco capítulos de la siguiente forma: el capítulo I presenta una introducción del proyecto, donde se plantea el problema, la hipótesis general y las hipótesis específicas, además de la justificación de la investigación. En el capítulo II se describen investigaciones previas que respaldan y justifican esta investigación, se desarrollan las bases teóricas que sustentan el proyecto y se definen términos clave para facilitar la comprensión de la terminología empleada. El capítulo III detalla la zona en la que se realizó la investigación, así como el procedimiento, tratamiento y análisis de los datos, además de la presentación de los resultados. En el capítulo IV se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos a partir de la simulación de la red de fibra óptica, lo cual permite contrastar las hipótesis planteadas. Finalmente, el capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones alcanzadas al finalizar este proyecto de tesis.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

A nivel internacional, en Colombia, Gaviria y Fernández [9], en su tesis tuvieron como objetivo diseñar una red inalámbrica de banda ancha para un distrito con tecnología Wimax, y que beneficiara a más de 2000 habitantes. En su proyecto realizaron una investigación cualitativa e investigativa, la cual caracterizaba la conectividad y acceso a las tecnologías de la comunicación, por medio de técnicas de recolección de datos en entrevistas y encuestas. Para una mejor solución en los resultados en la interconexión del radioenlace de la red, se modeló y calculó con el software Radio Mobile, para el tramo de 6 Km, con el posicionamiento de dos antenas direccionales, el cual dio el conocimiento de una línea de vista óptima y el margen del Nivel de Rx = -29.9 dBm, ofreciendo factibilidad y garantizando la disponibilidad del servicio en el 99,9 %, y se concluyó que en la actualidad existen una mayoría de soluciones en redes inalámbricas, pero se puede evidenciar que el estándar IEEE 802.16, se puede llevar como solución de última milla mediante modelos de red, con topologías de punto a punto, punto a multipunto, hacia las comunidades apartadas, rurales.

Por otro lado Altamar y Puerta [10], en su tesis realizada en Colombia, tuvieron como objetivo realizar un estudio basado en sistemas de fibra óptica para el suministro de internet hogar en una comunidad. La metodología empleada en el proyecto es cualitativa de tipo descriptivo no experimental, utilizando técnicas de recolección de información como la observación y entrevistas informales. Los resultados indican que la implementación de una red de fibra óptica es factible y proporcionaría una mejora significativa en la calidad del servicio de internet para los residentes, seleccionando la fibra óptica por sus ventajas técnicas en ancho de banda y estabilidad. En términos estadísticos, se calculó que el diseño de la red requeriría una inversión total de \$13,301,644, con 500 hogares beneficiados, permitiendo velocidades de transmisión de hasta 1 Tbps y reduciendo las pérdidas de señal a valores mínimos. En conclusión, el diseño e implementación de esta red no solo es viable, sino también necesaria para mejorar la calidad de vida de los habitantes del Barrio Altos de Aeromar, asegurando una conexión de alta velocidad y confiabilidad.

De la misma manera, Tituaña y Concha [11], en su tesis realizada en Ecuador tuvieron como objetivo general diseñar una red con tecnología GPON para una empresa con el fin de brindar servicios de video y datos. En la investigación utilizaron la metodología TOP-DOWN que utiliza técnicas estratégicas en las cuales se describe las fases necesarias para el diseño e implementación de una red. Finalmente, se emplea el software Optsim para simular la red, llevando a cabo pruebas de potencia que garantizan el funcionamiento óptimo. En los resultados se obtiene una transmisión de datos más rápida y confiable según ITU-T G-PON con una eficiencia ascendente del 93% y descendente del 94%, y concluyó que el uso del estándar GPON asegura que la red permita altas tasas de tráfico a velocidades asimétricas, manejando 2.5 Gbps para Downstream y 1.25 Gbps para Upstream en un rango de 20 km, manejando cada puerto hasta 78,12 megas downstream y 39,06 megas upstream por usuario. Además, la simulación confirma niveles óptimos de potencia en los enlaces, asegurando calidad para la transmisión de datos y señal de televisión.

Asimismo Barriga[12], en su tesis realizada en Ecuador tuvo como objetivo diseñar una red GPON para proveer de internet en un Barrio que beneficiara a 10673 habitantes. La metodología utilizada incluye la simulación del diseño de la red GPON mediante el software Optisystem, abarcando el diseño de la red feeder, la red de distribución (ODN) y la red de acceso, con componentes como la OLT, splitters y cables de fibra óptica. Los resultados indican que la red GPON diseñada, con una velocidad de transmisión de 2.5 Gbps y un splitter de primer nivel de 1:4, garantiza una red eficiente con menos pérdidas. En conclusión, la implementación de esta red permitirá una conectividad eficiente y de alta calidad, satisfaciendo las necesidades de transmisión de datos del sector y mejorando el acceso a servicios esenciales como educación y salud en el contexto de la era digital y la pandemia de COVID-19.

A nivel nacional en Lima, Guzmán [13], en su tesis tuvo como objetivo diseñar una red de banda ancha inalámbrica para las oficinas registrales del Reniec en Lima que permita reducir los costos de interconexión según la regulación nacional del MTC. En la investigación se diseñó una red de

microondas de banda ancha que cumple la regulación del MTC, según el Decreto Supremo N°006-2013-MTC. En el proyecto se realiza una investigación cualitativa, para la simulación se utilizó el software LINKPlanner. En los resultados se obtuvo margen de desvanecimiento de 20 dB, línea de vista de 100 %, disponibilidad: 99,99 %, considerando que los enlaces están operando en banda no licenciada y Fresnel mayor 60 %. En conclusión, se diseñó una red microondas de banda ancha para el Reniec y se ajustó a las regulaciones del MTC al operar en una frecuencia no licenciada y dicha solución de red microondas no licenciada resultó en un ahorro del 100 % en los gastos opex en comparación con una solución de enlace dedicado.

De la misma manera la tesis de Rios y Quino en Tacna[14], tuvieron como objetivo diseñar una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín. La metodología utilizada es de tipo descriptivo y cuantitativo, con análisis de variables y un diseño de red basado en estudios de campo y proyecciones de tráfico de red. Los resultados mostraron que la implementación de la red FTTH es viable técnica y económicamente, proporcionando una infraestructura capaz de soportar altos anchos de banda y mejorando significativamente la calidad del servicio de internet en la comunidad. Estadísticamente, se determinó que el consumo promedio por cada suscriptor es de 38.60 Mbps, con un requerimiento total de 2.35 Mbps para subida y 36.25 Mbps para bajada por usuario. En cuanto a las conclusiones Rios y Quino determinan que con tecnología FTTH es posible proveer mayores posibilidades de acceso a las redes de internet y telecomunicaciones para suscriptores como: hogares y para usuarios corporativos como colegios, medianas y pequeñas empresas realizar un cálculo adicional para un enlace punto a punto con una tasa de transmisión simétrico utilizando la infraestructura pasiva de fibra óptica.

Asimismo Peña[15], en su tesis realizada en Moquegua tuvo como objetivo diseñar un sistema de radioenlaces para brindar servicio de datos a los anexos del distrito de Puquina. La metodología de la investigación que se realizó fue de tipo no experimental y cualitativa, fue mediante la recolección de información de los pueblos del Distrito, también la recolección de información respecto a los perfiles, relieves y altitud de los terrenos para determinar las áreas candidatas para la ubicación de los nodos (Google Earth). En los resultados se

obtuvieron que en cada enlace se dispone de un throughput mínimo de 50 Mbps por cada anexo beneficiario y una disponibilidad de 99,9999%. Y en cuanto a las conclusiones, Peña logró llevar a cabo un diseño de radioenlaces estratégicos aprovechando la infraestructura de la Red de Banda Ancha y la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica. La elección de la frecuencia de 5.8 GHz permitió una velocidad de transmisión más alta, aunque con un alcance más limitado, mientras que el uso del software Link Planner facilitó la selección de equipos óptimos de la marca Cambium, con torres de altura variable entre 20 y 40 metros para optimizar la red de radioenlaces.

A nivel local en Oxamarca Espino [16], tuvo como objetivo diseñar una red de acceso a Internet para uno de los distritos más pobres del Perú, Oxamarca – Celendín. En el proyecto se ha usado la metodología de la Building Industry Consulting Service International qué consiste en un manual de gestión de procedimientos de telecomunicaciones de diseño, implementación, instalación de sistemas de transporte de información. Los resultados indicaron que los anchos de banda variaron entre 200 y 450 Mbps por radioenlace, mejorando notablemente la conectividad en las zonas rurales de Oxamarca. Las conclusiones resaltaron la viabilidad de implementar una red de radioenlaces con 10 repetidores para cubrir todos los centros poblados desde el nodo en Oxamarca, enfatizando la necesidad de proporcionar más de 100 Gbps para atender a 1120 hogares en 59 centros poblados o establecer políticas de acceso universal.

Por otro lado Calua [17], en su tesis realizada en Granja Porcón, Cajamarca, tuvo como objetivo diseñar una red de telecomunicaciones de fibra óptica para optimizar el acceso a Internet en esta zona rural. La metodología aplicada fue una combinación de "Top-Down Network Design" y la metodología de James McCabe, desarrollada en cuatro fases: reconocimiento del lugar, análisis de necesidades de la red, diseño de topología y equipamiento, y simulación mediante software especializado. Los resultados de la simulación mostraron una velocidad promedio de transferencia de datos de 1250 Mbps y una potencia de señal de -11.195 dBm, frente a los 5.46 Mbps y -68.37 dBm de la red actual. En conclusión, el diseño basado en fibra óptica optimiza significativamente el acceso a Internet en Granja Porcón, permitiendo brindar el

servicio a 542 personas y 181 viviendas, superando las limitaciones de conectividad de la región.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

La RDNFO es una red de fibra óptica, está tiene un conjunto de 8 nodos de red Core ubicados en 8 capitales de regiones del Perú. A demás cuenta con 22 nodos de agregación, 180 nodos de distribución y 136 nodos de conexión. Se ha utilizado 13.500 km de fibra óptica para la instalación de esta red utilizando como soporte a redes eléctricas y postes existentes en las vías nacionales[18].

2.2.2. Banda Ancha

La banda ancha es esencial para la transmisión eficiente de grandes cantidades de datos. Se mide en megabits por segundo (Mbps) o gigabits por segundo (Gbps) y se caracteriza por tener un ancho de banda mayor que las conexiones tradicionales. Las tecnologías de banda ancha, como DSL, cable módem, fibra óptica, redes móviles de alta velocidad (4G/5G), permiten la entrega rápida de servicios multimedia, videoconferencias, juegos en línea y otras aplicaciones que requieren una gran capacidad de transmisión [19], [20].

2.2.3. Diseño de la Red de Telecomunicaciones

El diseño de la red de telecomunicaciones se refiere al proceso de planificación y desarrollo de una infraestructura que permita la transmisión eficiente de datos y servicios de comunicación en una región específica [21]. En el distrito de San Juan, Cajamarca, el diseño de la red debe adaptarse a las particularidades geográficas y topográficas de la zona. Esto incluye la elección de tecnologías apropiadas, la planificación detallada de la infraestructura de la red, y la integración de soluciones técnicas para superar las barreras naturales.

2.2.4. Infraestructura instalada

La infraestructura de una red incluye todos los elementos físicos necesarios para transmitir y recibir señales, como torres de telecomunicaciones, repetidores, antenas y otros dispositivos. Para

garantizar un servicio de calidad y estabilidad, especialmente en áreas con terrenos difíciles, es esencial contar con una infraestructura bien diseñada y distribuida. La eficacia de la red depende en gran medida del número de torres, la altura de las antenas y la ubicación estratégica de los repetidores y demás componentes[22].

2.2.5. Acceso eficiente a Internet

Throughput, la velocidad promedio de descarga (DL) y carga (UL) que los usuarios experimentan al utilizar el servicio de Internet. El throughput es un indicador clave de la capacidad de la red para manejar grandes volúmenes de datos, lo cual es fundamental para servicios como streaming, videoconferencias y otras aplicaciones de alta demanda. Por ejemplo, un throughput elevado sugiere una red eficiente, mientras que un throughput bajo puede indicar congestión o problemas de infraestructura [23].

Estabilidad de la red, la tasa de interrupciones o caídas del servicio, medida por el número de incidentes de desconexión en un periodo de tiempo específico. La estabilidad es esencial para mantener la confianza del usuario en el servicio. Una red inestable puede desalentar a los usuarios y afectar negativamente la adopción del servicio. Por ejemplo, medir la estabilidad puede incluir el seguimiento de la duración y la frecuencia de las interrupciones técnicas [24].

Cobertura, abarca el porcentaje de hogares y establecimientos que están cubiertos por la red de telecomunicaciones. Una amplia cobertura asegura que una mayor parte de la población pueda beneficiarse del servicio, fomentando la inclusión digital y el desarrollo socioeconómico. Por ejemplo, evaluar la cobertura puede implicar encuestas y estudios de campo para identificar qué áreas tienen acceso al servicio y cuáles no [25].

2.2.6. Viabilidad económica

Costos de implementación (CAPEX)

Los gastos de capital necesarios para construir e instalar la infraestructura de la red son considerables. Los costos de

implementación representan una parte importante de la inversión inicial y deben ser gestionados con cuidado para garantizar la viabilidad económica del proyecto[26]. Por ejemplo, estos gastos pueden incluir la compra de equipos, construcción de torres y la instalación de cableado.

Costos operativos y de mantenimiento (OPEX)

Gastos de mantenimiento necesarios para mantener la red operativa y en buen estado. Los costos operativos deben ser sostenibles a largo plazo para asegurar la continuidad del servicio sin incurrir en pérdidas económicas[27]. Por ejemplo, incluyen salarios de personal técnico, costos de energía, gastos de mantenimiento y reparación de equipos.

Valor Actual Neto (VAN)

Es un indicador financiero esencial para evaluar y determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto de inversión. Se obtiene actualizando los flujos de ingresos y gastos futuros del proyecto al valor presente y restando la inversión inicial. Por ejemplo, un VAN positivo indica que el proyecto generará más valor del que cuesta, mientras que si un VAN es negativo indica que el proyecto no es viable[28].

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Indicador recomendado para evaluar proyectos de inversión. Se emplea para examinar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de retorno esperada. La TIR, que está estrechamente relacionada con el VAN, es la tasa de descuento que hace que el VAN sea cero para un proyecto específico. Su resultado se expresa como un porcentaje, proporcionando una visión clara de la rentabilidad de la inversión[28].

2.2.7. Tecnologías de Transporte

Time Division Duplex(TDD), es una técnica de transmisión inalámbrica que divide el tiempo en intervalos para alternar entre la transmisión y la recepción en un solo canal de frecuencia. En lugar de asignar frecuencias separadas para la transmisión y la

recepción, TDD utiliza franjas de tiempo separadas para ambas funciones. Esto permite que un dispositivo transmita y reciba datos en el mismo canal, pero en momentos diferentes. TDD se utiliza comúnmente en tecnologías inalámbricas, como WiMAX y algunas implementaciones de redes móviles, como LTE (Long-Term Evolution) [29].

Frequency Division Duplex(FDD), a diferencia de TDD, FDD asigna frecuencias separadas para la transmisión y la recepción simultáneas. Esto significa que un dispositivo puede enviar y recibir datos al mismo tiempo, ya que utiliza una banda de frecuencia para transmitir y otra para recibir. FDD se utiliza en diversas tecnologías de comunicación, incluyendo la mayoría de las redes móviles tradicionales, como GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y LTE [29].

Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM), es una técnica de modulación que divide el espectro de frecuencia en múltiples subportadoras ortogonales, es decir, subportadoras que son independientes entre sí y no interfieren. Cada subportadora lleva una porción del flujo de datos total. OFDM es especialmente efectivo en entornos inalámbricos propensos a la interferencia y el desvanecimiento de señal, ya que permite la recuperación más eficiente de datos perdidos debido a estas condiciones. Se utiliza en estándares como Wi-Fi (802.11a/g/n/ac/ax), así como en tecnologías de acceso de banda ancha como DSL y LTE [30].

2.2.8. Tecnologías de acceso

DSL (Digital Subscriber Line), utiliza las líneas telefónicas de cobre existentes para proporcionar conexiones de banda ancha a los usuarios. Utiliza una técnica de modulación para enviar datos a través de las líneas telefónicas sin interferir con el servicio telefónico convencional. Hay diferentes variantes de DSL, como ADSL (Asymmetric DSL) y VDSL (Very High Bitrate DSL), que ofrecen velocidades asimétricas y más rápidas, respectivamente.

Se utiliza principalmente en entornos residenciales y comerciales. DSL es especialmente útil en áreas donde la fibra óptica aún no está desplegada [20].

Cable Módem, aprovecha la infraestructura de televisión por cable para proporcionar conexiones de banda ancha. Utiliza un cable coaxial para transmitir datos y comparte la capacidad de ancho de banda entre varios usuarios en la misma área, utilizado en entornos residenciales y pequeñas empresas. El servicio de cable módem a menudo ofrece velocidades de descarga más rápidas que las conexiones DSL [20].

Fibra Óptica, utiliza cables hechos de fibras de vidrio o plástico para transmitir datos a través de pulsos de luz. Ofrece velocidades de transmisión muy altas y un ancho de banda significativamente mayor en comparación con las tecnologías de cobre. Ampliamente desplegado en entornos empresariales y en áreas metropolitanas para servicios de alta velocidad. La fibra óptica también se utiliza en redes de acceso de última milla para proporcionar conexiones de banda ancha a hogares y empresas. Las ventajas incluyen velocidades de descarga y carga extremadamente rápidas, una buena calidad de conexión y una gran capacidad de ancho de banda[20].

Wi-Fi (Wireless Fidelity), permite la conexión inalámbrica a una red utilizando ondas de radio. Utiliza el estándar IEEE 802.11 y ha evolucionado para ofrecer diferentes velocidades y rangos. Wi-Fi se ha convertido en una tecnología omnipresente para la conectividad en dispositivos móviles y en entornos domésticos y empresariales. Se utiliza en hogares, oficinas, instituciones educativas y lugares públicos para proporcionar conectividad inalámbrica a dispositivos como teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras portátiles. Una de las mayores ventajas de Wi-Fi es que permite a los usuarios conectarse a Internet desde cualquier lugar dentro del rango de la señal, lo que permite una mayor libertad y flexibilidad en la ubicación del dispositivo[20].

4G/5G (Redes Móviles de Cuarta/Quinta Generación), son estándares de redes móviles que proporcionan conectividad inalámbrica de alta velocidad a dispositivos móviles. 5G, la generación más reciente, ofrece velocidades más rápidas, menor latencia y mayor capacidad que su predecesor. Ampliamente utilizado para servicios móviles, Internet móvil y para la conexión de dispositivos IoT (Internet de las cosas). 5G también está diseñado para admitir aplicaciones emergentes como vehículos autónomos y realidad virtual[31].

Satélite, la tecnología satelital utiliza satélites en órbita para proporcionar conectividad en áreas remotas o donde las infraestructuras terrestres son difíciles de desplegar. Los usuarios se conectan a través de antenas parabólicas. Se utiliza en áreas rurales, marítimas y en situaciones donde otras formas de conectividad no son viables. Los servicios de satélite son especialmente útiles para la conectividad en zonas sin acceso a redes terrestres[20].

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), es una tecnología inalámbrica de largo alcance que ofrece conectividad de banda ancha. Opera en varias frecuencias y es capaz de proporcionar acceso inalámbrico de alta velocidad a distancias mayores que Wi-Fi. Utilizado en áreas urbanas y rurales para proporcionar servicios de acceso a Internet. WiMAX fue especialmente relevante en áreas donde la infraestructura de fibra óptica era limitada[32].

2.2.9. Radioenlace (PTP/PTMP)

Radioenlace Punto a Punto (PTP), es una conexión inalámbrica establecida directamente entre dos puntos específicos, como dos edificios o torres. Este tipo de radioenlace proporciona comunicación dedicada y exclusiva entre los dos puntos, sin interferencias de otros dispositivos. Se utiliza para establecer conexiones de alta velocidad y confiables en distancias moderadas

a largas. Los radioenlaces PTP se utilizan en situaciones donde se requiere una conexión dedicada y de alta capacidad entre dos ubicaciones, como enlaces de red entre edificios corporativos, interconexiones de redes de telecomunicaciones y conexiones de última milla para servicios de acceso a Internet[33].

Radioenlace Punto a Multipunto (PTMP), implica una estación base central que se comunica con múltiples estaciones remotas. La estación base transmite datos a varias ubicaciones remotas, y estas estaciones envían sus datos de vuelta a la estación base. Esta topología permite la comunicación eficiente con varios puntos remotos desde un solo punto central. Los radioenlaces PTMP son ideales para proporcionar conectividad inalámbrica en entornos donde múltiples ubicaciones remotas necesitan acceso a una fuente central, como en redes inalámbricas comunitarias, acceso a Internet inalámbrico en áreas rurales y servicios de vigilancia y monitoreo remotos[34].

2.3. Definición de términos básicos

Red de Telecomunicaciones

Infraestructura que permite la transmisión de datos, voz y video entre múltiples usuarios mediante diversas tecnologías (fibra óptica, cableado, microondas). Las redes de telecomunicaciones aseguran que los usuarios puedan comunicarse de manera efectiva a larga distancia[35].

Fibra Óptica

Tecnología de transmisión de datos que utiliza pulsos de luz para enviar información a través de fibras de vidrio o plástico, ofreciendo alta velocidad y gran capacidad de ancho de banda, ideal para redes de larga distancia y de gran demanda[36].

Brecha digital

La brecha digital es la desigualdad en el acceso y uso de tecnologías de la información debido a factores geográficos, socioeconómicos y educativos. Refleja la diferencia entre quienes tienen acceso a Internet y pueden aprovechar sus servicios y aquellos que están excluidos por falta de infraestructura, dispositivos o conocimientos tecnológicos[37].

Radioenlace

Tecnología inalámbrica que utiliza frecuencias de radio para establecer comunicación entre dos o más puntos, especialmente en áreas donde no es viable instalar cableado físico[38].

Zona de Fresnel

La Zona de Fresnel describe un área tridimensional en forma de elipse que se genera entre una antena emisora y otra receptora. Este espacio define regiones críticas donde las ondas electromagnéticas reflejadas pueden sumarse o restarse a la señal principal, afectando su intensidad. En telecomunicaciones, asegurar que la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones es esencial para minimizar pérdidas de señal y garantizar un enlace eficiente[39].

Línea de vista

La Línea de Vista se refiere a la trayectoria directa y sin bloqueos físicos entre un punto de transmisión y un punto de recepción. Es un concepto clave en sistemas de comunicación como enlaces de microondas o satelitales, donde cualquier interferencia en esta trayectoria puede causar deterioro en la señal o interrupciones en la conexión[40].

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el distrito de San Juan, Cajamarca ubicado en la provincia de Cajamarca, Región Cajamarca, Longitud -7.29056, Latitud -78.4994, a 36 km de la ciudad de Cajamarca, en la (Fig. 1) podemos apreciar el distrito. El distrito de San Juan cuenta con aproximadamente 4 343 habitantes y con 44 localidades, además presenta como fuentes de ingreso mayormente a través de la ganadería y la producción agrícola, además presenta un potencial importante en la producción de chirimoyas y taya. El periodo durante el cual se llevó a cabo la investigación es desde octubre del 2024, hasta septiembre del 2025.

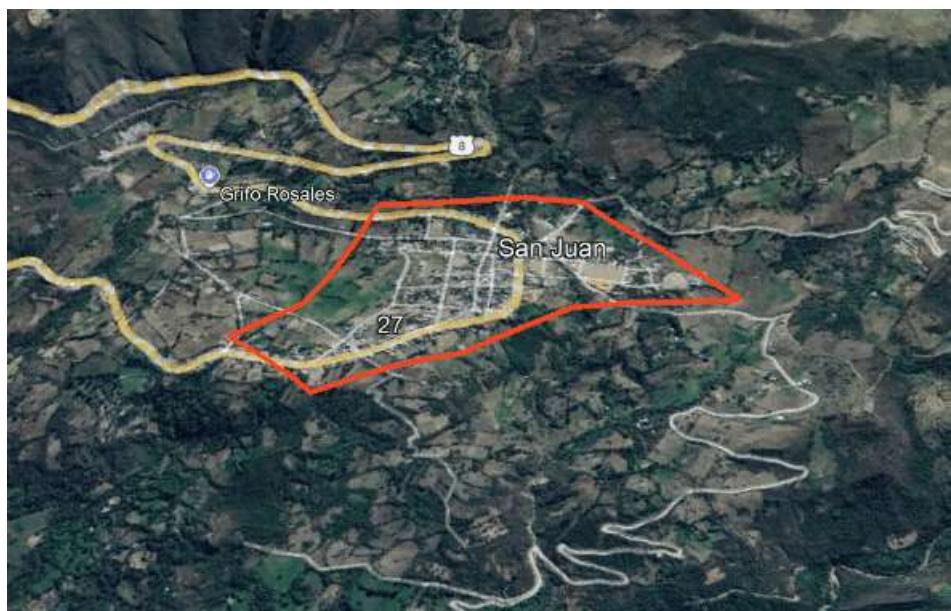


Fig. 1: Mapa satelital del distrito de San Juan

3.1. Procedimiento

La presente investigación fue desarrollada a partir de un conjunto de etapas ordenadas y sistemáticas, bajo el enfoque de la metodología Top-Down Network Design[41] utilizada para el diseño de redes en este caso para el diseño de una red de telecomunicaciones basada en radioenlaces para el distrito de San Juan. En la siguiente figura se puede ver las etapas de la metodología.



Fig. 2: Etapas de la Metodología

Etapa 1: Recopilación de información técnica y geográfica, consistió en la obtención de información técnica y geográfica relevante del distrito, tales como coordenadas, altitudes y características del terreno de las localidades, además de la evaluación del estado actual de la conectividad y la identificación de áreas sin cobertura de servicios de telecomunicaciones, con esta etapa de logro el objetivo específico 1 y parte del objetivo 2.

Etapa 2: Definición de las necesidades de la red, orienta a la determinación de los requerimientos de la red de telecomunicaciones, incluyendo la estimación de usuarios, el cálculo de la demanda de ancho de banda y la definición de los niveles mínimos de cobertura y disponibilidad, también ayudo a lograr el objetivo específico 2.

Etapa 3: Diseño físico y selección de equipos, durante esta etapa se definen los puntos estratégicos para la instalación de los radios, así como la infraestructura necesaria para la implementación de los enlaces. Asimismo, se seleccionan los equipos principales, tales como radios y antenas, y los elementos complementarios como cableado y torres de soporte, con el objetivo de garantizar un diseño eficiente, robusto y acorde a las características del distrito, con esta etapa de logro concluir el objetivo 2.

Etapa 4: Simulación y evaluación técnica del desempeño, en esta etapa se emplea software especializado para la simulación de los radioenlaces propuestos, incorporando parámetros como coordenadas geográficas, alturas de torres, tipo de equipos, frecuencia de operación y potencia de transmisión. A partir de la simulación se obtienen indicadores técnicos tales como distancia

efectiva, pérdidas por trayectoria, potencia recibida, margen de desvanecimiento, modulación alcanzada, disponibilidad y throughput, los cuales permiten evaluar el cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos. En caso de no cumplirse, el diseño es ajustado mediante la optimización de la ubicación de estaciones, la modificación de la altura de las torres o la selección de nuevos equipos, con esta etapa del logro el objetivo específico 3.

Etapa 5: Análisis de costos, en la última etapa se efectúa un análisis de costos que incluye la infraestructura requerida, los gastos de instalación y los costos de operación y mantenimiento de la red, integrando criterios técnicos, económicos y operativos, con esta etapa se logró el objetivo específico 4.

En el estudio se empleó un **enfoque** cuantitativo para analizar elementos medibles, como la demanda de ancho de banda, el throughput, la altura de las torres y los costos asociados[42], [43].

La investigación fue de **tipo** aplicada, debido a que se enfocó en la resolución de problemas prácticos mediante la aplicación de conocimientos teóricos para abordar la disposición y ubicación de las localidades que se beneficiarían con el acceso a Internet [44].

El **nivel** de la investigación fue descriptivo, ya que se centró en describir de manera detallada las características de una situación, en este caso, las condiciones geográficas, las necesidades, condiciones y las especificaciones necesarias para el diseño de la red de telecomunicaciones en el distrito de San Juan, Cajamarca, abarcando la recolección de datos esenciales para comprender las necesidades de los usuarios y los requisitos técnicos [45],[46].

Por otro lado, el **diseño** fue no experimental transversal, lo cual permitió analizar y describir el estado actual de la infraestructura y las necesidades de telecomunicaciones en el distrito de San Juan, Cajamarca [47],[48].

La **población** es el conjunto de elementos o individuos que poseen alguna característica común que es objeto de estudio en una investigación [49]. La población objeto de estudio estuvo conformada por aproximadamente 4000 habitantes de diversas localidades del distrito de San Juan, incluyendo instituciones públicas, entidades y establecimientos gubernamentales.

El muestreo utilizado fue no probabilístico intencional, dado que se seleccionó en función del criterio del investigador [49]. La **muestra** estuvo constituida por los centros poblados con más de 15 hogares dentro del distrito de San Juan, Cajamarca.

Para la **recolección de datos** en esta investigación se emplearon técnicas cuantitativas, utilizando la observación y las entrevistas como herramientas principales[49], el cual se siguió un proceso para la recolección de datos como se ilustra en la (Fig. 2) de forma más detallada. La observación permitió recopilar información directa sobre la infraestructura actual de telecomunicaciones y las condiciones geográficas del distrito, así como la recolección de datos de la simulación del diseño de la red, utilizando como instrumento una ficha de registro de datos. Asimismo, se realizó una entrevista estructurada con expertos en telecomunicaciones para validar el diseño de la red, lo que proporcionó retroalimentación valiosa para ajustar y optimizar el proyecto. Por otro lado, también se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de distintos trabajos publicados por FITEL, MTC-PRONATEL, OSIPTEL, INEI, entre otros.



Fig. 3: Proceso de recolección de datos

Con respecto a la **validación**, para este estudio se manejó la evaluación de juicio de experto como se ve en el (Anexo 4), los cuales indicaron una puntuación de nivel aceptable y de esa forma autorizaron la aplicación de dichos instrumentos.

3.2. Tratamiento y análisis de datos

Con respecto a la estadística **descriptiva e inferencial**, para esta investigación el análisis cuantitativo de los datos se llevó a cabo por computadora, por ello, se centró en la interpretación de los resultados de los métodos de análisis cuantitativo[50].

En el **proceso de tratamiento** los datos obtenidos en esta investigación fueron tratados y analizados con la ayuda de un software. Dicho software permitió obtener resultados, estos fueron mostrados en gráficos y tablas estadísticas para poder interpretarlos, analizarlos y discutirlos respectivamente[50]. En una primera etapa, la información geográfica fue procesada mediante herramientas de georreferenciación y simulación como Link Planner y Google Earth Pro, lo que permitió delinear los perfiles de los enlaces y verificar la línea de vista entre puntos. Posteriormente, los parámetros técnicos se modelaron para estimar el throughput, la relación señal-ruido (SNR), los márgenes de desvanecimiento y la disponibilidad, siguiendo los lineamientos de la recomendación UIT-R P.123. Para el análisis económico, se aplicaron métodos de estadística descriptiva en Excel, con el fin de proyectar los costos de implementación, operación y mantenimiento de la red.

El **análisis de datos** facilitó la interpretación y comprensión de la información obtenida en este estudio. Finalmente, se utilizaron métodos estadísticos descriptivos para sintetizar la información en tablas y gráficos, permitiendo interpretar los resultados de manera clara y alineada con los objetivos planteados en la investigación[51]. Además, la validez del diseño se respaldó mediante la validación de expertos en telecomunicaciones, quienes confirmaron la factibilidad técnica del diseño propuesto.

3.3. Presentación de resultados

3.3.1. Diagnóstico de infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan

Aquí se desarrolló el diagnóstico de la infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan y para ello se detalla la

cobertura y servicio de internet por parte los operadores en el distrito y sus localidades como se pude ver en la (Tabla I). Identificar los operadores con cobertura existente en cada localidad del distrito fue fundamental para conocer con exactitud las brechas digitales existentes en el distrito.

Tabla I: Cobertura en cada localidad según el operador

Localidad	CLARO	MOVISTAR	ENTEL	BITEL
AGUA BLANCA	No	Si	Si	Si
ARANMARCA	No	No*	No*	Si
CACHILGON	No	No*	No	Si
CALANI	No*	No	No	Si
CAPULIPAMPA	No	No*	No	No*
CHIGDEN	No	Si	No	Si
CHOTEN	No	Si	No	No*
CHUSAC	No	Si	No*	No*
COCHAPAMPA	No	No*	No	Si
EL HIGUERON	No	Si	No	Si
EL MARCO	No	No*	No	No*
EL NARANJO	No*	Si	No	Si
HUACRARUCO	No*	No	No	No*
HUAR HUAR	No	Si	No*	No*
LA HUAYLLA	Si	Si	No*	Si
LA LAGUNA	No	Si	Si	Si
LANCHEPATA	No*	No	No	Si
NUEVA VICTORIA	No	No*	Si	Si
NUEVO PROGRESO	No	Si	No	No*
NUMERO OCHO	No	No*	No*	No*
OGORIZ	Si	Si	No	Si
PEÑA BLANCA	No	No	No	No
PUEBLO LIBRE	No	Si	Si	Si
PUEBLO NUEVO	No	Si	Si	Si
QUIVINCHAN	No	No*	No	Si
POSAMAYO	No	No	No	No
SAN JUAN	Si	Si	No*	Si
SAN LORENZO	No	No*	No	No*
TAYAPATA	No	Si	No	No*
TINGO	No*	Si	No	Si
YUMAGUAL ALTO	No	Si	No	Si
YUMAGUAL BAJO	No	No	No	Si

La tabla anteriormente mostrada, extraída de la cobertura móvil de los servicios web de OSIPTEL muestra las estaciones base (BTS), entre caseríos o CCPP en el distrito, en donde el operador de Bitel presenta 63% de cobertura, luego esta Movistar con un 52.27%, Entel con un 15% y por último Claro con un 13.64% entre las localidades del distrito de San Juan, en la cual se puede notar que en el distrito el acceso a internet es muy precario. Dichas operadoras cuentan con tecnologías de acceso para telefonía móvil y datos de 2 y 3G, excepto en la capital que llega 4G y solo el operador Bitel.

La (Fig. 4) muestra una vista satelital de la conectividad en el distrito de San Juan, con puntos de colores que representan la presencia o ausencia de cobertura de telecomunicaciones según la leyenda: rojo para Claro, amarillo para Bitel, azul para Entel, verde para Movistar y plomo para zonas sin cobertura. La distribución de estos puntos permite identificar brechas de conectividad, evidenciando localidades sin acceso a servicios de telecomunicaciones y la existencia de ciertos operadores en la zona, pero como se sabe adquirir un plan de internet en estos operadores el costo es muy elevado. Este análisis es clave para diagnosticar la infraestructura actual, determinar qué tecnologías están en uso y planificar un diseño de red óptimo que garantice una mejor conectividad en el distrito.

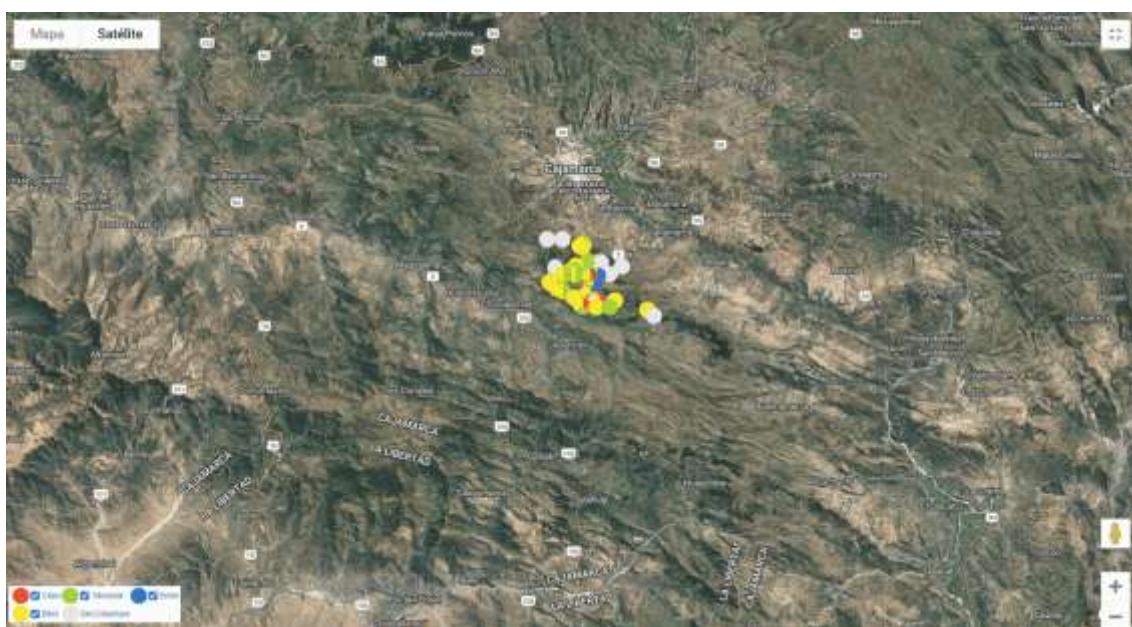


Fig. 4: Vista satelital de los operadores por localidad en el distrito de San Juan

Por otro lado, en cuanto al ámbito de la energía eléctrica todas las localidades seleccionadas del distrito de San Juan cuentan con suministro eléctrico como se puede ver en la (Fig. 5) obtenida de los servicios web de OSINERGMIN. Este aspecto es de gran importancia para el desarrollo de las infraestructuras de red, ya que la disponibilidad de energía eléctrica es fundamental para el funcionamiento óptimo y continuo de los equipos de telecomunicaciones.

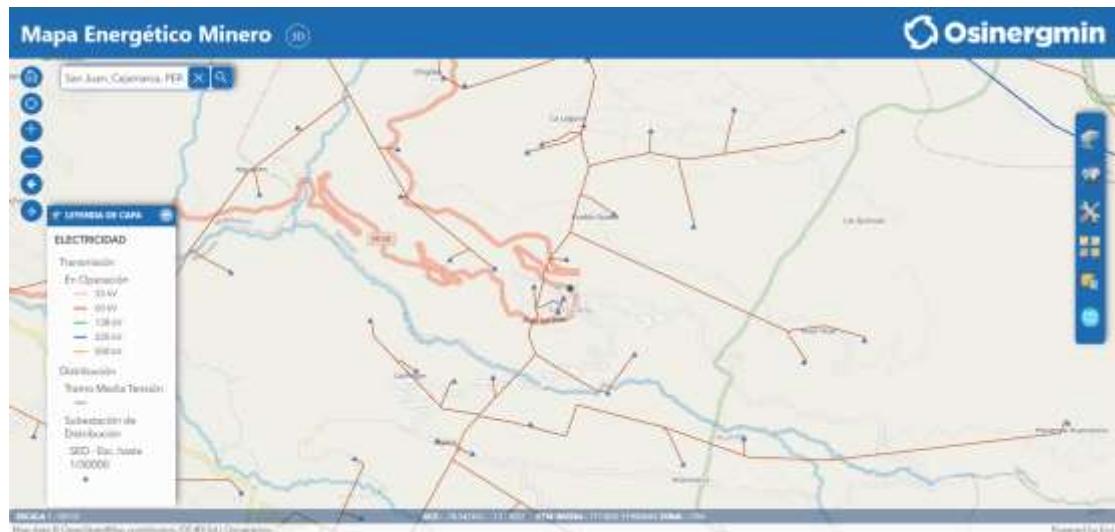


Fig. 5: Electrificación del distrito de San Juan

Así como también se realizó el reconocimiento con observación directa de algunas localidades del Distrito de San Juan como se puede ver en la (Fig.6) y (Fig.7)



Fig. 6: Reconocimiento de Yumagual Alyo y Chusac

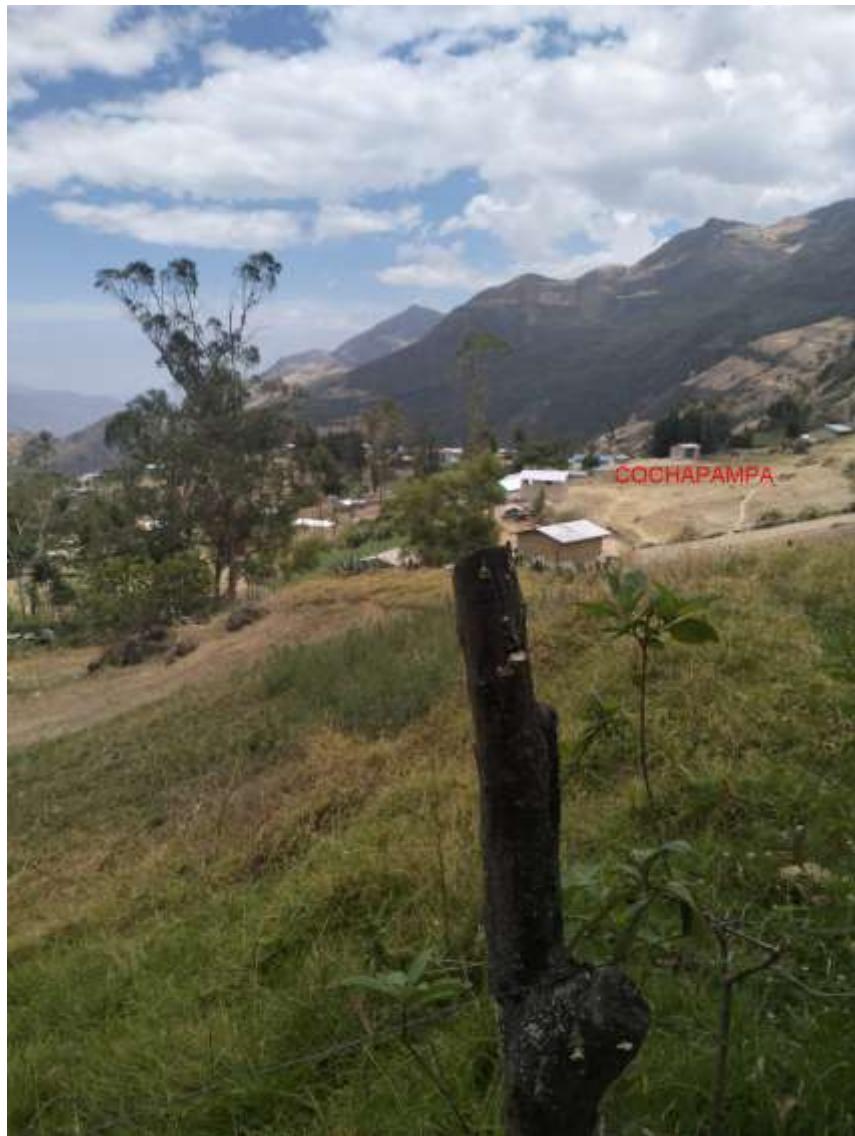


Fig. 7: Reconocimiento de Cochapampa

3.3.2. Diseño técnico de la red de telecomunicaciones para vencer las barreras geográficas y técnicas específicas del distrito de San Juan

Para realizar un diseño detallado es importante conocer La Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) ya que el diseño propuesto se conecta a dicha red. La RDNFO es un proyecto emblemático, el cual implica el tendido de 13,500 kilómetros de fibra en todo el Perú, para brindar Internet de alta velocidad, que además tiene como objetivo conectar 22 capitales de región y 180 capitales de provincia, incluyendo nodos en áreas rurales y remotas [51]. En el caso de Cajamarca, el proyecto regional considera 12 nodos de agregación y 113 nodos de distribución, uno de los nodos de distribución está

ubicado en el distrito de San Juan, lo que sirvió como punto de partida para el diseño de la red. En la (Fig. 8) se muestra el despliegue de la RDNFO en Cajamarca [52].

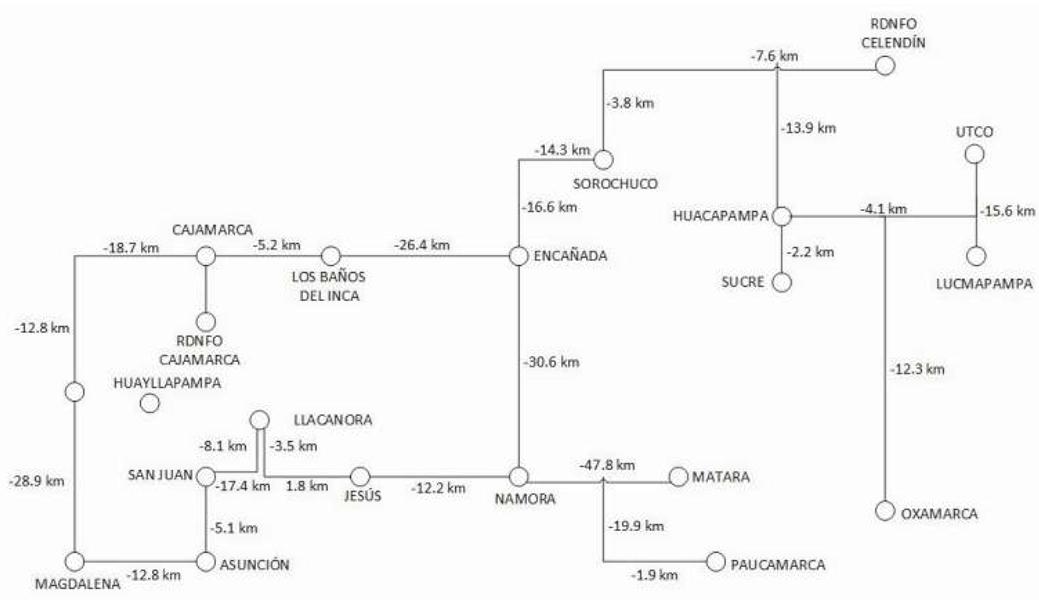


Fig. 8: Diseño de la RDNFO en Cajamarca

Luego se realizó la ubicación de las localidades que contengan mayor o igual a 15 hogares por localidad que fueron un total de 30 abarcando zonas urbanas y rurales, además de la población distribuida en cada una de ellas como se muestra en la (Tabla II).

Tabla II: Localidades del distrito de San Juan y su respectiva población

LOCALIDADES	ALTITUD (m s.n.m.)	TOTAL, DE PERSONAS	TOTAL, DE VIVIENDAS	COORDENADAS	
				LONGITUD	LATITUD
DISTRITO SAN JUAN		4 343	1 767	-78.4975774	-7.291.576.627
SAN JUAN	2 336	999	410	-784.975.774	-7.291.576.627
CAPULIPAMPA	3 204	115	33	-7.853.349.833	-72.752
NUMERO OCHO	2 971	157	50	-7.853.349.833	-72.752
YUMAGUAL ALTO	3 042	134	66	-7.853.349.833	-72.752
YUMAGUAL BAJO	2 758	20	16	-7.851.932	-7.246.473.334
EL NARANJO	1 870	48	24	-7.853.349.833	-72.752
CHUSAC	3 022	48	16	-7.850.634.667	-7.241.586.667
EL MARCO	3 171	90	35	-7.847.567	-7.266.905
SAN LORENZO	2 762	69	30	-7.853.349.833	-72.752
COCHAPAMPA	2 529	239	65	-7.853.349.833	-72.752
CHOTEN	2 730	138	58	-7.849.761.667	-7.256.658.333

EL HIGUERON	2 240	88	28	-7.853.349.833	-72.752
CHIGDEN	2 566	147	70	-7.851.370.667	-7.263.565
LA LAGUNA	3 074	146	45	-7.849.784.833	-7.269.185
QUIVINCHAN	2 027	117	33	-7.853.349.833	-72.752
NUEVA VICTORIA	2 934	82	25	-7.848.645.167	-7.280.585
TINGO	1 803	63	21	-7.853.349.833	-72.752
AGUA BLANCA	2 663	25	19	-7.850.946.333	-727.802
PUEBLO NUEVO	2 700	196	75	-78.493.925	-7.280.705
PUEBLO LIBRE	2 451	85	47	-78.498.575	-7.286.191.667
CALANI	2 186	102	40	-7.849.477.333	-7.294.738.333
LA HUAYLLA	2 331	180	95	-78.501.815	-72.883
CACHILGON	2 204	108	51	-7.849.477.333	-7.294.738.333
LANCHEPATA	2 910	41	16	-78.446.185	-729.851
OGORIZ	2 479	111	48	-7.849.477.333	-7.294.738.333
HUAR HUAR	2 807	195	71	-7.846.736.333	-7.294.616.667
ARANMARCA	2 644	99	42	-7.849.477.333	-7.294.738.333
HUACRARUCO	2 828	102	35	-7.843.740.333	-7.306.198.333
NUEVO PROGRESO	2 245	90	28	-7.853.349.833	-72.752
ROSAMAYO	2 275	29	33	-7.849.477.333	-7.294.738.333

Nota: La tabla muestra las localidades del distrito de san juan incluyendo su población en cada una de ellas, cabe resaltar que las localidades de San Juan se ubican a una altitud entre 1803 msnm y 3 204 msnm, siendo el Tingo la localidad con menos altitud y la localidad de Capulipampa con mayor altitud.

Por otro lado, también se consideró las instituciones educativas en el distrito de San Juan y en cada una de las localidades como se puede ver en la (Tabla III).

Tabla III: Instituciones educativas en el distrito de San Juan

Localidad	Nombre de SS.EE.	Nivel / Modalidad	Latitud	Longitud
ARANMARCA	821462	Primaria	-7.31202712	-78.48329378
ARANMARCA	ARANMARCA	Inicial No Escolarizado	-7.31196000	-78.48344000
CACHILGON	82227	Primaria	-7.29802023	-78.51742210
CACHILGON	828	Inicial - Jardín	-7.29850000	-78.51776000
CAPULIPAMPA	82872	Primaria	-7.23524858	-78.53702289
CAPULIPAMPA	ANGELITOS DEL ROSARIO	Inicial No Escolarizado	-7.23487000	-78.53554400
CAPULIPAMPA	CAPULIPAMPA	Inicial No Escolarizado	-7.23538000	-78.53693000
CHIGDEN	82223	Primaria	-7.26360797	-78.51530354
CHIGDEN	843	Inicial - Jardín	-7.26351845	-78.51364505
CHOTEN	821374	Primaria	-7.25853741	-78.50073201
CHOTEN	854	Inicial - Jardín	-7.25866000	-78.50074000
CHUSAC	821310	Primaria	-7.24211781	-78.50330866
COCHAPAMPA	821130	Primaria	-7.26448211	-78.56347818
COCHAPAMPA	829	Inicial - Jardín	-7.26456000	-78.56375000
COCHAPAMPA CASERIO	JOSE OLAYA BALANDRA	Secundaria	-7.26414748	-78.56276225

EL MARCO	82229	Primaria	-7.25708241	-78.48046541
EL MARCO	862	Inicial - Jardín	-7.25731000	-78.48063000
EL TINGO	TINGO NARANJO	Inicial No Escolarizado	-7.27518600	-78.52806900
HUACRARUCO	378	Inicial - Jardín	-7.30528924	-78.43809665
HUACRARUCO	83502	Primaria	-7.30907658	-78.43786519
HUACRARUCO	HUACRARUCO	Secundaria	-7.30809514	-78.43648858
LANCHIPATA	LANCHIPATA	Inicial No Escolarizado	-7.29551300	-78.44902400
HIGUERON	82226	Primaria	-7.27567860	-78.53432566
HUAR HUAR	821548	Primaria	-7.29451693	-78.46739147
HUAR HUAR	830	Inicial - Jardín	-7.29376000	-78.46738000
HUAR HUAR	HUAR HUAR	Inicial No Escolarizado	-7.29464000	-78.46720900
LA HUAYLLA	798	Inicial - Jardín	-7.29136814	-78.50176765
LA LAGUNA	797	Inicial - Jardín	-7.27006000	-78.49740000
LA LAGUNA	82864	Primaria	-7.27022677	-78.49750961
LA LAGUNA	CASERIO	Secundaria	-7.26797069	-78.49826788
NUEVA VICTORIA	1570	Inicial - Jardín	-7.28148000	-78.48730000
NUMERO OCHO	799	Inicial - Jardín	-7.25064000	-78.56245000
NUMERO OCHO	82228	Primaria	-7.25029370	-78.56266850
OGORIZ	82224	Primaria	-7.30765360	-78.51156055
OGORIZ	82224	Secundaria	-7.30749164	-78.51300155
OGORIZ	831	Inicial - Jardín	-7.30754000	-78.51159000
PUEBLO LIBRE	ANGELITOS DE SAN JUAN	Inicial No Escolarizado	-7.28619800	-78.49861800
PUEBLO LIBRE	PUEBLO LIBRE	Inicial No Escolarizado	-7.28562100	-78.49852700
PUEBLO NUEVO	794	Inicial - Jardín	-7.28082434	-78.49412557
PUEBLO NUEVO	82225	Primaria	-7.28051676	-78.49456082
PUEBLO NUEVO MZ L-32	PUEBLO NUEVO SAN JUAN	Inicial No Escolarizado	-7.28101800	-78.49398300
QUIVINCHAN	82080	Primaria	-7.27903638	-78.56458902
QUIVINCHAN	882	Inicial - Jardín	-7.27918164	-78.56420000
SAN JUAN	045	Inicial - Jardín	-7.29154632	-78.49542635
JIRON CAJAMARCA 500	82079 MARCIAL PAREDES CACERES	Primaria	-7.29130000	-78.49480000
SAN JUAN	SAN JUAN BAUTISTA	Secundaria	-7.29157526	-78.49477723
SAN LORENZO	821466	Primaria	-7.26272302	-78.55837659
YUMAGUAL ALTO	82976	Primaria	-7.23520534	-78.52288853
YUMAGUAL ALTO	832	Inicial - Jardín	-7.23563463	-78.52272419
YUMAGUAL ALTO	YUMAGUAL ALTO	Secundaria	-7.23520534	-78.52288853

De la misma manera, también se consideró centros de salud y comisarías tal como se muestra en la (Tabla IV).

Tabla IV: Comisarías y Centros de Salud del distrito

COMISARIAS				
Comisarías	Comisario	Departamento	Provincia	Distrito
COMISARIA PNP SAN JUAN	MAYOR PNP	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SAN JUAN
CENTROS DE SALUD				
Centros de Salud	Departamento	Provincia	Distrito	Categoría
SAN JUAN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SAN JUAN	I-3

Luego de tener cada localidad y la cantidad de viviendas exactas del distrito, así como la cantidad de instituciones públicas se continuó con el cálculo del ancho de banda necesario para cada localidad como se muestra en la (Tabla V), donde se consideró 10 Mbps para cada hogar y para las instituciones públicas 30 Mbps para cada institución tal como propone el MTC[52]. Saber el ancho de banda necesario para cada localidad es fundamental al momento de simular el diseño de la red porque de esa manera permitió dejar el ancho de banda que necesita cada localidad.

Tabla V: Estimación de ancho de banda

CENTROS POBLADOS	TOTAL DE VIVIENDAS	ANCHO DE BANDA(Mbps)	INSTITUCIONES PUBLICAS	ANCHO DE BANDA(Mbps)	TOTAL
SAN JUAN	410	4100	3	90	4190
CAPULIPAMPA	33	330	3	90	420
NUMERO OCHO	50	500	2	60	560
YUMAGUAL ALTO	66	660	3	90	750
YUMAGUAL BAJO	16	160		0	160
EL NARANJO	24	240		0	240
CHUSAC	16	160	1	30	190
EL MARCO	35	350	2	60	410
SAN LORENZO	30	300	1	30	330
COCHAPAMPA	65	650	3	90	740
CHOTEN	58	580	2	60	640
EL HIGUERON	28	280	1	30	310
CHIGDEN	70	700	2	60	760
LA LAGUNA	45	450	3	90	540
QUIVINCHAN	33	330	2	60	390
NUEVA VICTORIA	25	250	1	30	280
TINGO	21	210		0	210

AGUA BLANCA	19	190		0	190
PUEBLO NUEVO	75	750	3	90	840
PUEBLO LIBRE	47	470	2	60	530
CALANI	40	400		0	400
LA HUAYLLA	95	950	1	30	980
CACHILGON	51	510	2	60	570
LANCHEPATA	16	160		0	160
OGORIZ	48	480	3	90	570
HUAR HUAR	71	710	2	60	770
ARANMARCA	42	420	2	60	480
HUACRARUCO	35	350	3	90	440
NUEVO PROGRESO	28	280		0	280
ROSAMAYO	33	330		0	330
TOTAL					17660

Nota: La localidad que necesita mas ancho de banda es en el mismo distrito ya que se necesita el total de 4190 Mbps y la localidad con menos ancho de banda es Yumagual Bajo con solo 160 Mbps.

Posteriormente de acuerdo a las coordenadas se logró ubicar todas las localidades en el software de Google Earth tal como de muestra en la (Fig. 9). Esto es fundamental para el diseño de la red, ya que permite visualizar con precisión la distribución geográfica, altitudes y características del terreno, que ayuda a identificar posibles barreras naturales, como montañas o valles, que puedan afectar la propagación de la señal en la simulación. Además, facilita la planificación estratégica de la ubicación de torres, antenas y otros elementos de infraestructura, optimizando la cobertura y minimizando interferencias. También permite evaluar la accesibilidad a cada localidad, lo que es clave para la instalación y mantenimiento de la red, asegurando su viabilidad técnica y operativa.

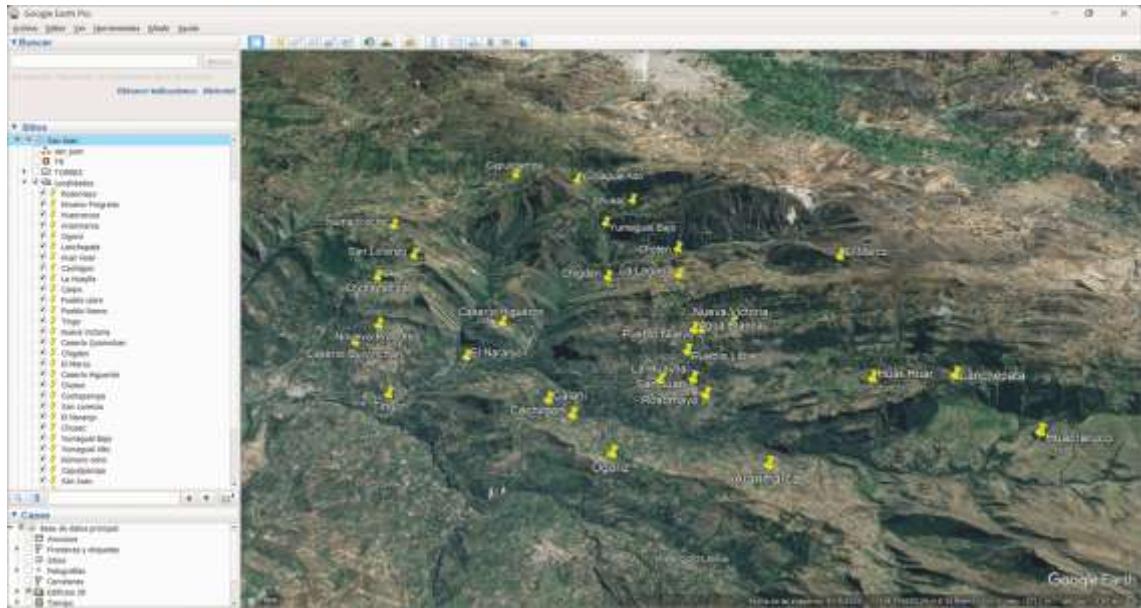


Fig. 9: Distribución de las localidades

La (Fig. 10) presenta la distribución del ancho de banda requerido para cada localidad del distrito de San Juan, mostrando de manera geográfica los valores de capacidad necesarios según la demanda poblacional y el consumo estimado de servicios digitales. Cada localidad está identificada con un marcador y acompañada de un número en color rojo, el cual representa el ancho de banda total (en Mbps) que se debe suministrar para garantizar una conectividad adecuada. Estos valores se encuentran dispersos por todo el mapa, permitiendo visualizar cómo varía la demanda entre localidades: algunas requieren capacidades altas (superiores a 700 Mbps), mientras que otras muestran requerimientos medios o bajos (entre 160 y 400 Mbps). La distribución se observa enlazada al Nodo Principal de Distribución, desde donde se derivan las conexiones hacia las distintas zonas del distrito.

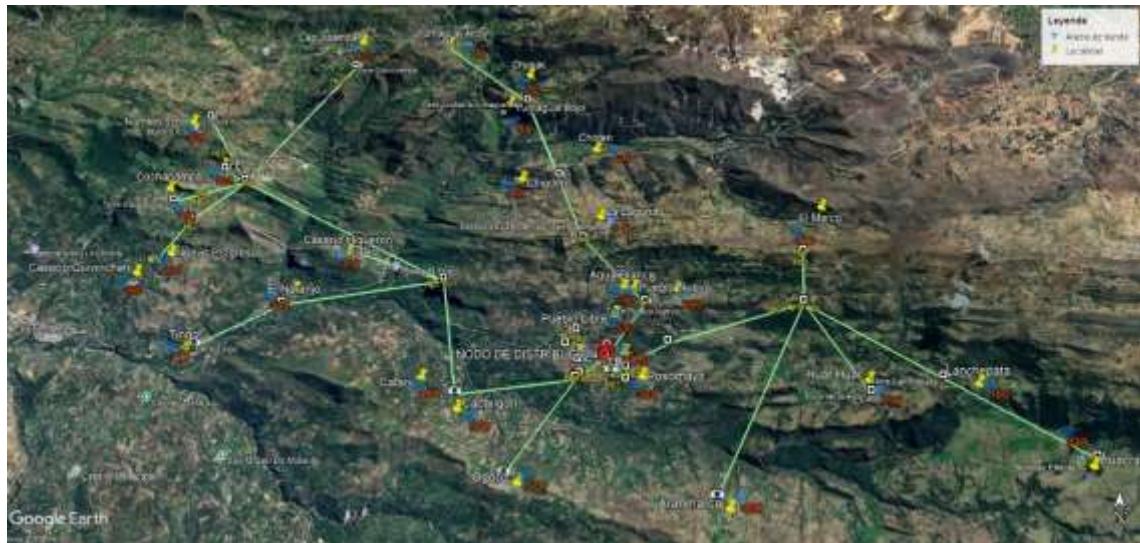


Fig. 10: Distribución de ancho de banda por localidad

Luego se ubicó las torres necesarias para el diseño de red como se puede ver en la (Fig. 11), el cual es esencial para el diseño de la red, ya que permite analizar la topografía, identificar barreras geográficas, optimizar la cobertura y asegurar líneas de vista directas entre las torres.

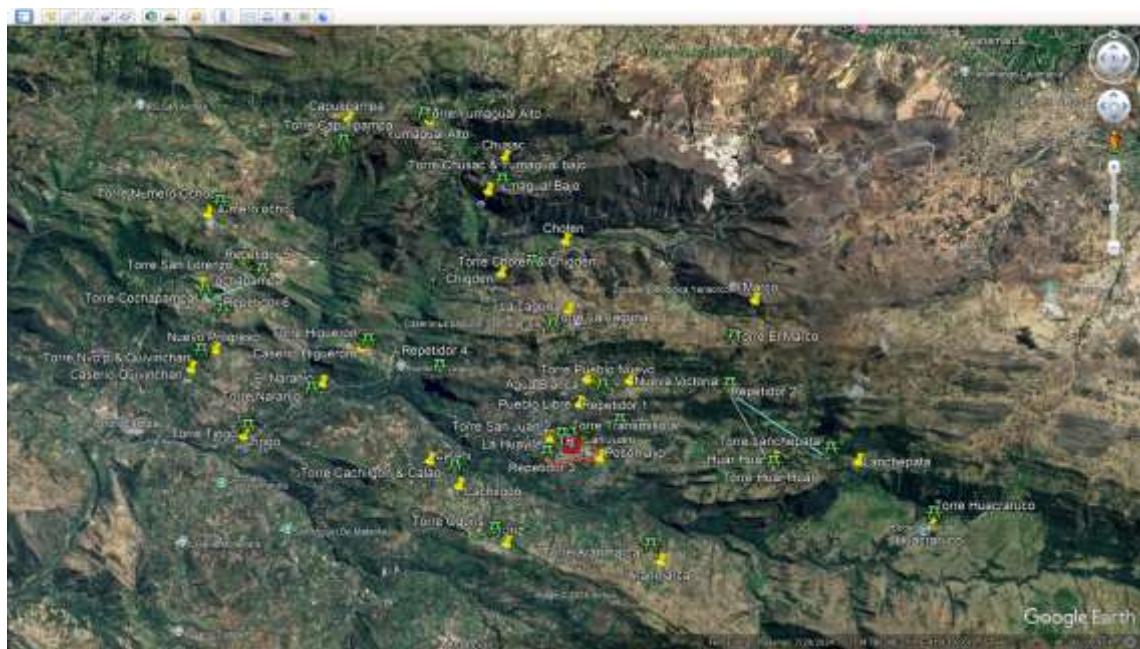


Fig. 11: Ubicación de Torres

La (Fig. 12) presenta el diseño preliminar del radioenlace para el distrito de San Juan, Cajamarca, elaborado en Google Earth. En ella se observa la ubicación geográfica de las localidades seleccionadas y la disposición estratégica de las torres de telecomunicaciones que conforman la red propuesta.

Las torres han sido interconectadas mediante enlaces inalámbricos punto a punto (PTP) y punto a multipunto (PTMP), representados con líneas azules, garantizando línea de vista directa entre los nodos principales y secundarios.

En el centro se identifica el Nodo de Distribución San Juan, que actúa como punto principal de transmisión y que enlaza con los repetidores y torres periféricas, optimizando la propagación de la señal hacia caseríos y centros poblados más alejados. Este esquema evidencia una planificación estratégica de la red inalámbrica, considerando altitud, relieve y demanda de ancho de banda, lo que constituye la base para las simulaciones posteriores y la validación de la factibilidad técnica de la red.

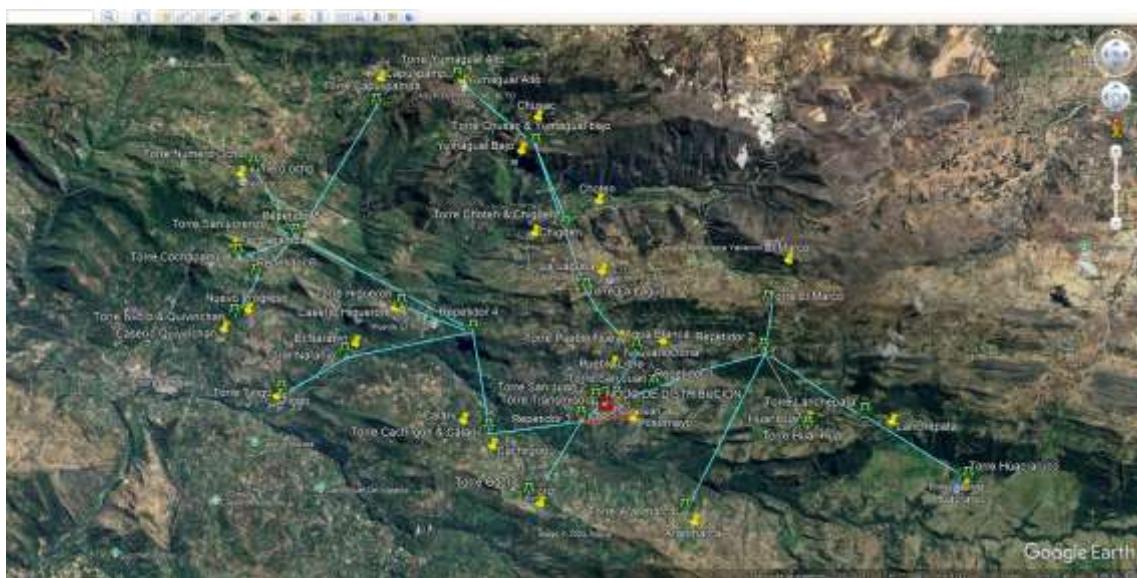


Fig. 12: Diagrama de red con línea vista

3.3.3. Desarrollo del diseño de la red utilizando software especializado para evaluar su desempeño y eficiencia en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas

La (Fig. 13) muestra el diseño final del radioenlace simulado en el software LINKPlanner, tras la exportación de las torres previamente ubicadas en Google Earth. En el diagrama se observan las interconexiones entre las torres y repetidores, representadas mediante enlaces verdes, que corresponden a los trayectos de transmisión de datos planificados. Cada punto rojo indica la ubicación de una torre o repetidor, mientras que los círculos concéntricos representan la cobertura estimada de cada antena. El diseño evidencia una topología híbrida punto a punto y punto a multipunto, en la que los nodos principales distribuyen la señal hacia repetidores intermedios, optimizando la

cobertura en localidades alejadas y superando la compleja topografía de la zona. Este esquema constituye la base para la simulación de desempeño de la red, permitiendo validar parámetros como línea de vista, nivel de señal recibido, throughput y disponibilidad del enlace.

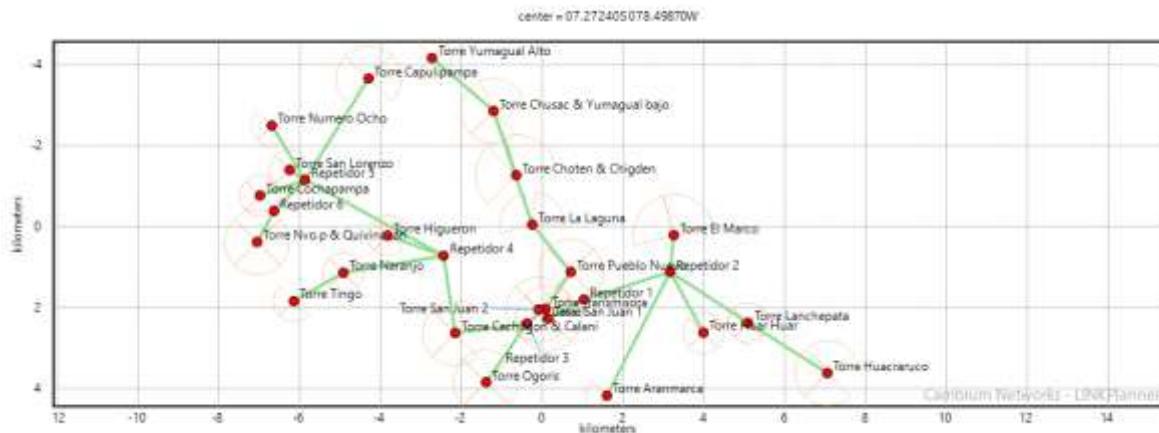


Fig. 13: Diagrama de red en Link Planner con línea vista

En la (Fig. 14) se muestra el diseño de la red y la cobertura estimada de cada antena que vienen a ser círculos concéntricos, medios círculos y/o terceras partes de círculos de color naranja.

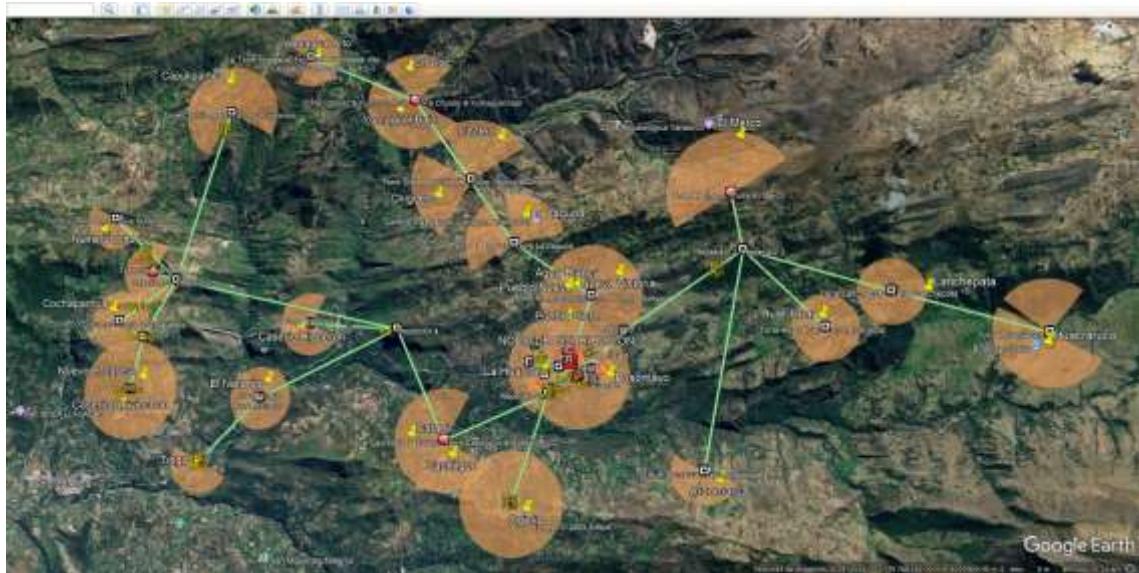


Fig. 14: Diagrama de red con línea vista y área de alcance

A continuación, se muestra la Descripción de Perfiles de los radioenlaces para cada localidad:

Radioenlaces para alcanzar el ancho de banda estimado en la capital de distrito San Juan2

Para lograr el ancho de banda estimado y beneficiar a toda la población se ubicó 2 antenas en la capital de distrito. Para la población se identificó una demanda de throughput de 4100 Mbps, que incluye a 3 instituciones públicas con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 4190 Mbps. A continuación de mostraran los enlaces para cada antena, que alcanzó 2703.25 Mbps cada una, lo cual entre las dos alcanzaron un total de 5406.5 Mbps, eso quiere decir que supera el ancho de banda estimado, lo que significa que ayudaría en un crecimiento poblacional.

Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1

Los extremos del radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1 se sitúan a altitudes aproximadas de 2342.5 y 2325 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

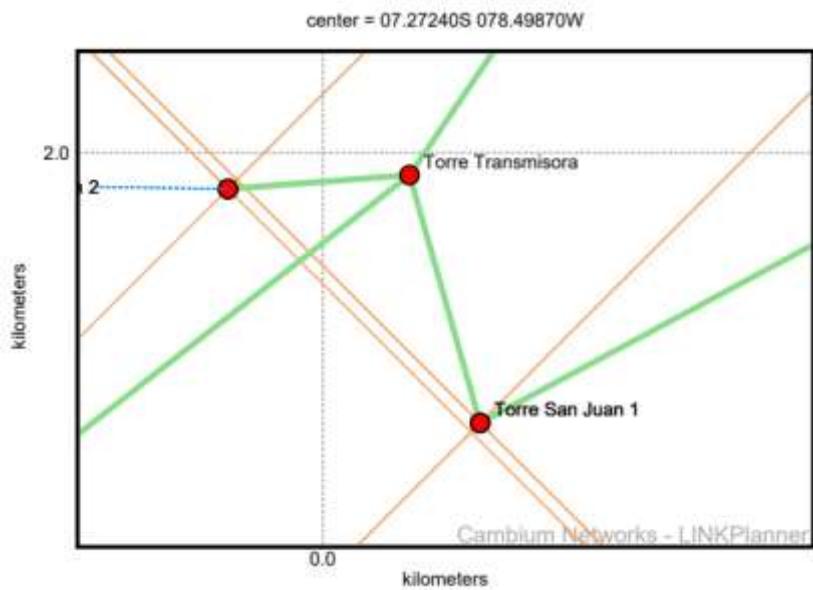


Fig. 15: Enlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1

La (Fig. 16) muestra la simulación del enlace punto a punto (PTP) entre la Torre Transmisora principal y la Torre San Juan 1, realizada en el software LINKPlanner de Cambium Networks. En este escenario se utilizó el equipo ePMP 4600L operando en la banda superior de 6 GHz, con una configuración de ancho

de banda de 160 MHz, una relación DL/UL de 60/40, y un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual).

El perfil del enlace evidencia una distancia de 0.246 km, con línea de vista (LOS) completa entre ambos puntos, lo cual asegura una transmisión sin obstrucciones significativas dentro de la primera zona de Fresnel (representada por el área verde). La altura de las antenas fue configurada en 30 metros para la torre transmisora y 20 metros para la torre receptora, utilizando antenas parabólicas Radio Waves 2ft Dual-Polar SPD2-6 con una ganancia de 30.6 dBi en ambos extremos. La Torre Transmisora se configuro a una orientación hacia 263.40° respecto al norte y con una inclinación descendente de -4.0°, mientras que la Torre San Juan 1 está alineada a 83.40° con una inclinación positiva de 3.0°.

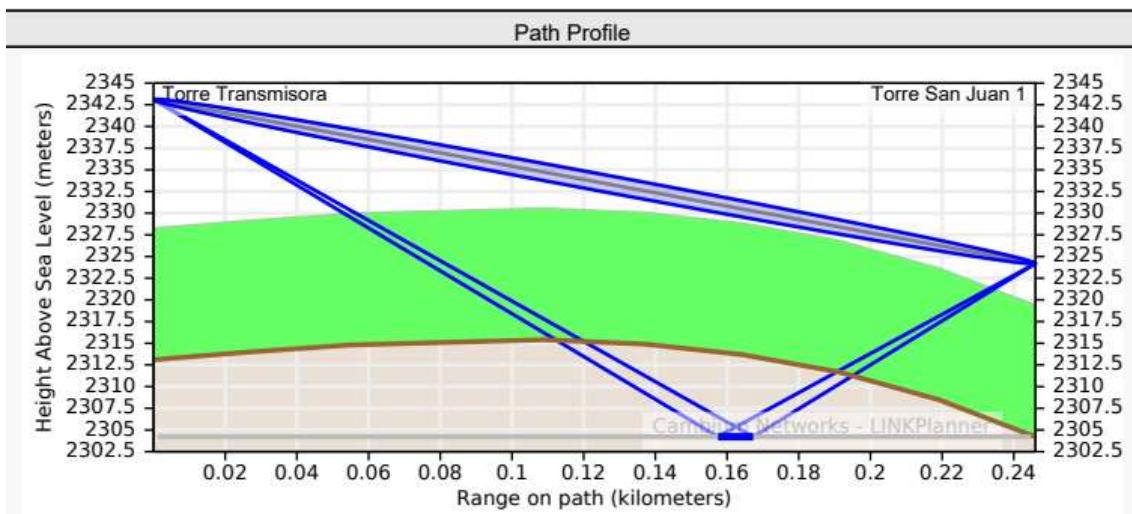


Fig. 16: Perfil de Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1

En cuanto al rendimiento, la simulación arrojó un nivel de potencia recibida de $-31 \text{ dBm} \pm 4 \text{ dB}$, con una ganancia total del sistema de 49.41 dB y una pérdida de trayecto libre (Free Space Path Loss) de 96.89 dB. El throughput agregado alcanzó un valor de 2703.25 Mbps, evidenciando una alta capacidad de transmisión y una disponibilidad del 99.99999% como se ve en la (Fig. 17), lo que indica una operación estable y confiable incluso bajo condiciones de variación atmosférica. Por otro, con la capacidad que alcanza también cubre con la necesidad de ancho de banda para la localidad de Posomayo, ya que para dicho lugar solo se necesitaría 330 Mbps. Estos resultados demuestran que el enlace entre la Torre Transmisora y la Torre San Juan 1 cumple con los parámetros técnicos requeridos para una red de alta capacidad, garantizando un

rendimiento óptimo para el transporte de datos dentro del diseño general de la red inalámbrica propuesta para el distrito de San Juan, Cajamarca.

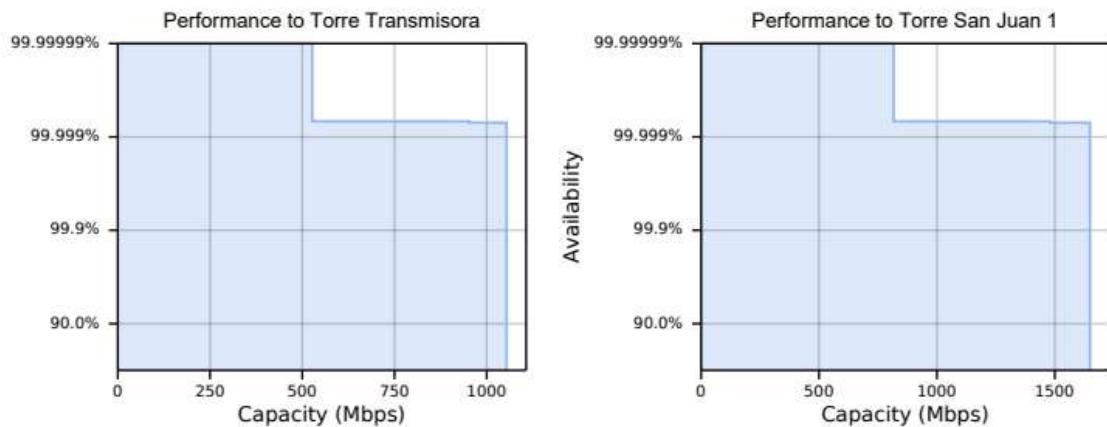


Fig. 17: Disponibilidad del radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 1

Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2

Los extremos del radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2 se sitúan a altitudes aproximadas de 2342.5 y 2300 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

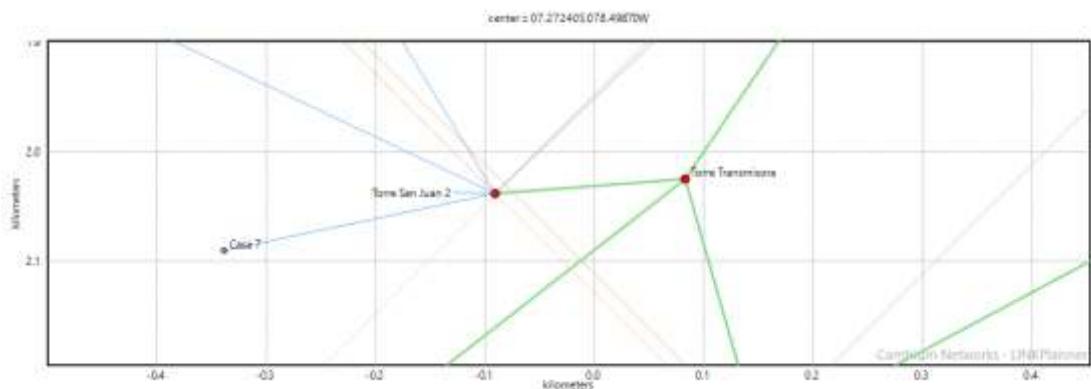


Fig. 18: Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2

En este escenario se utilizó el mismo equipo ePMP 4600L en la banda superior de 6 GHz, igualmente configurado con ancho de banda de 160 MHz y una modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual). El enlace se implementó con antenas parabólicas Radio Waves 2ft Dual-Polar SPD2-6, con ganancia de 30.6 dBi en cada extremo, montadas a alturas aproximadas de 30 m en la Torre Transmisora y 20 m en la Torre San Juan 2, donde la Torre Transmisora se configuró a una inclinación de -0.4° y orientada hacia 231.76° respecto al norte y la Torre San

Juan 2 cuenta con una inclinación de 0.4° y se orienta a 51.76° en dirección al norte.

El perfil del enlace muestra una distancia de 0.174 km, también con línea de vista (LOS) completa, lo que facilita un despeje total de la zona de Fresnel y minimiza cualquier efecto de obstrucción o difracción. La corta longitud del enlace reduce aún más la influencia de la atenuación por lluvia y otros factores climáticos, generando un canal de propagación extremadamente favorable.

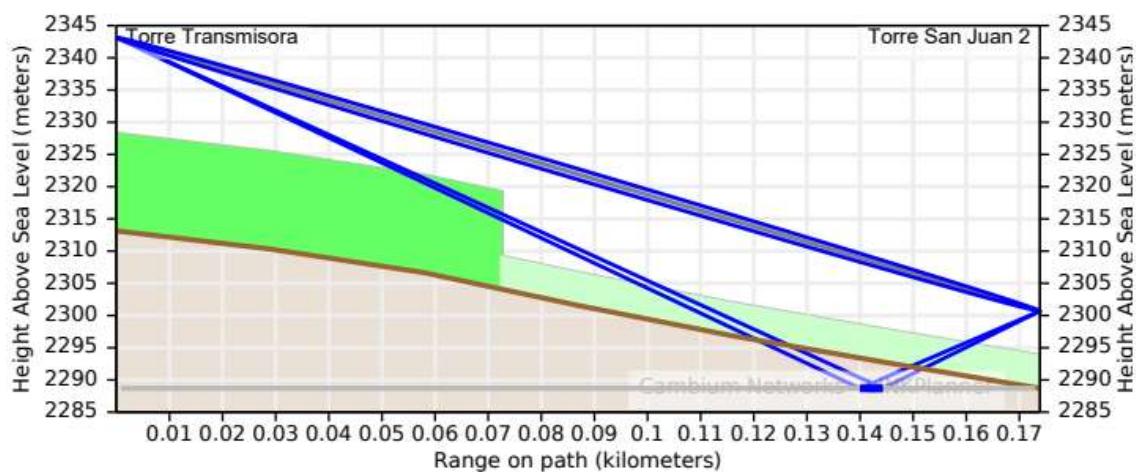


Fig. 19: Perfil de Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2

En términos de rendimiento, la simulación indica una pérdida de trayecto de solo 94.00 dB, mientras que la ganancia del sistema es de 146.30 dB, resultando en una margen de ganancia muy holgada de 52.30 dB. El throughput agregado es de 2703.25 Mbps, manteniendo una disponibilidad anual del 99.99999% como se ve en la (Fig. 20) y una indisponibilidad de apenas 1 segundo por año, según el modelo de propagación empleado.

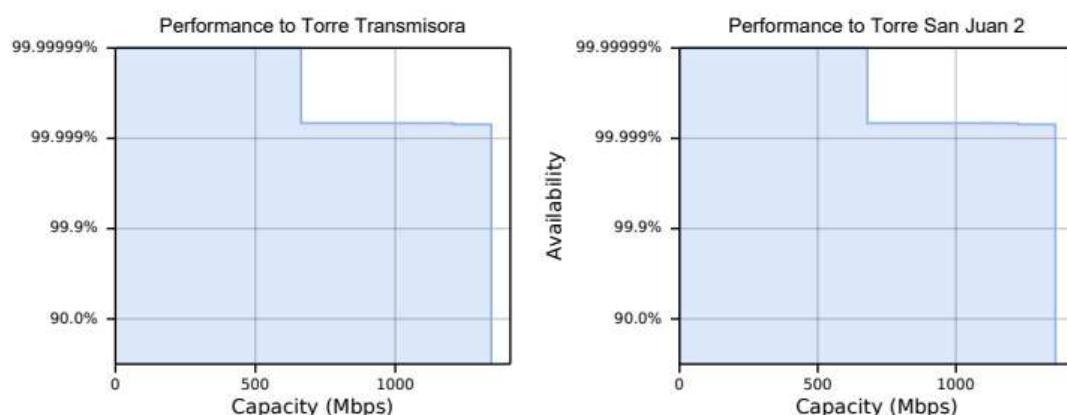


Fig. 20: Disponibilidad del radioenlace entre Torre Transmisora y Torre San Juan 2

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad el Marco

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 350 Mbps, que incluye a 2 instituciones públicas con una demanda adicional de 60 Mbps, totalizando una demanda de 410 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco

El radioenlace entre Repetidor 2 y Torre el Marco se sitúan a altitudes aproximadas de 3330 y 2570 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

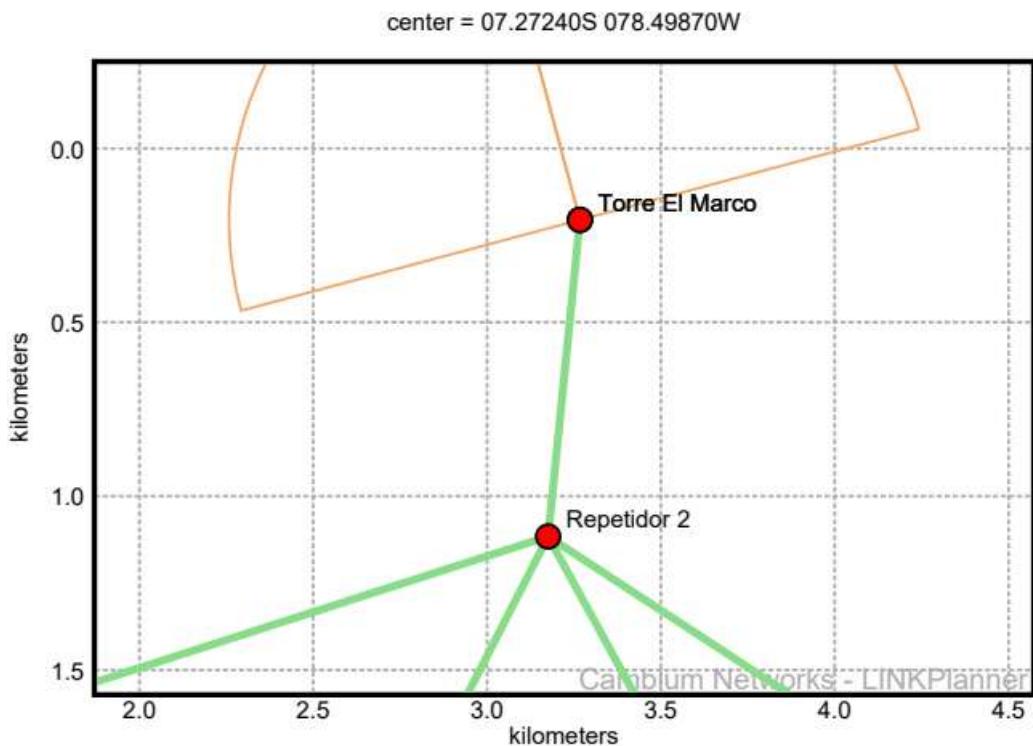


Fig. 21: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco

Para el enlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP Force 4600C, en la banda Upper 6 GHz, con ancho de banda de 80 MHz y modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual). En ambas puntas se instalan antenas Cambium 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) a 20 m de altura, conformando un tramo de 0.907 km. El Repetidor 2 se encuentra orientado a 308.41° con una inclinación de -0.3°, mientras que la Torre El Marco presenta una inclinación de 0.3° hacia arriba y dirigida a 128.41° en relación al norte, permitiendo la correcta alineación entre ambos sitios.

El modelo de predicción es nuevamente ITU-R P.530-17, con una pérdida total de trayecto de 133.94 dB. Pese a ser un enlace relativamente corto, el entorno presenta ciertas obstrucciones (escenario cercano a nLOS), lo que se refleja en un margen de sistema de 23.16 dB.

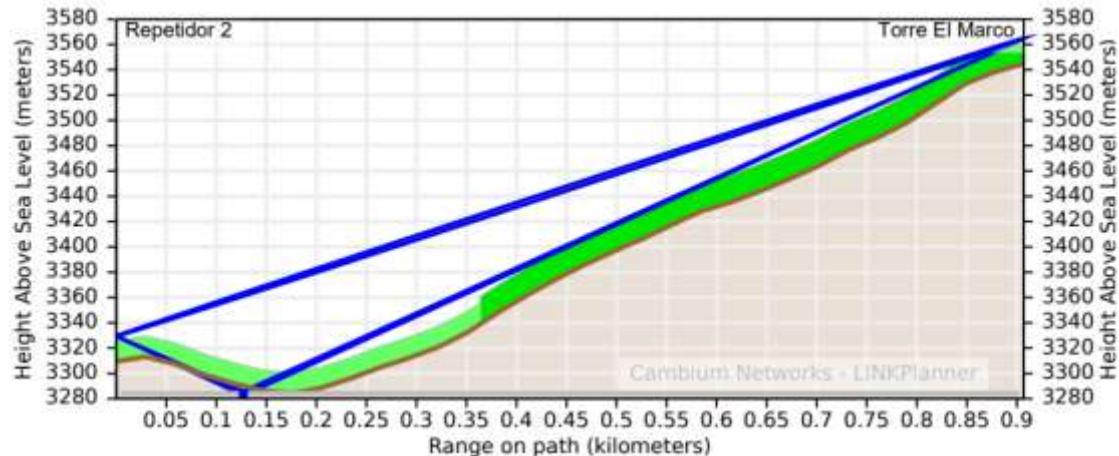


Fig. 22: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco

A nivel de desempeño, la simulación indica una tasa IP agregada media de 550.43 Mbps y una disponibilidad del 99.9999 % tal como se ve en la (Fig. 23), lo que confirma que el enlace cumple con los requisitos de estabilidad y continuidad para el tráfico previsto hacia la Torre El Marco, por lo que el enlace se considera operativamente estable y adecuado para el transporte de datos hacia esta localidad.

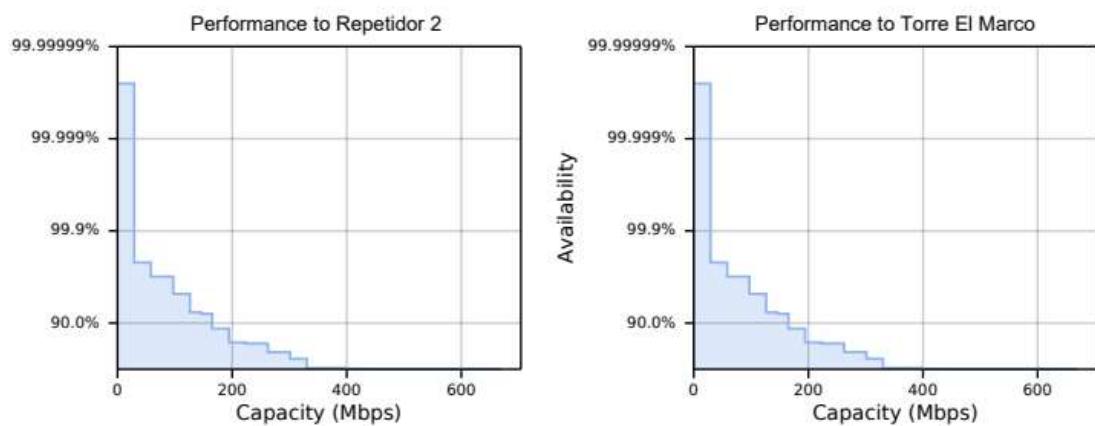


Fig. 23: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre El Marco

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Lanchepata

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 160 Mbps en total.

Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata

El radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata se sitúan a altitudes aproximadas de 3330 y 3190 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

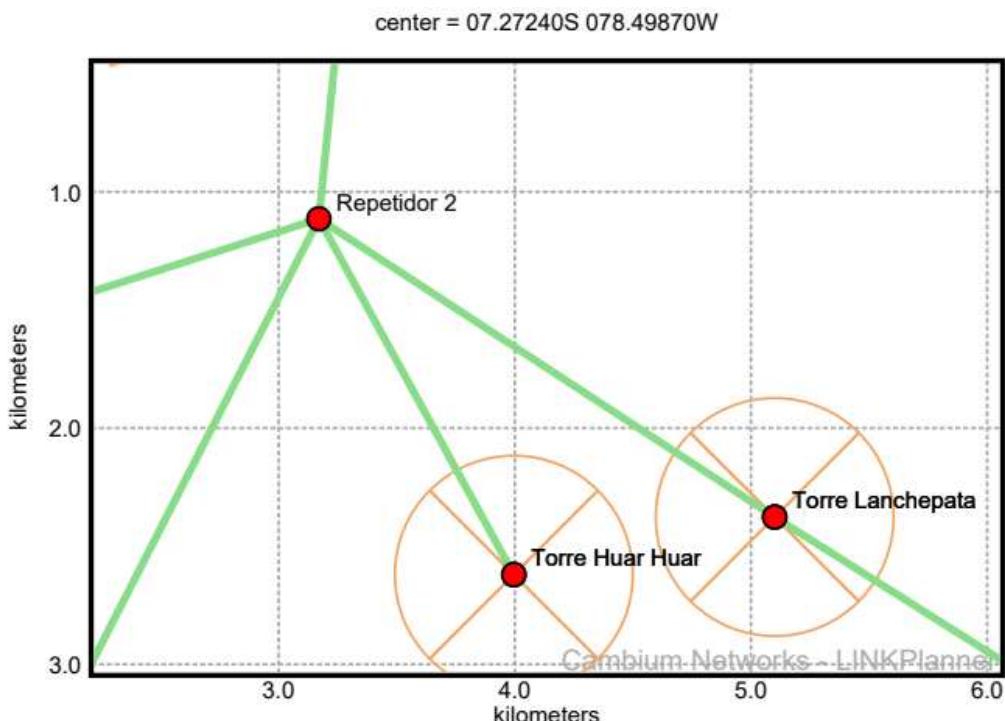


Fig. 24: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata

En este escenario se mantiene el uso del equipo ePMP 4600L, operando en la banda Upper 6 GHz, con un ancho de banda de 80 MHz y modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual). En el extremo del Repetidor 2 y en la Torre Lanchepata se instalan antenas Cambium 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) a 20 m de altura, conformando un enlace de 2.289 km. El cual el Repetidor 2 se configuro a una orientación de 102.88° y una inclinación de -0.5°, mientras que la Torre Lanchepata está ajustada con una inclinación ascendente de 0.5° y orientada a 282.88° respecto al norte, garantizando la alineación óptima del enlace. La simulación, basada en el modelo ITU-R P.530-17, arroja una pérdida total de trayecto de 116.27 dB y una ganancia de sistema que proporciona un

margin de 39.85 dB, indicando una propagación con línea de vista y robusta tolerancia a desvanecimientos.

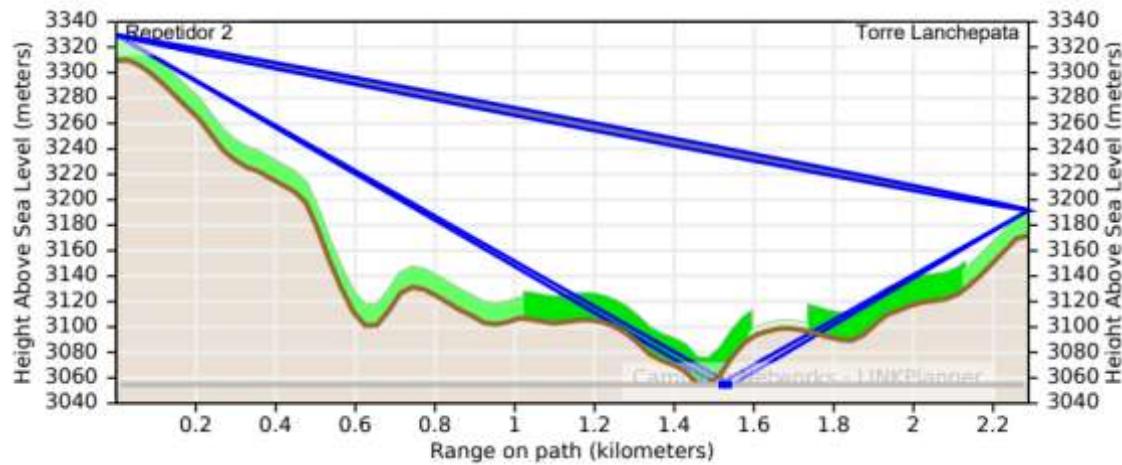


Fig. 25: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata

El rendimiento estimado muestra una tasa IP agregada de 1117.11 Mbps con una disponibilidad anual del 99.99999% tal como muestra la (Fig. 26), lo que posiciona a este enlace como un tramo de alta capacidad dentro del diseño. El margen elevado y la banda ancha utilizada permiten operar el enlace con gran estabilidad, asegurando que Lanchepata pueda recibir tráfico de backhaul suficiente para satisfacer la demanda de usuarios finales actuales y un crecimiento razonable a futuro, calificando el desempeño como altamente óptimo.

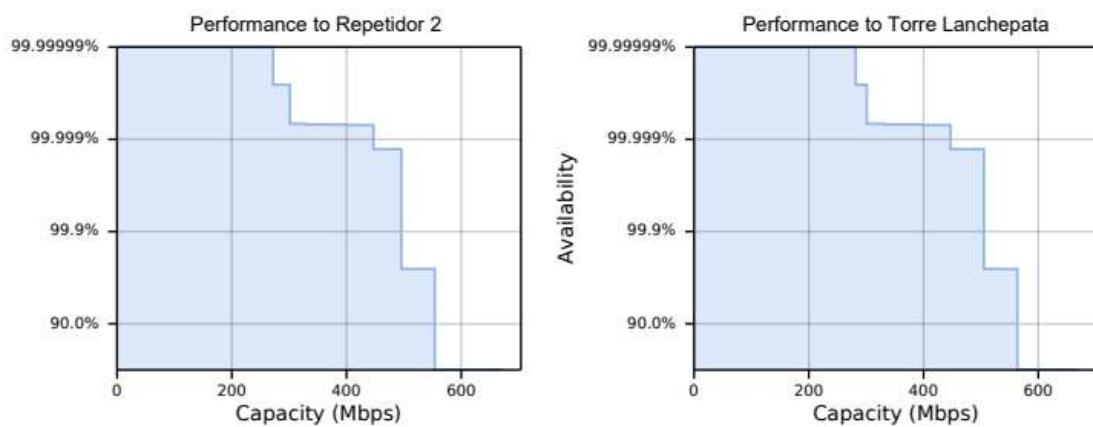


Fig. 26: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Lanchepata

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Huacraruco

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 350 Mbps, que incluye a 3 instituciones públicas con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 440 Mbps.

Radioenlace entre Torre Lancheputa y Torre Huacraruco

El radioenlace entre Torre Lancheputa y Torre Huacraruco se sitúan a altitudes aproximadas de 3190 y 2890 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

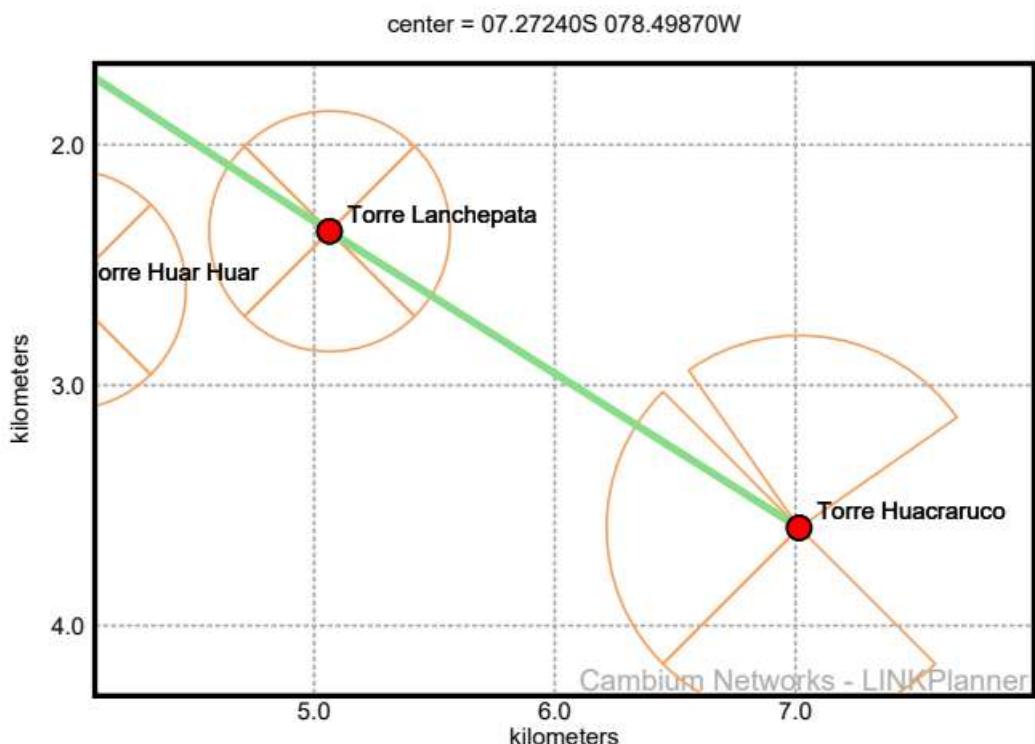


Fig. 27: Radioenlace entre Torre Lancheputa y Torre Huacraruco

En este escenario del radioenlace se utilizó el equipo ePMP 4600L operando en la banda superior de 6 GHz, con un ancho de banda de 80 MHz y modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), configurado para maximizar la capacidad efectiva manteniendo un alto margen de disponibilidad. Se implementaron antenas ePMP 6 GHz 2x2 Dish, en cuanto a la Torre Lancheputa ha sido configurada con una orientación de 120.97° y con una inclinación de -0.6°, mientras que la Torre Huacraruco se alineó a 300.97° y presenta una inclinación ascendente de 0.6°, asegurando el emparejamiento del haz de transmisión.

El perfil del enlace evidencia una distancia de 2.308 km, con un trazado clasificado como Non Line-of-Sight (NLOS), aunque con un control adecuado de las pérdidas adicionales por propagación. El sistema considera la atenuación por lluvia (≈ 0.23 dB/km) y factores geoclimáticos de la zona andina, asegurando que la primera zona de Fresnel se mantenga lo más despejada posible gracias a alturas de torres de 20 y 25 metros respectivamente.

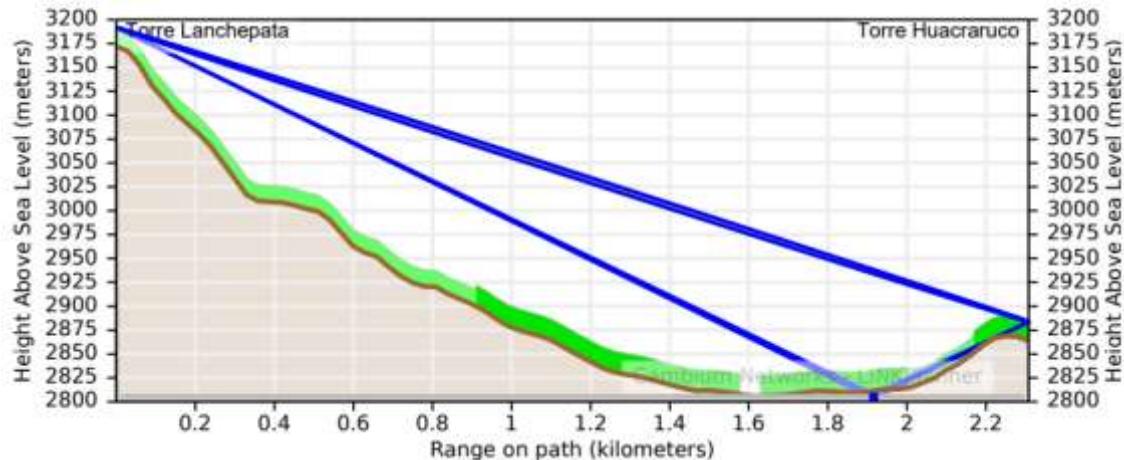


Fig. 28: Perfil de Radioenlace entre Torre Lanchepata y Torre Huacararucu

En cuanto al rendimiento, la simulación indica una ganancia total del sistema de 157.10 dB, una pérdida total de trayecto de 136.48 dB y una margen de ganancia del sistema de 20.62 dB, valores que garantizan operación estable frente a las variaciones de propagación. El throughput agregado del enlace alcanza aproximadamente 1122.55 Mbps, con una disponibilidad anual del 99.99999% tal como se puede ver en la (Fig. 29) y una indisponibilidad de solo 3 segundos por año, lo que refleja una muy alta confiabilidad en el transporte de datos.

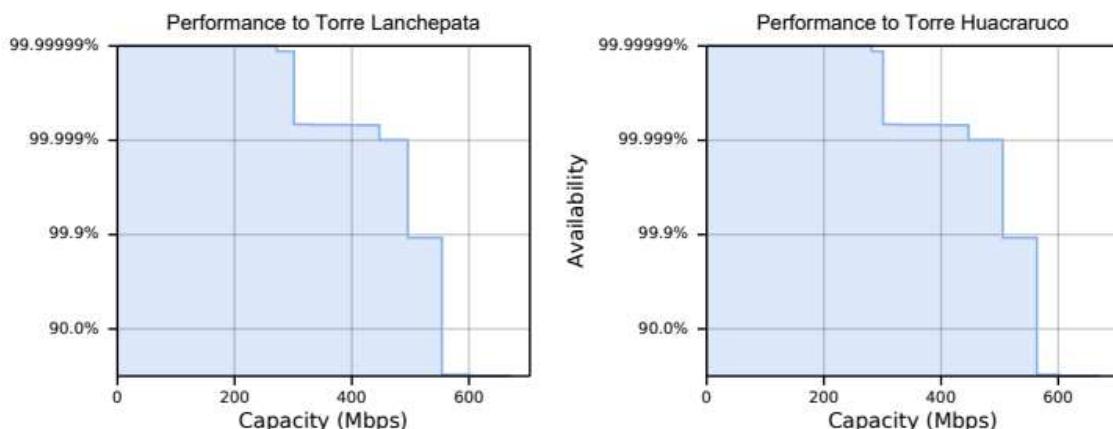


Fig. 29: Disponibilidad del radioenlace entre Torre Lanchepata y Torre Huacararucu

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Huar Huar

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 710 Mbps, que incluye a 2 instituciones públicas con una demanda adicional de 60 Mbps, totalizando una demanda de 770 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar

El radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar se sitúan a altitudes aproximadas de 3330 y 2910 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

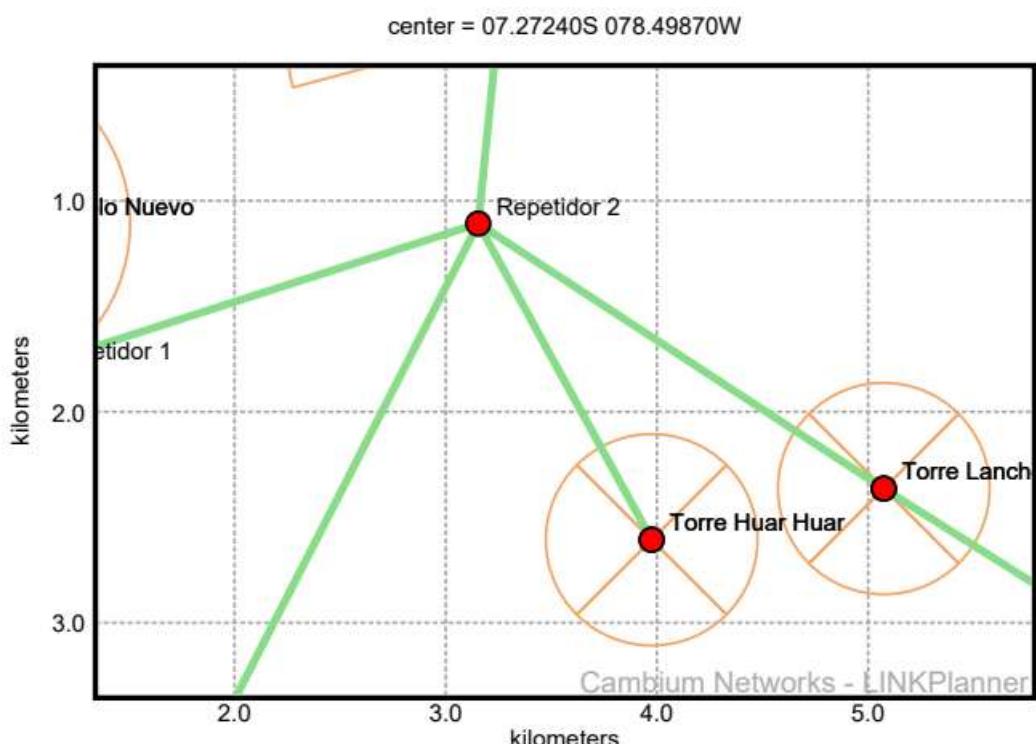


Fig. 30: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar

En este radioenlace se empleó nuevamente el equipo ePMP 4600L de Cambium Networks, operando en la banda Upper 6 GHz, con ancho de banda de 80 MHz y modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual). En ambos extremos se utilizan antenas Cambium 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) a 20 m de altura, conformando un trayecto de 2.341 km de longitud, donde el Repetidor 2 fue configurado a una orientación de 113.18° y una inclinación de -0.6°, mientras que la antena posicionada en Torre Huar Huar se orienta a 293.18° con una inclinación positiva de 0.6°, garantizando alineación precisa.

El perfil del enlace corresponde a un escenario de línea de vista (LOS), con zona de Fresnel suficientemente despejada, y una pérdida total de trayecto de 121.02 dB, modelada con ITU-R P.530-17. El margen del sistema resultante es adecuado para sostener modulaciones altas de forma estable.

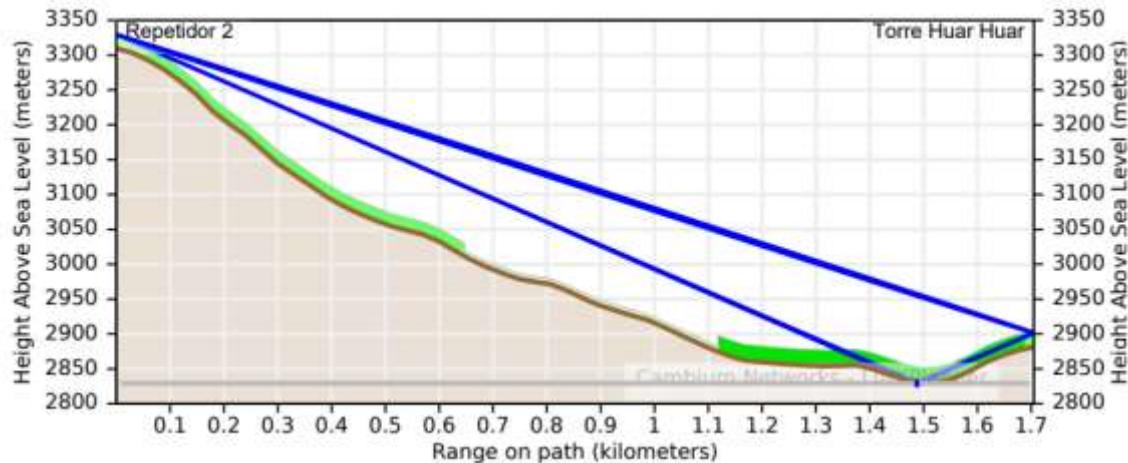


Fig. 31: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar

En cuanto al rendimiento, se alcanza una tasa IP agregada media de 1186.45 Mbps, con una disponibilidad anual del 99.99999%, por lo que el enlace ofrece una capacidad superior a 1 Gbps, suficiente para alimentar la Torre Huar Huar como nodo de distribución regional. El equilibrio entre distancia, banda de operación y tipo de antena se traduce en un desempeño óptimo, garantizando que el enlace no constituya un cuello de botella para la demanda de tráfico proyectada en esta zona.

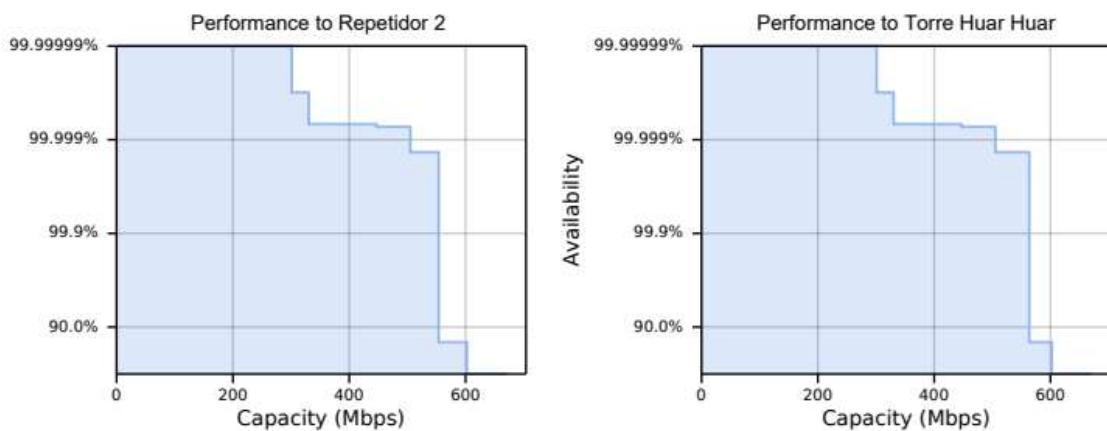


Fig. 32: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Huar Huar

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Aranmarca

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 420 Mbps, que incluye a 2 instituciones públicas con una demanda adicional de 60 Mbps, totalizando una demanda de 480 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca

El radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca se sitúan a altitudes aproximadas de 3330 y 2600 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

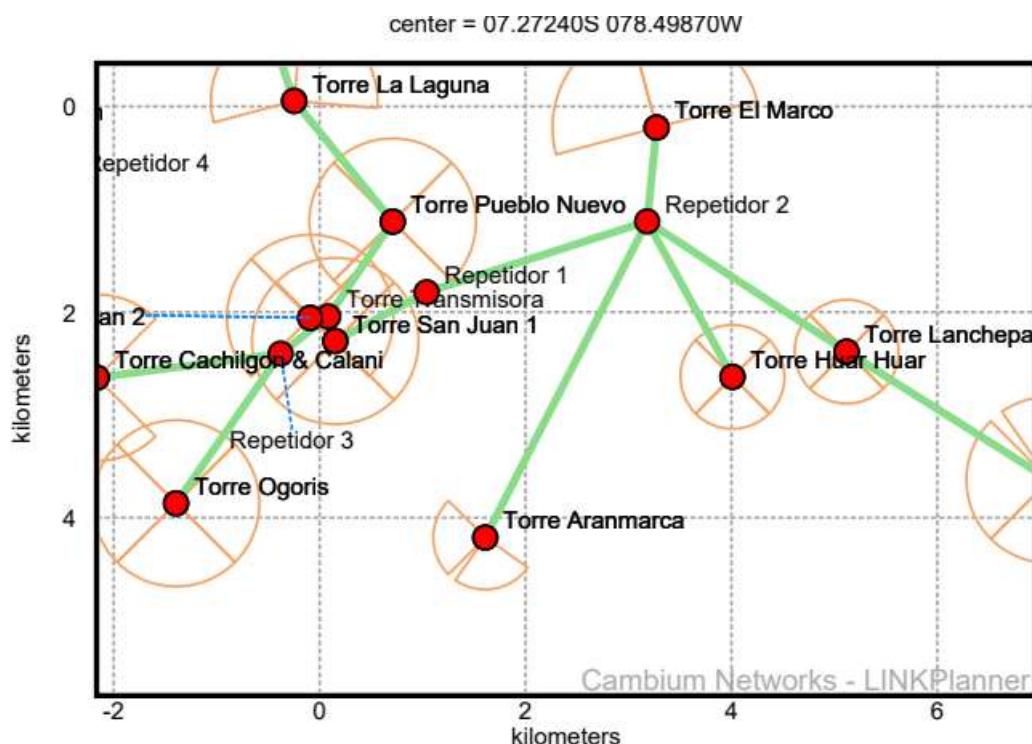


Fig. 33: Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, una modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), optimizados para obtener alta capacidad en enlaces de mediana distancia. En ambos extremos se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (modelo C060900D021), montadas a 15 metros de altura en el Repetidor 2 y 20 metros de altura en la Torre Aranmarca, y que por su parte el Repetidor 2 se orientó a 154.17° con una inclinación de -0.5° . Por su parte, la Torre Aranmarca cuenta con una inclinación ascendente de 0.5° y una

orientación de 334.17°, asegurando la direccionalidad adecuada entre ambos puntos.

El perfil del enlace muestra una distancia total de 3.416 km, con un trazado completamente Line-of-Sight (LOS) según el modelo de predicción ITU-R P.530-17, lo que indica ausencia de obstrucciones en la trayectoria radioeléctrica y despeje pleno de la primera zona de Fresnel. La (Fig. 33) correspondiente al perfil evidencia una propagación estable a lo largo del trayecto, mientras que los factores geoclimáticos modelados —incluyendo un Fade Occurrence Factor (P0) de 4.33e-10, una atenuación por lluvia de 0.22 dB/km y un gradiente refractivo de -101.95 N/km— confirman un comportamiento altamente favorable para la operación del enlace.

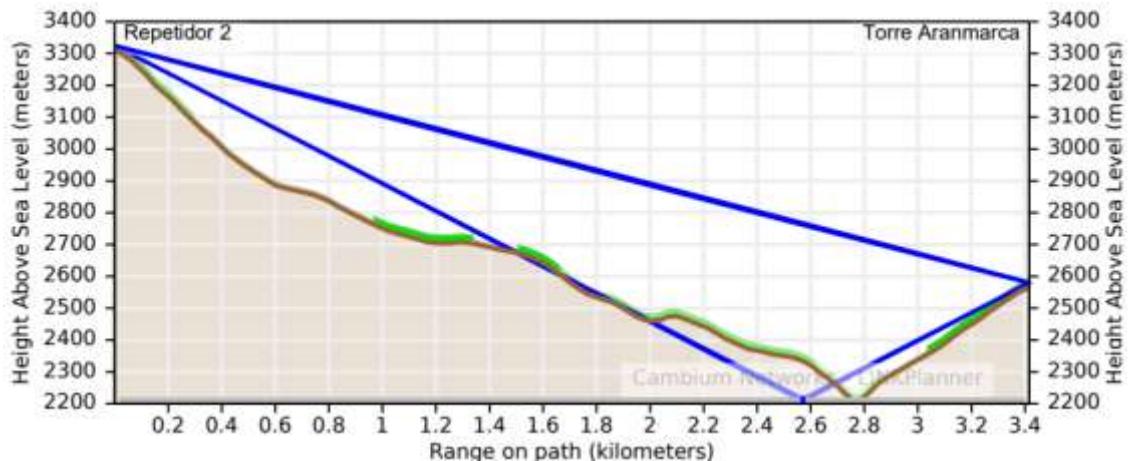


Fig. 34: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca

En cuanto al rendimiento, la simulación arrojó una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 119.75 dB, enfrentada a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, lo que genera un System Gain Margin de 33.65 dB, un valor sólido para esta distancia y banda de operación. El enlace alcanzó un Mean Aggregate Data Rate de 1935.70 Mbps, con Mean IP de 965.14 Mbps hacia el Repetidor 2 y 970.56 Mbps hacia la Torre Aranmarca, logrando una disponibilidad anual del 99.99999%. Estos resultados demuestran que el enlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca cumple ampliamente con los requerimientos técnicos establecidos para una red de transporte inalámbrico de alta capacidad. La combinación de alta ganancia, excelente margen del sistema, modulación y desempeño simétrico en ambas direcciones garantiza una operación estable, confiable y óptima,

reforzando su papel como uno de los tramos clave en la arquitectura de la red inalámbrica propuesta para el distrito de San Juan, Cajamarca.

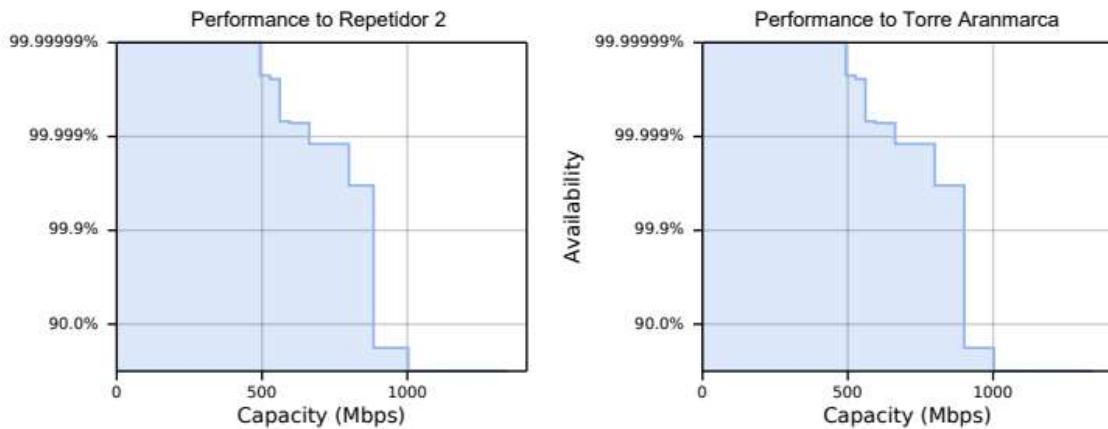


Fig. 35: Disponibilidad del radioenlace entre Repetidor 2 y Torre Aranmarca

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Ogoriz

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 480 Mbps, que incluye a 3 instituciones públicas con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 570 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz

El radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz se sitúan a altitudes aproximadas de 2270 y 2490 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

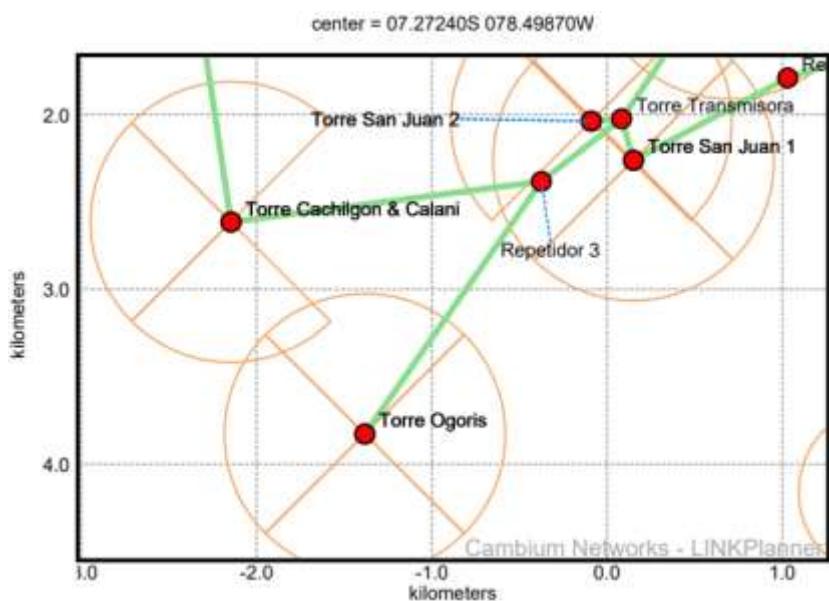


Fig. 36: Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz

Para este radioenlace se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), optimizados para enlaces troncales de media distancia. Para este enlace se emplearon antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), instaladas a 20 metros en el Repetidor 3 y a 20 metros en la Torre Ogoriz, donde el Repetidor 3 se orientó hacia 160.54° con una inclinación de -0.4°. En contraparte, la Torre Ogoriz tiene una inclinación de 0.4° y se orientó a 340.54°, proporcionando alineación correcta para el enlace.

El perfil del enlace muestra una distancia total de 1.756 km, con línea de vista (LOS) completamente despejada, lo cual se confirma mediante un Excess Path Loss de 0.00 dB, evidenciando que la primera zona de Fresnel permanece libre de obstrucciones. El modelo de propagación utilizado, ITU-R P.530-17, determina que el canal presenta condiciones muy favorables para enlaces microondas. Los factores geoclimáticos indican un Fade Occurrence Factor (P0) de 1.38e-10, un gradiente refractivo de -102.50 N/km, y una atenuación por lluvia de 0.22 dB/km, todos dentro de rangos que permiten una propagación estable en la región.

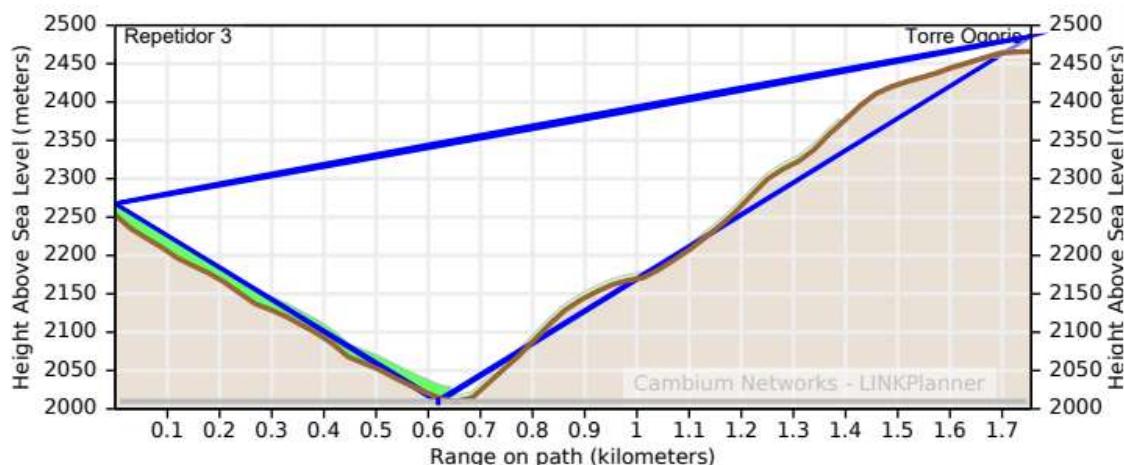


Fig. 37: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz

En cuanto al rendimiento, la simulación registra una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 113.97 dB, frente a una ganancia total del sistema de 157.10 dB, generando un System Gain Margin de 43.13 dB, valor que garantiza un funcionamiento altamente estable incluso en condiciones atmosféricas adversas. El throughput agregado alcanza 1179.25 Mbps, con Mean IP de 588.21 Mbps

hacia el Repetidor 3 y 591.04 Mbps hacia la Torre Ogoriz. La disponibilidad anual del 99.9999% como se muestra en la (Fig. 38), lo que confirma el excelente desempeño y confiabilidad del enlace. Estos resultados demuestran que el enlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoris cumple ampliamente con los parámetros técnicos requeridos para el transporte de datos de alta capacidad dentro de la red inalámbrica propuesta para el distrito de San Juan.

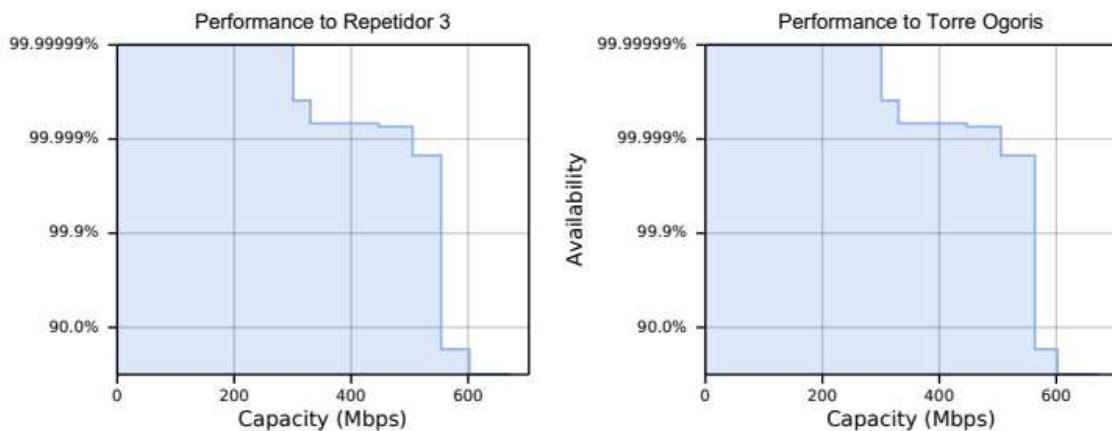


Fig. 38: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Ogoriz

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en las localidades de Cachilgon y Calani

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 910 Mbps, que incluye a 2 instituciones públicas con una demanda adicional de 60 Mbps, totalizando una demanda de 970 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani

El radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon y Calani se sitúan a altitudes aproximadas de 2275 y 2125 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

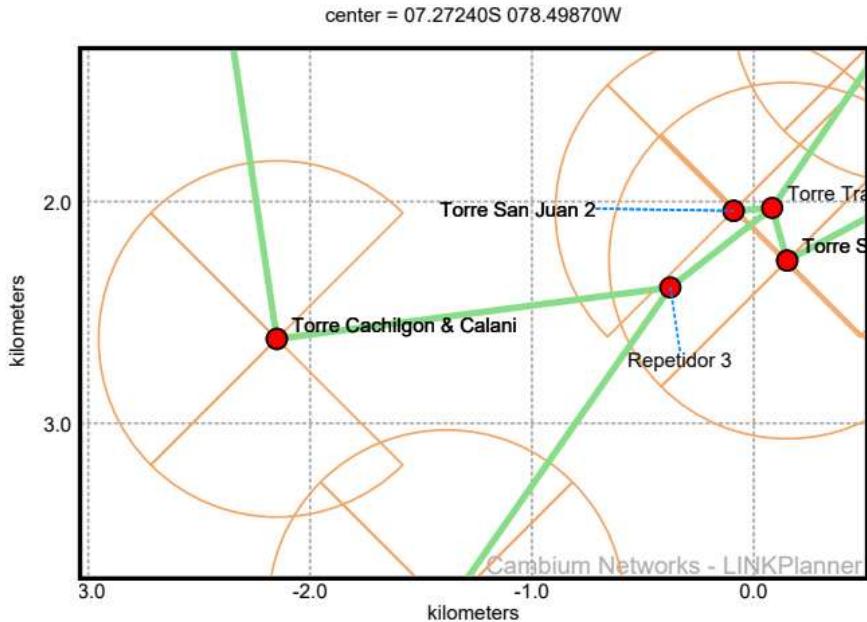


Fig. 39: Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), lo que permite sostener una alta eficiencia espectral en condiciones de propagación favorables. En ambos extremos del enlace se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) montadas a 20 metros de altura, por su parte el Repetidor 3 se configuró con una inclinación de -0.2° y una orientación de 305.49° . En el extremo receptor, la Torre Cachilgon & Calani se configuró a una inclinación ascendente de 0.2° y orientada a 125.49° frente al norte.

El perfil del enlace registra una distancia total de 1.782 km, caracterizada por una condición de línea de vista (LOS) completamente despejada, tal como indica un Excess Path Loss igual a 0.00 dB. Esto evidencia que la primera zona de Fresnel se encuentra íntegramente libre de obstáculos en todo el recorrido. El modelo de propagación empleado (ITU-R P.530-17) confirma un entorno de estabilidad radioeléctrica, complementado por valores favorables de factores geoclimáticos, como un Fade Occurrence Factor (P0) de 2.75e-10, un gradiente refractivo de -102.39 N/km, atenuación por lluvia de 0.22 dB/km, y una desviación de K que permanece dentro de rangos adecuados para enlaces de microondas.

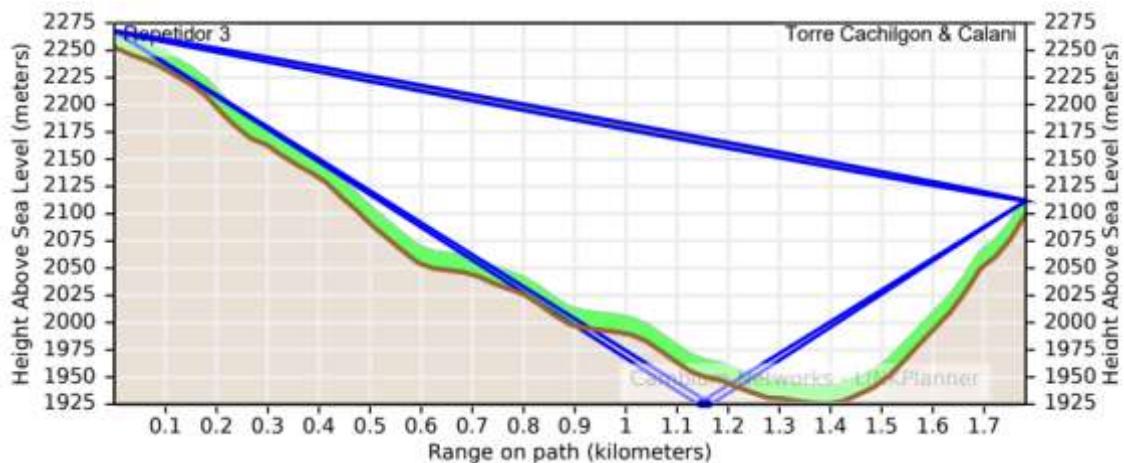


Fig. 40: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani

En términos de rendimiento, la simulación muestra una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 114.10 dB, frente a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, lo que produce un System Gain Margin de 39.30 dB, margen que garantiza un funcionamiento altamente estable incluso ante variaciones atmosféricas severas. El throughput agregado alcanza 2237.63 Mbps, con un Mean IP de 1118.82 Mbps hacia cada extremo del enlace, demostrando un comportamiento perfectamente equilibrado y simétrico. La disponibilidad anual es del 99.99999%, lo cual confirma la solidez del enlace dentro de la topología general. Estos resultados indican que el enlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani ofrece un desempeño óptimo para una red de transporte inalámbrico de alta capacidad. La combinación entre un margen de ganancia holgado, condiciones LOS ideales, throughput superior a 2.2 Gbps y disponibilidad anual garantiza una operación continua, robusta y confiable del diseño propuesto para la red de telecomunicaciones del distrito de San Juan, Cajamarca.

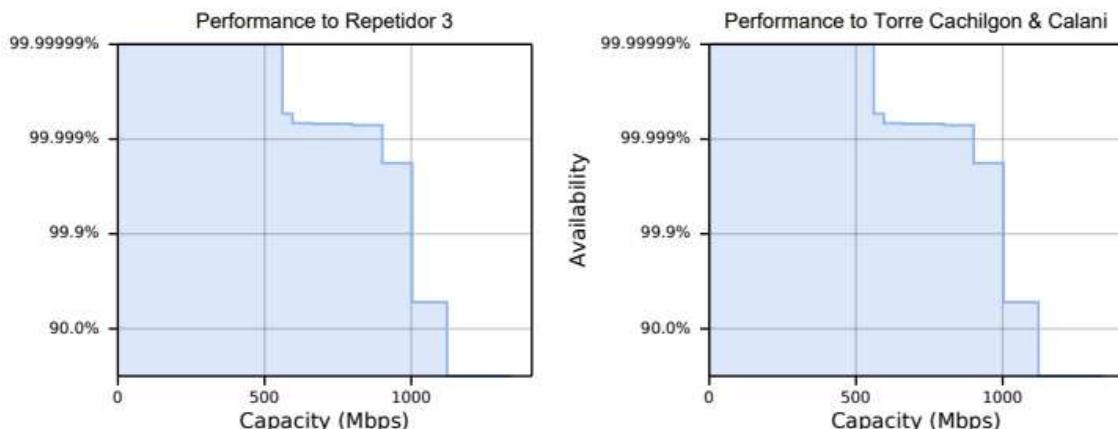


Fig. 41: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 3 y Torre Cachilgon & Calani

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de el Naranjo

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput total de 240 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo

El radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo se sitúan a altitudes aproximadas de 2450 y 1850 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

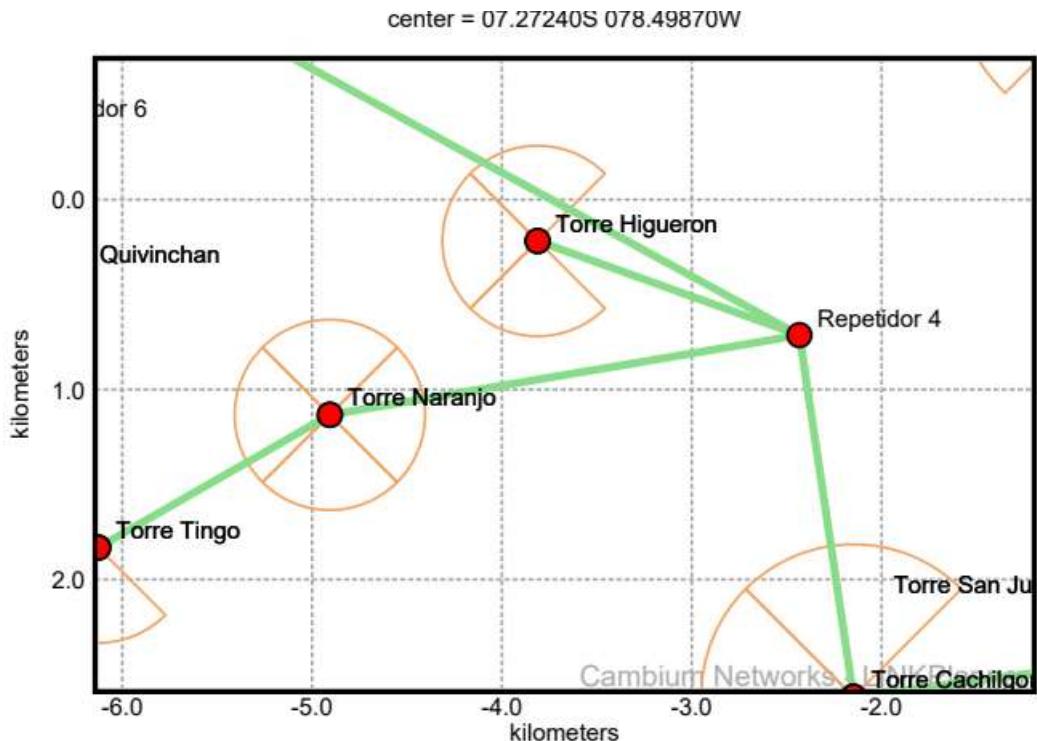


Fig. 42: Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), parámetros orientados a garantizar un rendimiento de alta capacidad en enlaces de media distancia. Se emplearon antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (modelo C060900D021) instaladas a 15 metros de altura en Repetidor 4 y 20 metros en la Torre Naranjo y que el Repetidor 4 se configuró a una orientación de 274.73° y una inclinación de -0.3° , mientras que la Torre El Naranjo se orientó hacia 94.73° con una inclinación positiva de 0.3° , logrando la alineación del enlace.

El perfil del enlace muestra una distancia total de 2.501 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejada, lo cual se confirma con un Excess Path Loss de 0.00 dB según el modelo de propagación ITU-R P.530-17. La gráfica de trayectoria presentada en la (Fig. 43) evidencia un despeje adecuado de la primera zona de Fresnel, garantizando una propagación óptima entre ambos puntos. Los factores geoclimáticos del sitio —entre ellos un Fade Occurrence Factor (P0) de 4.97e-10, un gradiente refractivo de -102.27 N/km , una atenuación por lluvia de 0.22 dB/km, y pérdidas gaseosas mínimas (0.02 dB)— confirman la estabilidad del canal radioeléctrico en este tramo.

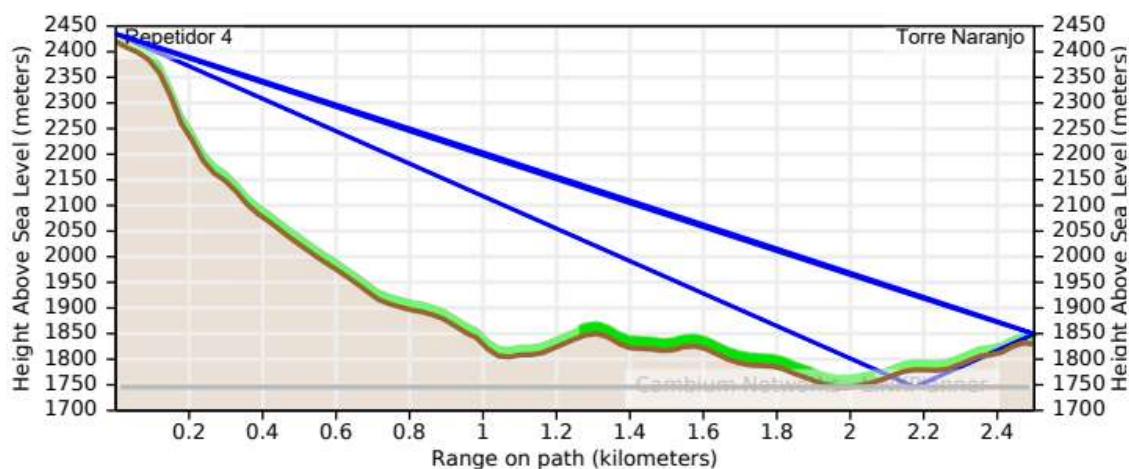


Fig. 43: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo

En cuanto al rendimiento, la simulación arrojó una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 117.05 dB, frente a una ganancia total del sistema de 157.10 dB, lo cual proporciona un System Gain Margin de 40.05 dB, indicador de una operación robusta incluso bajo variaciones climáticas adversas. El throughput agregado alcanzó 1117.59 Mbps, con Mean IP de 553.99 Mbps hacia Repetidor 4 y 563.60 Mbps hacia la Torre Naranjo. La disponibilidad anual se mantiene en 99.99999%, lo que confirma un desempeño altamente confiable. Estos resultados demuestran que el enlace entre Repetidor 4 y la Torre Naranjo cumple holgadamente con los parámetros técnicos establecidos para redes de transporte inalámbricas de alta capacidad.

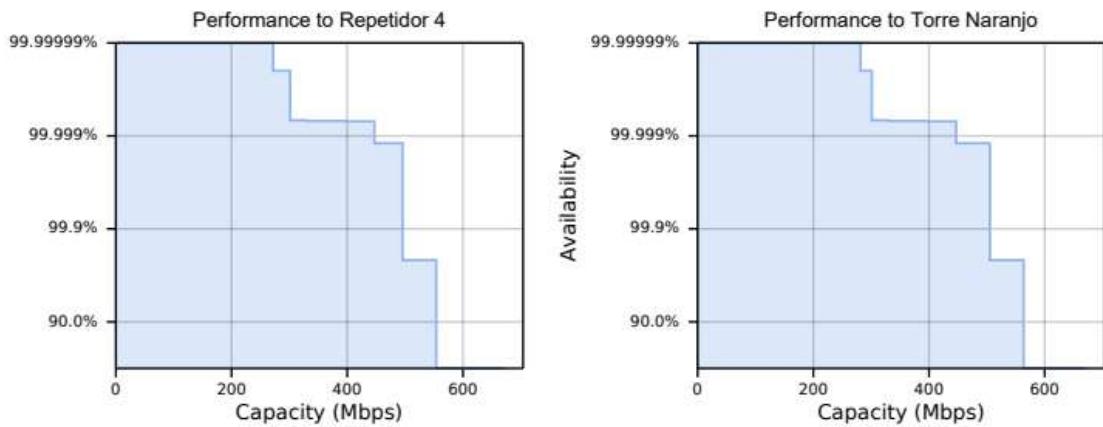


Fig. 44: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Naranjo

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de el Tingo

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput total de 210 Mbps.

Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo

El radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo se sitúan a altitudes aproximadas de 1850 y 1835 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

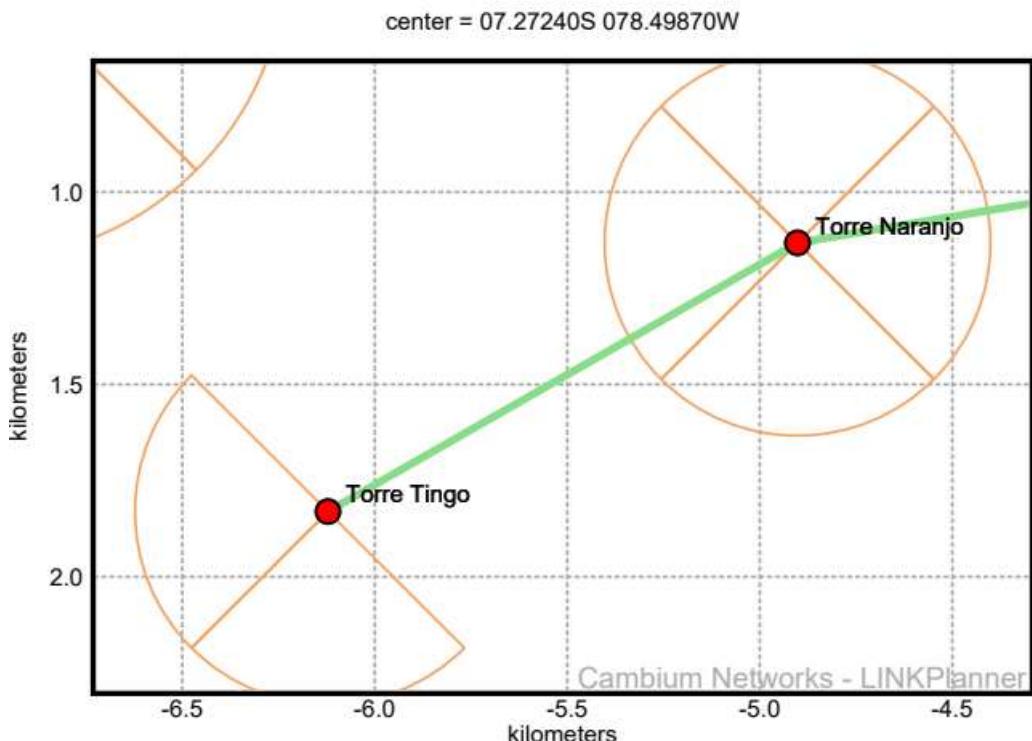


Fig. 45: Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), parámetros adecuados para maximizar la eficiencia espectral en enlaces de media distancia. En ambos extremos se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), montadas a 20 metros en la Torre Naranjo y 24 metros en la Torre Tingo. Por otro lado, la Torre El Naranjo se orientó en 232.88° con una inclinación de -0.5° , mientras que la Torre Tingo se orientó a 52.88° y una inclinación ascendente de 0.5° , asegurando estabilidad en el enlace.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.402 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejada. El análisis gráfico muestra que la primera zona de Fresnel se mantiene libre de obstrucciones a lo largo de toda la trayectoria, lo que garantiza una propagación óptima. El modelo de predicción utilizado es el ITU-R P.530-17, y los factores atmosféricos asociados indican una propagación estable: un Fade Occurrence Factor (P_0) de $1.46\text{e-}09$, un gradiente refractivo de -102.65 N/km , pérdidas gaseosas insignificantes (0.01 dB) y un coeficiente de lluvia de 0.22 dB/km según ITU-R P.837-7.

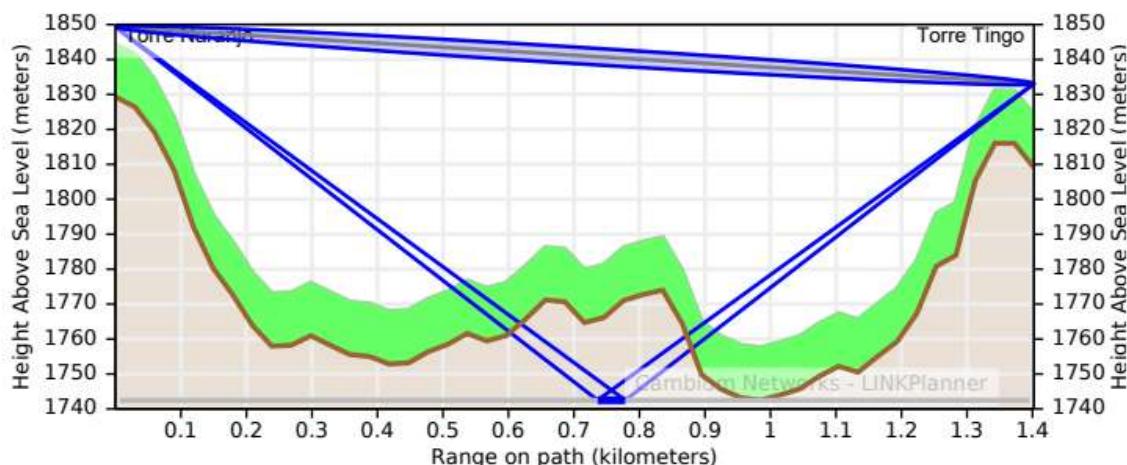


Fig. 46: Perfil de Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo

En cuanto al rendimiento, el enlace presenta una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 112.01 dB , enfrentada a una ganancia total del sistema de 157.10 dB , lo que genera un System Gain Margin de 45.09 dB , un valor ampliamente

suficiente para garantizar estabilidad incluso en condiciones atmosféricas adversas. El Mean Aggregate Data Rate alcanza 1216.92 Mbps, con Mean IP de 608.34 Mbps hacia la Torre Naranjo y 608.58 Mbps hacia la Torre Tingo, manteniendo una disponibilidad anual del 99.99999% como se puede apreciar en la (Fig. 47). Estos resultados demuestran que el enlace entre Torre Naranjo y Torre Tingo cumple holgadamente con los parámetros técnicos requeridos para redes de transporte inalámbricas de alta capacidad. La combinación de un amplio margen de ganancia, la estabilidad del canal LOS, y el throughput superior al gigabit aseguran un desempeño óptimo, robusto y confiable.

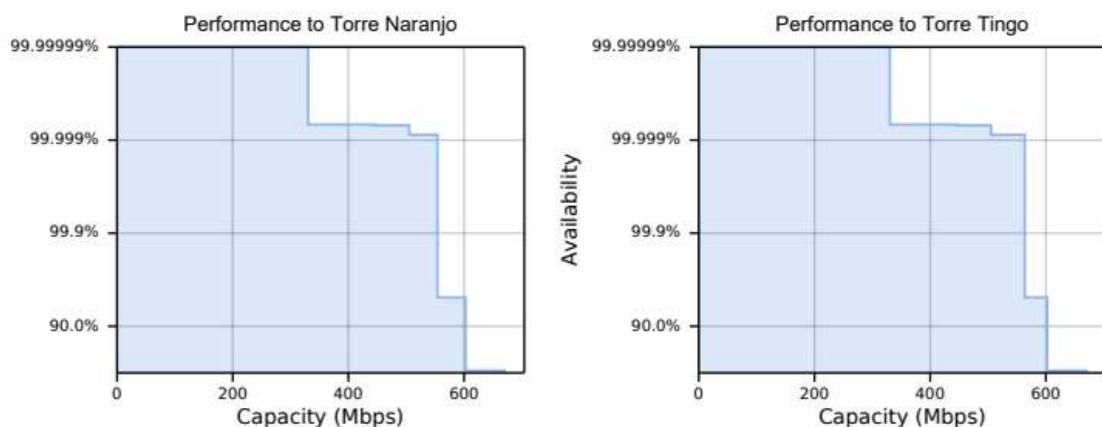


Fig. 47: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre El Naranjo y Torre Tingo

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Higueron

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 280 Mbps, que incluye a una institución pública con una demanda adicional de 30 Mbps, totalizando una demanda de 310 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron

El radioenlace entre Repetidor 4 y Torre El Higueron se sitúan a altitudes aproximadas de 2450 y 2220 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

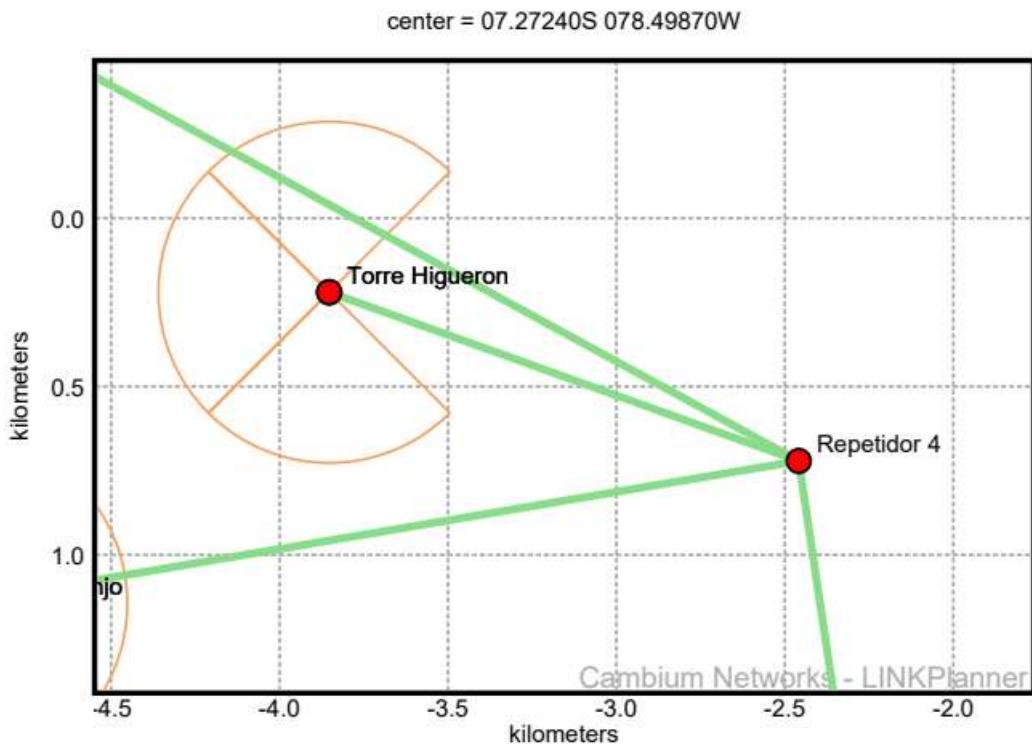


Fig. 48: Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual). Estas configuraciones permiten mantener una alta eficiencia espectral y robustez ante variaciones dinámicas del canal. Para el enlace se emplearon antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) instaladas a 15 metros de altura en Repetidor 4 y 20 metros en la Torre Higueron, donde el Repetidor 4 se configuro a una orientación de 328.65° y una inclinación de -0.4° . Por otro lado, en Torre Higueron, la antena está orientada a 148.65° con una inclinación positiva de 0.4° , logrando correcta alineación.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.461 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejadas. La gráfica de elevación muestra un despeje adecuado a lo largo de toda la trayectoria, sin obstrucciones significativas dentro de la primera zona de Fresnel. El modelo de propagación utilizado es el ITU-R P.530-17, que confirma un canal estable reforzado por factores geoclimáticos favorables tales como un Fade Occurrence Factor (P0) de $6.49e-11$, un gradiente refractivo de -102.08 N/km, pérdidas gaseosas despreciables (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km. El Excess

Path Loss de 0.00 dB evidencia que no existe difracción adicional ni pérdidas anómalas en el trayecto.

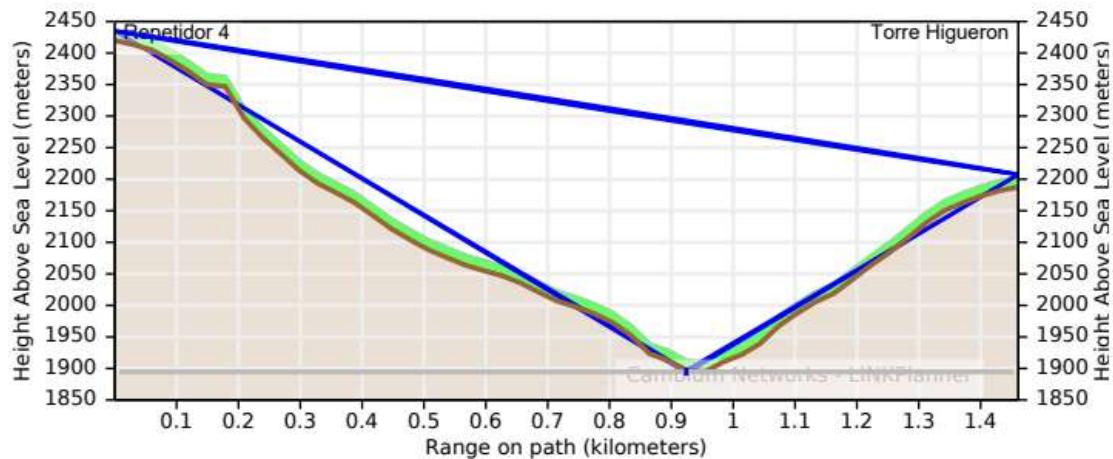


Fig. 49: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron

En cuanto al rendimiento, la simulación muestra una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 112.37 dB, frente a una ganancia total del sistema de 157.10 dB, generando un System Gain Margin de 44.73 dB, valor que asegura un funcionamiento altamente estable incluso bajo condiciones atmosféricas adversas. El enlace alcanza un Mean Aggregate Data Rate de 1209.22 Mbps, con Mean IP de 604.42 Mbps hacia Repetidor 4 y 604.80 Mbps hacia la Torre Higueron. La disponibilidad anual es del 99.99999 como se puede en la (Fig. 50), demostrando un desempeño muy confiable en términos de continuidad operativa. Estos resultados demuestran que el enlace entre Repetidor 4 y la Torre Higueron cumple plenamente con los requerimientos técnicos para redes de transporte inalámbricas de alta capacidad.

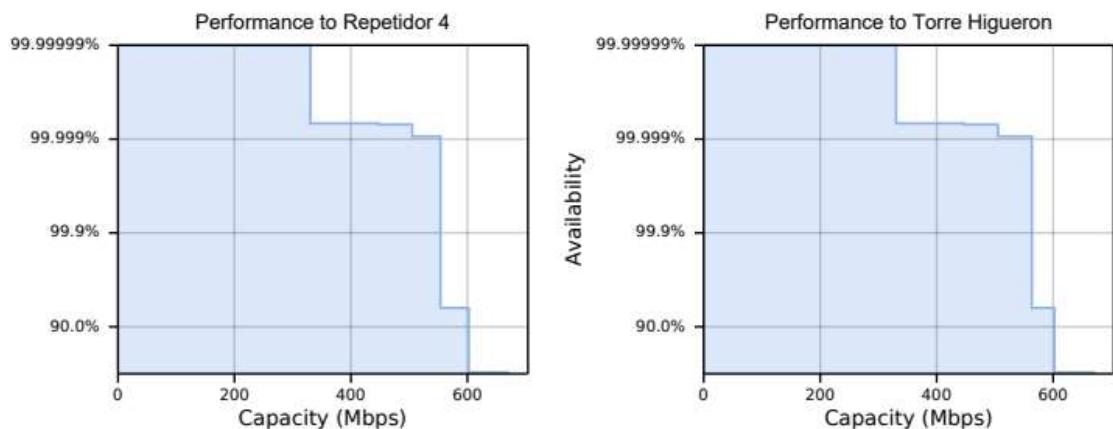


Fig. 50: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 4 y Torre Higueron

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en las localidades de Nuevo Progreso y Quivinchan

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 610 Mbps, que incluye a 2 instituciones públicas con una demanda adicional de 60 Mbps, totalizando una demanda de 670 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p & Quivinchan

El radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p & Quivinchan 2 se sitúan a altitudes aproximadas de 2550 y 2125 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

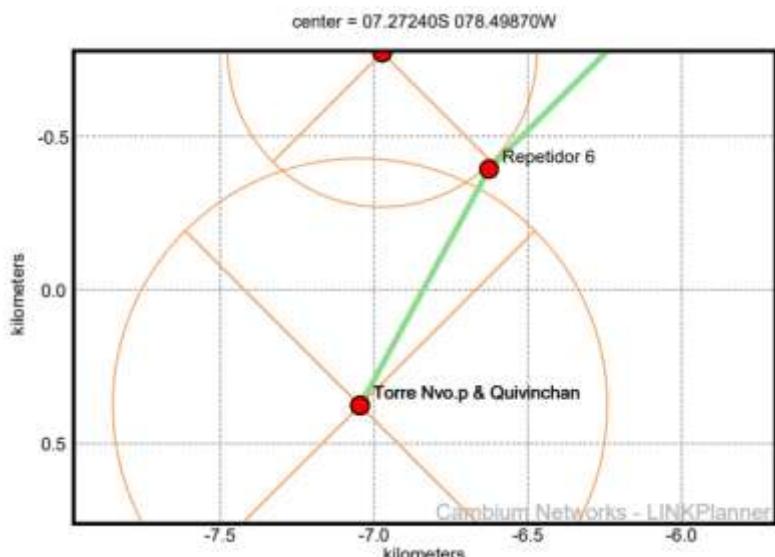


Fig. 51: Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p & Quivinchan

En este escenario se implementó un enlace punto a punto entre Repetidor 6 y la Torre Nuevo Progreso & Quivinchan, empleando equipos Cambium Networks ePMP 4600L operando en la banda superior de 6 GHz, con configuración de 80 MHz de ancho de canal y modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), permitiendo alcanzar esquemas de alta eficiencia espectral según la calidad del enlace. Ambos extremos utilizan antenas parabólicas ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) instaladas a una altura de 20 metros, donde el Repetidor 6 se dirigió a 244.73° , con una inclinación de -0.4° , mientras que la Torre Nvo.p & Quivinchan tiene una inclinación ascendente de 0.4° y orientada a 64.73° respecto al norte.

El perfil del radioenlace indica una distancia total de 0.872 km, bajo condiciones Line-of-Sight (LOS) completas, sin obstrucciones significativas dentro de la primera zona de Fresnel, como se evidencia en el valor de Excess Path Loss igual a 0.00 dB. La pérdida por espacio libre alcanza un valor de 107.87 dB, consistente con trayectos cortos en la banda de 6 GHz. Adicionalmente, la atenuación por lluvia es mínima (0.22 dB/km), lo que mantiene estable la potencia recibida incluso en eventos climáticos adversos.

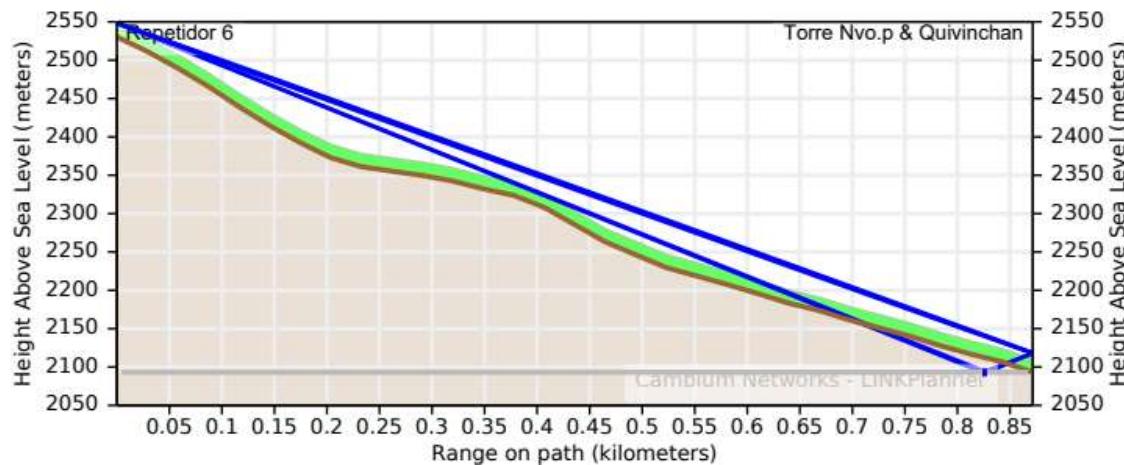


Fig. 52: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p & Quivinchan

En cuanto al rendimiento, la simulación reporta una potencia recibida de - (valor calculado internamente por el sistema en función del System Gain de 157.10 dB y pérdidas totales de 107.88 dB), lo cual proporciona un System Gain Margin de 49.22 dB, un margen excepcional que reafirma la robustez del enlace. El throughput agregado alcanza 1338.21 Mbps, sosteniendo una disponibilidad del 99.99999% anual, ratificando su estabilidad y confiabilidad.

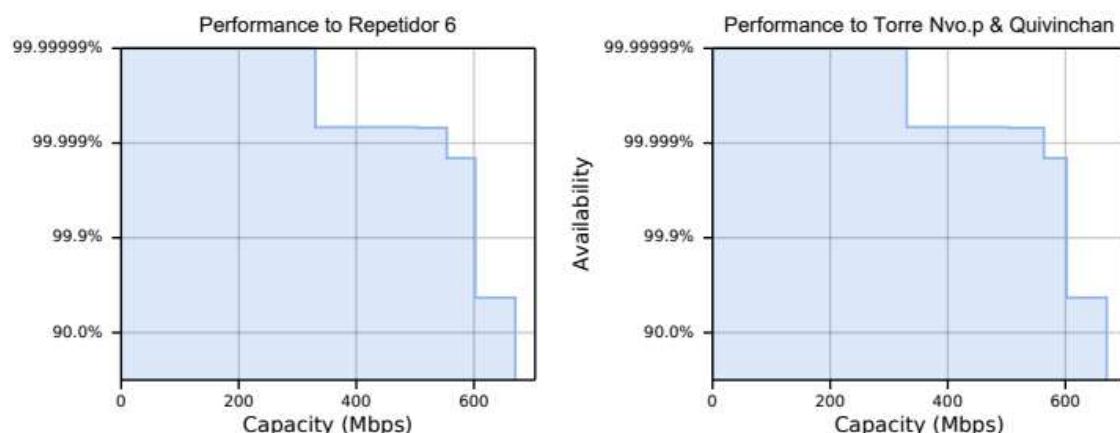


Fig. 53: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 6 y Torre Nvo.p&Quivinchan

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Cochapampa

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 650 Mbps, que incluye a 3 instituciones públicas con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 740 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa

El radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa se sitúan a altitudes aproximadas de 3010 y 2550 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

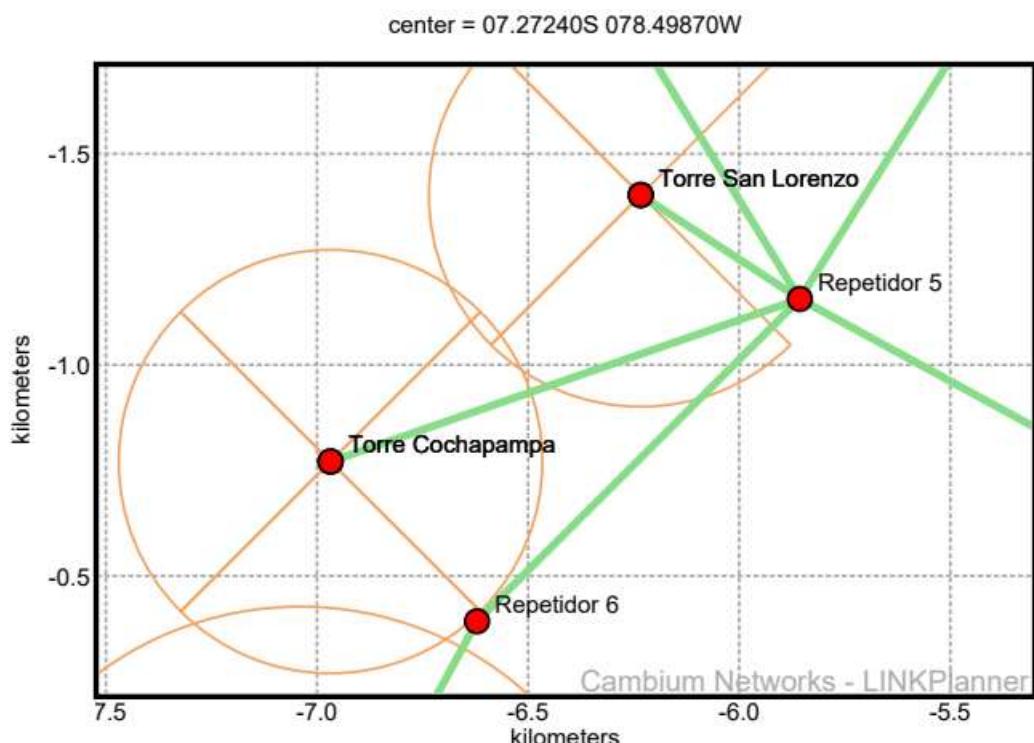


Fig. 54: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), lo que permite maximizar la eficiencia espectral y obtener altas tasas de transmisión en enlaces rurales de media distancia. Para este enlace se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (modelo C060900D021) a 25 metros de altura en ambos extremos y en este caso el Repetidor 5 se configuró a una orientación de 262.07° con inclinación negativa de -0.5°, mientras que la

Torre Cochapampa se orientó hacia 82.07° y cuenta con una inclinación de 0.5°, asegurando la direccionalidad entre ambas torres.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.172 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejadas. La gráfica de elevación en la (Fig. 55) muestra que toda la trayectoria permanece libre de obstrucciones, asegurando un despeje completo de la primera zona de Fresnel. El sistema de predicción utilizado es ITU-R P.530-17, que, junto con los factores geoclimáticos del sitio —como un Fade Occurrence Factor (P0) extremadamente bajo de 6.51e-12, un gradiente refractivo de -102.08 N/km, pérdidas gaseosas mínimas (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km— garantiza una propagación estable y sin degradación significativa.

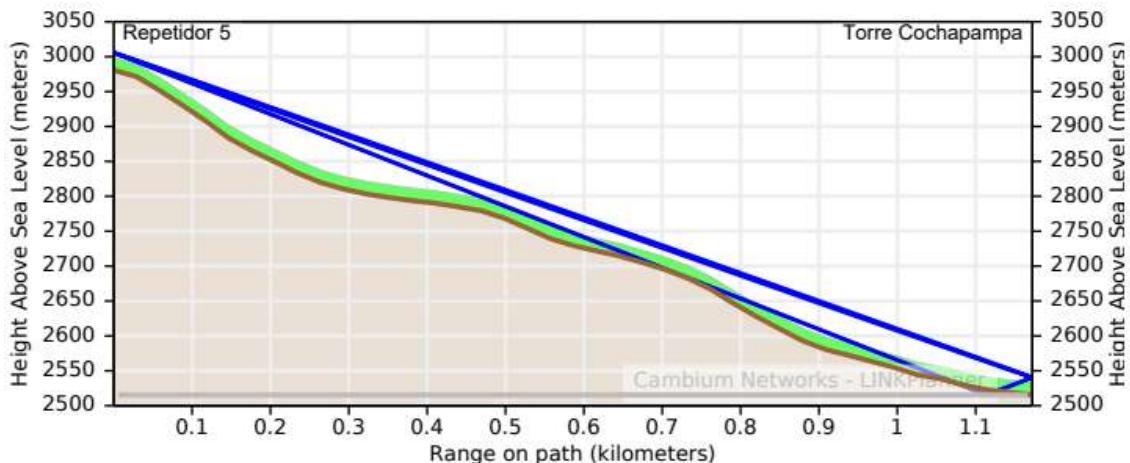


Fig. 55: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa

En cuanto al rendimiento, la simulación arroja una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 110.45 dB, frente a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, resultando en un System Gain Margin de 42.95 dB, un valor excepcional que asegura operación estable incluso ante desvanecimientos severos. El throughput agregado alcanza 2329.86 Mbps, con Mean IP de 1161.04 Mbps hacia el Repetidor 5 y 1168.83 Mbps hacia la Torre Cochapampa. La disponibilidad anual es del 99.99999% tal como muestra la (Fig. 56), lo que confirma la altísima confiabilidad del tramo. Estos resultados demuestran que el enlace entre Repetidor 5 y la Torre Cochapampa cumple ampliamente con los requerimientos técnicos de una red inalámbrica de transporte de alta capacidad.

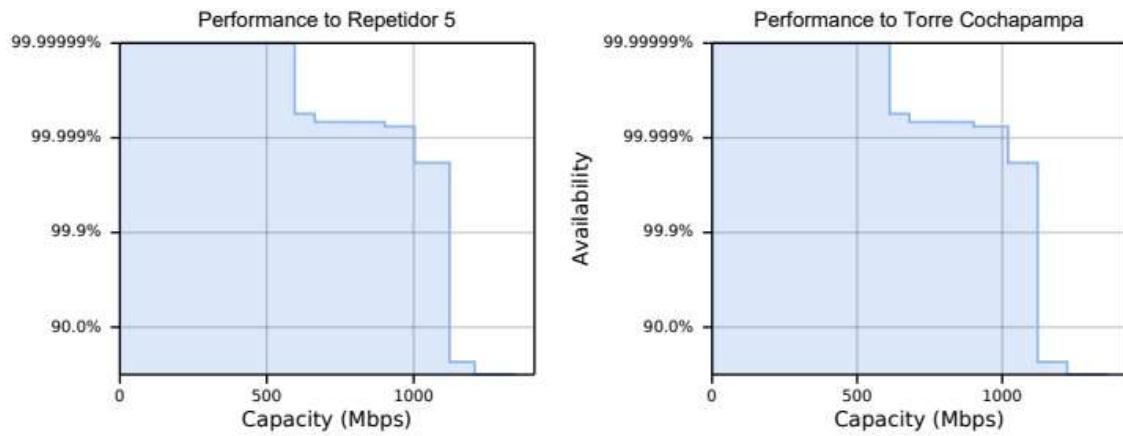


Fig. 56: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Cochapampa

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de San Lorenzo

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 300 Mbps, que incluye a una institución pública con una demanda adicional de 30 Mbps, totalizando una demanda de 330 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo

El radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo se sitúan a altitudes aproximadas de 3010 y 2840 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

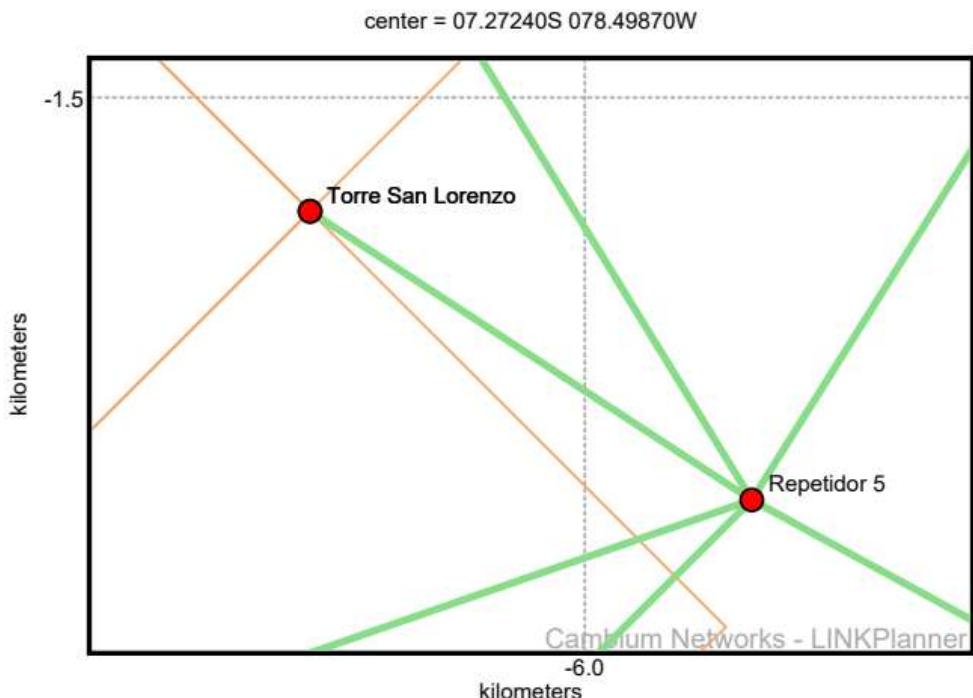


Fig. 57: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), garantizando una alta eficiencia espectral y maximización del rendimiento en enlaces de corta distancia dentro de la red troncal. Para este enlace se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) montadas a 25 metros de altura en ambos extremos, el cual el Repetidor 5 se configuro a una orientación de 244.37° y una inclinación descendente de -0.6° . En el extremo contrario, la Torre San Lorenzo se orientó a 64.37° con una inclinación positiva de 0.6° , lo que permite alinear los haces de transmisión.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 0.449 km, mostrando condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejadas, como se observa en la gráfica de elevación en la (Fig. 58). La primera zona de Fresnel se mantiene libre de obstrucciones, lo que favorece un desempeño estable y sin pérdidas adicionales por difracción. El análisis de propagación bajo el modelo ITU-R P.530-17 muestra condiciones geoclimáticas favorables, incluyendo un Fade Occurrence Factor (P0) extremadamente bajo de $1.58e-13$, un gradiente refractivo de -101.95 N/km, y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km. Sin embargo, se observa un Excess Path Loss de 23.66 dB, asociado a la inclinación del trayecto (372.08 mrad) y al comportamiento no ideal del terreno, lo que incrementa la pérdida total del enlace.

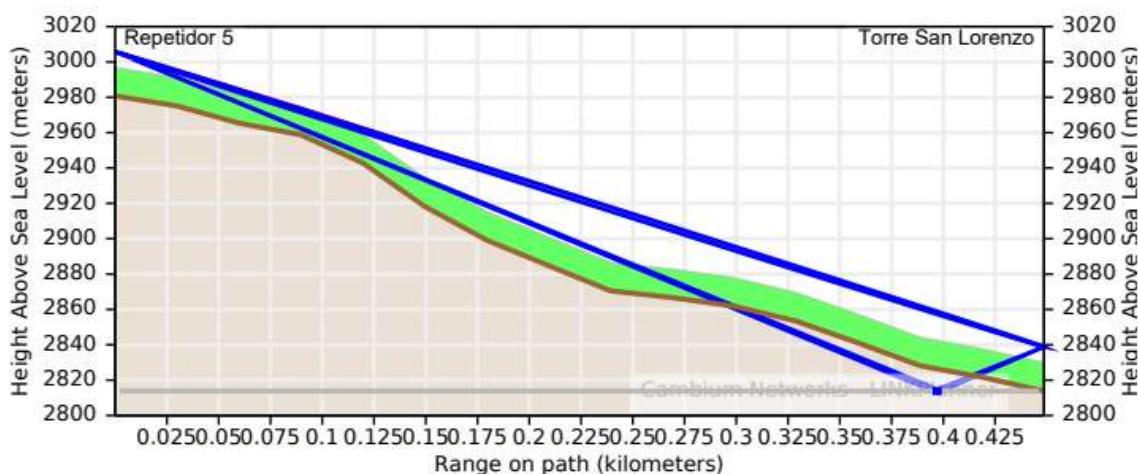


Fig. 58: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo

En cuanto al rendimiento, la simulación arrojó una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 125.77 dB, enfrentada a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, lo que genera un System Gain Margin de 27.63 dB, suficiente para garantizar operación estable durante todo el año. El throughput agregado alcanzó 1450.89 Mbps, con Mean IP de 720.37 Mbps hacia el Repetidor 5 y 730.52 Mbps hacia la Torre San Lorenzo, manteniendo una disponibilidad anual de 99.9999% como muestra la (Fig. 59) y una indisponibilidad aproximada de 9 segundos por año, lo cual indica un desempeño altamente confiable incluso con el exceso de pérdida mencionado.

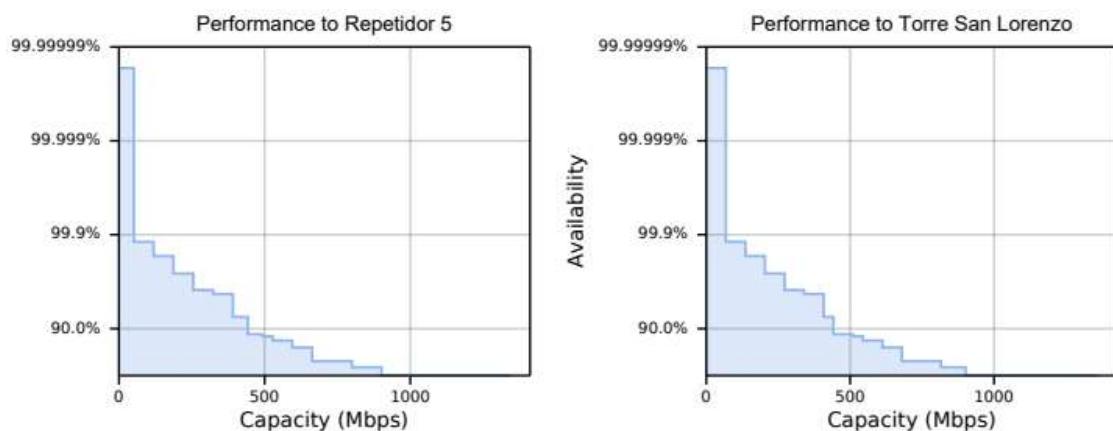


Fig. 59: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre San Lorenzo

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Número Ocho

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 500 Mbps, que incluye a 2 instituciones públicas con una demanda adicional de 60 Mbps, totalizando una demanda de 560 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho

El radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho se sitúan a altitudes aproximadas de 3010 y 3090 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

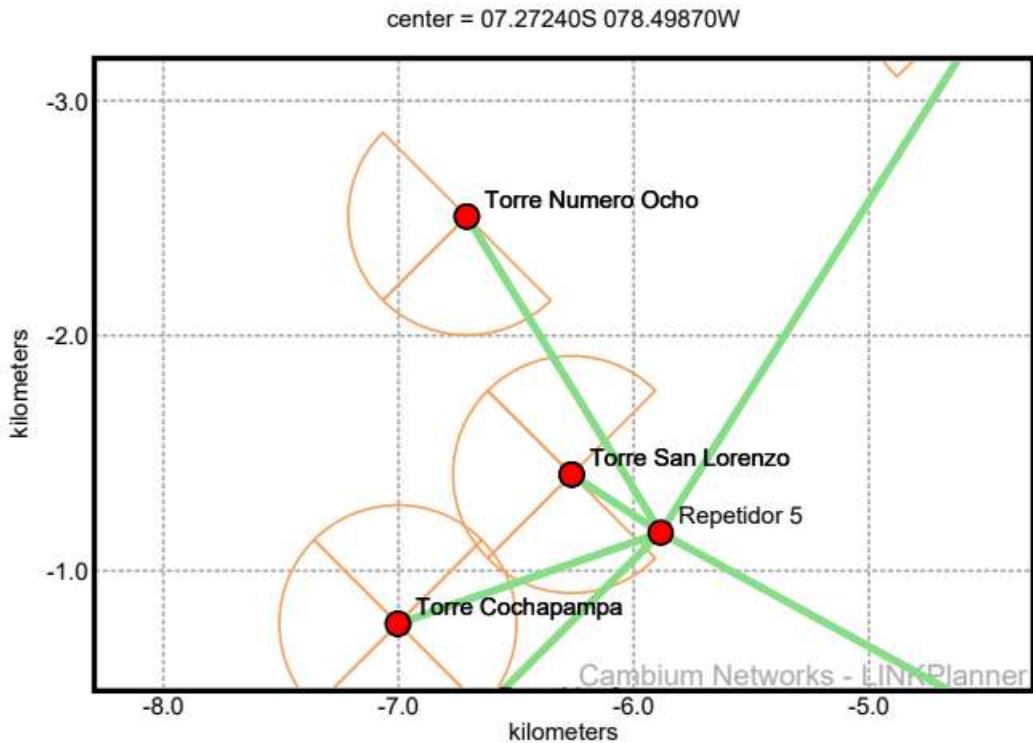


Fig. 60: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), lo cual permite maximizar la capacidad de transmisión manteniendo robustez ante variaciones del canal. En ambos extremos del enlace se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) montadas a 25 metros de altura en el Repetidor 5 y en la Torre Número Ocho, donde el Repetidor 5 se configuró a una orientación de 217.94° con una inclinación de -0.4° , mientras que la Torre Número Ocho presenta una inclinación de 0.4° y se orienta a 37.94° respecto al norte.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.564 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejada entre ambos puntos. La gráfica de elevación en la (Fig. 61) muestra una trayectoria libre de obstrucciones en la primera zona de Fresnel, lo cual se confirma con un Excess Path Loss de 0.00 dB según el modelo de propagación ITU-R P.530-17. Los factores atmosféricos —como un Fade Occurrence Factor (P_0) de $5.83e-11$, un gradiente refractivo de -101.82 N/km, pérdidas gaseosas mínimas (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km— aseguran un canal estable y de baja variabilidad.

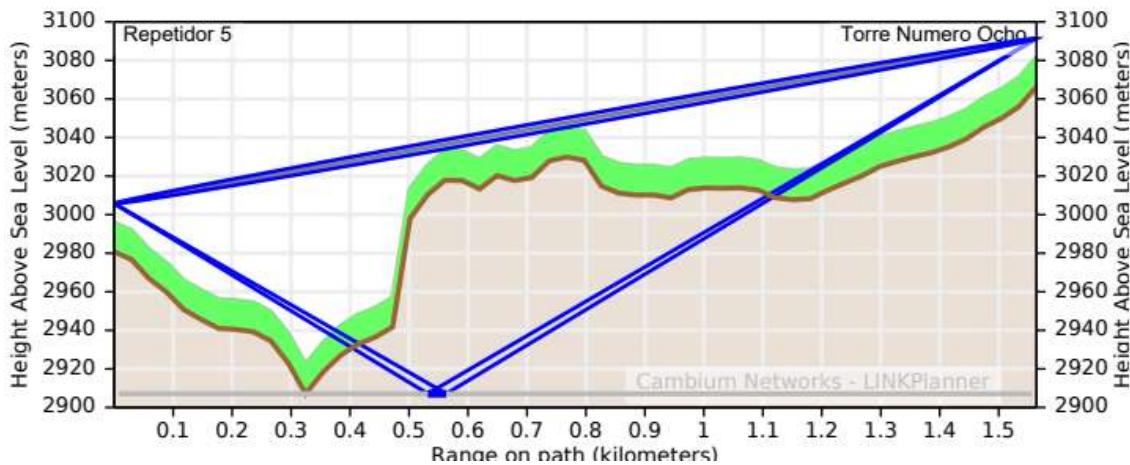


Fig. 61: Perfil del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho

En cuanto al rendimiento, la simulación arrojó una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 112.96 dB, frente a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, lo que genera un System Gain Margin de 40.44 dB, valor que garantiza una operación altamente estable incluso bajo condiciones de propagación adversas. El enlace logra un throughput agregado de 2244.45 Mbps, con Mean IP simétrico de 1122.23 Mbps hacia cada extremo, operando con una disponibilidad anual del 99.99999% como se muestra en la (Fig. 62). Estos resultados demuestran que el enlace entre Repetidor 5 y la Torre Número Ocho cumple ampliamente con los parámetros técnicos necesarios para redes de transporte inalámbricas de alta capacidad. Su amplio margen de ganancia, condiciones LOS óptimas, throughput superior a 2.2 Gbps y desempeño simétrico confirman un funcionamiento altamente robusto.

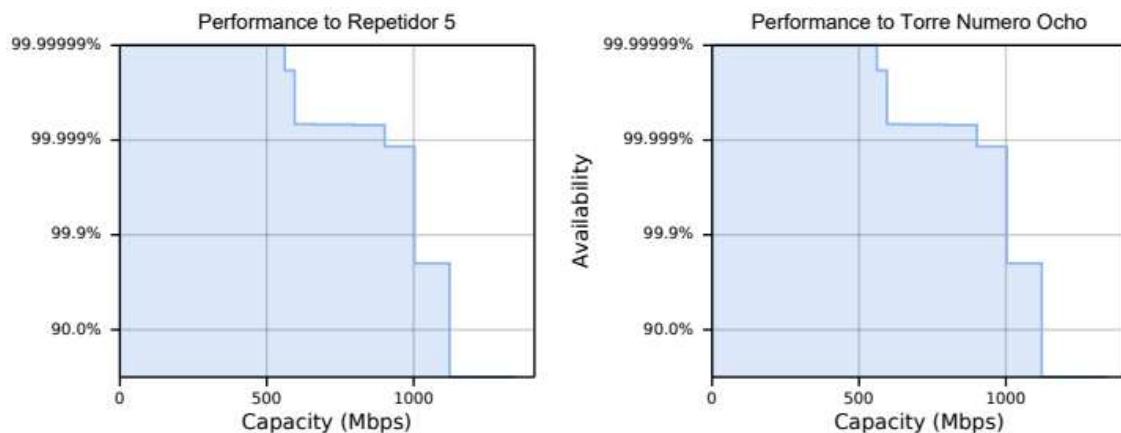


Fig. 62: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Número Ocho

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Capulipampa

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 330 Mbps, que incluye a 3 instituciones públicas con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 420 Mbps.

Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa

El radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa se sitúan a altitudes aproximadas de 3010 y 3160 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

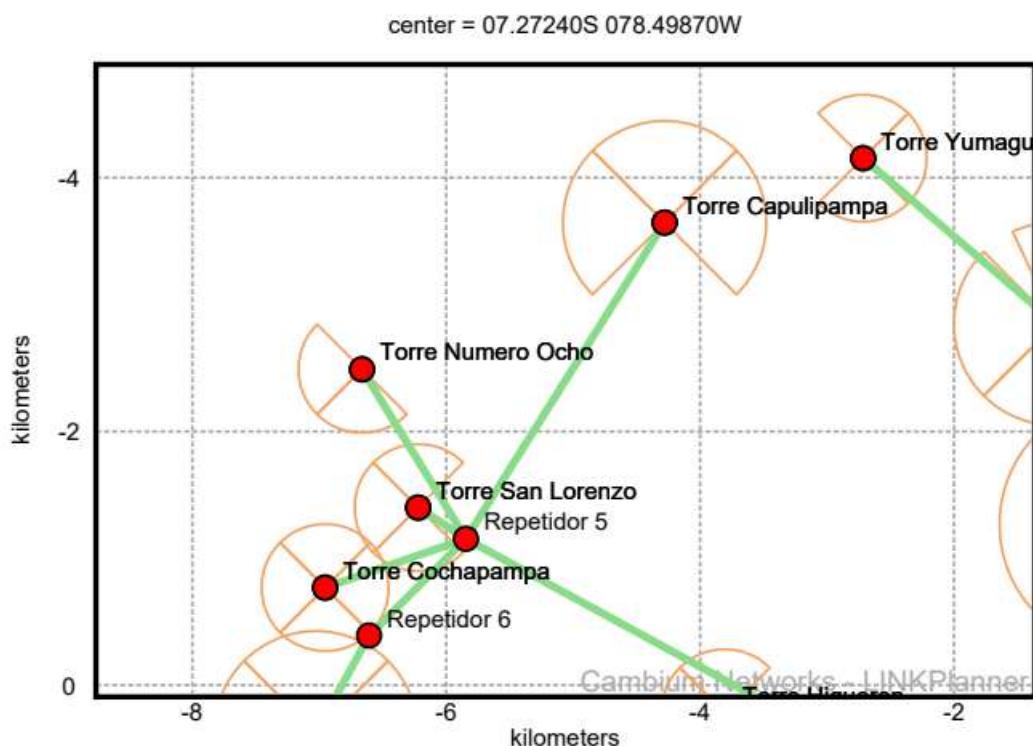


Fig. 63: Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), características orientadas a maximizar la eficiencia espectral y garantizar un desempeño estable en enlaces troncales de mediana distancia. Para este enlace se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021) montadas a 25 metros de altura tanto en el Repetidor 5 como en la Torre Capulipampa y el Repetidor 5 se orientó hacia 291.18° con una

inclinación de -0.5° , y la Torre Capulipampa se orienta a 111.18° presentando una inclinación ascendente de 0.5° , garantizando alineación correcta..

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 2.938 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejadas, como se observa en la gráfica de elevación incluida en la (Fig. 64). La trayectoria mantiene un despeje adecuado de la primera zona de Fresnel, asegurando propagación estable en todo el recorrido. El análisis bajo el modelo ITU-R P.530-17 confirma un comportamiento de canal favorable, respaldado por factores geoclimáticos como un Fade Occurrence Factor (P0) de $5.35e-10$, un gradiente refractivo de -101.53 N/km, pérdidas gaseosas insignificantes (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km. Asimismo, el reporte indica un Excess Path Loss de 0.00 dB, confirmando la ausencia de pérdidas adicionales por difracción u obstrucción.

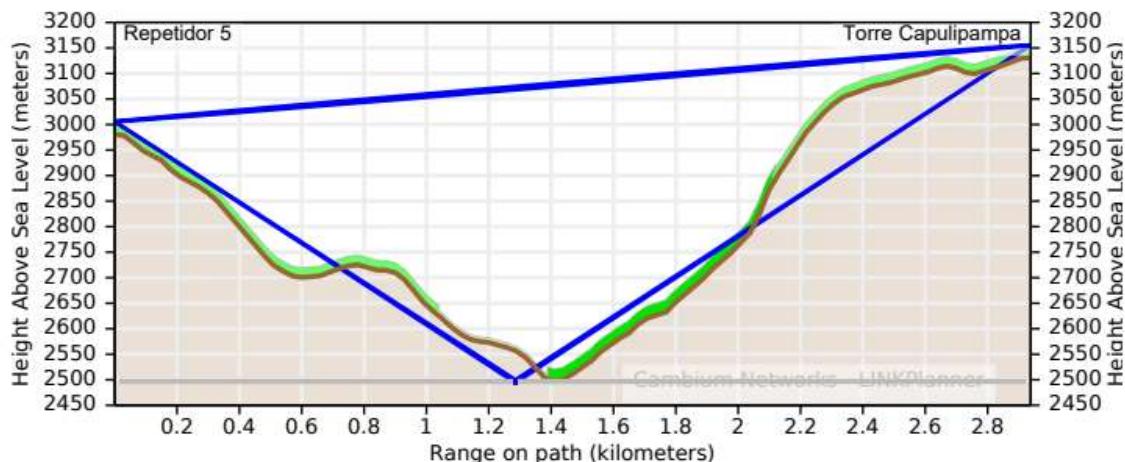


Fig. 64: Perfil de Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa

En cuanto al rendimiento, la simulación registró una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 118.44 dB, contrastada con una ganancia total del sistema de 157.10 dB, lo que genera un System Gain Margin de 38.66 dB, suficiente para garantizar la operación estable del enlace durante todo el año. El throughput agregado alcanza 1112.26 Mbps, distribuido con 551.27 Mbps hacia el Repetidor 5 y 560.98 Mbps hacia la Torre Capulipampa, manteniendo una disponibilidad anual del 99.99999% tal como se muestra en la (Fig. 65), lo que evidencia un desempeño altamente confiable incluso bajo condiciones atmosféricas adversas.

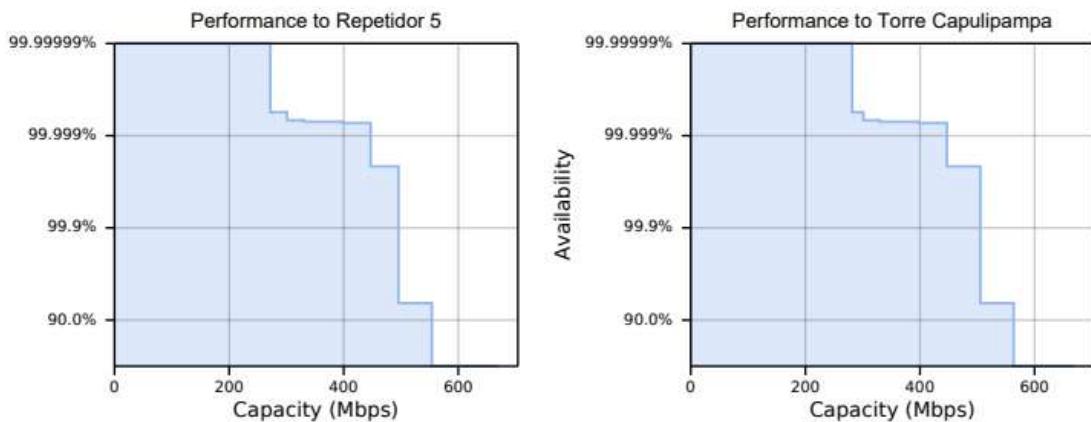


Fig. 65: Disponibilidad del Radioenlace entre Repetidor 5 y Torre Capulipampa

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en las localidades de Agua Blanca, Pueblo Nuevo, Pueblo Libre y Nueva Victoria

Para la cantidad de población en esas localidades se identificó una demanda de throughput de 1660 Mbps, que incluye a 6 instituciones públicas con una demanda adicional de 180 Mbps, totalizando una demanda de 1840 Mbps.

Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo

El radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo se sitúan a altitudes aproximadas de 2350 y 2730 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

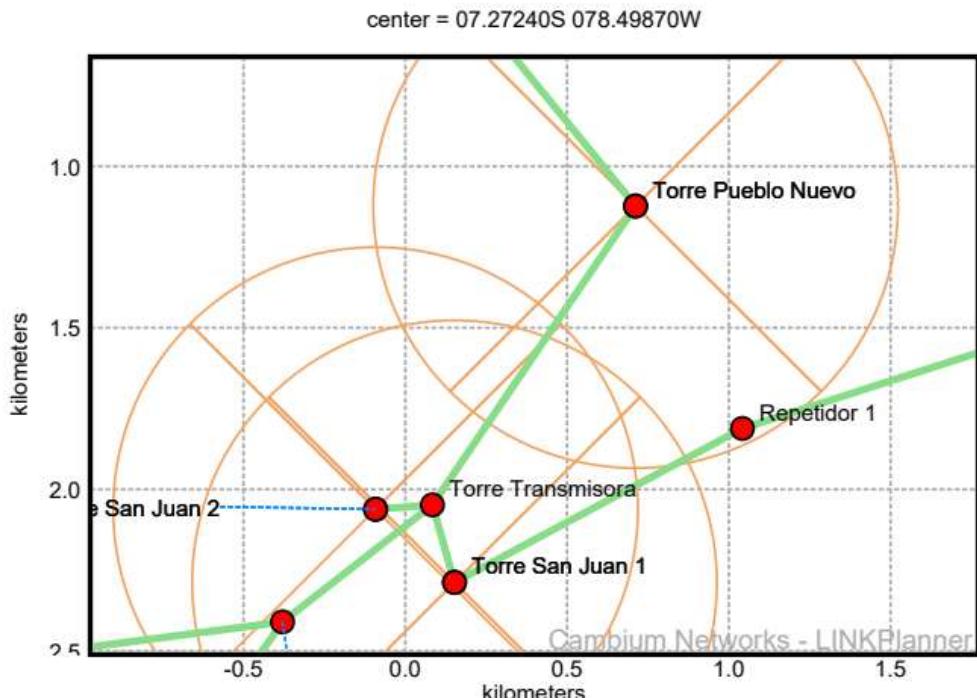


Fig. 66: Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), con el objetivo de maximizar la capacidad agregada del enlace. Para este tramo se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), montadas a 30 metros de altura en la Torre Transmisora y 15 metros en la Torre Pueblo Nuevo, donde la Torre Transmisora se configuró a una orientación de 199.45° con una inclinación de -0.6° , mientras que la Torre Pueblo Nuevo se orienta hacia 19.45° con una inclinación ascendente de 0.6° , manteniendo el enlace alineado.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.103 km, con un trazado clasificado como línea de vista (LOS) completamente despejada, tal como se observa en la gráfica en la (Fig. 67). La primera zona de Fresnel se mantiene libre de obstrucciones, lo que favorece un canal radioeléctrico altamente estable. Según el modelo ITU-R P.530-17, los factores climáticos y atmosféricos del trayecto resultan favorables: el enlace presenta un Fade Occurrence Factor (P0) de $8.51e-12$, un gradiente refractivo de -101.94 N/km, pérdidas gaseosas despreciables (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km. Asimismo, el reporte confirma un Excess Path Loss de 0.00 dB, indicando la inexistencia de pérdidas adicionales por difracción o irregularidades topográficas.

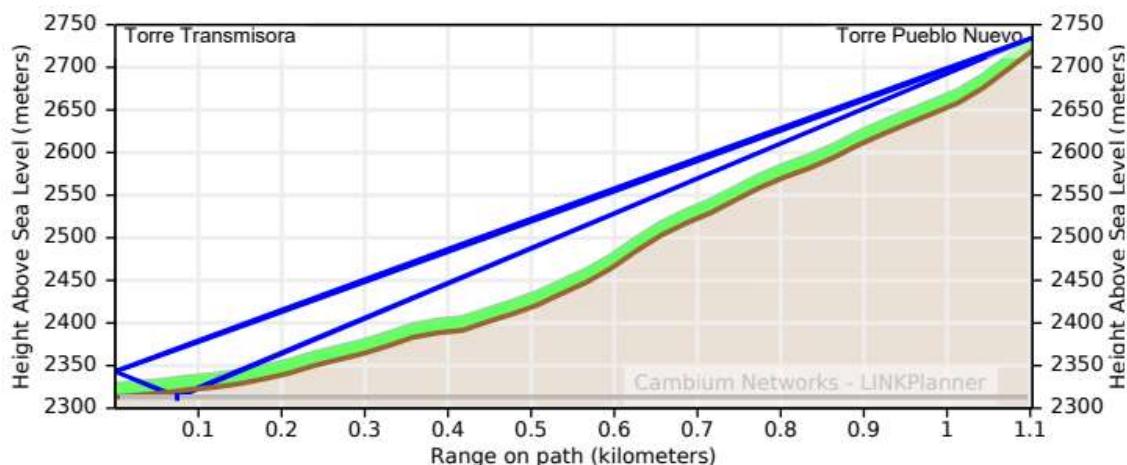


Fig. 67: Perfil de Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo

En cuanto al rendimiento, la simulación arrojó una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 109.92 dB, frente a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, produciendo un System Gain Margin de 43.48 dB, valor ampliamente suficiente

para sostener el enlace con alta confiabilidad. El throughput agregado alcanza 2361.60 Mbps, con Mean IP de 1175.46 Mbps hacia la Torre Transmisora y 1186.13 Mbps hacia la Torre Pueblo Nuevo, manteniendo una disponibilidad anual del 99.99999% tal como se puede apreciar en la (Fig. 68). Estos resultados demuestran que el enlace entre la Torre Transmisora y la Torre Pueblo Nuevo cumple ampliamente con los parámetros técnicos establecidos para redes de transporte inalámbricas de alta capacidad. La combinación de un margen de ganancia sólido, un perfil LOS impecable, y una capacidad agregada superior a 2.3 Gbps garantiza un desempeño óptimo.

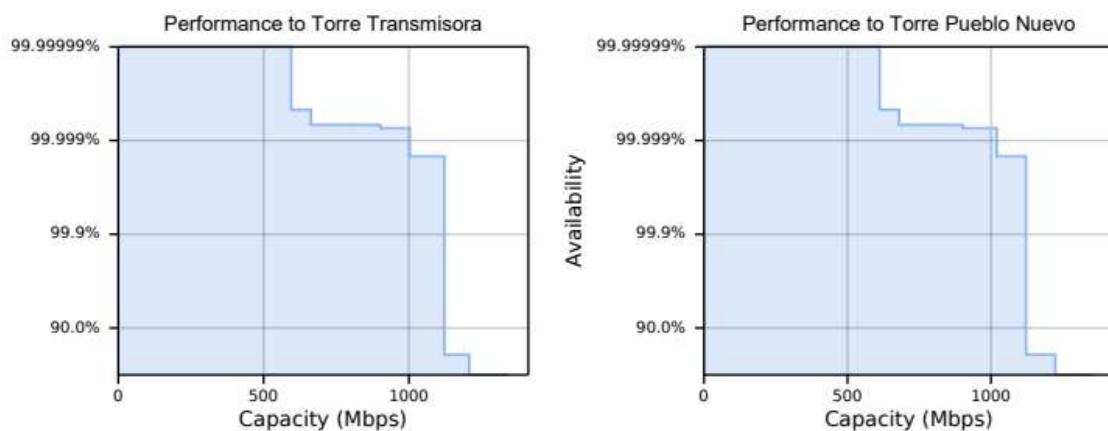


Fig. 68: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Transmisora y Torre Pueblo Nuevo

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de la Laguna

Para la cantidad de población en esa localidad se identificó una demanda de throughput de 450 Mbps, que incluye a 3 instituciones públicas con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 540 Mbps.

Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre la Laguna

El radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre la Laguna se sitúan a altitudes aproximadas de 2730 y 3150 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

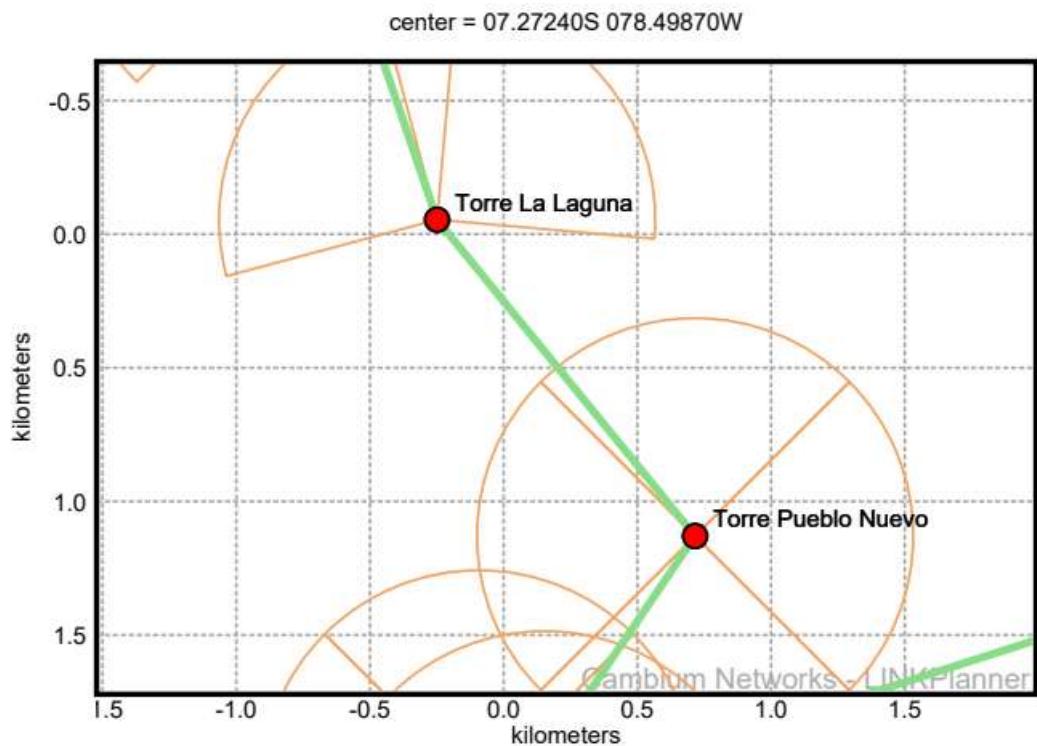


Fig. 69: Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre la Laguna

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, con un ancho de banda de 160 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual). Para ambos extremos del enlace se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), montadas a 15 metros de altura en Torre Pueblo Nuevo y 20 metros en Torre La Laguna, donde la Torre Pueblo Nuevo se configuró con una orientación de 330.76° y una inclinación de -0.4°, mientras que la Torre La Laguna se orientó a 150.76° y una inclinación ascendente de 0.4°, completando el alineamiento requerido.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.498 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejadas, como se observa en la gráfica altimétrica de la (Fig. 70). La primera zona de Fresnel se mantiene sin obstrucciones, garantizando un canal radioeléctrico estable. El análisis bajo el estándar ITU-R P.530-17 confirma que el trayecto presenta un comportamiento favorable, con factores geoclimáticos adecuados: un Fade Occurrence Factor (P0) de 1.59e-11, un gradiente refractivo de -101.69 N/km, pérdidas gaseosas mínimas (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km. Además, el enlace

presenta un Excess Path Loss de 0.00 dB, lo que indica ausencia de pérdidas adicionales por difracción o irregularidades del terreno.

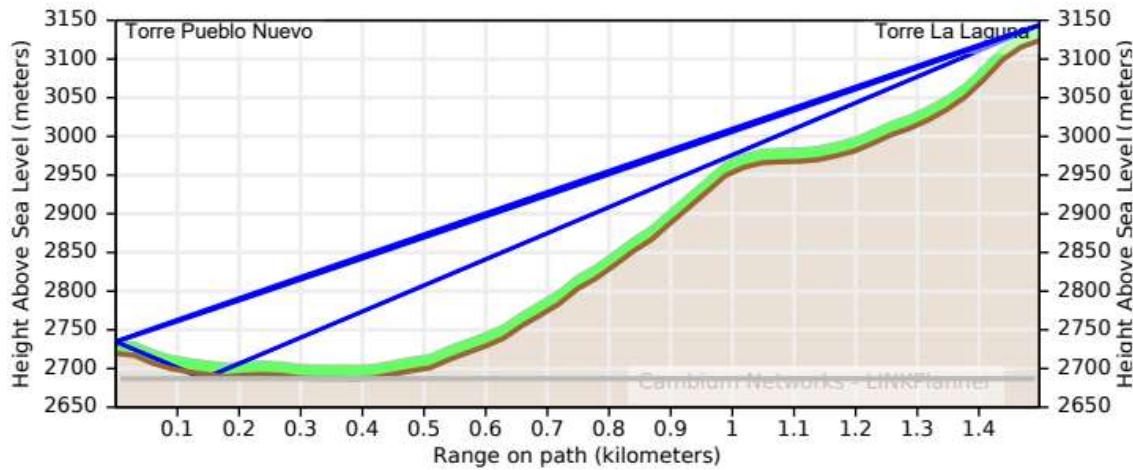


Fig. 70: Perfil de Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre La Laguna

En cuanto al rendimiento, la simulación registra una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 112.58 dB, frente a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, obteniendo un System Gain Margin de 40.82 dB, suficiente para asegurar un funcionamiento estable y confiable durante todo el año. El throughput agregado alcanza 2246.01 Mbps, con un Mean IP de 1003.79 Mbps hacia Torre Pueblo Nuevo y 1242.22 Mbps hacia Torre La Laguna, manteniendo una disponibilidad anual de 99.99999%. Estos resultados demuestran que el enlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre La Laguna cumple ampliamente con los parámetros técnicos requeridos en una red inalámbrica de transporte de alta capacidad. Gracias a su óptimo margen de ganancia, su trayectoria LOS despejada y su capacidad superior a 2.2 Gbps.

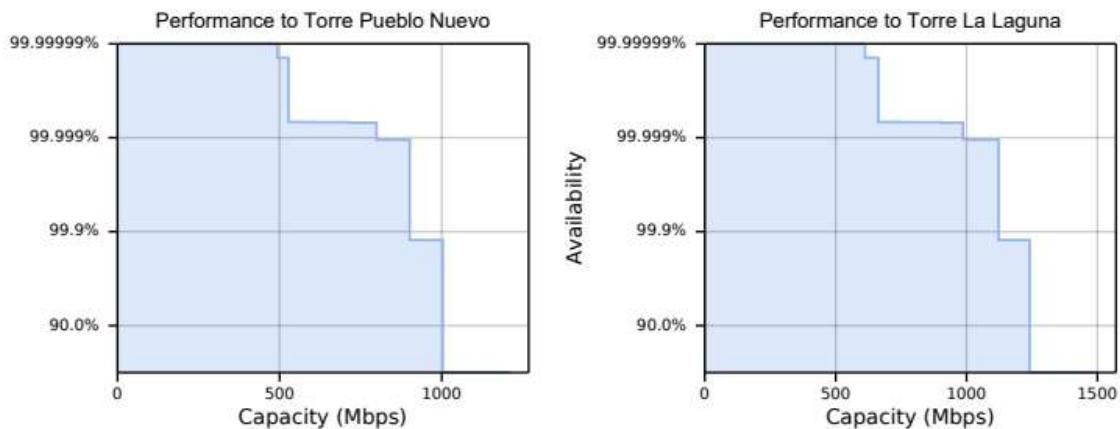


Fig. 71: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Pueblo Nuevo y Torre La Laguna

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en las localidades de Chusac y Yumagual Bajo

Para la cantidad de población en esas localidades se identificó una demanda de throughput de 320 Mbps, que incluye a una institución pública con una demanda adicional de 30 Mbps, totalizando una demanda de 350 Mbps.

Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo

El radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo se sitúan a altitudes aproximadas de 3150 y 3100 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

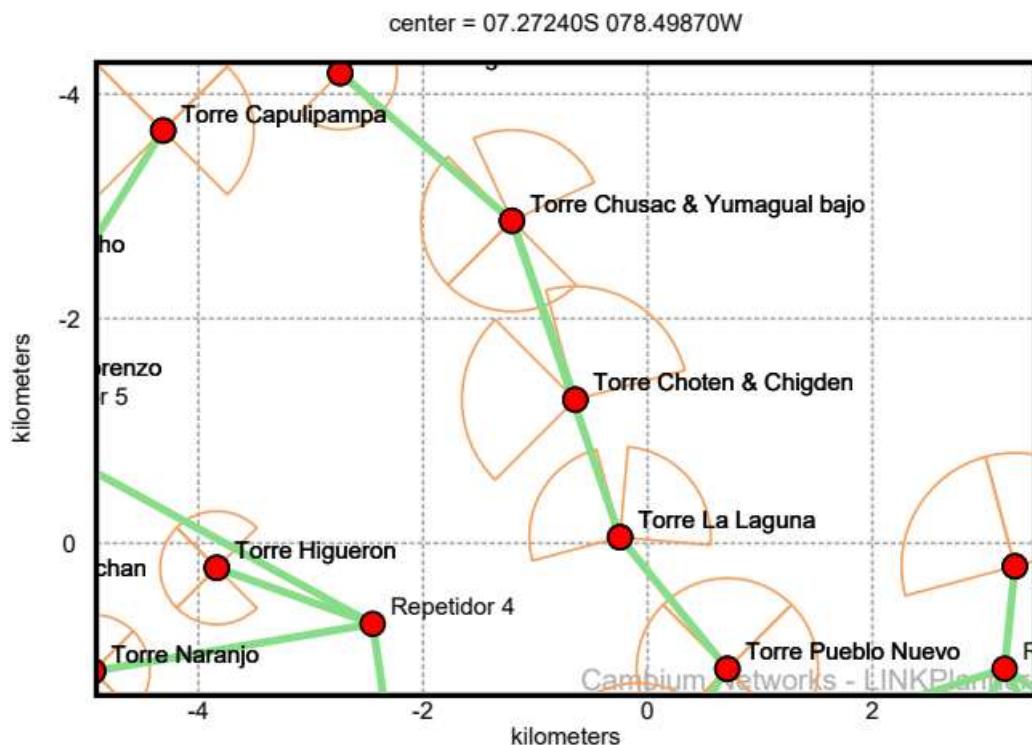


Fig. 72: Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), lo que permite mantener una alta eficiencia espectral y robustez en enlaces de mediana distancia. Para ambos extremos se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), montadas a 20 metros de altura en Torre La Laguna y 15 metros en Torre Chusac & Yumagual Bajo, donde Torre La Laguna se orientó a 347.46° con una inclinación de -0.3°,

y en Torre Chusac&YumagualBajo con una inclinación de 0.3° y se orientó en 167.46° .

El perfil del enlace presenta una distancia total de 2.950 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejada, tal como se observa en la gráfica de elevación en la (Fig. 73). La primera zona de Fresnel se mantiene libre de obstrucciones a lo largo de todo el trayecto, garantizando un canal radioeléctrico estable. Los parámetros atmosféricos modelados bajo el estándar ITU-R P.530-17 indican condiciones de propagación favorables, incluyendo un Fade Occurrence Factor (P_0) de $1.80\text{e-}09$, un gradiente refractivo de -101.29 N/km , pérdidas gaseosas insignificantes (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km. Además, el enlace presenta un Excess Path Loss de 0.00 dB, lo que confirma la ausencia de pérdidas adicionales por difracción o irregularidades del terreno.

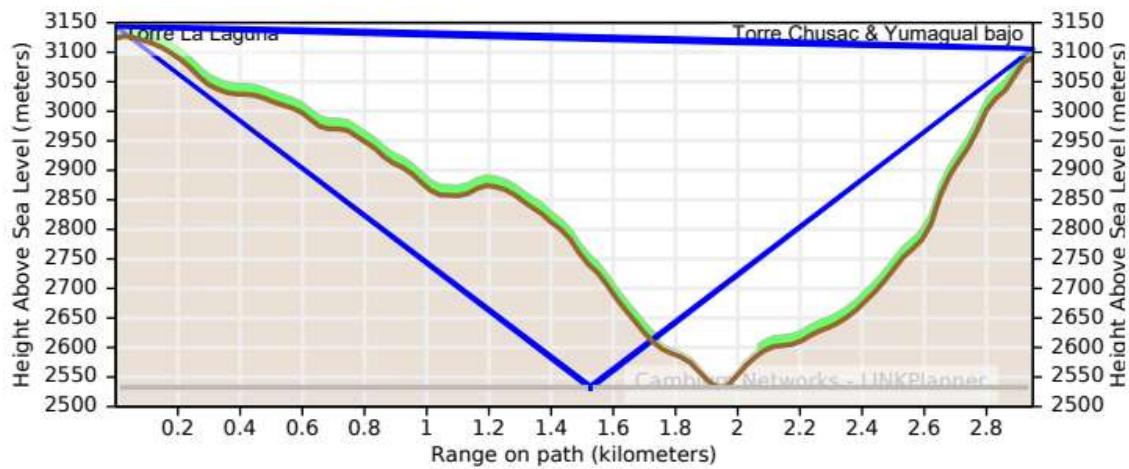


Fig. 73: Perfil de Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo

En cuanto al rendimiento, la simulación arroja una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 118.48 dB, frente a una ganancia total del sistema de 157.10 dB, lo que resulta en un System Gain Margin de 38.62 dB, margen suficiente para garantizar estabilidad y confiabilidad operativa durante todo el año. El enlace alcanza un throughput agregado de 1112.09 Mbps, con Mean IP de 551.19 Mbps hacia Torre La Laguna y 560.90 Mbps hacia Torre Chusac & Yumagual Bajo, manteniendo una disponibilidad anual del 99.99999% como se puede ver en la (Fig. 74). Estos resultados demuestran que el enlace entre Torre La Laguna y Torre Chusac & Yumagual Bajo cumple ampliamente con los parámetros técnicos requeridos para redes inalámbricas de transporte de alta capacidad.

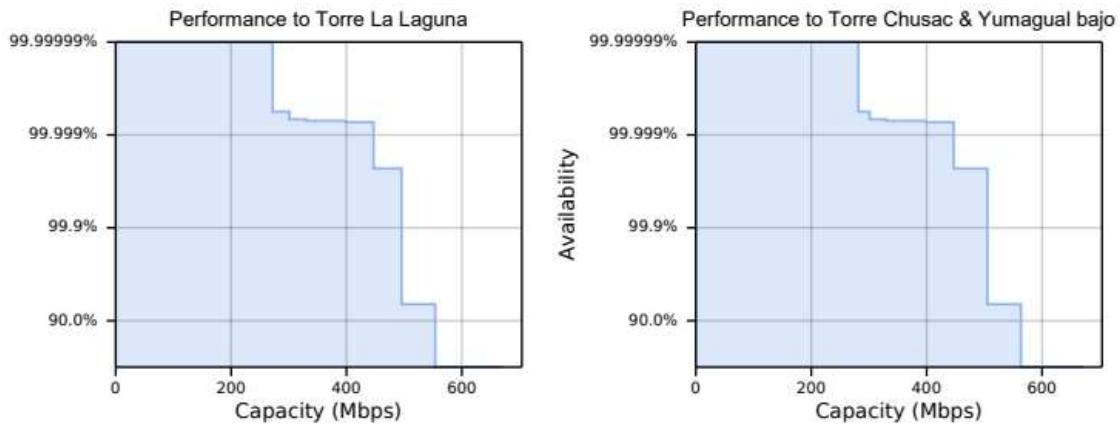


Fig. 74: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre la Laguna y Torre Chusac&YumagualBajo

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en las localidades de Choten y Chigden

Para la cantidad de población en esas localidades se identificó una demanda de throughput de 320 Mbps, que incluye a una institución pública con una demanda adicional de 30 Mbps, totalizando una demanda de 350 Mbps.

Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden

El radioenlace entre Torre Chusac & Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden se sitúan a altitudes aproximadas de 3100 y 2870 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

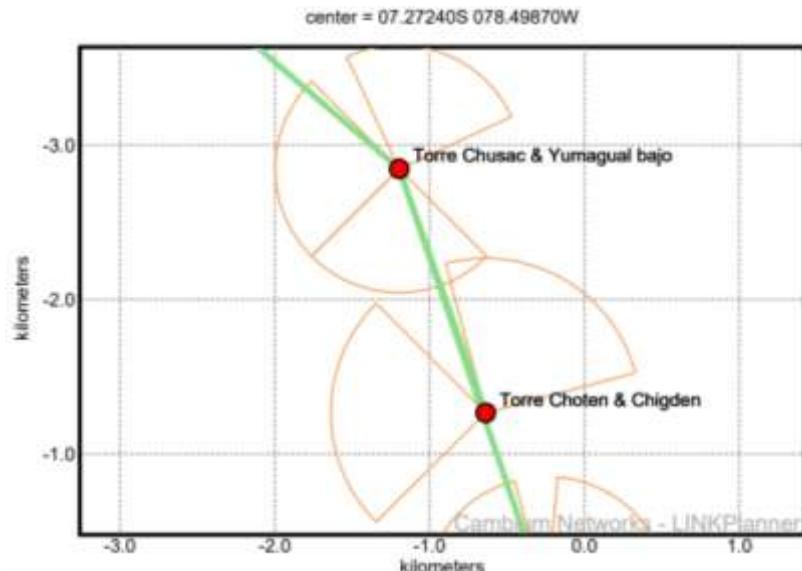


Fig. 75: Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho

de banda de 160 MHz, un modo de modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), con el fin de maximizar la capacidad del enlace manteniendo eficiencia espectral y robustez ante variaciones del canal. En ambos extremos se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), montadas a 15 metros de altura en Torre Chusac&Yumagual Bajo y 20 metros en Torre Choten&Chigden, donde la Torre Chusac&Yumagual Bajo se configuró con una orientación a 41.63° y una inclinación de -0.5° , mientras que en la Torre Choten&Chigden se orientó a 221.63° y una inclinación ascendente de 0.5° .

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.674 km, con condiciones de línea de vista (LOS) completamente despejada a lo largo de la trayectoria, como se observa en la gráfica de elevación en la (Fig. 76). La primera zona de Fresnel se mantiene libre de obstrucciones, lo cual es corroborado por un Excess Path Loss de 0.00 dB. Bajo el modelo ITU-R P.530-17, los parámetros climáticos del trayecto son altamente favorables, destacando un Fade Occurrence Factor (P_0) de $3.64e-11$, un gradiente refractivo de -101.16 N/km, pérdidas gaseosas insignificantes (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km, valores que confirman un canal de propagación estable y con mínima variación.

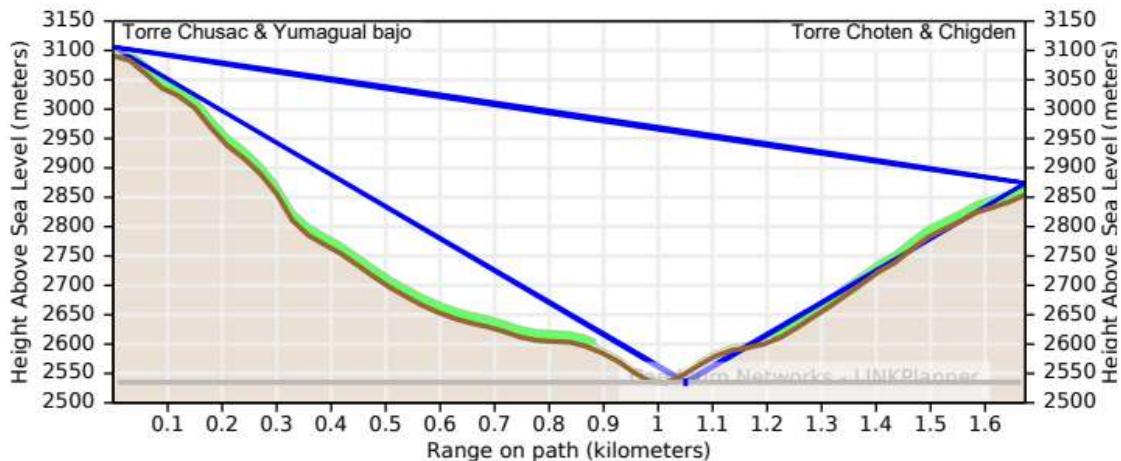


Fig. 76: Perfil de Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden

En cuanto al rendimiento, la simulación arroja una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 113.55 dB, frente a una ganancia total del sistema de 153.40 dB, obteniendo un System Gain Margin de 39.85 dB, margen más que suficiente para garantizar un funcionamiento estable del enlace durante todo el año. El throughput agregado alcanza 2242.08 Mbps, con Mean IP de 1121.04 Mbps hacia cada extremo, logrando un desempeño completamente simétrico. La

disponibilidad anual del enlace es de 99.99999% tal como muestra la (Fig. 77), lo que evidencia la alta confiabilidad operativa del sistema incluso bajo condiciones meteorológicas adversas.

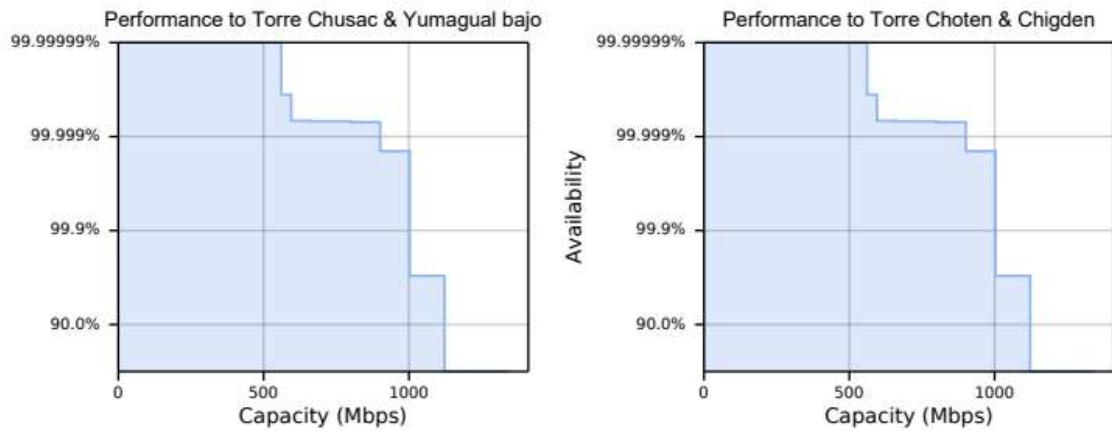


Fig. 77: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Choten&Chigden

Radioenlace para alcanzar el ancho de banda estimado en la localidad de Yumagual Alto

Para la cantidad de población en esas localidades se identificó una demanda de throughput de 660 Mbps, que incluye a 3 institución pública con una demanda adicional de 90 Mbps, totalizando una demanda de 750 Mbps.

Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto

El radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto se sitúan a altitudes aproximadas de 2100 y 3075 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

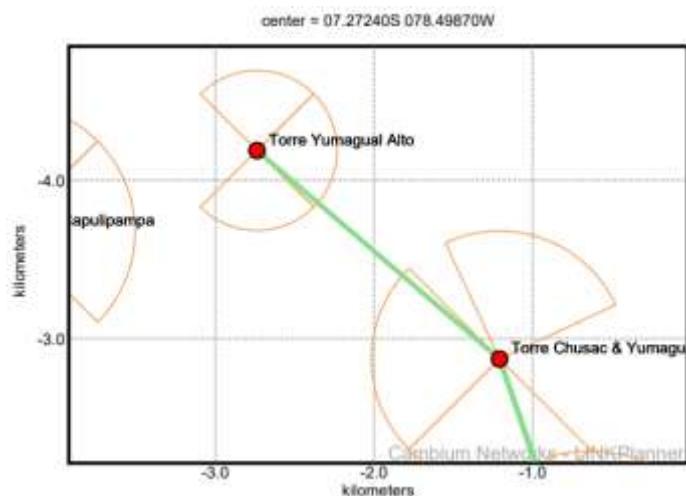


Fig. 78: Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600L (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 80 MHz, una modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), y un tamaño de trama de 1518 Bytes, parámetros que permiten maximizar la eficiencia espectral y garantizar un rendimiento estable para enlaces de media distancia. En ambos extremos se instalaron antenas parabólicas Cambium Networks 1 ft ePMP 6 GHz 2x2 Dish (C060900D021), montadas a 20 metros en Torre Chusac & Yumagual Bajo y 15 metros en Torre Yumagual Alto, por otro lado, la Torre Chusac&YumagualBajo se configuró a una orientación de 359.47° con una inclinación de –0.4°. En respuesta, la antena de Torre Yumagual Alto se orientó a 179.47° con una inclinación positiva de 0.4°, cerrando la alineación del enlace.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 1.997 km, con línea de vista (LOS) completamente despejada entre ambos puntos, lo cual se aprecia claramente en la gráfica altimétrica de la (Fig. 79). La primera zona de Fresnel se encuentra libre de obstrucciones en todo el trayecto, lo que se confirma mediante un Excess Path Loss de 0.00 dB, indicando que no existen pérdidas adicionales por difracción. El análisis de propagación realizado bajo el modelo ITU-R P.530-17 muestra condiciones atmosféricas favorables, destacando un Fade Occurrence Factor (P0) de 3.52e-10, un gradiente refractivo de –100.89 N/km, pérdidas gaseosas insignificantes (0.01 dB) y una atenuación por lluvia de 0.23 dB/km, lo que garantiza un canal estable incluso ante variables climáticas.

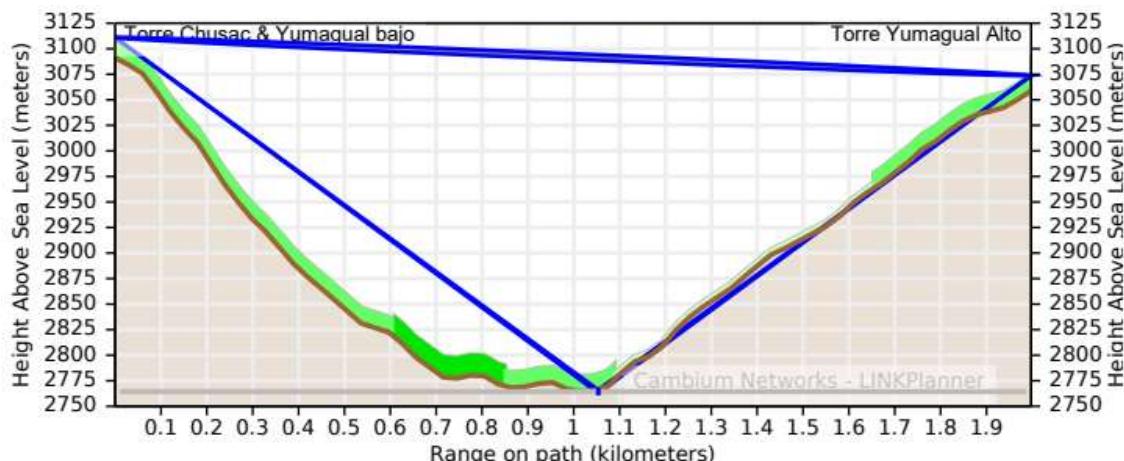


Fig. 79: Perfil de Radioenlace entre Torre Chusac & Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto

En cuanto al rendimiento, la simulación arroja una pérdida total de trayecto (Total Path Loss) de 115.09 dB, frente a una ganancia total del sistema de 157.10 dB, lo que resulta en un System Gain Margin de 42.01 dB, margen suficiente para asegurar estabilidad operativa durante todo el año. El throughput agregado alcanza 1147.71 Mbps, con Mean IP de 570.69 Mbps hacia Torre Chusac&Yumagual Bajo y 577.02 Mbps hacia Torre Yumagual Alto. La disponibilidad anual del enlace es de 99.99999%, confirmando un comportamiento altamente confiable.

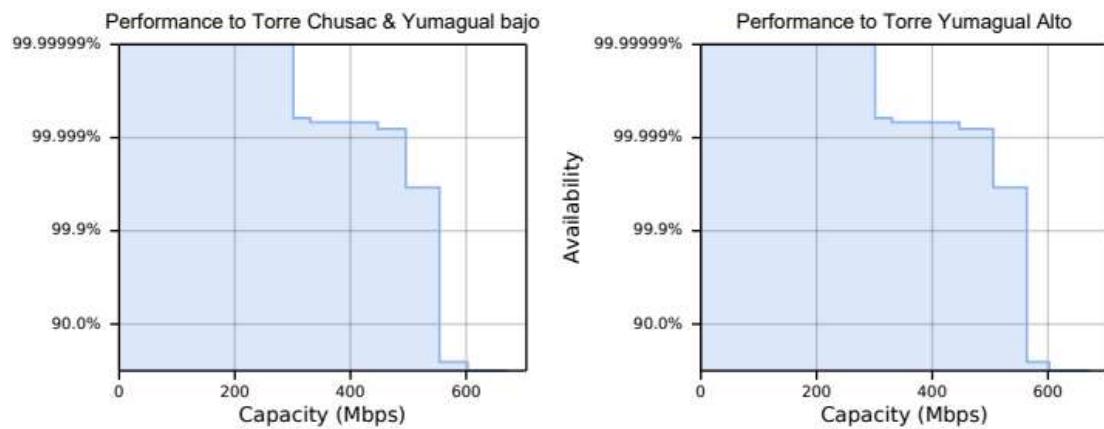


Fig. 80: Disponibilidad del Radioenlace entre Torre Chusac&Yumagual Bajo y Torre Yumagual Alto

Mapa de cobertura de hogares en las localidades del distrito

El diseño adecuado de la red de transporte resulta fundamental para asegurar una conectividad estable y de alto rendimiento en los diversos centros poblados del distrito de San Juan, pues se ajusta a las necesidades de ancho de banda de la mayoría de los hogares. La (Fig. 81) presenta la cobertura estimada en todo el distrito, en el contexto del diseño de la red de telecomunicaciones basada en radioenlaces, mostrando de manera precisa la distribución de los puntos de acceso y el alcance de cada uno sobre el territorio.

Cada uno de los sectores sombreados en color naranja representa el área de cobertura estimada de los puntos de acceso inalámbrico instalados en las torres distribuidas a lo largo del distrito. Estas zonas fueron definidas considerando la dispersión geográfica de los hogares, la altura de instalación, el tipo de antena

sectorial, la potencia de transmisión y la morfología del terreno, factores que determinan el alcance real de cada celda de cobertura bajo condiciones de línea de vista directa (LoS) o parcialmente obstruida.

Los hogares proyectados como beneficiarios dentro de cada área de cobertura están identificados con marcadores azules, los cuales muestran una distribución dispersa y heterogénea en los diferentes centros poblados del distrito. Por otra parte, las líneas verdes que conectan las distintas torres corresponden a la proyección de los enlaces punto a punto (PTP), tanto troncales como secundarios, los cuales conforman la infraestructura de transporte encargada de garantizar la conectividad entre los nodos principales, repetidores y puntos de distribución.

En conjunto, la red planteada permite cubrir un número significativo de viviendas rurales pertenecientes a múltiples caseríos del distrito, abarcando localidades como Chusac, Yumagual Bajo, Choten, La Laguna, Huar Huar, Huacraruco, San Lorenzo, Cochapampa, Número Ocho, Naranjo, Tingo, Quivinchán, Ogoriz, Aranmarca, entre otras. La distribución espacial de estas zonas evidencia un diseño orientado a maximizar la cobertura efectiva en áreas de difícil acceso, optimizando la ubicación de torres y repetidores para superar barreras geográficas propias de la zona andina. Este esquema permite cubrir áreas amplias y dispersas, manteniendo la calidad del servicio y garantizando un nivel adecuado de conectividad para la mayoría de viviendas del distrito.

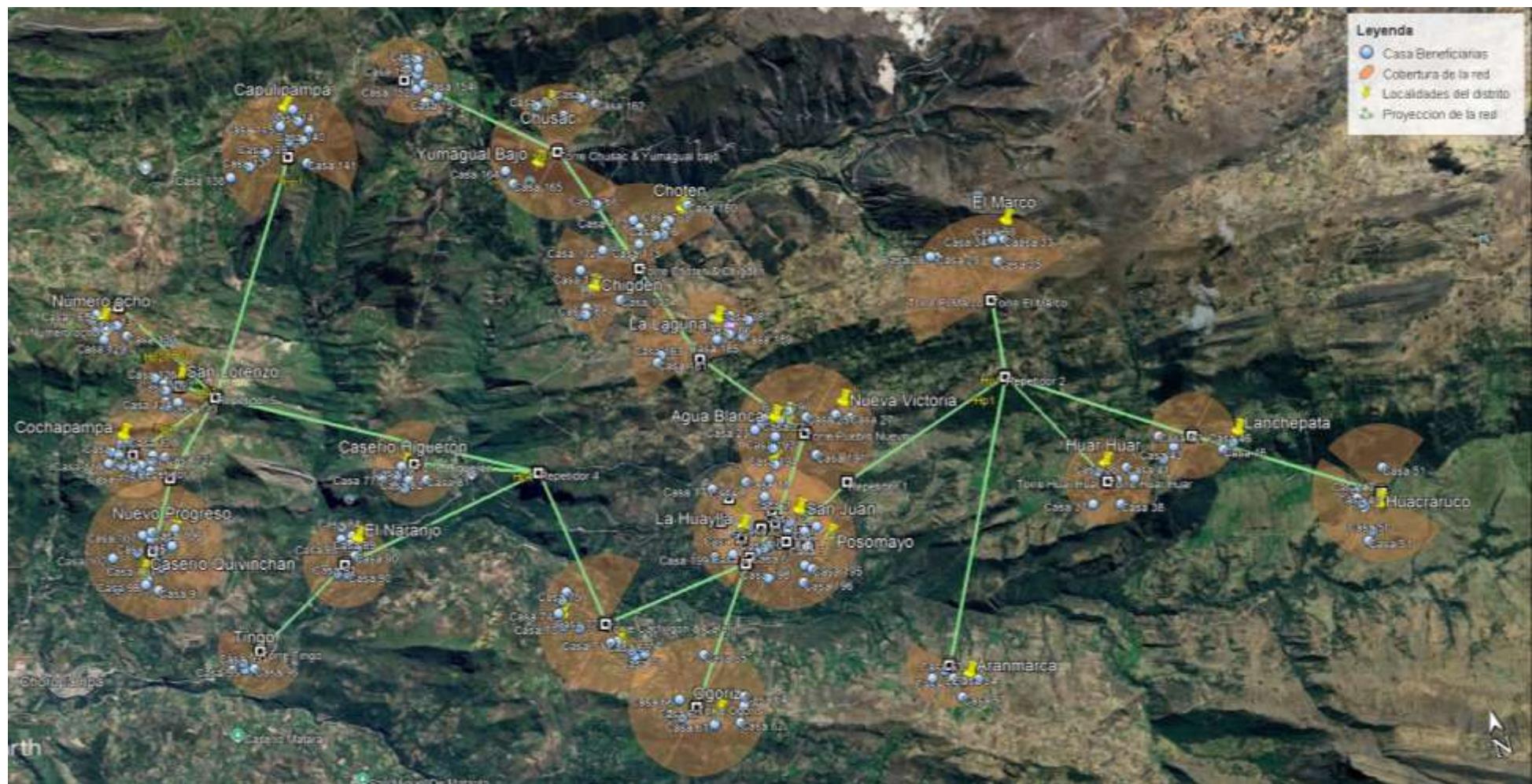


Fig. 81: Mapa de cobertura de la red de acceso a internet y hogares beneficiarios de las localidades del distrito de San Juan

A continuación, se muestra algunos perfiles de los accesos de los beneficiarios en la capital de distrito.

Torre San Juan 1 y Casa1

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600 (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, una relación DL/UL de 55/45, y un modo de modulación Adaptive MCS, optimizado para ofrecer alta capacidad en un entorno de acceso domiciliario. En el extremo suscriptor se instaló un ePMP Force 4625, un equipo diseñado para enlaces de corta distancia con soporte para modulación 1024-QAM, mientras que el Access Point (AP) ubicado en Torre San Juan 1:1 utiliza antena sectorial integrada.

El perfil del enlace evidencia una distancia total de 0.019 km (19 metros), clasificada como línea de vista (LOS) en el reporte general. La gráfica altimétrica de la (Fig. 82) muestra un despeje total de la primera zona de Fresnel.

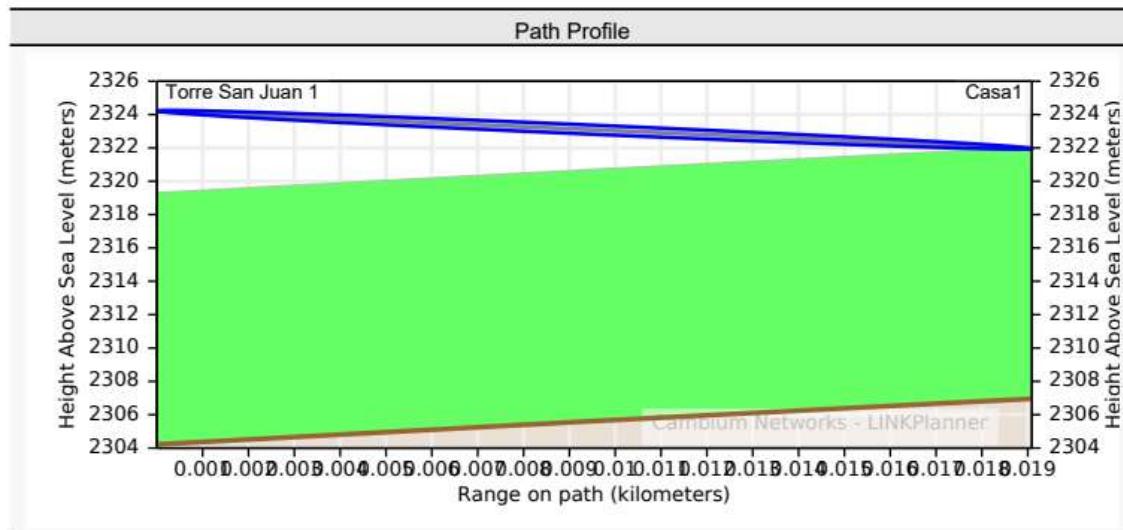


Fig. 82: Perfil entre Torre San Juan 1 y Casa1

En cuanto al rendimiento, la simulación muestra un desempeño sobresaliente, ya que indica que el enlace opera predominantemente en MCS11 (1024-QAM 0.83 Dual) tanto en sentido ascendente como descendente, alcanzando fade margins superiores a 14 dB en el AP y mayores a 36 dB en el SM, lo que garantiza un funcionamiento robusto incluso ante variaciones de señal. El

throughput máximo para un solo SM es de 527.90 Mbps hacia Casa1 y 1732.97 Mbps hacia el AP, cifras que reflejan el excelente comportamiento del enlace gracias a la modulación avanzada y la relación DL/UL seleccionada. La disponibilidad anual estimada es de 100.0000 %, calculada mediante el modelo ITU-R P.530-17, demostrando una operación continua e ininterrumpida.

Torre San Juan 1 y Casa2

En este escenario se utilizó el equipo Cambium Networks ePMP 4600 (preliminary) operando en la banda superior de 6 GHz, configurado con un ancho de banda de 160 MHz, una relación DL/UL de 75/25, y un modo de modulación Adaptive MCS, optimizado para maximizar el rendimiento en enlaces de corto alcance orientados a acceso domiciliario. El punto de acceso (AP) ubicado en Torre San Juan 1 : 3 opera con una antena integrada del ePMP 4600, mientras que en el extremo suscriptor se instaló un ePMP Force 4625, diseñado para enlaces de alta densidad y modulación avanzada.

El perfil del enlace evidencia una distancia extremadamente corta de 0.014 km (14 metros), con línea de vista (LOS) completamente despejada, según se muestra en la gráfica altimétrica de la (Fig.83). La primera zona de Fresnel presenta un despeje total, con un valor de 1.0 metro, suficiente para garantizar un canal radioeléctrico sin obstrucciones. El modelo de propagación utilizado, ITU-R P.530-17, confirma que el enlace carece de pérdidas anómalas, con un Excess Path Loss de 0.00 dB. La pérdida por espacio libre registrada es de 71.79 dB, acorde a un enlace de muy corta distancia en la banda de 6 GHz.

En cuanto a la instalación física, el suscriptor Casa2 se encuentra a una altitud de 2317 m s.n.m., donde se montó la antena a 15 metros de altura y con una inclinación (uplift) de 27.7°, orientada hacia el AP con un azimut de 14.02° respecto al norte. La antena utilizada es la Force 4625, con 25.5 dBi de ganancia y un haz de 6°, lo que permite una orientación precisa incluso en enlaces muy cortos como este. El equipo opera con una potencia de transmisión de 10 dBm, logrando un nivel de potencia recibida de $-25 \text{ dBm} \pm 4 \text{ dB}$, valor perfectamente alineado con el esperado para este tipo de enlace.

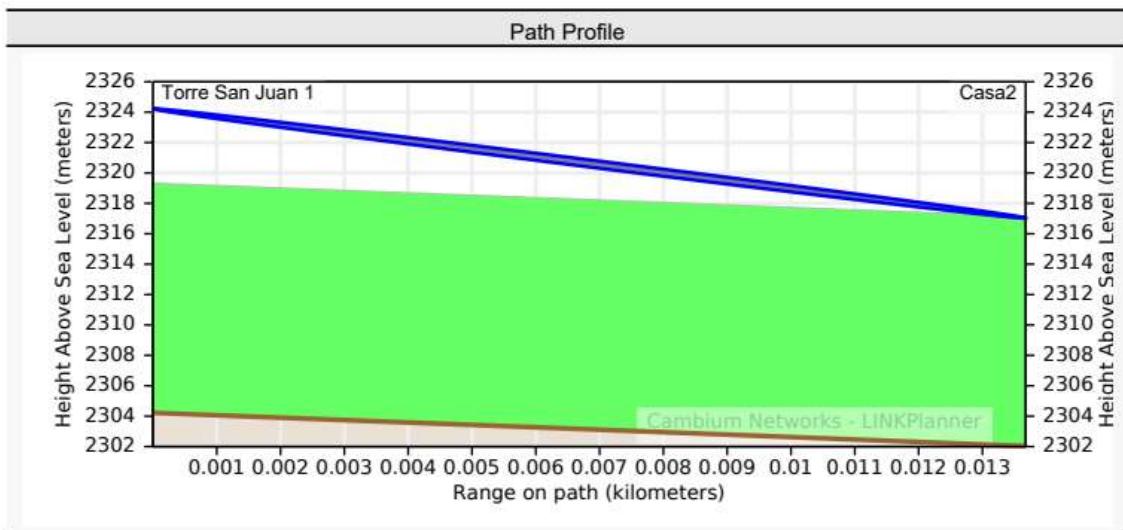


Fig. 83: Perfil entre Torre San Juan 1 y Casa2

En términos de rendimiento, la simulación arroja desempeños sobresalientes. Hacia la Torre San Juan 1, el enlace trabaja de acuerdo al perfil previsto, alcanzando modalidades de modulación máxima MCS11 (1024 QAM 0.83 Dual) tanto en bajada como en subida, con una disponibilidad del 100.0000 %. El rendimiento agregado por SM supera 1730 Mbps en sentido hacia el SM y 527 Mbps hacia el AP, operando prácticamente el 100% del tiempo en MCS11 (dual stream), con cero márgenes de desvanecimiento.

3.3.4. Evaluación de la factibilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta costos (CAPEX) y (OPEX).

El análisis de costos para la red de telecomunicaciones propuesta para el distrito de San Juan se calcula de acuerdo con las listas de materiales generadas a partir de los resultados de simulación y del diseño final de la red. Este presupuesto integra tanto los componentes de implementación (CAPEX) como los de operación y mantenimiento (OPEX) necesarios para garantizar el funcionamiento adecuado y la sostenibilidad del sistema en un entorno rural con múltiples sitios remotos. Para lograr un cálculo preciso, se han considerado diversos elementos técnicos distribuidos en cuadros presupuestales organizados por categoría, donde cada uno presenta cantidades, precios unitarios y valores totales, así como marcas, modelos y especificaciones de los equipos seleccionados.

La primera sección del presupuesto corresponde a los costos asociados a los equipos de transmisión y acceso inalámbrico, esenciales para enlazar los

distintos puntos de la red del distrito de San Juan. Destacan los radios Cambium ePMP 4600L de 6 GHz, acompañados de antenas parabólicas de 1 ft y 2 ft, que funcionan como núcleo para la conectividad punto a punto y punto multipunto. Se incluyen también módulos suscriptores, routers Mikrotik y supresores de picos, además de garantías extendidas que aseguran la cobertura de fallas durante el periodo inicial de operación. La selección de estos equipos responde a la necesidad de equilibrar capacidad, cobertura y confiabilidad, considerando que la red debe operar con alta disponibilidad en 29 estaciones distribuidas geográficamente más el centro de control.

Por otro lado, el presupuesto también incorpora el costo del sistema de energía, tanto comercial como solar, lo cual es fundamental para asegurar la continuidad del servicio ante cortes repentinos del suministro eléctrico. Este apartado incluye transformadores, rectificadores, baterías de respaldo GEL de 55 Ah, cableado de corriente continua y sistemas de conversión a 48 VDC. Gracias a estos componentes, cada sitio es capaz de mantener la operación temporalmente durante fallas eléctricas, mientras que el Centro de Operaciones de Red (NOC) ubicado en San Juan cuenta con sistemas de alimentación más robustos. Esta parte del presupuesto refleja la importancia de la resiliencia energética, ya que la disponibilidad del servicio en zonas rurales depende en gran medida de la capacidad de la red para enfrentar interrupciones en la energía.

Una tercera sección contempla los sistemas de seguridad y videovigilancia, compuestos por kits de alarma y cámaras IP Dahua en cada estación. Estos elementos buscan proteger la infraestructura frente a vandalismo, robos o manipulación de equipos, riesgos frecuentes en áreas despobladas o de difícil acceso. La inclusión de este componente muestra que el proyecto no solo considera el funcionamiento técnico, sino también la protección física de toda la infraestructura instalada.

Luego también se detalla los costos del presupuesto asociados a los gabinetes, racks, servidores y equipos del centro de monitoreo (NOC). Se incluyen gabinetes outdoor para proteger los equipos en campo, racks de 19 pulgadas, servidores HP, aires acondicionados de precisión y licencias de software para monitoreo como SNMP y PRTG. También destaca la implementación de un video wall para la supervisión visual en tiempo real. Este bloque refleja la importancia

de la gestión centralizada y la capacidad de monitorear permanentemente el comportamiento de los enlaces, requisito clave para garantizar la calidad del servicio y responder oportunamente ante incidentes.

También se presentan los costos de fibra óptica y acometidas eléctricas, necesarios para integrar las estaciones al NOC y asegurar el suministro energético en cada torre. Aunque representan una proporción menor del total, estos componentes son críticos para completar la infraestructura de backbone y para garantizar que los puntos remotos cuenten con energía estable y conectividad adicional.

Una de las partes más importantes del presupuesto corresponde a las obras civiles y construcción de estaciones, donde se consideran los costos de las torres, cimentaciones especiales, cercos perimetrales, pozos a tierra y kits de pararrayos, así como el acarreo de materiales hacia zonas de difícil acceso. El transporte de estructuras metálicas y concreto representa uno de los rubros más costosos, debido a la geografía de San Juan y la distancia entre localidades. Esta sección concentra una proporción significativa del presupuesto total, evidenciando que más de la mitad de la inversión corresponde a infraestructura física y logística, lo que subraya la necesidad de una planificación detallada del despliegue.

Finalmente, el presupuesto resume los costos de instalación y puesta en marcha de la red, que incluyen el montaje del NOC, la instalación de los sitios, la integración de los enlaces backhaul y la configuración de los Access Points. Esta etapa es esencial, pues el valor agregado no solo radica en la adquisición del equipamiento, sino en el despliegue técnico especializado, la alineación precisa de antenas, la realización de pruebas de funcionamiento y la integración completa de todos los sistemas para asegurar que la red funcione adecuadamente desde el inicio de su operación.

Los costos a detalle se pueden ver en la (Tabla VI), proporcionando una visión completa de la inversión requerida para implementar la infraestructura de telecomunicaciones en el distrito de San Juan.

Tabla VI: Costo de implementación de la red

ANALISIS DE COSTO DE LA IMPLEMENTACION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RED DE TELECOMUNICACIONES - SAN JUAN									
ITEM		MODELO	DESCRIPCION	MARCA	SERVICIO / VENTA	CANT	unid	V.V. unid US \$	V.V. TOTAL US \$
1		EQUIPAMIENTO RED TRANSPORTE Y DATOS							
		RED DE TRANSPORTE (CAMBUIM)							
1,01		C060940A251	ePMP 4600L 6 GHz 2x2 Access Point Radio (ROW)	CAMBIUM	VENTA	29	unid	\$ 761,30	\$ 22.077,70
1,02		EW-E2EPAP4600L-WW	ePMP 4600L AP Extended Warranty, 2 Additional Years	CAMBIUM	VENTA	29	unid	\$ 67,50	\$ 2.025,00
1,03		C060940C221A	ePMP 6 GHz Force 4600C SM Radio (ROW)	CAMBIUM	VENTA	29	unid	\$ 578,40	\$ 16.773,60
1,04		EW-E2EPF4600C-WW	ePMP 6 GHz Force 4600C SM Extended Warranty, 2 Additional Years	CAMBIUM	VENTA	27	unid	\$ 52,50	\$ 1.417,50
1,05		C060900D021A	ePMP 6 GHz 2x2 dish antenna 2-pack, priced per unit	CAMBIUM	VENTA	48	unid	\$ 181,90	\$ 8.731,20
1,06			Radio Waves 2ft Dual-Polar Parabolic SPD2-6	CAMBIUM	VENTA	10	unid	\$ 658,80	\$ 6.588,00
1,07			Radio Waves 3ft Dual-Polar Parabolic SPD3-6	CAMBIUM	VENTA	8	unid	\$ 2.672,90	\$ 21.383,20
1,08		C000000L033	Gigabit Surge Suppressor (56V), 10/100/1000 BaseT	CAMBIUM	VENTA	56	unid	\$ 57,70	\$ 3.231,20
1,09		RB4011iGS+RM	RB4011iGS+RM. Architecture, ARM 32bit. CPU, AL21400. CPU core count, 4. CPU nominal frequency, 1400 MHz	MIKROTIK	VENTA	35	unid	\$ 375,50	\$ 13.142,50
									\$ 95.369,90
		ACCESORIOS							
1,13			Clanes 1/2" 3T	LOCAL	VENTA	768	unid	\$ 5,40	\$ 4.147,20
1,14			Kit de tierra de 1/2"	LOCAL	VENTA	33	unid	\$ 6,20	\$ 204,60
1,15			Soporte de Antena	LOCAL	VENTA	8	unid	\$ 147,10	\$ 1.176,80
1,16			Cable SFTP Outdoors	LOCAL	VENTA	5.400	m	\$ 1,90	\$ 10.260,00
1,17			Conectores Apantallados RJ45 Cat 6A	LOCAL	VENTA	324	unid	\$ 10,20	\$ 3.304,80
									\$ 19.093,40
		EQUIPAMIENTO RED TRANSPORTE Y DATOS							\$ 114.463,30

ANALISIS DE COSTO DE LA IMPLEMENTACION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RED DE TELECOMUNICACIONES - SAN JUAN									
ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	SERVICIO / VENTA	CANT	unid	V.V. unid US \$	V.V. TOTAL US \$	
2	EQUIPAMIENTO ENERGIA COMERCIAL Y SOLAR								
		ENERGIA / POWER 220 VAC & 48 VDC							
2,01	SD-350C-24	DC-DC Enclosed converter; Input 36-72Vdc; Output +24Vdc at 14,6A; Forced air cooling	LOCAL	VENTA	34	unid	\$ 141,20	\$ 4.800,80	
2,02	SRT192BP2	UPS APC 10KW	LOCAL	VENTA	1	unid	\$ 4.117,60	\$ 4.117,60	
2,03	APTF10KW01	Transformador de aislamiento APC APTF3KW01, 3kVA, 60A, 220V.	LOCAL	VENTA	34	unid	\$ 223,50	\$ 7.599,00	
2,04	PSX2401121F-001	1U MicroCompact System, c/w 3 x RM848 48V 800W rectifiers 1x load, 1 x battery Mcbs, SM36 Controller. Front connected FTSI rack mounting	ENATEL	VENTA	34	unid	\$ 1.155,60	\$ 39.290,40	
2,05	VGG12-155	Baterias Libre de Mantenimiento 12V155AH GEL FRONT I-M8 552*110*288 48KGS - BTS	Sunstone	VENTA	-	unid	\$ 294,10	\$ -	
2,06	VGG12-55	Baterias Libre de Mantenimiento 12V55AH GEL FRONT I-M8	Sunstone	VENTA	136	unid	\$ 147,10	\$ 20.005,60	
2,07		Wiring Kit - Baterias	LOCAL	VENTA	136	unid	\$ 17,60	\$ 2.393,60	
								\$ 78.207,00	
	EQUIPAMIENTO ENERGIA COMERCIAL Y SOLAR							\$ 78.207,00	
3	ALARMAS & VIDEO VIGILANCIA								
	KIT SEGURIDAD REMOTA								
3,01	KIT COMPLETO SP4000 - K636	KIT COMPLETO panel spectra SP4000 04 zonas en placa expandible hasta 32zonas. INCLUYE:- 01 SP4000-K-2NV5B - kit basico - 01 TRA-2A60 -Transformador - 01 K636 - Teclado- 02 BS-2033WH - Contactos magenticos - 01 BAT- 12V4A - Bateria 12V-4 amperios- 01 ES-31 - Sirena 30Watts	PARADOX	VENTA	31	unid	\$ 294,10	\$ 9.117,10	
3,02	IPC-HDW2239T-AS-LED-0280B-S2	IP Outdoor Camara	LOCAL	VENTA	31	unid	\$ 176,50	\$ 5.471,50	
		ALARMAS & VIDEO VIGILANCIA						\$ 14.588,60	

ANALISIS DE COSTO DE LA IMPLEMENTACION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RED DE TELECOMUNICACIONES - SAN JUAN									
ITEM		MODELO	DESCRIPCION	MARCA	SERVICIO / VENTA	CANT	unid	V.V. unid US \$	V.V. TOTAL US \$
4			SERVIDORES RACKS & GABINETES Y ACCESORIO						
			RACKS & GABINETES						
4,01			Gabinete Outdoor 78"H X 25" W X 42 D	LOCAL	VENTA	36	unid	\$ 1.764,70	\$ 63.529,20
4,02			Gabinete Indoor 78"H X 25" W X 42 D	LOCAL	VENTA	2	unid	\$ 882,40	\$ 1.764,80
4,03			Gabinete Indoor Rack de 19 " 2.10 de altura	LOCAL	VENTA	2	unid	\$ 294,10	\$ 588,20
4,04			Bandeja de Distribucion de Energia	LOCAL	VENTA	2	unid	\$ 352,90	\$ 705,80
									\$ 66.588,00
			SERVIDORES						
4,05			Servidor HP Gen8	LOCAL	VENTA	2	unid	\$ 4.117,60	\$ 8.235,20
4,06			Sistema de Video Wal x 4 Pantallas de 65"	LOCAL	VENTA	1		\$ 3.529,40	\$ 3.529,40
4,07			Equipamiento de Oficina Noc Tongod	LOCAL	VENTA	1		\$ 1.764,70	\$ 1.764,70
4,08			Sofwared SNMP y PRTG	LOCAL	VENTA	1	unid	\$ 1.411,80	\$ 1.411,80
4,09			Aire Acondicionado 24BTU	LOCAL	VENTA	2		\$ 705,90	\$ 1.411,80
									\$ 16.352,90
			SERVIDORES RACKS & GABINETES Y ACCESORIO						\$ 82.940,90
5			IMPLEMENTACION DE FO Y ACOMETIDA ELECTRICA						
			INSTALACION DE FO						
5,01			Tendido de FO (Incluye gestion y materiales)	LOCAL	SERVICIO	900	m	\$ 11,40	\$ 10.260,00
									\$ 10.260,00
			INSTALACION DE ENERGIA COMERCIAL						
5,02			Tendido de Energia Monofasica (incluye gestion y materiales)	LOCAL	SERVICIO	24.400	m	\$ 7,10	\$ 173.240,00
									\$ 173.240,00
			IMPLEMENTACION DE FO Y ACOMETIDA ELECTRICA						\$ 183.500,00

ANALISIS DE COSTO DE LA IMPLEMENTACION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RED DE TELECOMUNICACIONES - SAN JUAN									
ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	SERVICIO / VENTA	CANT	unid	V.V. unid US \$	V.V. TOTAL US \$	
6	IMPLEMENTACION DE OBRAS CIVILES								
		CONSTRUCCIÓN ESTACIONES							
6,01		Torre Ventada / Guide Tower 30 Mts (Incluye pintado norma internacional)	LOCAL	VENTA	28	unid	\$ 5.428,60	\$ 152.000,80	
6,02		Torre Ventada / Guide Tower 40 Mts (Incluye pintado norma internacional)	LOCAL	VENTA	4	unid	\$ 6.000,00	\$ 24.000,00	
6,03		Cimentacion Torre Ventada / Foundation Guide Tower 30 Mts	LOCAL	VENTA	30	unid	\$ 2.857,10	\$ 85.713,00	
6,04		Cimentacion Torre Ventada / Foundation Guide Tower 40Mts	LOCAL	VENTA	4	unid	\$ 4.000,00	\$ 16.000,00	
6,05		Montaje Torre Ventada / Mounting Guide Tower 30 Mts	LOCAL	SERVICIO	30	unid	\$ 2.142,90	\$ 64.287,00	
6,06		Montaje Torre Ventada / Mounting Guide Tower 40 Mts	LOCAL	SERVICIO	4	unid	\$ 2.571,40	\$ 10.285,60	
6,07		Acareo de Materiales Tipo 1	LOCAL	SERVICIO	12	unid	\$ 5.000,00	\$ 60.000,00	
6,08		Acareo de Materiales Tipo 2	LOCAL	SERVICIO	-	unid	\$ 3.571,40	\$ -	
6,09		Acareo de Materiales Tipo 3	LOCAL	SERVICIO	-	unid	\$ 1.428,60	\$ -	
								\$ 412.286,40	
		SISTEMA DE PUESTA A TIERRA							
6,10		Cerco Perimetrico 7 x 7 x 2.5mts	LOCAL	VENTA	4	unid	\$ 6.428,60	\$ 25.714,40	
6,11		Cerco Perimetrico 4 x 4 x 2.5mts	LOCAL	VENTA	30	unid	\$ 2.857,10	\$ 85.713,00	
6,12		Pozo a tierra Horizontal < 20Ohm	LOCAL	VENTA	34	unid	\$ 714,30	\$ 24.286,20	
6,13		Pozo a tierra Horizontal < 20Ohm + kit Pararrayos	LOCAL	VENTA	34	unid	\$ 1.071,40	\$ 36.427,60	
								\$ 172.141,20	
		IMPLEMENTACION DE OBRAS CIVILES						\$ 584.427,60	
7	IMPLEMENTACION DE INFRAESTRUCTURA								
		CENTRO DE CONTROL							
7,01		NOC Installation and commissioning	LOCAL	SERVICIO	1	unid	\$ 6.428,60	\$ 6.430,10	
								\$ 6.430,10	
		SITE IMPLEMENTACION							
7,02		Site Installation and commissioning	LOCAL	SERVICIO	34	unid	\$ 3.571,40	\$ 121.427,60	
7,03		Link Backhaul Installation and commissioning per	LOCAL	SERVICIO	56	unid	\$ 714,30	\$ 45.000,80	
								\$ 45.000,80	
		IMPLEMENTACION DE INFRAESTRUCTURA						\$ 51.430,90	
		TOTAL IMPLEMENTACION (SIN IGV)				-	\$ 1.109.558,30		

En la (Tabla VII) se presenta de manera consolidada los costos correspondientes a los distintos componentes necesarios para la implementación de la red de telecomunicaciones en el distrito de San Juan, obteniéndose un monto total de USD 1.109.558,30, sin considerar el IGV. Esta estructura permite visualizar claramente la distribución presupuestal por categorías, identificando los rubros con mayor impacto económico dentro del proyecto.

La sección con mayor peso es la implementación de obras civiles, con un valor de USD 584.427,60, que incluye la construcción de estaciones, torres de soporte, cimentaciones, sistemas de puesta a tierra y la logística de traslado de materiales hacia los puntos de instalación. Este rubro es crítico debido a su alto costo y por constituir la base física sobre la cual se instalará toda la infraestructura de la red.

Otro rubro relevante es el equipamiento de red de transporte y datos, que asciende a USD 114.463,30, e incluye los radios Cambium, antenas parabólicas, accesorios y demás dispositivos esenciales para habilitar los enlaces inalámbricos entre las 29 estaciones del diseño. Este equipamiento conforma el núcleo tecnológico que permitirá la transmisión eficiente y estable de los datos a lo largo de la red. Además de los servidores, racks, gabinetes y accesorios suman USD 82.940,90, monto que cubre los equipamientos necesarios para alojar, proteger y gestionar los equipos activos tanto en el centro de control como en las estaciones remotas. Este bloque incluye servidores, gabinetes climatizados, racks para instalación y componentes para la gestión técnica centralizada.

Asimismo, el equipamiento de energía comercial y solar representa un monto de USD 78.207,00, que comprende rectificadores, baterías, conversores y transformadores destinados a mantener la continuidad del servicio ante cortes de energía comercial. También tenemos la implementación de fibra óptica y acometida eléctrica, con un costo total de USD 183.500,00, comprende el tendido de la fibra necesaria para integrar puntos clave de la red y la instalación de acometidas eléctricas que permitan llevar energía comercial a cada estación.

Por otro lado, el sistema de alarmas y videovigilancia, con un costo de USD 14.588,60, refuerza la seguridad física de los sitios mediante kits de alarmas y cámaras IP destinadas a prevenir robos, intrusiones o daños a los equipos.

Finalmente, la implementación de infraestructura, que asciende a USD 51.430,90, contempla la instalación del centro de control (NOC), la habilitación de los sitios y la puesta en funcionamiento de los sistemas y enlaces, reflejando el trabajo técnico especializado requerido para convertir los equipamientos y estructuras en una red totalmente operativa.

Tabla VII: Presupuesto de implementación de infraestructura de red San Juan

Nº	DESCRIPCIÓN	TOTAL (Sin IGV)
1	EQUIPAMIENTO RED TRANSPORTE Y DATOS	\$114.463,30
	RED DE TRANSPORTE (CAMBUIM)	95.369,90
	ACCESORIOS	19.093,40
2	EQUIPAMIENTO ENERGIA COMERCIAL Y SOLAR	\$78.207,00
	ENERGIA / POWER 220 VAC & 48 VDC	78.207,00
3	ALARMAS & VIDEO VIGILANCIA	\$14.588,60
	KIT SEGURIDAD REMOTA	14.588,60
4	SERVIDORES RACKS & GABINETES Y ACCESORIO	\$82.940,90
	RACKS & GABINETES	66.588,00
	SERVIDORES	16.352,90
5	IMPLEMENTACION DE FO Y ACOMETIDA ELECTRICA	\$183.500,00
	INSTALACION DE FO	10.260,00
	INSTALACION DE ENERGIA COMERCIAL	172.141,20
6	IMPLEMENTACION DE OBRAS CIVILES	\$584.427,60
	CONSTRUCCIÓN ESTACIONES	412.286,40
	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	172.141,20
7	IMPLEMENTACION DE INFRAESTRUCTURA	\$51.430,90
	CENTRO DE CONTROL	6.430,10
	SITE IMPLEMENTACION	45.000,80
	TOTAL, IMPLEMENTACIÓN (SIN IGV)	\$1.109.558,30

Por otro lado, tenemos la (Tabla VIII) detalla el presupuesto destinado a la supervisión técnica de la implementación de la red, actividad esencial para asegurar que todas las etapas del proyecto se realicen conforme a los estándares de calidad, los plazos establecidos. El presupuesto considera la participación de dos profesionales especializados: un ingeniero supervisor civil zonal y un ingeniero supervisor en telecomunicaciones o afín. Ambos cumplen funciones de inspección, validación de avances, verificación de protocolos y aseguramiento de la calidad en obra, garantizando que cada componente

construido o instalado cumpla con los criterios técnicos requeridos para la operación de la red.

Asimismo, se incorpora un rubro de movilización, que contempla el uso de una camioneta 4x4 y los costos de combustible y otros insumos necesarios para el desplazamiento del personal de supervisión hacia los distintos puntos del proyecto, ubicados en zonas rurales y de difícil acceso. El costo directo asciende a USD 30.490,00, sobre el cual se aplican los gastos generales correspondientes (10 %) y la utilidad del 5 %, sumando USD 4.573,50 adicionales. De esta manera, el costo total de supervisión se establece en USD 35.063,50, sin considerar IGV.

Tabla VIII: Presupuesto supervisión de obra

Nº	DESCRIPCIÓN	TOTAL (Sin IGV)
1	PERSONAL	
	Ing Supervisor Civil (zonal)	\$ 8.000,00
	Ing Supervisor Telecomunicaciones o afin (zonal)	\$ 8.000,00
2	MOVILIZACION	
	Camioneta 4 x4	\$ 9.600,00
	combustible y otros	\$ 4.890,00
	COSTO DIRECTO	\$ 30.490,00
	G. GENERALES (10%)	\$ 3.049,00
	UTILIDAD (5%)	\$ 1.524,50
	TOTAL (SIN IGV)	\$ 35.063,50

La (Tabla IX) presenta el presupuesto destinado a la elaboración del expediente técnico para respaldar y autorizar la ejecución del proyecto. Esta etapa comprende la generación de los estudios, planos y cálculos que permiten asegurar que la implementación de la red se realice bajo criterios normativos, estructurales y de diseño adecuados antes del inicio de las obras. Su propósito es garantizar que cada elemento del proyecto cuente con especificaciones validadas y coherentes con las condiciones del terreno. Dentro de este bloque se consideran diversos estudios especializados: la Topografía, indispensable para definir con precisión la ubicación y altimetría de las torres; el Estudio Mecánico de Suelos (EMS), necesario para determinar la capacidad portante y el tipo de cimentación; los estudios de Arquitectura y Estructura, que establecen la distribución física, dimensiones y estabilidad de las edificaciones y gabinetes; y los estudios Eléctrico y Telecomunicaciones, que permiten diseñar las

acometidas energéticas, la red de respaldo y el esquema detallado de los enlaces inalámbricos.

Asimismo, se incluyen los costos de movilización, necesarios para el desplazamiento del personal técnico hacia los sitios de levantamiento. Estos gastos comprenden el uso de una camioneta 4x4 y el consumo de combustible, sumando un total directo de USD 17.773,00, al que se agregan gastos generales y utilidad según normativa, resultando un monto final de USD 20.438,95.

Tabla IX: Presupuesto expediente técnico

Nº	DESCRIPCIÓN	TOTAL (Sin IGV)
1	DOCUMENTACION	
	Topografía	\$ 6.125,00
	EMS (Estudio Mecanico de suelos)	\$ 9.800,00
	Arquitectura	\$ 14.000,00
	Estructura	\$ 12.250,00
	Eléctrico	\$ 9.600,00
	Telecom	\$ 12.250,00
2	MOVILIZACION	
	Camioneta 4 x4	\$ 1.260,00
	combustible y otros	\$ 588,00
	COSTO DIRECTO	\$ 17.773,00
	G. GENERALES (10%)	\$ 1.777,30
	UTILIDAD (5%)	\$ 888,65
	TOTAL (SIN IGV)	\$ 20.438,95

La (Tabla X) resume el presupuesto estimado para las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de la red de telecomunicaciones del distrito de San Juan. Estas labores son fundamentales para garantizar que la infraestructura instalada mantenga un funcionamiento estable, seguro y continuo durante el periodo de operación del sistema. El mantenimiento preventivo se orienta a evitar fallas, prolongar la vida útil del equipamiento y conservar la estabilidad del servicio, mientras que el mantenimiento correctivo permite resolver incidentes o averías que se presenten a lo largo del año. El bloque de mantenimiento preventivo, con un total anual de USD 18.600,00, incluye actividades como la inspección estructural de torres y tensores, limpieza y calibración de antenas, revisión de gabinetes y sistemas de climatización, verificación del estado de bancos de baterías, y ajustes en los sistemas de

videovigilancia. También contempla tareas de actualización de firmware, monitoreo constante desde el NOC y optimización de los parámetros de la red para sostener un desempeño adecuado. Estas actividades se realizan de manera periódica y programada para evitar interrupciones y preservar la integridad del sistema.

Por su parte, el mantenimiento correctivo, con un monto de USD 10,750.00, cubre el reemplazo de equipos dañados (antenas, radios o módulos), la reparación de acometidas eléctricas, correcciones en la fibra óptica y la mano de obra especializada necesaria para atender fallas imprevistas. El mantenimiento correctivo asegura la pronta restitución del servicio ante fallas ocasionadas por condiciones climáticas, desgaste natural o impactos externos. A estos montos se suma el rubro de movilización, que asciende a USD 7,660.00, destinado al uso de camionetas 4x4, combustible y otros insumos requeridos para el traslado de técnicos hacia las diferentes estaciones, muchas de ellas ubicadas en zonas con accesos difíciles o terrenos irregulares.

En conjunto, el presupuesto anual es de USD 37,010.00 refleja la inversión necesaria para conservar en óptimas condiciones la red de telecomunicaciones instalada, garantizando continuidad del servicio, seguridad operativa y eficiencia en la gestión técnica del sistema a lo largo del tiempo

Tabla X: Presupuesto para el mantenimiento anual

Nº	DESCRIPCIÓN	TOTAL (USD)
1	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	\$ 18,600.00
1.1	Inspección y ajuste de torres y tensores	3,200.00
1.2	Limpieza y calibración de antenas y radios	2,500.00
1.3	Revisión de gabinetes, racks y climatización	2,200.00
1.4	Verificación de sistemas de energía y bancos de baterías	4,000.00
1.5	Mantenimiento de sistemas de seguridad y cámaras	2,700.00
1.6	Actualización de firmware, monitoreo y optimización (NOC)	4,000.00
2	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	\$ 10,750.00
2.1	Reemplazo de antenas, radios o módulos dañados	4,800.00
2.2	Reparación de acometidas eléctricas y UPS	3,150.00
2.3	Reparación de fibra óptica / reconectores	1,800.00
2.4	Mano de obra	1,000.00
3	MOVILIZACIÓN	\$ 7,660.00
3.1	Camioneta 4x4	5,000.00
3.2	Combustible y otros	2,660.00
TOTAL (SIN IGV)		\$ 37,010.00

La (Tabla XI) muestra el presupuesto total de implementación del proyecto de telecomunicaciones en el distrito de San Juan, agrupando los costos correspondientes a la elaboración del expediente técnico, la supervisión de obra, la implementación de infraestructura y el mantenimiento anual de la red.

El primer componente corresponde al presupuesto del expediente técnico, con un monto de USD 20.438,95, el cual comprende los estudios especializados, planos, cálculos y documentación normativa indispensable para validar el diseño de la red antes de su construcción. Le sigue el presupuesto de supervisión de obra, que asciende a USD 35.063,50, destinado a cubrir la participación de ingenieros especializados en civil y telecomunicaciones.

El componente de mayor impacto económico es el presupuesto de implementación de infraestructura, con un total de USD 1.109.558,30, que integra la adquisición de equipos, obras civiles, sistemas de energía, seguridad, acometidas eléctricas, fibra óptica y la instalación completa de las estaciones y del centro de control.

Finalmente, se incluye el presupuesto del mantenimiento anual, con un valor de USD 37.010,00, que contempla las actividades preventivas, correctivas y de movilización necesarias para conservar en óptimas condiciones la infraestructura instalada durante el primer año de operación. En conjunto, la inversión total requerida asciende a un total de USD 1.202.070,75 sin IGV, reflejando la magnitud y alcance del despliegue de la red de telecomunicaciones propuesta para el distrito de San Juan.

Tabla XI: Presupuesto total de implementación

Nº	DESCRIPCIÓN	SUB TOTAL (Sin IGV)
1	PRESUPUESTO EXPEDIENTE TECNICO IMPLEMENTACIÓN - SAN JUAN	\$ 20.438,95
2	PRESUPUESTO SUPERVISION DE OBRA IMPLEMENTACIÓN - SAN JUAN	\$ 35.063,50
3	PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN INFRAESTRUCTURA - SAN JUAN	\$ 1.109.558,30
4	PRESUPUESTO DEL MANTENIMIENTO ANUAL - SAN JUAN	\$ 37.010,00
	TOTAL (Sin IGV)	\$ 1.202.070,75

Análisis económico comparativo entre radioenlaces y fibra óptica

Costo promedio por Radioenlace

De acuerdo con cotizaciones comerciales y proyectos académicos, el costo real promedio de un radioenlace troncal rural de alta capacidad se encuentra entre USD 25 000 y USD 35 000 por enlace.

Para este análisis se adopta un valor promedio de USD 30 000 por enlace, el cual se encuentra alineado con el equipamiento Cambium ePMP 4600L utilizado en el diseño.

Costo promedio por cada kilómetro con fibra óptica

Según estudios técnicos indican que el costo real de instalación de fibra óptica rural oscila entre USD 25 000 y USD 40 000 por kilómetro[53].

Para este análisis se adopta un valor promedio de USD 30 000 por km, sin considerar costos extraordinarios afectaciones geográficas severas.

Radioenlaces para Análisis:

Tabla XII: Radioenlaces para análisis económico

Radioenlace	Distancia (km)
Torre La Laguna – Torre Chusac & Yumagual Bajo	2.95
Torre Lanchepata – Torre Huacararuco	2.31
Repetidor 5 – Torre N.º Ocho	1.50

Estimación de costos reales

- **Costo con radioenlace**

Se considera un costo fijo promedio por enlace:

Costo radioenlace = USD 30 000

Esto se debe a que el costo del radioenlace no depende linealmente de la distancia, sino principalmente del equipamiento y la instalación.

- **Costo estimado con fibra óptica**

El costo se calcula según la distancia del enlace:

$$\text{Costo FO} = \text{Distancia (km)} \times 30000(\text{USD/km})$$

La (Tabla XIII) presenta un análisis comparativo de costos entre la implementación de radioenlaces y una alternativa hipotética basada en fibra óptica para los tres enlaces de mayor longitud del diseño de la red de telecomunicaciones del distrito de San Juan. En el cuadro se detallan las distancias de cada enlace, el costo estimado de implementación mediante radioenlace, el costo equivalente considerando un despliegue de fibra óptica y el ahorro económico obtenido, expresado tanto en valores absolutos como en porcentaje.

Tabla XIII: Comparación de costos entre radioenlace y fibra óptica

Radioenlace	Distancia (km)	Costo radioenlace (USD)	Costo fibra óptica (USD)	Ahorro económico (USD)	Beneficio económico (%)
La Laguna – Chusac & Yumagual Bajo	2.95	30 000	88 500	58 500	66.1 %
Lanchepata – Huacraruco	2.31	30 000	69 300	39 300	56.7 %
Repetidor 5 – Torre N.º Ocho	1.50	30 000	45 000	15 000	33.3 %

3.3.5. Prueba de hipótesis

HIPOSTESIS: “El diseño de una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca, garantiza un acceso eficiente a internet y es financieramente posible”.

Acceso eficiente a internet

El acceso eficiente a internet se evaluó a partir de los resultados técnicos obtenidos en las simulaciones realizadas con el software LINKPlanner y el análisis geográfico mediante Google Earth Pro. Los resultados evidencian que los radioenlaces diseñados presentan línea de vista completa, despeje adecuado de la primera zona de Fresnel y márgenes de ganancia del sistema superiores a

39 dB en los enlaces críticos. Asimismo, las potencias recibidas se mantienen dentro del rango óptimo, entre –25 dBm y –31 dBm, valores que garantizan una comunicación estable y confiable.

Adicionalmente, los enlaces alcanzan disponibilidades anuales del 99.999 %, superando los estándares mínimos recomendados para redes de transporte de datos en zonas rurales. El throughput agregado obtenido supera los 2.2 Gbps por enlace, capacidad suficiente para cubrir la demanda total estimada de 17 660 Mbps, calculada en función de 10 Mbps por vivienda y 30 Mbps por institución pública, de acuerdo con los lineamientos del MTC. Estos resultados confirman que el diseño propuesto garantiza un acceso eficiente y de calidad al servicio de internet para los centros poblados del distrito de San Juan.

Factibilidad financiera

La factibilidad financiera se evaluó mediante el análisis de los costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos de operación y mantenimiento (OPEX) de la red propuesta. El presupuesto total del proyecto asciende a USD 1 202 070,75, monto que incluye la elaboración del expediente técnico, la implementación de la infraestructura, la supervisión y el mantenimiento planificado de la red.

El análisis económico demuestra que, si bien la inversión inicial es significativa, el diseño basado en radioenlaces resulta más viable económico que alternativas intensivas en fibra óptica, especialmente en un contexto rural y de topografía montañosa como el del distrito de San Juan. El cuadro comparativo muestra que, mientras el costo del radioenlace se mantiene alrededor de USD 30 000 por enlace, el costo estimado con fibra óptica varía entre USD 45 000 y USD 88 500 según la distancia del enlace, generando ahorros económicos de entre 33.3 % y 66.1 %. Estos resultados evidencian que la solución propuesta optimiza los recursos financieros y garantiza la sostenibilidad económica del proyecto a largo plazo.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al finalizar la investigación del desarrollo de la red de telecomunicaciones con radioenlaces para el distrito de San Juan se observa que la cobertura es limitada, mostrando al operador de Bitel con un 63%, seguido de Movistar (52.27%), Entel con un 15% y Claro con un 13.64%. Estas operadoras ofrecen servicios con tecnologías de acceso 2G y 3G, lo que refleja una infraestructura insuficiente para garantizar un acceso eficiente a internet. Esta situación se agravó con el análisis del comportamiento de la señal en campo, donde se constató que la topografía del distrito caracterizada por elevaciones abruptas, terrenos irregulares y distancias considerables entre localidades dificulta la propagación de la señal e impide que las antenas de los operadores logren coberturas uniformes. Este diagnóstico no solo evidenció la brecha de conectividad existente, sino que también permitió identificar los espacios geográficos más críticos donde sería necesario ubicar torres y repetidoras para optimizar el diseño posterior. Por otro lado, al realizar este diagnóstico se evidencia la disponibilidad de energía eléctrica en todas las localidades lo que significa una ventaja clave, ya que reduce los desafíos técnicos para la implementación de radioenlaces inalámbricos.

El segundo objetivo específico, centrado en el diseño técnico detallado de la red de telecomunicaciones, muestra las localidades y sus respectivas coordenadas de cada una, además del número de viviendas y de instituciones públicas (instituciones educativas, centro de salud y comisaría), se calculó el ancho de banda requerido para cada localidad considerando 10 Mbps por hogar y 30 Mbps por institución pública, de acuerdo con los lineamientos del MTC. Esta estimación se consolidó en la Tabla V, donde se obtiene un requerimiento total de 17 660 Mbps para el conjunto del distrito. Se observa que la capital distrital, San Juan, concentra la mayor demanda con 4190 Mbps, mientras que Yumagual Bajo presenta el requerimiento más bajo, con solo 160 Mbps, lo que refleja la concentración de población y servicios en la cabecera distrital frente a la dispersión poblacional en centros rurales pequeños. A partir de las coordenadas de cada localidad se procedió a ubicar cada localidad en el software Google Earth utilizando sus coordenadas geográficas, lo que permitió visualizar con precisión la distribución espacial de los centros poblados, así como también el

proceso de selección de sitios estratégicos utilizando herramientas como Google Earth para analizar la topografía del distrito y determinar las ubicaciones idóneas para torres principales y repetidoras. Este análisis permitió definir puntos con ventajas de altitud y visibilidad, garantizando condiciones favorables de línea de vista entre los nodos. Se establecieron torres de 15 y 30 metros según la necesidad de despeje de la primera zona de Fresnel, elemento crítico para enlaces de microondas, especialmente en entornos montañosos como San Juan.

En cuanto al tercer objetivo específico, desarrollar simulaciones del diseño de la red utilizando software especializado para evaluar su desempeño y eficiencia en diferentes escenarios, los resultados obtenidos en LINKPlanner de Cambium Networks permiten afirmar que la red propuesta cumple holgadamente los requisitos de capacidad y disponibilidad. Para atender la alta demanda de la capital del distrito, se diseñaron dos enlaces troncales hacia San Juan, cada uno con un throughput agregado de aproximadamente 2703,25 Mbps, de modo que, en conjunto, se dispone de 5406,5 Mbps, superando ampliamente los 4190 Mbps estimados para esta localidad y dejando un margen para el crecimiento futuro de la demanda. En la simulación se consideró el empleo de radios Cambium ePMP 4600L en la banda de 6 GHz, con anchos de canal de 80 y 160 MHz, modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual) y antenas parabólicas de alta ganancia Radio Waves. Estos equipos fueron seleccionados por su capacidad de operar en escenarios de alta demanda y por ofrecer excelentes niveles de sensibilidad y estabilidad, incluso bajo condiciones atmosféricas adversas. La estructura final del diseño incluye la torre transmisora, los repetidores intermedios y la interconexión entre localidades mediante enlaces punto a punto y punto multipunto. Las ubicaciones definidas fueron validadas por la simulación, demostrando que es posible superar las barreras geográficas del distrito y garantizar conectividad entre los centros poblados seleccionados.

Un ejemplo representativo es el radioenlace entre la Torre Transmisora y la Torre San Juan 1, donde los extremos se ubican alrededor de 2342,5 y 2325 msnm y la distancia es de 0,246 km. La simulación con el equipo ePMP 4600L, operando en la banda superior de 6 GHz, con 160 MHz de ancho de canal, relación DL/UL de 60/40 y modulación MCS13 (4096 QAM 0.83 Dual), muestra línea de vista

completa, primera zona de Fresnel despejada y alturas de antena de 30 m en la torre transmisora y 20 m en la receptora, utilizando antenas parabólicas de 30,6 dBi. El rendimiento obtenido, con potencia recibida del orden de -31 dBm, ganancia total de 49,41 dB, pérdida de trayecto libre de 96,89 dB y disponibilidad mínima del 99.99999%, confirma que se trata de un enlace robusto y altamente confiable. Estos resultados demuestran que, pese a la topografía accidentada y la dispersión geográfica de las localidades, la red de radioenlaces diseñada es capaz de transportar el tráfico requerido con márgenes de seguridad adecuados, aprovechando modulaciones de alta eficiencia y bandas de frecuencia adecuadas, a la vez que garantiza muy altos niveles de disponibilidad.

En relación con el cuarto objetivo específico, evaluar la factibilidad económica del proyecto considerando los costos de inversión inicial y los costos operativos y de mantenimiento, el análisis de presupuesto evidencia que la mayor parte de la inversión se concentra en la implementación de infraestructura y obras civiles, tal como suele ocurrir en proyectos de telecomunicaciones en zonas rurales. El detalle de costos de implementación muestra que el equipamiento de red de transporte y datos, conformado por radios ePMP 4600L, equipos Force 4600C, antenas parabólicas de 6 GHz, routers Mikrotik y elementos de protección, asciende a aproximadamente 114 463,30 USD. A ello se suman los accesorios de red, como cableado, conectores y soportes, que incrementan el costo de este rubro, así como el equipamiento de energía comercial y solar (rectificadores, UPS, transformadores, bancos de baterías y kits de cableado), con un valor cercano a 78 207,00 USD, que garantiza la continuidad del servicio aun frente a cortes de energía en la red comercial.

El proyecto contempla, además, sistemas de alarmas y videovigilancia para proteger físicamente la infraestructura instalada, así como servidores, racks, gabinetes, software de monitoreo SNMP/PRTG, equipamiento para el NOC y climatización, cuyo costo conjunto se aproxima a 82 940,90 USD. A estos rubros se suman los costos de implementación de infraestructura (instalación y puesta en marcha del NOC, sitios y enlaces de backhaul, así como la red de acceso), que superan los \$ 51 000 USD. Integrando todos estos componentes, la inversión de implementación sin IGV asciende a \$ 1 109 558,30 USD, lo que proporciona una referencia clara del CAPEX requerido para desplegar la red

propuesta en el distrito de San Juan. Sobre esta base, se proyectan además costos de mantenimiento preventivo y correctivo, así como actividades de supervisión y elaboración de expediente técnico sumando un total de \$ 1.202.070,75.

Por otro lado, los resultados evidencian que la solución basada en radioenlaces ofrece una ventaja económica significativa frente a la fibra óptica, especialmente en enlaces de mayor distancia. Mientras que el costo del radioenlace se mantiene prácticamente constante independientemente de la longitud del tramo, el costo de la fibra óptica aumenta de forma proporcional a la distancia debido a la necesidad de obras civiles, tendido del cable y empalmes. Como consecuencia, se observa que el beneficio económico del radioenlace oscila entre el 33 % y el 66 %, incrementándose conforme aumenta la longitud del enlace evaluado.

Este análisis económico evidencia que la propuesta planteada no solo hace un uso eficiente de los recursos disponibles, sino que también constituye una alternativa más viable frente a otras tecnologías, como el despliegue de fibra óptica en zonas de topografía compleja, cuyo costo de instalación resulta considerablemente más elevado. Bajo esta perspectiva, el diseño basado en radioenlaces se presenta como una opción eficaz y adaptable a las condiciones geográficas y socioeconómicas del distrito, permitiendo una implementación funcional sin incurrir en inversiones desproporcionadas.

Al evaluar el objetivo general, diseñar una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca, se puede concluir que la propuesta efectivamente articula los centros poblados del distrito con la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica mediante una arquitectura de radioenlaces técnicamente robusta y económico-razonable. El diagnóstico inicial permitió evidenciar las carencias de la infraestructura actual y justificar la necesidad de una solución específica para el contexto rural y montañoso de San Juan. La estimación de la demanda de ancho de banda, basada en el número de viviendas y la presencia de instituciones públicas, condujo a un diseño que dimensiona la red con holgura suficiente para cubrir la demanda actual y prever el crecimiento futuro. Las simulaciones en LINKPlanner confirmaron que los enlaces cumplen los criterios de línea de vista, márgenes de ganancia,

capacidad y disponibilidad, garantizando que el transporte de datos hacia las localidades se realice de forma estable incluso bajo condiciones climáticas adversas. Finalmente, el análisis económico mostró que, aunque la inversión inicial es significativa, especialmente en obras civiles, el modelo propuesto resulta más viable que alternativas intensivas en fibra óptica, y puede sostenerse en el tiempo con un esquema de mantenimiento planificado.

En síntesis, el diseño de la red de telecomunicaciones planteado para San Juan cumple con los requisitos técnicos, operativos y económicos definidos en los objetivos de la investigación. Su implementación permitiría dotar al distrito de una infraestructura de conectividad capaz de soportar servicios de educación virtual, telemedicina, trámites en línea y actividades productivas basadas en el uso de Internet, contribuyendo a reducir las brechas digitales y a mejorar la calidad de vida de la población. Al mismo tiempo, la arquitectura propuesta es escalable y flexible, de modo que puede adaptarse a futuras ampliaciones de cobertura y aumentos en la demanda de tráfico, consolidando a la red diseñada como una solución sostenible para el desarrollo digital del distrito de San Juan.

4.1. Discusión de resultados según antecedentes

En relación con el estudio desarrollado por Gaviria y Fernández[9] en Colombia, quienes diseñaron una red inalámbrica Wimax para más de 2000 habitantes y modelaron sus radioenlaces mediante Radio Mobile obteniendo una línea de vista óptima, un nivel de recepción de $-29,9$ dBm y una disponibilidad del 99,9 %, los resultados obtenidos en el distrito de San Juan presentan una tendencia coincidente, aunque con mejoras significativas gracias al uso de equipos de última generación. En la presente investigación, los radioenlaces diseñados con tecnología ePMP 4600L en la banda de 6 GHz alcanzan disponibilidades de 99.99999% anual, con capacidades agregadas que superan los 2300 Mbps, incluso en enlaces superiores al kilómetro. Esta diferencia refleja no solo la evolución tecnológica entre Wimax y los sistemas microonda actuales, sino también la eficacia del proceso de simulación realizado en LinkPlanner, que permitió validar márgenes de ganancia superiores a 40 dB en varios enlaces críticos. En conjunto, ambos estudios coinciden en resaltar que las soluciones inalámbricas son adecuadas para territorios rurales, pero los resultados de San

Juan demuestran un desempeño más robusto debido al mayor aprovechamiento espectral y a una arquitectura de red optimizada para terrenos montañosos.

Asimismo, el antecedente presentado por Altamar y Puerta[10], enfocado en la implementación de una red FTTH para 500 hogares con una inversión de \$13 301 644, evidenció que las redes ópticas ofrecen un ancho de banda altamente superior, estabilidad y pérdidas mínimas. No obstante, su propio estudio reconoce que los costos asociados a la fibra pueden dificultar la aplicabilidad en zonas rurales o de difícil acceso. Esta situación se confirma claramente en el distrito de San Juan, donde la geografía presenta altitudes entre 1803 y 3204 m s. n. m., con dispersiones poblacionales que demandarían extensos tendidos de fibra, encareciendo el proyecto de manera considerable. En contraste, la alternativa inalámbrica permite cubrir 30 localidades priorizadas con un costo total de USD 1 419 856,90, significativamente menor al costo de un despliegue óptico completo. Por lo tanto, mientras Altamar y Puerta destacan la superioridad técnica de la fibra, los resultados de esta investigación demuestran que, bajo condiciones geográficas complejas, los radioenlaces constituyen una solución más viable, sostenible y económicamente razonable.

De acuerdo a Tituaña y Concha[11] que diseñaron una red GPON para servicios de video y datos utilizando la metodología Top-Down y simulaciones en OptSim, obtuvieron niveles de potencia adecuados y validando el diseño mediante pruebas ópticas. Aunque su estudio se centró en un entorno empresarial urbano, la coincidencia con el proyecto de San Juan se encuentra en el enfoque metodológico: ambos emplean software especializado para validar la viabilidad técnica antes de la implementación. Sin embargo, las condiciones geográficas de San Juan, con caseríos dispersos y diferencias marcadas de altitud, hacen que GPON no resulte eficiente para cubrir distancias de más de 1 km entre localidades. En lugar de potencias ópticas, el diseño de San Juan presenta pérdidas de trayecto entre 109 y 126 dB, todas compensadas con altos márgenes del sistema (más de 40 dB) que permiten mantener capacidades superiores al gigabit. La comparación evidencia que, mientras GPON es ideal para zonas urbanas compactas, los radioenlaces resultan mejor adaptados a la geografía expansiva y montañosa del distrito.

De la misma forma el estudio de Guzmán (2019) [13] evidenció coincidencias importantes en el desempeño técnico de los radioenlaces, aunque en contextos y escalas distintas. Mientras Guzmán reportó enlaces microondas en Lima con márgenes de desvanecimiento de 20 dB, línea de vista del 100 % y una disponibilidad del 99,99 %, el diseño para San Juan alcanza valores incluso superiores, logrando disponibilidades del 99.99999%, potencias recibidas entre -25 dBm y -31 dBm, y márgenes de ganancia del sistema mayores a 39 dB en prácticamente todos los tramos simulados, aun cuando la red se despliega en un entorno geográfico más complejo, con altitudes entre 1803 y 3204 m s.n.m. y enlaces de hasta 1.5 km. Además, mientras Guzmán destacó el ahorro del 100 % del OPEX frente a enlaces dedicados al usar bandas no licenciadas, en San Juan la propuesta demuestra también un impacto económico favorable, ya que permite cubrir 30 localidades manteniendo un rendimiento agregado superior a 2.2 Gbps por enlace y satisfacer una demanda total de 17660 Mbps sin recurrir a infraestructura costosa como fibra óptica. En conjunto, los resultados de San Juan confirman y amplían lo señalado por Guzmán: las redes inalámbricas basadas en microondas son técnicamente robustas, económicamente viables y adecuadas para escenarios donde las condiciones geográficas dificultan el despliegue de alternativas cableadas.

Por otro lado, Peña [15] en Moquegua demostró que una red de radioenlaces bien planificada puede garantizar niveles elevados de rendimiento con disponibilidades de 99,9999% y un throughput mínimo de 50 Mbps por anexo gracias al uso de frecuencias de 5.8 GHz y la selección adecuada de nodos mediante Google Earth. En comparación, el diseño para el distrito de San Juan presenta un desempeño significativamente superior, ya que los radioenlaces simulados alcanzan capacidades agregadas que superan los 2.2 Gbps hasta 2.7 Gbps por enlace, con disponibilidades del 99.99999% y márgenes de ganancia que superan los 40 dB, incluso en terrenos con altitudes entre 1803 y 3204 m s.n.m. Asimismo, mientras que Peña empleó torres entre 20 y 40 metros, el proyecto de San Juan integra estructuras de hasta 30 metros y una red más compleja de repetidores y nodos distribuidos para cubrir las 30 localidades priorizadas. Esto evidencia que, aunque ambos estudios comparten el uso de LinkPlanner y un enfoque cualitativo de identificación de sitios, el diseño de San

Juan alcanza una escalabilidad y una capacidad muy superiores, necesarias para satisfacer una demanda total de 17660 Mbps. En conjunto, la propuesta de San Juan confirma y amplía los hallazgos de Peña, demostrando que los radioenlaces son una alternativa robusta para zonas rurales, pero que su rendimiento puede escalarse considerablemente mediante configuraciones avanzadas en la banda de 6 GHz y equipos de última generación.

Finalmente, el estudio de Espino [16], desarrollada para el distrito de Oxamarca, concluyó que era posible mejorar la conectividad rural mediante una red de radioenlaces capaz de ofrecer entre 200 y 450 Mbps por tramo, utilizando diez repetidores para cubrir 59 centros poblados y atendiendo a más de 1120 hogares. Al contrastar estos resultados con el diseño elaborado para San Juan, se observa que, aunque ambos proyectos se orientan a zonas rurales con topografía compleja, la red propuesta para San Juan alcanza capacidades significativamente superiores, con throughputs agregados que en varios enlaces superan los 1.1 a 2.7 Gbps, según las simulaciones obtenidas en LINKPlanner, y con disponibilidades del 99.99999% incluso en condiciones atmosféricas adversas. Asimismo, la necesidad señalada por Espino de garantizar más de 100 Gbps para usos futuros coincide con el enfoque escalable del diseño para San Juan, cuya arquitectura permite incrementos de capacidad sin reemplazar la infraestructura principal. En conjunto, la comparación demuestra que, aunque ambos estudios validan la viabilidad de redes de microondas en zonas rurales, el proyecto de San Juan alcanza un rendimiento muy superior por enlace y optimiza el uso de infraestructura, confirmando la pertinencia técnica del diseño planteado en esta tesis.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El desarrollo del presente proyecto permitió establecer un diseño integral de red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca, a partir del diagnóstico de la infraestructura existente, la elaboración del diseño técnico, la simulación del rendimiento de los radioenlaces y la evaluación económica de su implementación. El análisis del estado actual evidenció una brecha significativa de conectividad, donde la cobertura de los operadores móviles no supera el 63 % en el mejor de los casos (Bitel), mientras que otros operadores presentan coberturas inferiores al 53 %, 15 % y 14 %, con tecnologías limitadas a 2G y 3G. Esta situación afecta directamente a más del 80 % de los centros poblados rurales, justificando la necesidad de una red independiente capaz de brindar conectividad continua, estable y con capacidad suficiente para atender a una población aproximada de 4 000 habitantes distribuidos de forma dispersa.
- En relación con el diseño técnico de la red, la identificación y ubicación estratégica de torres y repetidores mediante Google Earth permitió superar las limitaciones de la geografía montañosa del distrito, garantizando línea de vista en el 100 % de los enlaces diseñados. El cálculo del ancho de banda requerido por localidad, considerando 10 Mbps por vivienda y 30 Mbps por institución pública, permitió dimensionar la red para una demanda total de 17 660 Mbps (17.66 Gbps). Este dimensionamiento asegura que cada radioenlace opere con capacidad suficiente para cubrir la demanda actual y permita un crecimiento futuro sin necesidad de reemplazar la infraestructura principal.
- Las simulaciones realizadas en LINKPlanner mostraron desempeños altamente favorables en la totalidad de los radioenlaces. Los resultados indican throughputs agregados superiores a 2.2 Gbps por enlace, potencias recibidas comprendidas entre –25 dBm y –31 dBm, y márgenes de ganancia mayores a 39 dB, valores que superan ampliamente los mínimos recomendados para enlaces de microondas en entornos rurales. Asimismo, la disponibilidad anual registrada alcanzó valores cercanos al 99.9999 %, lo que evidencia una red confiable y adecuada para el entorno

rural del distrito. Estos resultados validan la viabilidad técnica del sistema propuesto y su capacidad para ofrecer servicios de telecomunicaciones que cumplan estándares de calidad en transporte inalámbrico.

- La evaluación económica permitió determinar que la implementación total del proyecto asciende a USD 1.202.070,75 sin IGV, incluyendo infraestructura, supervisión, expediente técnico y mantenimiento anual. En conjunto, el proyecto demuestra ser técnica y económicamente viable, con una solución adaptada al contexto rural y con capacidad de escalar a las demandas de conectividad futuras.
- Desde el punto de vista económico, la implementación de radioenlaces para el distrito de San Juan resulta significativamente más eficiente que una alternativa basada en fibra óptica. El análisis de los radioenlaces de mayor longitud demuestra ahorros económicos que oscilan entre el 33 % y 66 %, confirmando que la tecnología inalámbrica constituye una solución viable, sostenible y adecuada para contextos rurales con geografía compleja, sin sacrificar capacidad ni disponibilidad del servicio.
- La implementación del diseño de la red de telecomunicaciones basada en radioenlaces para el distrito de San Juan genera un impacto cuantificable en los ámbitos social, educativo, económico e institucional. La propuesta permite extender el acceso a internet a 30 localidades, incrementando la cobertura efectiva hasta aproximadamente el 100 % de los centros poblados considerados, lo que contribuye a reducir la brecha digital en un distrito con 36.1 % de pobreza extrema. Asimismo, la capacidad instalada permite soportar servicios de educación virtual, telemedicina y gestión pública digital, beneficiando directamente a instituciones educativas, centros de salud y dependencias municipales, y consolidando una infraestructura escalable y sostenible para el desarrollo digital del distrito. En conjunto, el diseño de esta red constituye una estrategia clave para mejorar la calidad de vida de los habitantes de San Juan y promover un desarrollo sostenible y equitativo en todo el distrito.

Recomendaciones

- Se recomienda que las autoridades del distrito de San Juan, junto con las entidades regionales y nacionales vinculadas al desarrollo digital, establezcan convenios de cooperación con organismos públicos como el Programa Nacional de Telecomunicaciones (PRONATEL) y operadores privados con experiencia en zonas rurales. Estas alianzas permitirían cofinanciar la ejecución de la red, optimizar recursos técnicos y económicos, y asegurar que la infraestructura diseñada sea implementada bajo un modelo sostenible de gestión. Este enfoque colaborativo facilitaría la continuidad operativa del sistema a largo plazo.
- Se sugiere realizar estudios complementarios de campo que incluyan mediciones reales de potencia recibida, espectro radioeléctrico y ruido en las bandas propuestas, con el fin de validar en terreno las simulaciones realizadas en LINKPlanner y ajustar parámetros como alturas de torre, orientación de antenas y selección final de frecuencias.
- Se recomienda que, al implementar el diseño propuesto, se realicen campañas de verificación en campo para validar nuevamente las condiciones topográficas, climáticas y de accesibilidad de cada sitio seleccionado, para que no se vea afectado el desempeño esperado de los radioenlaces. Esta revalidación permitirá ajustar alturas de torres, alineaciones y distancias efectivas antes de la instalación definitiva, garantizando que los parámetros de disponibilidad, potencia recibida y throughput obtenidos en las simulaciones se mantengan dentro de los rangos proyectados. Asimismo, se recomienda capacitar al personal local en operación básica de los equipos, para reducir tiempos de respuesta ante cualquier eventualidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «6 de cada 10 hogares tienen cobertura de fibra óptica en Europa | DPL News». Accedido: 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dplnews.com/6-de-cada-10-hogares-tienen-cobertura-de-fibra-optica-en-europa/>
- [2] «Fibra Óptica para Chile | Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones». Accedido: 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mtt.gob.cl/fibra-optica-para-chile>
- [3] «Perú | Es el mercado con menos penetración de fibra óptica en Sudamérica | DPL News». Accedido: 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dplnews.com/peru-es-el-mercado-con-menos-penetracion-de-fibra-optica-en-sudamerica/>
- [4] «Brecha digital: 85 461 centros poblados sin internet fijo - eBIZ». Accedido: 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ebiz.pe/noticias/brecha-digital-85-461-centros-poblados-sin-internet-fijo/>
- [5] «Ley N.º 29904 - Normas y documentos legales - Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Plataforma del Estado Peruano». Accedido: 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/9863-29904>
- [6] «Gobierno Regional Cajamarca». Accedido: 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/1435>
- [7] «M37_9_Pobreza_extrema.pdf». Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/M37_9_Pobreza_e xtrema%202007.pdf
- [8] «06TOMO_04.pdf». Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est Lib1558/06TOMO_04.pdf
- [9] I. D. G. Montealegre, «DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA CON TECNOLOGÍA WIMAX PARA LA VEREDA LA CHACUA DEL MUNICIPIO DE SOACHA - CUNDINAMARCA».

- [10] «Diseño de una red de fibra óptica para el suministro de internet hogar en la comunidad del barrio Altos de Aeromar - Santa Marta, Magdalena.» Accedido: 7 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/565d656a-793f-4189-b193-a694f70b0806>
- [11] «Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Diseño de la red Gpon de la empresa Atv Cable para la provisión de internet y televisión en la ciudad de Pujilí». Accedido: 27 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19773>
- [12] «Diseño de una red GPON en el barrio Carmen Bajo de la parroquia de Llano Chico». Accedido: 7 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.puce.edu.ec/items/8254cc08-47a4-4328-9d79-7c72287bde9a>
- [13] G. Guzmán Espinoza, «Diseño de una red de banda ancha inalámbrica para las oficinas registrales del Reniec en Lima Metropolitana», Licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2019. doi: 10.19083/tesis/625695.
- [14] «Diseño de una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia Tacna». Accedido: 27 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1453>
- [15] «Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Diseño de una red de banda ancha inalámbrica para los anexos del distrito de Puquina departamento de Moquegua». Accedido: 27 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2808110>
- [16] C. Espino Carrasco, «Red de acceso a la Red Dorsal Nacional de fibra óptica (RDNFO) en uno de los distritos más pobres del Perú, Oxamarca – 2022», *Universidad Nacional de Cajamarca*, sep. 2023, Accedido: 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6061>
- [17] J. R. C. Tasilla, «“RED DE FIBRA ÓPTICA PARA PROVEER SERVICIO DE INTERNET EN GRANJA PORCÓN»», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4102/JonnyCalua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- [18] «telco_lima13_ministros_4_Presentacion Red Dorsal.pdf». Accedido: 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/Uploads/Documents/telco_lima13_ministros_4_Presentacion%20Red%20Dorsal.pdf
- [19] «Qué es banda ancha: Significado, velocidad y diferencia con fibra óptica». Accedido: 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/esenciales/preguntas/que-es-banda-ancha/>
- [20] «Banda ancha: características, ventajas... - MSMK University». Accedido: 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://msmk.university/ciberseguridad/banda-ancha>
- [21] «A Novel Long Term Telecommunication Network Planning Framework | Journal of Network and Systems Management». Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10922-016-9382-z>
- [22] «Infraestructura de una red: ¿Qué es, elementos, tipos de redes? - TICNUS Technology Magazine». Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ticnus.com/noticias/infraestructura-y-redes/infraestructura-de-una-red/>
- [23] «Ancho de banda vs rendimiento vs velocidad vs tasa de conexión». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/articles/000026190/wireless.html>
- [24] «¿Qué velocidad de internet es buena? | Highspeedinternet.com». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.highspeedinternet.com/es/recursos/que-velocidad-de-internet-es-buena>
- [25] «¿Cuál internet es más rápido? Las mejores opciones 2024 | HighSpeedInternet.com». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.highspeedinternet.com/es/recursos/cual-internet-es-mas-rapido>
- [26] «Rentabilidad y Gestión de CAPEX | Real Time Management». Accedido: 16 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rtm.com.pe/casos-de-estudio-rentabilidad-y-gestion-de-capex/>

- [27] «CAPEX y OPEX». Accedido: 16 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.upbizon.com/estrategia-financiera/capex-y-opex>
- [28] «VAN y TIR». Accedido: 19 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.upbizon.com/estrategia-financiera/van-y-tir>
- [29] «Qué es TDD (Time Division Duplex) y cómo funciona en telecomunicaciones - Polaridad.es». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://polaridad.es/que-es-tdd-time-division-duplex-y-como-funciona-en-telecomunicaciones/>
- [30] «Modulación multiportadora OFDM - Dialnet». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4797263>
- [31] «5G: qué es y qué diferencias tiene con el 4G». Accedido: 11 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-5g-que-diferencias-tiene-4g>
- [32] «WiMAX: qué es y cómo funciona». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/wimax-que-como-funciona>
- [33] «Solución punto a punto. Radioenlaces licenciados | Alora Soluciones». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alora-soluciones.es/soluciones-punto-a-punto-radioenlaces-licenciados/>
- [34] «Radioenlaces multipunto frente a radioenlaces punto a punto». Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alora-soluciones.es/radioenlaces-multipunto-frente-a-radioenlaces-punto-a-punto/>
- [35] «Qué es una Red de Telecomunicaciones - Microsegur Blog». Accedido: 12 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://microsegur.com/que-es-una-red-de-telecomunicaciones/>
- [36] Jeff Hecht, «Understanding Fiber Optics». Accedido: 12 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/Understanding-Fiber-Optics-Jeff-Hecht/dp/0131174290>
- [37] Rodríguez Gallardo, Adolfo, «La brecha digital y sus determinantes». Accedido: 12 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ru.iibi.unam.mx/jspui/handle/IIBI_UNAM/L100

- [38] Timothy Pratt, Charles W. Bostian, y Jeremy E. Allnutt, «Satellite Communications». Accedido: 11 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://archive.org/details/satellitecommuni0000timo_2ed/page/n5/mode/2up
- [39] Kraus, J. D, *Antennas for All Applications*, 3rd ed. McGraw-Hill Education.
- [40] T. S. Rappaport, *Wireless communications: principles and practice*, 2nd ed. en Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall PTR, 2002.
- [41] M. R. R. Fernando, L. M. N. Magaly, y C. S. M. Jose, «Analysis of Methodologies of Data Networks LAN», *IJAERS*, vol. 3, n.º 9, pp. 52-61, 2016, doi: 10.22161/ijaers/3.9.9.
- [42] T. Cueva Luza, O. Jara Córdova, J. L. Arias González, F. A. Flores Limo, y C. A. Balmaceda Flores, *Métodos mixtos de investigación para principiantes*, 1.ª ed. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 2023. doi: 10.35622/inudi.b.106.
- [43] «El paradigma cuantitativo | SalusPlay». Accedido: 3 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.salusplay.com/apuntes/apuntes-metodologia-de-la-investigacion/tema-1-el-paradigma-cuantitativo>
- [44] «Definición y propósito de la Investigación Aplicada - Investigación Aplicada, Innovación y Transferencia - Biblioteca at Duoc UC». Accedido: 3 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecas.duoc.cl/investigacion-aplicada/definicion-proposito-investigacion-aplicada>
- [45] «¿Qué es la investigación descriptiva y cómo se utiliza? - ATLAS.ti». Accedido: 3 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://atlasti.com/es/research-hub/investigacion-descriptiva>
- [46] «▷ La Investigación Descriptiva y sus características». Accedido: 3 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cimec.es/investigacion-descriptiva-caracteristicas/>
- [47] «Investigación no experimental: Qué es, características y ejemplos». Accedido: 3 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-no-experimental/>

- [48] «Diseños de investigaciones con enfoque cuantitativo de tipo no experimental - Investigalia». Accedido: 3 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://investigaliacr.com/investigacion/disenos-de-investigaciones-con-enfoque-cuantitativo-de-tipo-no-experimental/>
- [49] J. L. Arias González, «DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN». Accedido: 11 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352157132_DISENO_Y_METODOLOGIA_DE_LA_INVESTIGACION
- [50] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio, «METODOLOGÍA DELA INVESTIGACIÓN».
- [51] «¿Cómo analizar los datos de investigación?» Accedido: 2 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/analizar-los-datos-de-una-investigacion>
- [52] «Aprueban la velocidad mínima para el acceso a internet de banda ancha - RESOLUCION MINISTERIAL - N° 1197-2022-MTC/01.03 - TRANSPORTES Y COMUNICACIONES». Accedido: 22 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2132468-1>
- [53] «Cable de fibra óptica subterráneo: Guía de instalación y soluciones Weunion». Accedido: 23 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.weunionfiber.com/unveiling-the-subterranean-connectivity-a-comprehensive-guide-to-underground-fiber-optic-cable/?utm_source=chatgpt.com

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
General: ¿Como diseñar una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca?	General: Diseñar una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca.	General: El diseño de una red de telecomunicaciones para el distrito de San Juan, Cajamarca, garantiza un acceso eficiente a internet y es financieramente posible.		
Específicos:	Específicos:	Específica:		
- ¿Cuál es la infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan?	-Diagnosticar la infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan.	-La infraestructura actual de telecomunicaciones en el distrito de San Juan es insuficiente y requiere de mejoras significativas.		
- ¿Qué características técnicas debe tener el diseño de la red de telecomunicaciones para vencer las barreras geográficas del distrito de San Juan?	- Realizar un diseño técnico detallado de la red de telecomunicaciones que sea idóneo para vencer las barreras geográficas y técnicas específicas del distrito de San Juan.	-Las características técnicas para el diseño son enlaces inalámbricos de largo alcance, antenas de alta ganancia, torres de transmisión ubicadas en puntos estratégicos y tecnologías como wi-fi, wimax y fibra óptica, que permiten superar las barreras geográficas y técnicas del distrito de San Juan.		
- ¿Cómo evaluar la eficiencia y el desempeño de la red propuesta mediante simulaciones en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas?	- Desarrollar simulaciones del diseño de la red utilizando software especializado para evaluar su desempeño y eficiencia en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas.	- La eficiencia y el desempeño de la red de telecomunicaciones se pueden evaluar mediante simulaciones con software especializado como LinkPlanner, que permite modelar su comportamiento en diferentes escenarios operativos y condiciones climáticas.		
¿Cuál es la factibilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos y de mantenimiento (OPEX)?	- Evaluar la factibilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos y de mantenimiento (OPEX).	- La factibilidad económica mediante el análisis de costos de inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos y de mantenimiento (OPEX) es rentable y financieramente viable a largo plazo.	Variable 1: Diseño de una red de telecomunicaciones	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo: Investigación Aplicada</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Diseño: No experimental</p> <p>Población de estudio: La población de estudio será aproximadamente por 4000 habitantes.</p> <p>Muestra: Centros poblados con más de 15 hogares.</p> <p>Unidad de análisis: Cada hogar de un CCPP.</p>

Anexo 2: Instrumento Ficha de registro de datos

FICHA DE REGISTRO DE DATOS	
Objetivo: Obtener información directa sobre la infraestructura actual de telecomunicaciones y las condiciones geográficas del distrito.	
Fecha:	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN/OBSERVACIÓN
Estado de la Infraestructura	
Cobertura Geográfica	
Condiciones Climáticas	
Accesibilidad a Zonas de Difícil Acceso	
Condiciones del Terreno	
Disponibilidad de Energía Eléctrica	

Anexo 3: Instrumento entrevista

Instrumento: Entrevista a Expertos para Validación del Diseño de Red de Telecomunicaciones

Objetivo: Validar el diseño técnico de la red de telecomunicaciones propuesto para el distrito de San Juan, Cajamarca.

Guía de preguntas:

- Evaluación General del Diseño:**

¿Considera que el diseño propuesto cumple con los requisitos técnicos necesarios para operar en una región con características geográficas como San Juan?

¿Cuál es su valoración general respecto al diseño de la red de telecomunicaciones propuesto para el distrito de San Juan, considerando sus aspectos más relevantes, fortalezas y posibles deficiencias?

- Evaluación técnica del proyecto**

¿Considera que el uso de Google Earth para la ubicación de localidades y torres es adecuado como herramienta de apoyo en la etapa de diseño?

¿Cómo evalúa el ancho de banda estimado en relación con la demanda proyectada?

¿La selección de infraestructura como torres, enlaces y equipos, le parece adecuada según el contexto geográfico del distrito?

¿El uso del software LINKPlanner es apropiado para evaluar el desempeño de los radioenlaces propuestos?

¿Qué opinión tiene sobre la elección de la tecnología de transmisión como modulación, frecuencias y ancho de canal?

¿Qué opinión tiene sobre los resultados de throughput obtenidos en la simulación para San Juan y sus localidades?

¿Considera que el diseño actual permite expansión futura sin alterar su estructura base?

- **Sostenibilidad y Factibilidad:**

¿El diseño es viable desde el punto de vista técnico y económico?

¿Qué recomendaciones haría para mejorar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo?

- **Recomendaciones para el futuro**

¿Qué ajustes sugiere para garantizar la estabilidad de la red bajo condiciones operativas reales?

¿Desde su experiencia profesional, recomendaría la adopción de este diseño de red de telecomunicaciones en contextos rurales similares?, ¿Por qué?

Anexo 4: Validación de instrumentos por juicio de expertos

FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. REFERENCIA

- 1.1. **Experto:** Ing. César Barrantes Guzmán
- 1.2. **Especialidad:** Ing. De Sistemas
- 1.3. **Cargo Actual:** Coordinador de Desarrollo de Sistemas
- 1.4. **Institución donde labora:** Municipalidad Provincial de Cajamarca
- 1.5. **Tipo de instrumento:** Entrevista a Expertos para Validación del Diseño de Red de Telecomunicaciones
- 1.6. **Lugar y fecha:** Cajamarca, 28 de enero del 2025

II. TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

Nº	Evidencias	Valoración					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores		x				
2	Formulación con lenguaje adecuado	x					
3	Adecuado para el estudio		x				
4	Facilita la prueba de hipótesis		x				
5	Suficiencia para medir la variable		x				
6	Facilita la interpretación del instrumento		x				
7	Permite conseguir datos acorde a los objetivos		x				
8	Acorde al avance de la ciencia y tecnología		x				
9	Tiene Secuencia lógica	x					
10	Basado en aspectos teóricos	x					
		TOTAL: 43					

Coeficiente de valoración porcentual: $c = 86\%$

III. OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

Ing. Cesar Barrantes Guzmán

Fig. 84: Ficha de validación de instrumento entrevista

FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. REFERENCIA

- 1.1. **Experto:** Ing. César Barrantes Guzmán
- 1.2. **Especialidad:** Ing. De Sistemas
- 1.3. **Cargo Actual:** Coordinador de Desarrollo de Sistemas
- 1.4. **Institución donde labora:** Municipalidad Provincial de Cajamarca
- 1.5. **Tipo de instrumento:** Ficha de registro de datos
- 1.6. **Lugar y fecha:** Cajamarca, 28 de enero del 2025

II. TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

Nº	Evidencias	Valoración					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	x					
2	Formulación con lenguaje adecuado	x					
3	Adecuado para el estudio	x					
4	Facilita la prueba de hipótesis	x					
5	Suficiencia para medir la variable	x					
6	Facilita la interpretación del instrumento	x					
7	Permite conseguir datos acorde a los objetivos		x				
8	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	x					
9	Tiene Secuencia lógica	x					
10	Basado en aspectos teóricos	x					
TOTAL:		50					

Coeficiente de valoración porcentual: $c = 96\%$

III. OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES


Ing. Cesar Barrantes Guzmán

Fig. 85: Ficha de validación de instrumento Ficha de registro de datos

Anexo 5: Opinión de expertos

- **Ingeniero:** Carlos Alfonso Pérez Cerna

ENTREVISTA

Título de la tesis: "DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA"

Autor de la tesis: Clismán Cidani Segura Florián

I. Datos generales del experto.

Nombres y apellidos: Carlos Alfonso Pérez Cerna

Grado académico: Magíster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones

Título profesional: Ingeniero de Sistemas

Institución donde labora: Dirección Regional de Salud Cajamarca

Áreas de experiencia profesional: Redes y Comunicaciones

Tiempo de experiencia profesional en el área: 10 años

Guía de preguntas:

1. Evaluación General del Diseño:

- ¿Considera que el diseño propuesto cumple con los requisitos técnicos necesarios para operar en una región con características geográficas como San Juan?

El diseño aborda correctamente los principales desafíos como la geografía montañosa (torres estratégicas con enlaces cortos y de alta capacidad), demanda de ancho de banda y falta de infraestructura.

- ¿Cuál es su valoración general respecto al diseño de la red de telecomunicaciones propuesto para el distrito de San Juan, considerando sus aspectos más relevantes, fortalezas y posibles deficiencias?

Fortalezas: La metodología es clara, selección tecnológica moderna, simulaciones detalladas y consideración de costos.

Posibles deficiencias: Falta de validación de campo de los sitios, ausencia de un plan de frecuencias para mitigar interferencia, sobredimensionamiento, falta de redundancia lógica y diseño limitado de la red de acceso WiFi para el usuario final.

2. Evaluación técnica del proyecto

- ¿Considera que el uso de Google Earth para la ubicación de localidades y torres es adecuado como herramienta de apoyo en la etapa de diseño?

Es una herramienta válida para la fase de pre-diseño y planificación inicial ya que permite identificar sitios candidatos y realizar cálculos de perfil aproximados. Sin embargo, es insuficiente para el diseño final, se debe complementar con reconocimiento in situ, pero es aceptado en ingeniería conceptual

- ¿Cómo evalúa el ancho de banda estimado en relación con la demanda proyectada?

La estimación de 10 Mbps para un hogar y 30 Mbps para una institución es una referencia conservada, orientada a futuro y apropiada para proyectos sociales. El cálculo agregado de aproximado de 17.7 Gbps es sólido. El sobredimensionamiento de los enlaces (hasta > 2 Gbps) es una práctica aceptable, que permite crecimiento, agregación de tráfico y resistencia ante degradación de enlace. Sin embargo, es necesario analizar si es posible contratar el ancho de banda demandado en el nodo maestro de donde partirá la contratación del servicio.

- ¿La selección de infraestructura como torres, enlaces y equipos, le parece adecuada según el contexto geográfico del distrito?

En general, sí. Las torres de 30 m. y 40 m. son necesarias para superar obstáculos. Los radios Cambium ePMP 4600 son una opción robusta y conocida en el mercado. Sin embargo, se debe verificar la disponibilidad de soporte técnico y repuestos en Perú para el soporte y mantenimiento.

- ¿El uso del software LINKPlanner es apropiado para evaluar el desempeño de los radioenlaces propuestos?

Si, el LINKPlanner es un software de Cambium y es una herramienta industrial estándar para diseñar y simular redes con sus equipos. Sus modelos de propagación y cálculo de disponibilidad son confiables. Sin embargo, existen también herramientas robustas como el software RadioMobile que pueden complementar el diseño de la red.

- ¿Qué opinión tiene sobre la elección de la tecnología de transmisión como modulación, frecuencias y ancho de canal?

La elección es técnicamente adecuada. Usar 6 GHz con 160 MHz de ancho de canal y 4096-QAM maximiza la capacidad espectral. Es una configuración adecuada en condiciones ideales de propagación. El riesgo es que en condiciones reales (desvanecimientos, interferencia) el enlace puede "caer" a modulaciones más bajas (ej., 64-QAM), reduciendo el throughput pero manteniendo la conectividad. Así mismo existe el riesgo futuro de interferencia por uso de canales anchos.

- ¿Qué opinión tiene sobre los resultados de throughput obtenidos en la simulación para San Juan y sus localidades?

Son adecuados en simulación y demuestran que la tecnología seleccionada es capaz de soportar la demanda con holgura. Es crucial entender que son valores medios, agregados en condiciones de propagación modeladas. En la operación real, el throughput efectivo por usuario final será menor (variable), determinado por la red de acceso (WiFi) y la gestión de tráfico.

- ¿Considera que el diseño actual permite expansión futura sin alterar su estructura base?

La arquitectura es escalable. La capacidad de backhaul sobrante permite agregar más sitios conectándolos a los repetidores existentes. La limitación principal sería el espectro disponible (interferencia), ausencia de mecanismos explícitos de alta disponibilidad y la capacidad de procesamiento de los radios en los nodos de agregación.

3. Sostenibilidad y Factibilidad:

- ¿El diseño es viable desde el punto de vista técnico y económico?
 - Técnicamente: Sí, el diseño es viable. Los mayores riesgos son la validación de los sitios en campo y la gestión de interferencia, no la tecnología en sí.
 - Económicamente: La inversión de \$1.2M USD aprox. para conectar 30 localidades y 4000 habitantes aprox. es significativa, pero dentro de lo esperado para proyectos de infraestructura rural. La relación costo/beneficio social es alta. La viabilidad financiera a largo plazo dependerá del modelo de negocio (subsidio estatal o privado, tarifas comunitarias, etc.) para cubrir los OPEX.
- ¿Qué recomendaciones haría para mejorar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo?
 1. Fortalecer el modelo de mantenimiento: Capacitar a técnicos locales, establecer acuerdos con proveedores para respuestas rápidas, programar planes de mantenimientos y considerar monitoreo remoto avanzado (NOC).
 2. Fase de implementación piloto: Implementar primero un tramo crítico (ej., San Juan - 2 localidades) para validar todos los supuestos en campo, ajustar diseños y presupuestos antes del despliegue total.

3. Plan de actualización tecnológica: Establecer un roadmap para la futura evolución de la red (ej., migración a Wi-Fi 6E/7 en acceso, uso de bandas E-Band para enlaces troncales de mayor capacidad).
4. Considerar enlaces redundantes.

4. Recomendaciones para el futuro

- ¿Qué ajustes sugiere para garantizar la estabilidad de la red bajo condiciones operativas reales?
 1. Reconocimiento de Campo: Contratar topógrafos o ingenieros para verificar línea de vista, coordenadas precisas y accesibilidad de cada sitio.
 2. Plan de Frecuencias e Interferencias: Realizar un estudio de espectro en campo y diseñar un plan de frecuencias/polarizaciones.
 3. Diseño detallado de Red de Acceso: Complementar la tesis con el diseño de la red WiFi interna para cada localidad, incluyendo ubicación de APs, canales y backhaul local.
 4. Análisis de Resiliencia: Modelar escenarios de falla (ej., caída de un repetidor clave) y proponer rutas de respaldo o mecanismos de autorrecuperación.
- ¿Desde su experiencia profesional, recomendaría la adopción de este diseño de red de telecomunicaciones en contextos rurales similares?, ¿Por qué?

Sí, la tesis constituye un modelo replicable. Proporciona un marco metodológico adecuado (diagnóstico, diseño, simulación, costos) que puede ser adaptado a otras regiones. La lección clave es que la parte de radioenlaces de backhaul está bien resuelta en el documento, pero cualquier proyecto real debe invertir recursos significativos en la fase de reconocimiento de campo y en el diseño de la red de acceso final, ya que son los eslabones donde suelen presentarse los problemas operativos sin dejar de lado las estrategias de sostenibilidad a mediano y largo plazo.



Carlos A. Pérez Cerna
CIP: 135232

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE DISEÑO DE RED

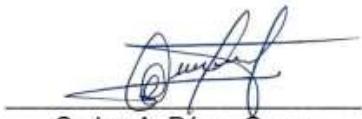
Yo, **Carlos Alfonso Pérez Cerna**, identificado con DNI N° 43026777, Ingeniero de Sistemas, con Maestría en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones, y con experiencia profesional en el área de telecomunicaciones / redes inalámbricas, **HAGO CONSTAR** que he revisado y evaluado el trabajo de investigación titulado:

"DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA", elaborado por el Bachiller Clisman Cidani Segura Florian, de la escuela de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

La revisión se realizó considerando criterios técnicos y metodológicos propios del juicio de expertos, evaluando aspectos como la ubicación de torres, cálculo de ancho de banda, configuraciones de radioenlaces, desempeño técnico y factibilidad económica del diseño propuesto. Como resultado del análisis efectuado, se concluye que el diseño es técnicamente viable, coherente y adecuado para las condiciones geográficas y operativas del distrito de San Juan, cumpliendo con los objetivos planteados en la investigación.

Se expide la presente constancia para los fines académicos que el interesado estime conveniente.

17 de diciembre del 2025



Carlos A. Pérez Cerna
CIP: 135232

- **Ingeniero:** Omar Enrique Toribio Cueva

ENTREVISTA

Título de la tesis: "DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA"

Autor de la tesis: Clismán Cidani Segura Florián

I. Datos generales del experto.

Nombres y apellidos: OMAR ENRIQUE TORIBIO CUEVA

Grado académico: INGENIERO

Título profesional: INGENIERO DE SISTEMAS

Institución donde labora: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA

Áreas de experiencia profesional: REDES

Tiempo de experiencia profesional en el área: 5 AÑOS

Guía de preguntas:

1. Evaluación General del Diseño:

- ¿Considera que el diseño propuesto cumple con los requisitos técnicos necesarios para operar en una región con características geográficas como San Juan?
Si, la solución propuesta es una alternativa que se aplica a las zonas como esta.
- ¿Cuál es su valoración general respecto al diseño de la red de telecomunicaciones propuesto para el distrito de San Juan, considerando sus aspectos más relevantes, fortalezas y posibles deficiencias?
Es un proyecto que puede beneficiar en el acceso a Internet a la población de las comunidades beneficiarias del proyecto en servicios educativos, de salud entre otros. La deficiencia viene por el lado de la operación de esta infraestructura en el tiempo, debe haber soporte técnico y recursos económicos para dar mantenimiento y operación a la red.

2. Evaluación técnica del proyecto

- ¿Considera que el uso de Google Earth para la ubicación de localidades y torres es adecuado como herramienta de apoyo en la etapa de diseño?

Así es, Google Earth se usa para la ubicación de localidades y puntos específicos de ubicación de antenas.

- ¿Cómo evalúa el ancho de banda estimado en relación con la demanda proyectada?

El ancho de banda proyectado es suficiente para la cantidad de usuarios/computadoras consideradas, existiendo un margen de ancho de banda disponible para soportar más usuarios.

- ¿La selección de infraestructura como torres, enlaces y equipos, le parece adecuada según el contexto geográfico del distrito?

Si, se ha planteado varias alternativas en el diseño técnico de la red, sin embargo se ha seleccionado la mejor red, considerando criterios de accesos, seguridad, e infraestructura existente. Dejándose que se pueda validar en campo y definir la red.

- ¿El uso del software LINKPlanner es apropiado para evaluar el desempeño de los radioenlaces propuestos?

Si, el software LinkPlanner es un programa para simular la red, y se usa para el diseño de redes por que lo que es una alternativa válida para el presente proyecto.

- ¿Qué opinión tiene sobre la elección de la tecnología de transmisión como modulación, frecuencias y ancho de canal?

La elección de las modulación, frecuencia y ancho de banda son las adecuadas considerando que pueden usarse libremente.

- ¿Qué opinión tiene sobre los resultados de throughput obtenidos en la simulación para San Juan y sus localidades?

Los niveles de throughput son los adecuados y pueden considerarse válidos para la transmisión de datos.

- ¿Considera que el diseño actual permite expansión futura sin alterar su estructura base?
Así es, el criterio técnico considera ampliar la red, considerando otras localidades cercanas.

3. Sostenibilidad y Factibilidad:

- ¿El diseño es viable desde el punto de vista técnico y económico?
Si, técnicamente es viable, los equipos propuestos son accesibles en el mercado.
- ¿Qué recomendaciones haría para mejorar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo?
La Municipalidad Distrital de San Juan o el MTC debe hacerse cargo de la operación y mantenimiento de la red desplegada.

4. Recomendaciones para el futuro

- ¿Qué ajustes sugiere para garantizar la estabilidad de la red bajo condiciones operativas reales?
Considerar mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos e infraestructura desplegada.
- ¿Desde su experiencia profesional, recomendaría la adopción de este diseño de red de telecomunicaciones en contextos rurales similares?, ¿Por qué?
Si recomendaría el diseño de red propuesto, se tiene experiencia de estos proyectos en varias zonas rurales del país, donde esta solución apoya a las comunicaciones, salud y educación en las localidades donde se ha implementado.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE DISEÑO DE RED

Yo, OMAR ENRIQUE TORIBIO CUEVA, identificado con DNI N.º 42829191, de profesión Ingeniero de Sistemas, con título, y con experiencia profesional en el área de telecomunicaciones / redes inalámbricas, **HAGO CONSTAR** que he revisado y evaluado el trabajo de investigación titulado:

"DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA", elaborado por el Bachiller Clisman Cidani Segura Florian, de la escuela de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

La revisión se realizó considerando criterios técnicos y metodológicos propios del juicio de expertos, evaluando aspectos como la ubicación de torres, cálculo de ancho de banda, configuraciones de radioenlaces, desempeño técnico y factibilidad económica del diseño propuesto. Como resultado del análisis efectuado, se concluye que el diseño es técnicamente viable, coherente y adecuado para las condiciones geográficas y operativas del distrito de San Juan, cumpliendo con los objetivos planteados en la investigación.

Se expide la presente constancia para los fines académicos que el interesado estime conveniente.

17 de diciembre del 2025



Ing. Omar Enrique Toribio Cueva

DNI: 42829191

- **Ingeniero:** Juan Carlos Sánchez Chunque

ENTREVISTA

Título de la tesis: "DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA"

Autor de la tesis: Clismán Cidani Segura Florián

Datos generales del experto:

Nombres y apellidos: Juan Carlos Sánchez Chunque

Grado académico: Maestría en ciencias

Título profesional: Ingeniería de Sistemas

Institución donde labora: Municipalidad provincial de Cajamarca

Áreas de experiencia profesional: Telecomunicaciones y Seguridad Informática

Tiempo de experiencia profesional en el área: 12 años

Guía de preguntas:

1. **Evaluación General del Diseño:**

- ¿Considera que el diseño propuesto cumple con los requisitos técnicos necesarios para operar en una región con características geográficas como San Juan?

Si, el diseño propuesto cumple con los requisitos técnicos necesarios para operar en un lugar con características geográficas como el distrito de San Juan. El estudio considera de manera adecuada la geografía montañosa, la dispersión de localidades y las diferencias altitudinales (entre 1 803 y 3 204 msnm), incorporando radioenlaces punto a punto (PTP) y punto a multipunto (PTMP) con línea de vista completa, lo cual es fundamental para garantizar la estabilidad de la red en zonas rurales.

- ¿Cuál es su valoración general respecto al diseño de la red de telecomunicaciones propuesto para el distrito de San Juan, considerando sus aspectos más relevantes, fortalezas y posibles deficiencias?

La valoración es positiva, ya que presenta una planificación técnica coherente, estructurada y acorde al contexto rural. Entre sus principales fortalezas destacan el uso de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica como punto de interconexión, el correcto dimensionamiento del ancho de banda según demanda poblacional e institucional y las Simulaciones técnicas que muestran throughput superior a 2.2 Gbps. Como posible deficiencia, se podría señalar que el diseño está basado en simulaciones teóricas, por lo que sería recomendable validar ciertos enlaces en campo.

2. Evaluación técnica del proyecto

- ¿Considera que el uso de Google Earth para la ubicación de localidades y torres es adecuado como herramienta de apoyo en la etapa de diseño?

Si, el uso de Google Earth Pro es adecuado y pertinente.

- ¿Cómo evalúa el ancho de banda estimado en relación con la demanda proyectada?

Adecuado y correctamente dimensionado de acuerdo a los requerimientos actuales de servicios digitales en zonas rurales.

- ¿La selección de infraestructura como torres, enlaces y equipos, le parece adecuada según el contexto geográfico del distrito?

Adecuada, puesto que se logra obtener línea vista entre enlaces.

- ¿El uso del software LINKPlanner es apropiado para evaluar el desempeño de los radioenlaces propuestos?

Si, el uso de LINKPlanner es completamente apropiado, ya que es una herramienta especializada para el diseño de radioenlaces.

- ¿Qué opinión tiene sobre la elección de la tecnología de transmisión como modulación, frecuencias y ancho de canal?
La elección tecnológica es adecuada y coherente con el contexto rural. El uso de banda de 6 GHz, junto con técnicas de modulación adaptable y anchos de canal seleccionados, permite alcanzar altas velocidades de transmisión manteniendo estabilidad frente a interferencias.
- ¿Qué opinión tiene sobre los resultados de throughput obtenidos en la simulación para San Juan y sus localidades?
Optima, se obtuvo los resultados que se necesitan, incluso ante crecimiento de usuarios o mayor consumo de datos.
- ¿Considera que el diseño actual permite expansión futura sin alterar su estructura base?
Sí, el diseño permite expansión futura sin alterar su estructura base.

3. Sostenibilidad y Factibilidad:

- ¿El diseño es viable desde el punto de vista técnico y económico?
Sí, el proyecto es técnica y económicamente viable. Desde el punto de vista técnico, cumple con estándares de desempeño y disponibilidad; desde el punto de vista económico los costos están dentro del rango del mercado.
- ¿Qué recomendaciones haría para mejorar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo?
Prever obstáculos para evitar latencia y planificar mantenimientos.

4. Recomendaciones para el futuro

- ¿Qué ajustes sugiere para garantizar la estabilidad de la red bajo condiciones operativas reales?
Se sugiere considerar márgenes adicionales frente a condiciones climáticas adversas, así como la implementación de mecanismos de redundancia en los enlaces más críticos.

- ¿Desde su experiencia profesional, recomendaría la adopción de este diseño de red de telecomunicaciones en contextos rurales similares?, ¿Por qué?

Sí, recomendaría su adopción en contextos rurales similares, debido a que el diseño demuestra ser replicable, escalable, técnicamente sólido y económicamente factible.



Proyecto elaborado por MARCHÍZ
CHONGUA Juan Carlos PAZ
2012001042.pdf
Última: Sin el sello del documento
Fecha: 17/12/2010 11:20:13 (UTC)

Firma el experto

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE DISEÑO DE RED

Yo, Juan Carlos Sánchez Chunque, identificado con DNI N° 44332450, Ingeniero de sistemas y con experiencia profesional en el área de telecomunicaciones y seguridad informática, **HAGO CONSTAR** que he revisado y evaluado el trabajo de investigación titulado:

"DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL DISTRITO DE SAN JUAN, CAJAMARCA", elaborado por el Bachiller Clisman Cidani Segura Florian, de la escuela de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

La revisión se realizó considerando criterios técnicos y metodológicos propios del juicio de expertos, evaluando aspectos como la ubicación de torres, cálculo de ancho de banda, configuraciones de radioenlaces, desempeño técnico y factibilidad económica del diseño propuesto. Como resultado del análisis efectuado, se concluye que el diseño es técnicamente viable, coherente y adecuado para las condiciones geográficas y operativas del distrito de San Juan, cumpliendo con los objetivos planteados en la investigación.

Se expide la presente constancia para los fines académicos que el interesado estime conveniente.

17 de Diciembre del 2025



firmado digitalmente por SÁNCHEZ
CHUNQUE Juan Carlos FRU
correo: jchunque@unsa.edu.pe
Número: 300000000000000000
Fecha: 17/12/2025 11:00:38 (00:00)

DNI: 44332450

Juan Carlos Sánchez Chunque