

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



T E S I S

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA
LA CONECTIVIDAD EN LOS DISTRITOS DE INGUILPATA Y LONYA
CHICO, LUYA, AMAZONAS”**

Para Optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADA POR:

Bach. Samuel Esteban Farias Vásquez

Bach. Jorge Luis Regalado Inga

ASESOR:

M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla

LAMBAYEQUE – PERÚ

28 de abril de 2026

TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA
CONECTIVIDAD EN LOS DISTRITOS DE INGUILPATA Y LONYA CHICO, LUYA,
AMAZONAS”**

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

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:



**DR. ING. FRANK RICHARD RODR'GUEZ CHIRINOS
PRESIDENTE**



**DR. ING. LUCIA ISABEL CHAMÁN CABRERA
SECRETARIO**



**MG. ING. MARTÍN AUGUSTO NOMBERRA LOSSIO
VOCAL**

T E S I S

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA
CONECTIVIDAD EN LOS DISTRITOS DE INGUILPATA Y LONYA CHICO, LUYA,
AMAZONAS”**

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

AUTORES:



Bach. Samuel Esteban Fariás Vásquez



Bach. Jorge Luis Regalado Inga

ASESOR:



M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD



0076



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 41.-202.6-D/FACFyM

Siendo las 11:30 horas del día 28 de abril del 2024, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA CONECTIVIDAD EN LOS DISTRITOS DE INQUILPATA Y LONJA CHILO LUYA, AMAZONAS

Designados por Resolución N° 495-2024 D/FACFyM de fecha 30 de abril de 2024

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

Dr. Ing. <u>Frank Richard Rodríguez Chirinos</u>	Presidente
Dra. Ing. <u>Isabel Chaman Cabrera</u>	Secretario
Mp. Ing. <u>Martín Augusto Nambeca Lorisio</u>	Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) M.Sc. Ing. Hugo Javier Chidena Padilla, nombrado por Resolución N° 495-2024 D/FACFyM de fecha 30 de abril de 2024

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 277-2026 D/FACFyM de fecha 31 de marzo de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Samuel Esteban Flores Vásquez y Jorge Luis Regalado Inga y tuvo una duración de 30 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de Quince (15) en la escala vigesimal, mención (Regular).

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

Siendo las 12:55 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
 Presidente

Secretario
 LUAS ISABEL CHAMAN CABRERA

Martín A Nambeca Lorisio
 Vocal

HUGO JAVIER CHIDENA PADILLA
 Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Hugo Javier Chiclayo Padilla, usuario revisor del documento titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA CONECTIVIDAD EN LOS DISTRITOS DE INGUILPATA Y LONYA CHICO, LUYA, AMAZONAS”, cuyos autores son: Jorge Luis Regalado Inga identificado con DNI Nro 42493484 y Samuel Esteban Farias Vasques, identificado con DNI Nro 42062805; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 9%, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 06 de setiembre del 2024



M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla

DNI: 16703734

Farias-Regalado

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	censo2017.inei.gob.pe Fuente de Internet	1%
3	www.dell.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1%
6	cicese.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
9	www.hacertutesis.com Fuente de Internet	<1%

<1 %

10

oa.upm.es

Fuente de Internet

<1 %

11

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

12

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

13

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

14

www.eltiempo.com

Fuente de Internet

<1 %

15

www.cinit.org.mx

Fuente de Internet

<1 %

16

brendaesquivel.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

17

Submitted to Universidad Tecnológica
Centroamericana UNITEC

Trabajo del estudiante

<1 %

18

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

19

coodes.upr.edu.cu

Fuente de Internet

<1 %

20 www.pcdigital.com.mx <1 %
Fuente de Internet

21 Orellana, Gino Huber Ramos. "Las Visiones de transformación del Territorio Hidrosocial en la Cuenca Baja del Río Huallaga en Un Contexto de integración Regional: Caso del Proyecto Hidrovía Amazónica", Pontificia Universidad Católica del Peru (Peru), 2024 <1 %
Publicación

22 Submitted to PLANESTIC-UD <1 %
Trabajo del estudiante

23 www.es.netgear.com <1 %
Fuente de Internet

24 www.slideshare.net <1 %
Fuente de Internet

25 repositorio.ucv.edu.pe <1 %
Fuente de Internet


Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

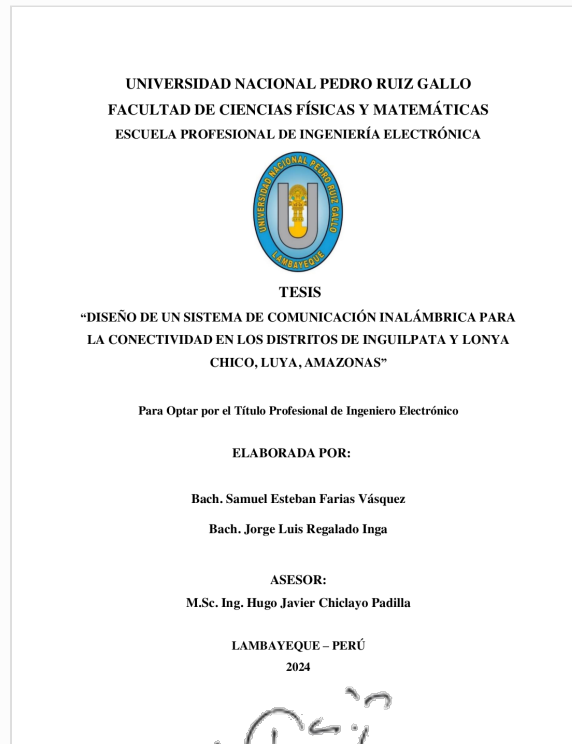


Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Farias-regalado Farias-regalado
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Farias-Regalado
Nombre del archivo: Informe_Final_Far_as_-_Regalado.docx
Tamaño del archivo: 5.44M
Total páginas: 98
Total de palabras: 12,361
Total de caracteres: 69,499
Fecha de entrega: 21-dic.-2024 10:44a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2557078902



Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570

AGRADECIMIENTO

A puertas de concluir una maravillosa etapa de mi vida, quiero extender mi profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que caminaron junto a mí en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. En primer lugar, una mención especial para mi DIOS, ya que sin Él nada de esto hubiera sido posible, todo, absolutamente todo es gracias a Dios. Agradecer también a mi madre quien siempre estuvo y está para mí, aún en las circunstancias más difíciles. De manera muy especial también agradecer a mi esposa y mi hermoso hijo, quiénes son una bendición para mí y a la vez son mi motor y motivo para seguir adelante cumpliendo nuestras metas y sueños más anhelados.

Mi gratitud también a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, mi agradecimiento sincero al asesor de mi tesis, Ing. Hugo Javier Chiclayo, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

Samuel Esteban Farias Vásquez

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, a la escuela profesional de Ingeniería Electrónica y docentes por todos los conocimientos y orientación impartidos a lo largo de nuestra formación académica profesional. Mi sincero agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Hugo Chiclayo Padilla por su apoyo durante el desarrollo y culminación de este proyecto.

A mis amigos, con todos los que compartimos dentro y fuera de las aulas, que se convierten en amigos de vida y colegas, gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Jorge Luis Regalado Inga

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme en todo momento para poder tomar la mejor decisión, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar antes los problemas e inconvenientes que se presentaban día a día, que con su amor y su gracia me sostuvo y me enseñó a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mi madre por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, quién me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi persistencia y perseverancia para lograr los objetivos que me proponga.

De manera muy especial dedico esta tesis a mi menor hijo, quién desde que llegó a mi vida la cambió por completo y para mejor, él es todo para mí, y todo lo que hago desde ese momento es en torno a él, gracias a él tengo un gran motivo y fuerzas para seguir adelante, ya que todo lo que hago, lo hago por amor a él.

Samuel Esteban Farias Vásquez

DEDICATORIA

A mis queridos padres, este logro académico es un reflejo del incansable esfuerzo que han invertido para brindarme una educación sólida. Cada sacrificio que han hecho, cada día de trabajo duro y cada decisión que tomaron en mi nombre son el fundamento de mi éxito. Su dedicación y esfuerzo constante para asegurarme una educación son un regalo que valoro más allá de las palabras. Gracias por inculcarme siempre la importancia del trabajo duro y la educación.

A mi amado José Sebastián, cada día que paso a tu lado es un regalo que atesoro en mi corazón. Tus risas, ocurrencias e inmensa capacidad de amar han sido la inspiración detrás de cada esfuerzo en mi vida.

Jorge Luis Regalado Inga

ÍNDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I.....	22
1.1	Diseño Teórico.....	22
1.1.1	Antecedentes.....	22
1.1.1.1	Antecedentes Internacionales.....	22
1.1.1.2	Antecedentes Nacionales.....	23
1.1.2	Bases Teóricas.....	24
1.1.2.1	Sistemas de comunicaciones.....	24
1.1.2.2	Sistemas de comunicaciones inalámbricas.....	25
1.1.2.3	Tecnologías inalámbricas por Alcance.....	26
1.1.2.4	Redes Inalámbricas.....	29
1.1.2.5	Ancho de banda.....	29
2	CAPÍTULO II.....	32
2.1	Métodos y Materiales.....	32
2.1.1	Diseño de Contrastación de Hipótesis.....	32
2.1.2	Población, muestra.....	32
2.1.2.1	Población.....	32
2.1.2.2	Muestra.....	32
2.1.3	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....	33
2.1.3.1	Técnicas.....	33

2.1.3.2	Instrumentos	33
2.1.3.3	Equipos.....	34
2.1.3.4	Materiales	35
3	CAPÍTULO III	37
3.1	Resultados y Discusión	37
3.1.1	Resultados del Análisis de Literatura sobre Tecnologías Inalámbricas.....	37
3.1.1.1	Tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access):.....	38
3.1.1.2	Tecnología WLL (Wireless Local Loop).....	57
3.1.1.3	Tecnología TVWS (Televisión White Space).....	60
3.1.1.4	Comunicación Satelital	62
3.1.1.5	Red Luya – Inguilpata.....	67
3.1.1.6	Red de Respaldo Lonya Chico – Inguilpata.....	80
3.1.2	Selección de la Tecnología Adecuada	84
3.1.3	Discusión Comparativa con Estudios Previos	84
4	CAPÍTULO IV	86
4.1	Conclusiones y Recomendaciones	86
4.1.1	Conclusiones.....	86
4.1.2	Recomendaciones	87
5	REFERENCIAS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de las Redes Inalámbricas.....	19
Figura 2: Sistemas de Telecomunicaciones.....	25
Figura 3: Sistemas de Telecomunicaciones Inalámbricas	26
Figura 4: Distintas tecnologías inalámbricas según su alcance.....	27
Figura 5: Redes Inalámbricas	28
Figura 6: Ancho de Banda.....	29
Figura 7: Redes WiMAX.....	30
Figura 8: Diseño de Contrastación Hipótesis	32
Figura 9: Enlace Luya -Lonya Chico	39
Figura 10: Luya - 3 repetidores - Lonya Chico	40
Figura 11: Luya - 2 repetidores - Lonya Chico	41
Figura 12: Rep Luya v1 - Rep Luya 2	43
Figura 13: Emisor Luya V1	47
Figura 14: Repetidor Luya 2.....	47
Figura 15: Enlace Repetidor Luya 2 - Lonya chico.....	48
Figura 16: Repetidor Luya 2.....	51
Figura 17: Receptor Lonya Chico	51
Figura 18: Emisor Luya V1	54
Figura 19: Repetidor Luya 2.....	55
Figura 20: Enlace Luya - Repetidor Luya	58
Figura 21: Repetidor Luya - Lonya Chico.....	59
Figura 22: Tecnología TVWS (Television White Space)	61

Figura 23: Radioenlace Satelital Emisor Luya	64
Figura 24: Enlace Amazonas 2/3/5- Lonya Chico.....	66
Figura 25: Enlace Luya -Inguilpata	68
Figura 26: Enlace Luya Antena – Repetidor Luya 2	69
Figura 27: Emisor Luya Antena	71
Figura 28: Receptor - Repetidor Luya 2.....	72
Figura 29: Vista de Enlace Repetidor Luya 2 - Inguilpata.....	72
Figura 30: Emisor Repetidor Luya 2	74
Figura 31: Receptor Inguilpata.....	75
Figura 32: Enlace Antena Luya - Repetidor Luya.....	75
Figura 33: Repetidor Luya 2 - Inguilpata	76
Figura 34: Enlace Luya - Satelite Amazonas 2/3/5	78
Figura 35: Receptor Inguilpata.....	79
Figura 36: Enlace Lonya Chico - Inguilpata	80
Figura 37: Receptor Inguilpata.....	83
Figura 38: Emisor Lonya Chico	83
Figura 39: Luya, Amazonas, Perú	94
Figura 40: Suscriptores con conexión al servicio de internet móvil.....	95
Figura 41: Suscriptores con conexión al servicio de internet fijo	95
Figura 42: Hogares que tienen al menos una computadora y Hogares con al menos un miembro que tiene teléfono celular	96
Figura 43: Arquitectura de red IEEE 802.16.....	97
Figura 44: Figure 2: Frame structure of IEEE 802.16 MAC.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Amazonas: Población total por departamento, provincia y distrito, 2018 - 2020	20
Tabla 2: Repetidor a Rep Luya 2	42
Tabla 3: Proyección del crecimiento poblacional	42
Tabla 4: Emisor Luya V1	44
Tabla 5: Resumen del enlace	45
Tabla 6: Receptor Repetidor Luya 2	46
Tabla 7: Emisor: Repetidor Luya 2	49
Tabla 8: Resumen de Enlace	49
Tabla 9: Receptor Lonya Chico	50
Tabla 10: Emisor Luya V1	53
Tabla 11: Resumen de Radioenlace	53
Tabla 12: Repetidor Luya 2	54
Tabla 13: Emisor - Repetidor Luya 2	55
Tabla 14: Resumen de radioenlace	56
Tabla 15: Receptor Lonya Chico	56
Tabla 16: Informe de enlace	59
Tabla 17: Resultado Enlace repetidor Luya - Lonya Chico	60
Tabla 18: Punto de apoyo repetidor Luya 2	68
Tabla 19: Emisor Luya Antena	70
Tabla 20: Resumen del enlace	70
Tabla 21: Receptor Repetidor Luya 2	71

Tabla 22: Emisor Repetidor Luya 2.....	73
Tabla 23: Resumen de Enlace.....	73
Tabla 24: Receptor Inguilpata.....	74
Tabla 25: Informe de enlace	76
Tabla 26: Informe de enlace	77
Tabla 27: Emisor Lonya Chico.....	81
Tabla 28: Resumen de Radioenlace.....	82
Tabla 29: Receptor Inguilpata.....	82

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar una estrategia para llevar conectividad a zonas de difícil acceso mediante la comunicación inalámbrica, este proyecto se desarrolló en los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, en Luya, Amazonas. Para lograr esta hazaña se puso a prueba diferentes tecnologías de comunicación no guiada, estas fueron; WIMAX, WLL (Wireless Local Loop) y sistemas satelitales, estas fueron elegidas para cumplir con estándares de conectividad que OSIPTEL exige y también garantizar una conectividad. Se usó una metodología donde se simuló las tecnologías para hacer un análisis de radioenlace, tomando en cuenta los factores más influyentes como la distancia, la zona geográfica y la infraestructura, para seleccionar las tecnologías eficientes. Los resultados nos mostraron que la implementación de WIMAX, es la mejor opción, operando en la frecuencia de 5.8 GHz con un ancho de banda adecuado, proporcionando velocidades de hasta 1 Gbps. Otra de las tecnologías que logró un buen desempeño fueron los sistemas satelitales de baja órbita como es el caso de Amazonas Nexus, ofreciendo una solución alternativa para mejorar la cobertura. Esta combinación tecnológica garantiza la conectividad de instituciones clave, como centros de salud y educativos, ofreciendo un servicio estable y de calidad para satisfacer las crecientes demandas de comunicación en estas zonas rurales.

Palabras clave: Conectividad inalámbrica, WiMAX, Telecomunicaciones rurales

ABSTRACT

This research work aims to develop a strategy to bring connectivity to hard-to-reach areas through wireless communication. This project was developed in the districts of Inguilpata and Lonya Chico, in Luya, Amazonas. To achieve this feat, different unguided communication technologies were tested, these were; WIMAX, WLL (Wireless Local Loop) and satellite systems, these were chosen to meet the connectivity standards that OSITEL demands and also guarantee connectivity. A methodology was used where the technologies were simulated to make a radio link analysis, taking into account the most influential factors such as distance, geographic area and infrastructure, to select efficient technologies. The results showed us that the implementation of WIMAX is the best option, operating at the 5.8 GHz frequency with adequate bandwidth, providing speeds of up to 1 Gbps. Another technology that achieved good performance was low-orbit satellite systems such as Amazonas Nexus, offering an alternative solution to improve coverage. This technological combination guarantees the connectivity of key institutions, such as health and educational centres, offering a stable and quality service to meet the growing communication demands in these rural areas.

Keywords: Wireless connectivity, WiMAX, Rural telecommunications

INTRODUCCIÓN

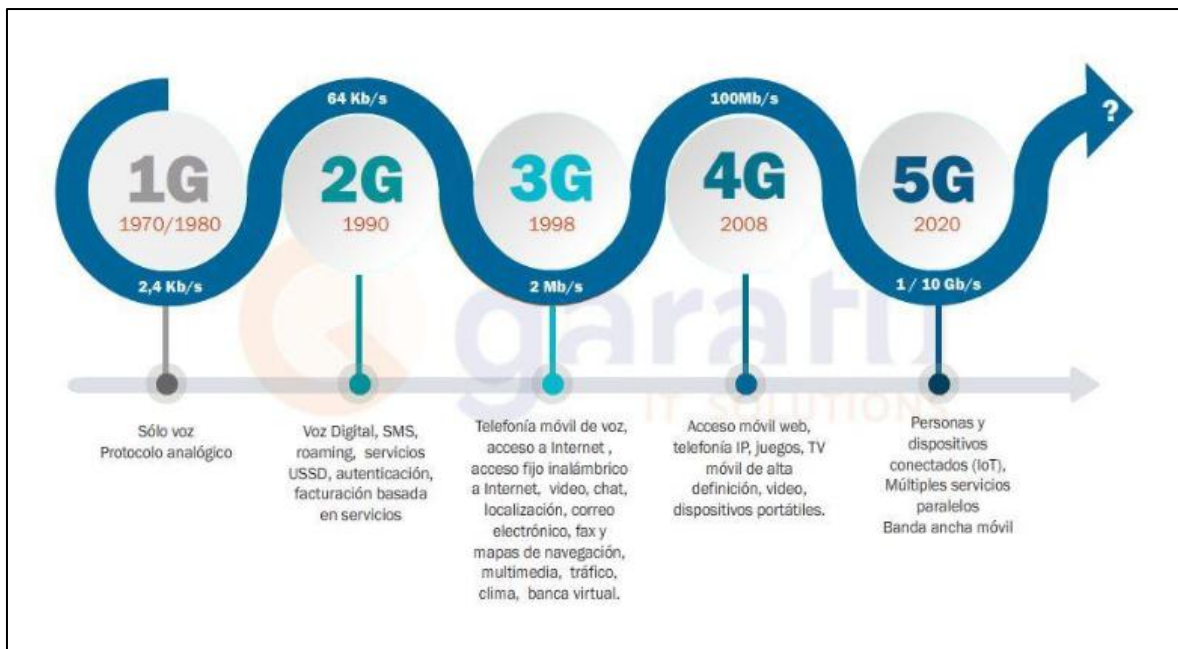
Las telecomunicaciones constituyen un elemento estructural clave para garantizar la conectividad y la inclusión digital de las sociedades modernas, Una robusta infraestructura de telecomunicaciones, amparada en políticas que fomenten su accesibilidad, es indispensable para democratizar el acceso equitativo a la información, el conocimiento y los servicios digitales emergentes. Dicho acceso universal reduce brechas y posibilita tanto el desarrollo socioeconómico como la participación activa de todos los sectores poblacionales en las dinámicas de la era digital, convirtiéndose las telecomunicaciones bien gestionadas en un poderoso vehículo de inclusión e integración comunitaria en el contexto de creciente digitalización (Llongo-Sanunga, 2022).

Las telecomunicaciones han cambiado nuestras vidas al conectarnos como nunca antes. Internet abrió un mundo de posibilidades que antes era inimaginable. Ahora, con tan solo un clic, los estudiantes pueden acceder a libros y clases en línea sin importar dónde vivan. Pacientes en áreas remotas reciben ayuda médica especializada sin salir de su casa, emprendedores transforman sus ideas en negocios globales. Grupos minoritarios encuentran su voz y difunden su cultura (Quillas-Cupe et al., 2020).

En América Latina vemos un fuerte contraste: mientras las grandes ciudades gozan de Internet rápido, el campo sigue rezagado. Esta brecha digital marca dos realidades distintas en una misma nación, los jóvenes urbanos dan por sentado el uso de redes sociales o servicios de streaming, tienen todo un mundo de posibilidades laborales y de emprendimiento con solo un clic, estudiar o trabajar en línea es un sueño distante para muchas comunidades rurales desconectadas. Sus pobladores pierden chances de progresar y acceder a información valiosa por la falta de infraestructura adecuada.

Figura 1:

Evolución de las Redes Inalámbricas



Se han impulsado políticas para cerrar esta brecha, pero aún no alcanza, necesitamos acortar estas distancias tecnológicas para que tropiezos geográficos no limiten el potencial de nuestros pueblos, la transformación digital debe extenderse de igual manera tanto a los barrios urbanos como a las comunidades rurales y remotas (Sellan, 2022).

En el Perú, la distancia más grande no siempre es la del mapa, aún con más antenas y cables que antes, existen comunidades en los Andes y en la selva donde el internet no llega. Esta desconexión cierra puertas a poblaciones emprendedoras y con el derecho de gozar con todos los servicios que te puede brindar las telecomunicaciones.

Por la pandemia, todos vimos cuan vital es tener internet en casa, los niños del campo tuvieron que estudiar virtualmente, los enfermos, solo podían atender por un médico a través de un celular, cerrar la brecha digital es un trabajo urgente si se desea integrar a los más rezados al desarrollo del país, debemos acortar las distancias geográficas y sociales, el internet ha derribado muchas barreras que

brindan nuevas oportunidades a aquellos históricamente excluidos, la falta de acceso a esta red puede marginar completamente a comunidades enteras del progreso social y económico (Ortiz-Perez, 2022)

El departamento de Amazonas se ubica en la región nororiental del Perú y está constituido políticamente por 7 provincias, 84 distritos y 3,114 centros poblados, cuya población total censada es de 379,384 habitantes, residiendo en el área rural 221,824 personas y en el área urbana 157,560. En los últimos diez años, la población urbana creció a una tasa promedio anual de 2,0 % y la rural disminuyó a una tasa de decrecimiento promedio de 1,0 % por año, la provincia más poblada es Utcubamba con 107,237 habitantes, que constituye el 28,3 % del total censado, le sigue Bagua 74,100, Chachapoyas 55,506 (capital del departamento), Luya 44,436, Condorcanqui 42,470, Rodríguez de Mendoza 29,998 y Bongará 25,637. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018)

Respecto al censo anterior, presentan aumento de población Rodríguez de Mendoza 13,7 %, Chachapoyas 11,7 % y Bagua 3,3 %; por el contrario, se redujo el número de habitantes en Luya 8,1 %, Bongará 6,7 %, Condorcanqui 1,9 % y Utcubamba 1,7 %. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020)

Tabla 1: Amazonas:

Población total por departamento, provincia y distrito, 2018 - 2020

Item	Nombre	Población Total Proyectada		
		2018	2019	2020
Departamento	Amazonas	419 833	423 863	426 806
Provincia	Luya	48 110	48 032	47 827
Distrito	Inguilpata	517	502	486
	Lonya Chico	891	876	858

El objetivo de este estudio es Diseñar un Sistema de Comunicación Inalámbrica para la conectividad de los distritos de los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, Luya, Amazonas. Esta investigación busca fundamentalmente abordar y solucionar las limitaciones de conectividad que enfrentan estas comunidades, esenciales para su desarrollo integral y sostenible.

1 CAPÍTULO I

1.1 **Diseño Teórico**

1.1.1 **Antecedentes**

1.1.1.1 **Antecedentes Internacionales**

Sellan (2022), en su investigación describe que las redes de comunicaciones móvil 5G pueden fortalecer las comunicaciones inalámbricas a bajo costo, debido a que se basan en Open Source, su metodología es cuantitativa y de forma descriptiva y experimental, el desarrollo de su trabajo tuvo como escenario la provincia de Cantón Babahoyo que fue su población de estudio. Utilizó análisis de seguridad, simulaciones de arquitectura de red y evaluación de desempeño como instrumentos. Los resultados muestran que la implementación de las comunicaciones 5G con Open Source son viables tanto en lo técnico y lo económico, mejorando la conectividad y seguridad de la información. Concluye que este acercamiento mejora el coste y efectividad, pero paralelamente ayuda a los entornos corporativos en una mayor productividad y eficiencia dándole un camino hacia la transformación digital del GAD de Babahoyo.

Por su parte Arias-Rodríguez (2022), trabajó en caracterizar y comprender las limitaciones de las interfaces de comunicación Bluetooth y WiFi en medios acuáticos y en la creación de un dispositivo para lograr la mejora en la transmisión de datos desde plataformas submarinas. En su metodología utiliza ambientes controlados donde realizó pruebas experimentales para el estudio del desempeño de las tecnologías seleccionadas. Como muestra usaron dispositivos sumergidos en agua, utilizando comunicaciones inalámbricas para la transmisión de datos, WiFi y Bluetooth. Utilizó NodeMCU ESP32 y el

software LabVIEW, sus resultados mostraron la viabilidad y las limitaciones que presentan estas tecnologías en aplicaciones submarinas. Concluye que las comunicaciones inalámbricas RF es una gran opción para usarlo en medios submarinos, destacando que la observación y estudios de ecosistemas marinos mejorarían en gran escala.

En su tesis Medina-Beltrán (2019), que lleva por título Desarrollo de antenas miniatura UWB con aplicación en sistemas de comunicaciones móviles 5G. se esforzó en la optimización de antenas ultra ancho banda (UWB) para utilizarlas en las comunicaciones móviles 5G en las próximas generaciones. Su metodología empleada fue experimental, realizando simulaciones en Ansys HFSS y pruebas físicas, logrando crear antenas que operan en el rango de 20 a 50 GHz eficientemente. Los resultados avalan que el diseño de antenas en miniatura UWB cumplen con los requerimientos de banda ancha y rendimiento para la aplicación en 5G, resaltando su viabilidad en la mejora de las comunicaciones móviles y la conectividad global.

1.1.1.2 Antecedentes Nacionales

Cabana & Supho (2022), se enfocó en estudiar el cómo la implementación de sistemas de comunicación inalámbricos ayuda en las actividades de mantenimiento mecánico disminuyendo accidentes laborales. Utilizando un diseño experimental con observación y análisis documental, usó una muestra de 24 trabajadores registrando el índice de accidentabilidad antes y después de la implementación del sistema. En el 2021 el índice de accidentabilidad fue de 25.8, ya para el 2022 este índice se redujo a 0.0, estos resultados muestran que el sistema redujo significativamente el índice de accidentabilidad, concluye

con que la seguridad laboral se ve mejorada al implementar sistemas de comunicación inalámbrica.

Maticorena-Balvin (2020) hace mención sobre propuestas de mejora y revisión documental como una vía para mejorar la gestión de calidad en telecomunicaciones. Se centra en la infraestructura técnica, normativas y alcance social. Concluye que, si se requiere un desarrollo educativo y sostenible para la población peruana se debe mejorar el área de telecomunicaciones haciendo énfasis en una gestión de calidad para la inclusión social y el progreso socioeconómico en el Perú.

Quillas-Cupe et al. (2020), con el objetivo de mejorar la calidad de conectividad en zonas rurales de Huancavelica diseño un sistema de radioenlace. Con una metodología basada en el diseño y análisis de espectro, teniendo como puntos a evaluar la viabilidad técnica y la optimización de la red. Los resultados muestran que enlaces rurales mejoraron gracias a la banda de 54 GHz. concluyendo que esta tecnología tiene gran potencial para fomentar su desarrollo socioeconómico y acercarlos al mundo digital acortando brecha tecnológica de estas comunidades.

1.1.2 Bases Teóricas

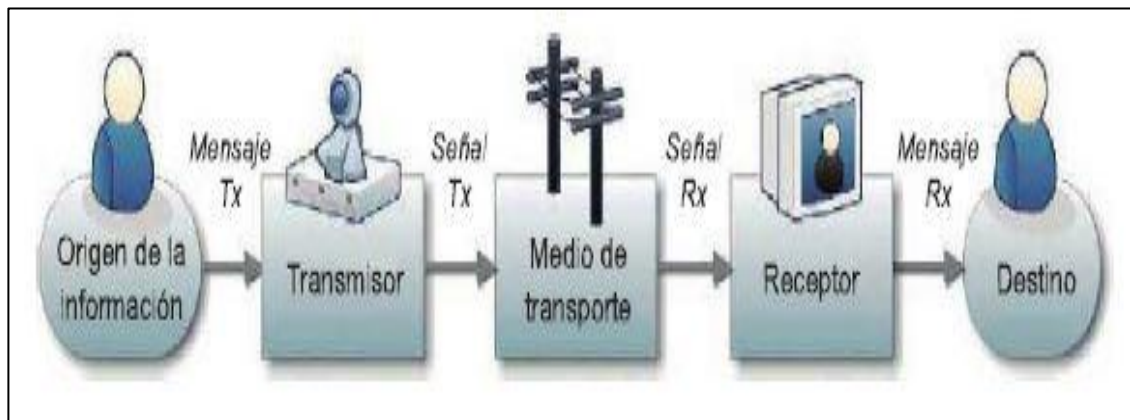
1.1.2.1 Sistemas de comunicaciones

Los sistemas de comunicaciones permiten el intercambio de información entre personas o dispositivos a largas distancias, esto gracias a que estas son un conjunto de técnicas, equipos y servicios que permiten el envío y recepción de señales. Estos sistemas implican una alta variedad de tecnologías, como telefonía fija y móvil, televisión y radio, redes de datos, que utilizan medios guiados a través de cables y medios no guiados como las

ondas electromagnéticas para recibir y transmitir datos, voz y video. Las comunicaciones globales se dan de manera instantánea, esto gracias a la infraestructura de las telecomunicaciones, haciendo que las comunicaciones personales, operaciones comerciales y los servicios de emergencia sean más fáciles y rápidas ((Toro-Bernal, 2020).

Figura 2:

Sistemas de Telecomunicaciones

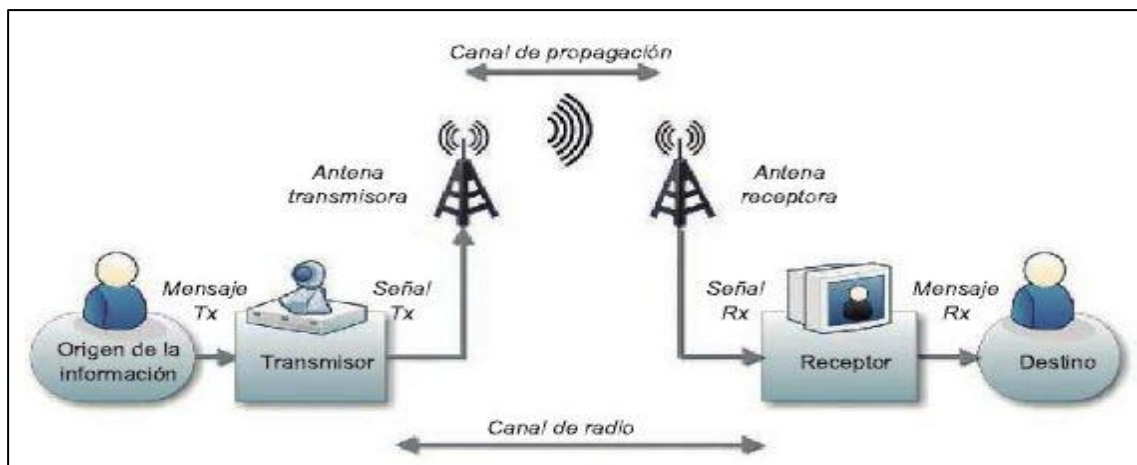


1.1.2.2 Sistemas de comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas se dan cuando se quiere intercambiar información entre dos o más puntos sin la necesidad de cables, siendo un conjunto de tecnologías y procesos. Logran enviar y recibir datos, voz y video por medio del aire esto debido a que usan ondas electromagnéticas, como radiofrecuencia, infrarrojos o luz visible, radiofrecuencia, facilitando a las comunicaciones en su movilidad y flexibilidad. Son esenciales para servicios como telefonía móvil, redes Wi-Fi, comunicaciones por satélite y radiodifusión (Arias-Rodríguez, 2022).

Figura 3:

Sistemas de Telecomunicaciones Inalámbricas



1.1.2.3 Tecnologías inalámbricas por alcance

En la actualidad las tecnologías inalámbricas han transformado la forma en que se conectan interactúan las personas y dispositivos, brindando comunicaciones sin la necesidad de usar cables de forma eficiente y en altas velocidades.

WiFi es una de las tecnologías que brinda a través de puntos de acceso conectividad de alta velocidad, estos puntos de acceso emiten señales en las bandas de 2.4 GHz y 5GHz, es ampliamente utilizada en hogares, espacios públicos y oficinas, convirtiéndose en una de las más comunes. WiFi a lo largo de las generaciones a evolucionado, desde 802.11b hasta 802.11ax (WiFi 6), logrando mejoras en velocidad, capacidad y eficiencia espectral. Por otro lado, Bluetooth que utiliza la banda de 2.4 GHz es empleado en comunicaciones a cortas distancias, permite que dispositivos como teclados, auriculares, ratones y otros dispositivos electrónicos se conecten (Quilumba & Pullotasig, 2021).

Bluetooth en su camino se ha transformado, dándonos versiones para tareas específicas como la transmisión de energía para dispositivos IOT, esta lleva por nombre

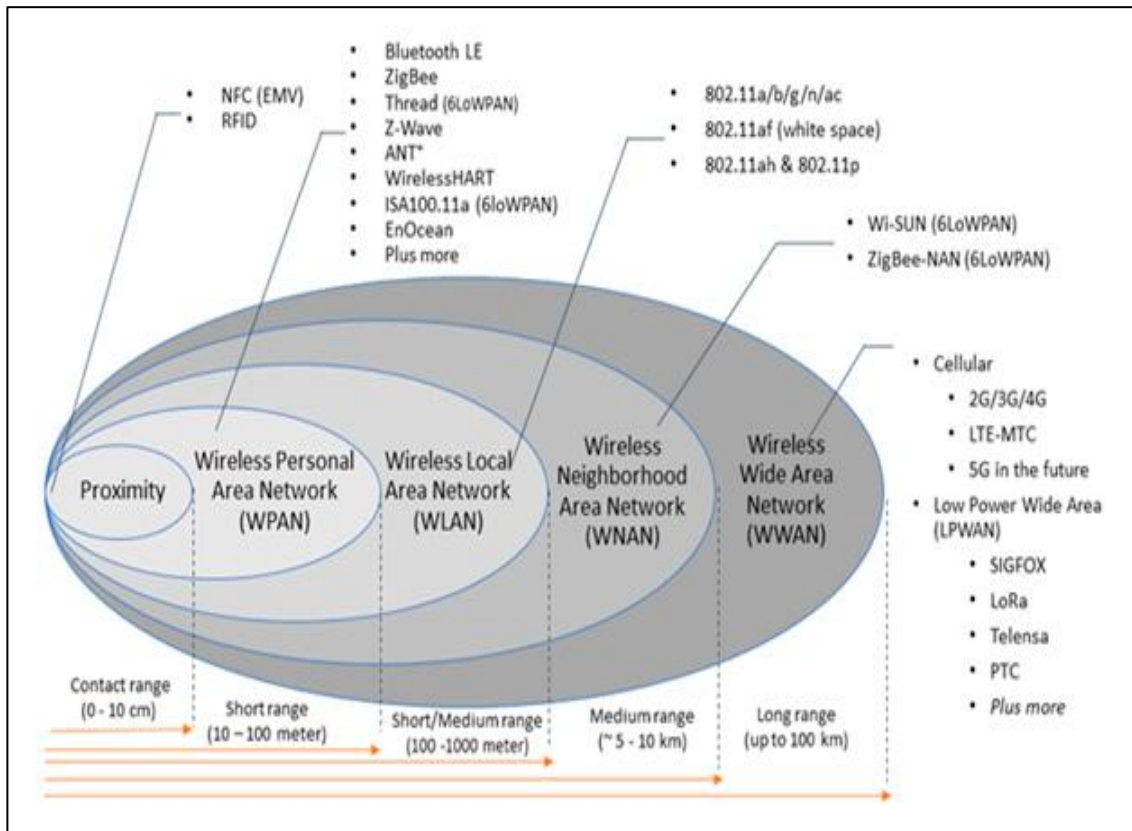
Bluetooth Low Energy (BLE) que es una tecnología que opera en la banda de 2.4 GHz siendo diseñada para la automatización de hogares y para redes de sensores (Malik et al., 2020a).

Zigbee es conocida por darle a los dispositivos capacidad de comunicarse entre sí, logrando formar mallas y extendiéndolas en alcance (Alam et al., 2021).

LTE y 5G son las actuales representantes de las tecnologías móvil que permiten que la transmisión de datos alcancen altas velocidades, una menor latencia y mayor capacidad de conexión simultánea, esto hace que sean la mejor opción para aplicaciones donde se requiere un gran ancho de banda y comunicación en tiempo real, como streaming de video, realidad aumentada y vehículos autónomos (Medina-Beltrán, 2019).

Figura 4:

Distintas tecnologías inalámbricas según su alcance

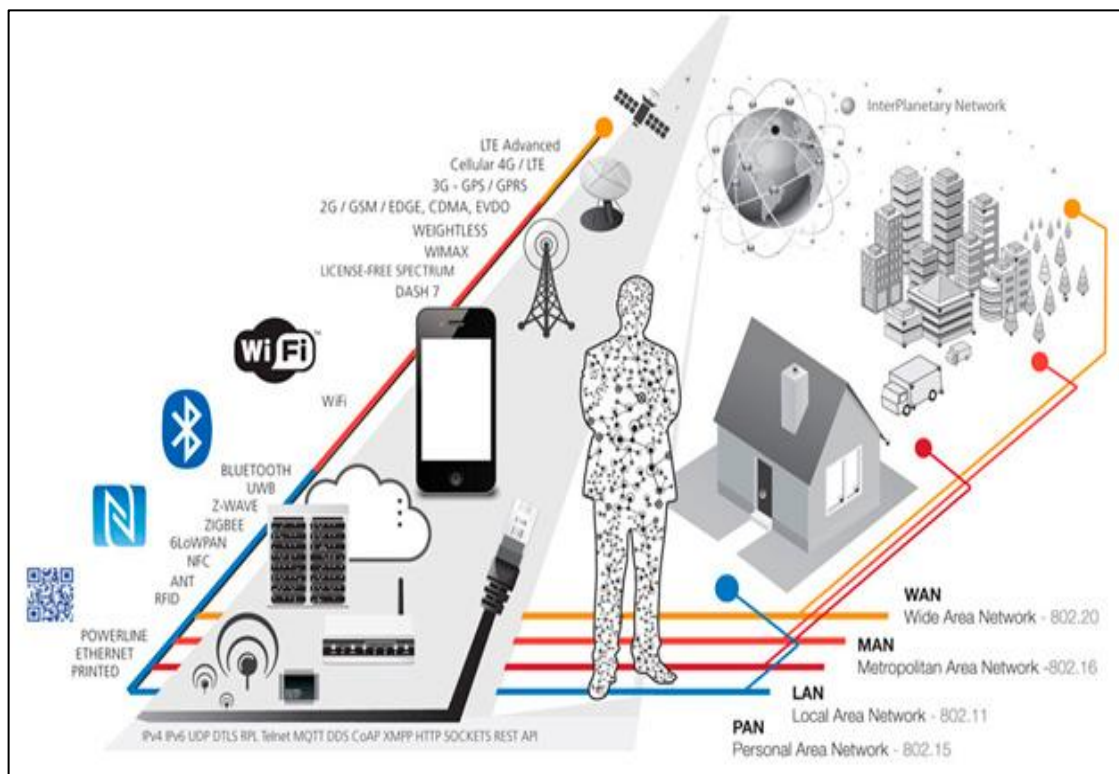


WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una tecnología utilizada en áreas metropolitanas y rurales debido a que ofrece conexiones inalámbricas de banda ancha y capacidad para cubrir grandes distancias y robustez en la transmisión de datos, siendo una alternativa en regiones donde la infraestructura guiada es limitada (Alam et al. 2021).

Las comunicaciones inalámbricas abarcan una gran cantidad de tecnologías a continuación se muestra una porción de las tecnologías existentes clasificadas según su alcance (Hinostraza & Garcés, 2019).

Figura 5:

Redes Inalámbricas



1.1.2.4 Redes Inalámbricas

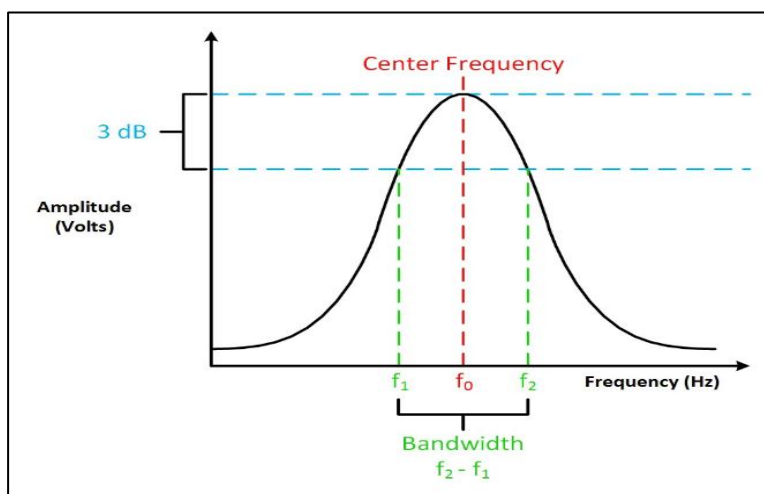
Mediante el uso de ondas Electromagnéticas permiten la conexión y comunicación entre dispositivos sin la necesidad de cables, estas redes se utilizan entre dispositivos en espacios personales, locales (WiFi) y en zonas geográficas amplias (redes móviles) haciendo que el acceso a Internet y la transmisión de datos y conectividad sean eficientes. Gracias a que aportan flexibilidad y movilidad son ampliamente utilizadas en la implementación de tecnologías como el Internet de las cosas (IOT), también aporta una infraestructura de comunicación crítica para la era de la digitalización moderna (Herrera, 2022).

1.1.2.5 Ancho de Banda

Capacidad de transmisión que una red puede proporcionar y se mide en bits por segundo (bps). Esta medida nos dice cual la máxima cantidad de datos se pueden enviar a través de una conexión de red en un periodo de tiempo determinado, esta le da la velocidad en que la información es transmitida desde un punto a otro. Una transmisión mayor de datos simultáneos requerirá un mayor ancho de banda, obteniendo una comunicación más rápida y eficiente (Medina-Beltrán, 2019).

Figura 6:

Ancho de Banda



1.1.2.6 WiMAX: Tecnología y Aplicaciones

WiMAX es una tecnología utilizada para largas distancias ofreciendo acceso de banda ancha a internet y otros servicios de datos, tiene una arquitectura que emplea estaciones base y antenas que cubren gran área territorial. En sus especificaciones técnicas, WiMAX comprende bandas de frecuencia de 2.3 GHz, 2.5 GHz y 3.5 GHz, esta tecnología brinda velocidades de hasta 70 Mbps y una amplia cobertura que puede alcanzar los 50 Km. WiMAX ofrece estas características debido al uso de técnicas avanzadas de modulación, como OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y MIMO (Múltiple Input Múltiple Output), que se encargan de la mejora de la eficiencia espectral y la capacidad de la red (Raflí & Edy Purnomo, 2022).

Figura 7:

Redes WiMAX



WiMax en su arquitectura incluye una estación base la cual se comunica con diversas estaciones móviles o suscriptores, esto lo logra gracias a que puede configurar en modos punto a multipunto o malla su enlace de radio utilizado. WiMAX es amigable en entornos rurales y urbanos, permitiendo el correcto funcionamiento de aplicaciones tales como, la conectividad de última milla, backhaul para redes celulares, y permite que en áreas donde la infraestructura de cable es limitada o inexistente tengan acceso a internet. En entornos urbanos, WiMAX puede proporcionar acceso de banda ancha a edificios comerciales y residenciales, mientras que, en áreas rurales, puede ser utilizado para conectar escuelas, clínicas y hogares, mejorando significativamente la conectividad y el acceso a la información en regiones remotas (Rosaline et al., 2020).

2 CAPÍTULO II

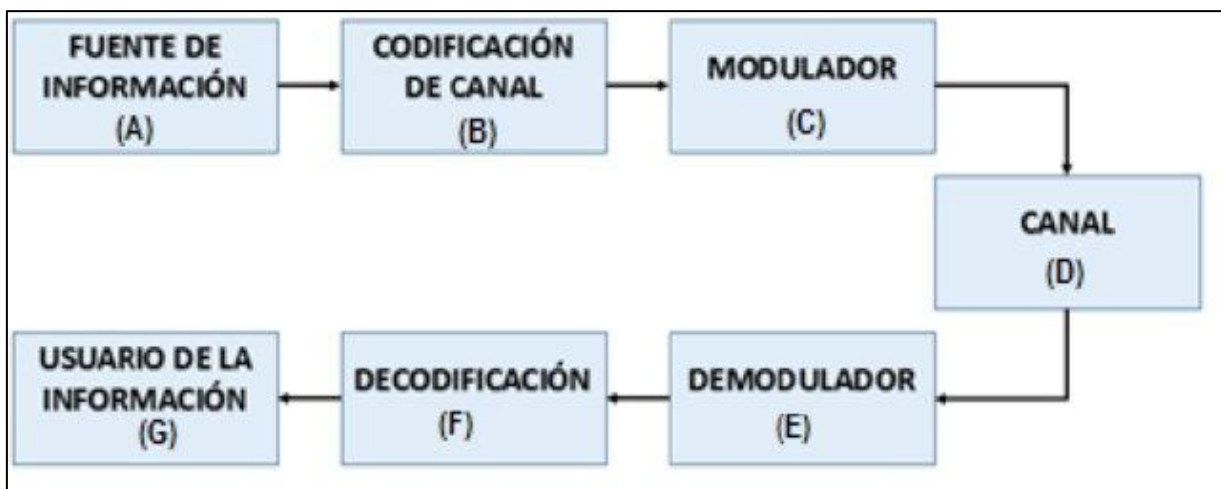
2.1 Métodos y Materiales

2.1.1 Diseño de Contrastación de Hipótesis

Usando las diferentes teorías sistemas de telecomunicaciones, basándose en las tecnologías inalámbricas aplicadas a brindar servicios de conectividad a zonas rurales y de difícil acceso, se plantea una solución tecnológica actual y que hace uso de técnicas para solucionar problemas de acceso como se presentan en la sierra y selva del Perú debido a su accidentada geografía.

Figura 8:

Diseño de Contrastación Hipótesis



2.1.2 Población, muestra

2.1.2.1 Población

Conformada por los sistemas de telecomunicaciones inalámbricas existentes para proveer conectividad en zonas rurales remotas.

2.1.2.2 Muestra

Sistemas de telecomunicaciones inalámbricas implementados en localidades rurales para atender instituciones educativas.

2.1.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

2.1.3.1 Técnicas

- **Análisis de cobertura y propagación de señales:** Se emplearán técnicas de modelado de propagación de señales inalámbricas para evaluar el comportamiento de las diferentes tecnologías en áreas rurales con características geográficas particulares. Se utilizarán modelos como -Hata, Longley-Rice, y modelos de propagación ITU-R P.1546, que permiten simular la cobertura y calidad de señal en terrenos montañosos y dispersos (Espinoza et al., 2020).
- **Simulación y optimización de redes:** Se implementarán simulaciones a través de software especializado en telecomunicaciones, para modelar y analizar diferentes arquitecturas de redes inalámbricas (WiMAX, LTE, redes mesh, y enlaces satelitales) y optimizar parámetros de rendimiento como latencia, throughput, y tasa de pérdida de paquetes(Malik et al., 2020b).

2.1.3.2 Instrumentos

- **Fichas bibliográficas:** Para organizar llevar un registro de las fuentes consultadas para el desarrollo de revisión de literatura, se crearán fichas bibliográficas. Estas tendrán la estructura de autor, título, año de publicación, resumen y comentarios sobre la influencia de la fuente en la investigación. El uso de estas fichas ayuda a tener una organización clara para el estudio y comparación de las distintas fuentes que se dispone, facilitando la construcción del marco teórico y el avance en el campo de la detección de melanomas mediante aprendizaje automático.

- **Fichas de Contenido:** con el fin de rescatar los puntos clave de cada artículo o fuente significativa, utilizaremos las fichas de contenido, teniendo como foco los métodos, resultados y conclusiones de las investigaciones. Al estructurar la información en estas fichas ayuda a realizar una comparación óptima entre los estudios con relación a la investigación, facilitando la identificación de patrones o enfoques compartidos que pueden ayudar en el desarrollo del modelo propuesto.

2.1.3.3 Equipos

- **Antenas direccionales y omnidireccionales:** Estas antenas fueron elegidas dependiendo del tipo de tecnología (WiMAX, LTE, etc) y la topografía del terreno teniendo en consideración su alto rendimiento, como antenas Yagi, paneles sectoriales y antenas parabólicas. Estas antenas permitirán maximizar la cobertura en las áreas de Inguilpata y Lonya Chico.
- **Estaciones base y repetidores:** Para garantizar la conectividad en zonas con barreras geográficas, se utilizarán estaciones base de tecnologías inalámbricas como LTE o WiMAX y repetidores que amplifiquen las señales en áreas remotas. Dependiendo de la distancia y la topografía, se considerará la instalación de torres de hasta 30 metros de altura.
- **Equipos de energía solar:** Dado que muchas zonas rurales no cuentan con una infraestructura eléctrica estable, se integrarán sistemas de energía solar para alimentar

las estaciones base y repetidores. Se utilizarán paneles solares y baterías de respaldo con reguladores MPPT para asegurar el funcionamiento continuo del sistema.

2.1.3.4 Materiales

- **Documentación técnica:** Uno de los materiales clave en este estudio será la revisión de literatura técnica, tanto de carácter académico como de informes de empresas de telecomunicaciones especializadas. Estos documentos incluirán especificaciones detalladas sobre los equipos de telecomunicaciones y sus aplicaciones en zonas rurales. La literatura académica proporcionará un marco teórico sólido, cubriendo conceptos fundamentales sobre las distintas tecnologías inalámbricas y su evolución en el tiempo. Además, se incluirán informes técnicos de proveedores de telecomunicaciones y organismos internacionales que describan la implementación de redes en áreas rurales similares. Estos materiales serán utilizados para fundamentar el diseño teórico del sistema de comunicación propuesto y garantizar que las soluciones tecnológicas seleccionadas se alineen con las necesidades específicas de las comunidades objetivo.
- **Mapas geográficos y datos topográficos:** La investigación se basará en el uso de mapas detallados y datos topográficos de los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, con el fin de evaluar las condiciones geográficas y cómo estas influyen en el diseño de un sistema inalámbrico eficiente. La topografía, que incluye montañas, ríos y otras barreras naturales, puede afectar la propagación de señales inalámbricas, por lo que es crucial entender estas características para planificar teóricamente la ubicación de las estaciones base, torres de comunicación y repetidores. Se hará uso de sistemas de información

geográfica (GIS) para mapear áreas de difícil acceso y zonas donde se prevé que la señal pueda tener problemas de cobertura. La correcta interpretación de esta información será clave para describir las estrategias de diseño que permitan optimizar la conectividad en estos distritos rurales.

- **Estudios previos y normativas:** La investigación también recurrirá a estudios previos sobre la implementación de sistemas de comunicación en zonas rurales, así como las normativas locales e internacionales que regulan el uso del espectro radioeléctrico en el Perú. Estos estudios y regulaciones proporcionarán el contexto necesario para evaluar las mejores prácticas en la instalación de sistemas de telecomunicaciones, considerando tanto los aspectos técnicos como los legales. Se revisarán experiencias previas en la implementación de redes de comunicación en zonas rurales similares a los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, analizando los desafíos que enfrentaron estos proyectos y las soluciones que se adoptaron para superarlos. Asimismo, se estudiarán las normativas que rigen el uso de las frecuencias de radio, las licencias para operar estaciones base y las directrices gubernamentales relacionadas con la expansión de la conectividad en zonas rurales.

3 CAPÍTULO III

3.1 Resultados y Discusión

En esta sección se expusieron y analizaron los resultados obtenidos del estudio comparativo de las tecnologías inalámbricas más adecuadas para mejorar la conectividad en los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, ubicados en la provincia de Luya, región Amazonas, Perú. El objetivo de la investigación fue diseñar un sistema de comunicación inalámbrica que permitiera extender la cobertura de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, la cual ya estaba presente en los distritos de Luya y San Jerónimo, hacia estas áreas rurales que carecían de conectividad. Dado que, según el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL), los únicos puntos de conectividad en la provincia se encontraban en Luya y San Jerónimo, con coordenadas (-6.165178011, -77.947176016) y (-6.064530060, -77.976619940) respectivamente, se planteó la necesidad de implementar una red de comunicación que conectara estos puntos con Inguilpata y Lonya Chico mediante un sistema inalámbrico. El propósito principal fue identificar la tecnología más apropiada para afrontar las condiciones geográficas y socioeconómicas de estos distritos, considerando su enlace con la infraestructura existente. Para lograrlo, se consideraron múltiples tecnologías de telecomunicaciones considerando su viabilidad técnica y económica que fueron evaluadas en la revisión bibliográfica. Los resultados fueron debidamente discutidos con los estudios previos en base a la conectividad en zonas rurales, dando con nuevas oportunidades para proyectar futuras aplicaciones en el con respecto a la conectividad rural en el Perú.

3.1.1 Resultados del Análisis de Literatura sobre Tecnologías Inalámbricas

La revisión literaria fue minuciosa con respecto a las tecnologías inalámbricas más utilizadas en áreas rurales. La cual crea una base teórica en donde sostener la tecnología más pertinente para

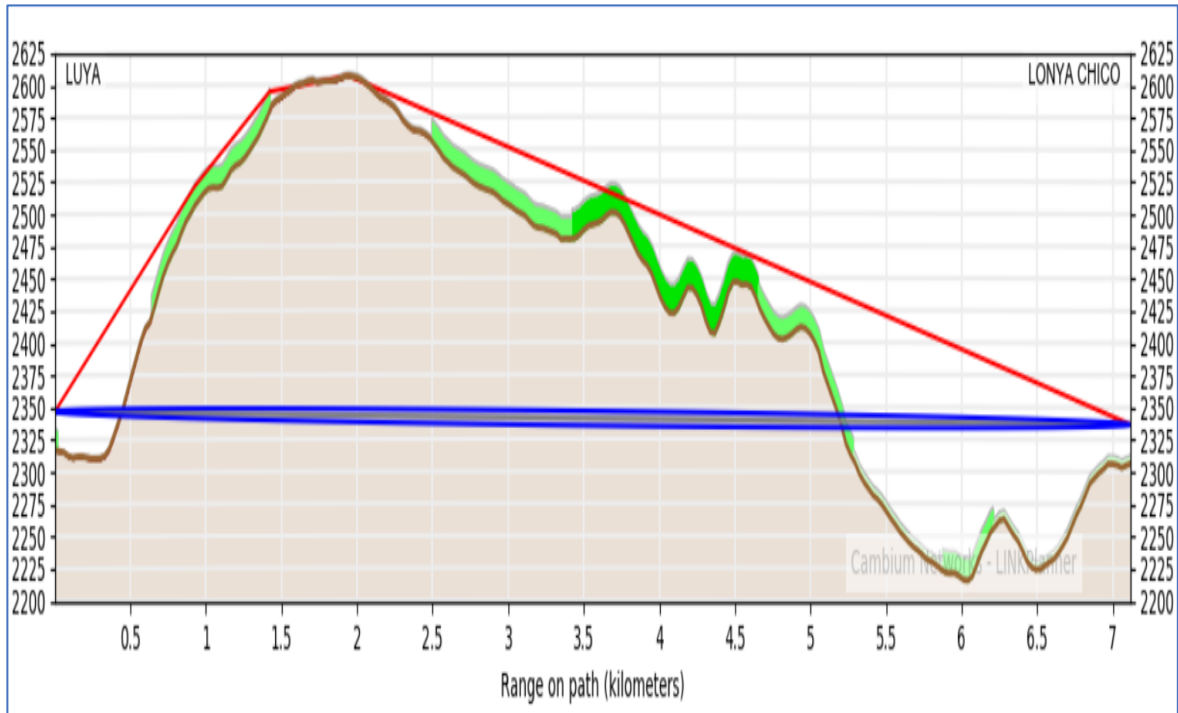
los distritos de Inguilpata y Lonya Chico. Se estudiaron tecnologías basándose en identificar sus características, fortalezas y limitaciones en entornos geográficos complejos y económicamente desafiante, estas tecnologías fueron WiMAX, LTE y redes Mesh.

3.1.1.1 Tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access):

Para evaluar la viabilidad de la conectividad, se tomó la ubicación de los puntos entre Luya y Lonya Chico. Instalando una antena de radioenlace utilizando como base la red dorsal. La viabilidad del radioenlace se determinó a través de un software de simulación. Los resultados arrojan que la tecnología WiMAX gracias a su capacidad de abarcar largas distancias con una infraestructura mínima ha sido la solución óptima en distintas regiones rurales del mundo. Haciendo que esta tecnología sea la adecuada para zonas con difícil acceso y con baja densidad poblacional, como los distritos de Inguilpata y Lonya Chico. La en la literatura científica nos brinda casos donde si se pudo llegar a regiones con condiciones difícil en su geografía, muy similares a la sierra peruana donde WiMAX resalta entre otras tecnologías como la fibra óptica u otras más costosas, esto debido a que proporciona un servicio de alta velocidad y confiable. Además, WiMAX opera en bandas tanto licenciadas como no licenciadas, ofreciendo flexibilidad en la asignación del espectro, especialmente en países en desarrollo como Perú, donde las regulaciones pueden limitar el acceso a tecnologías más complejas como LTE. La revisión de la literatura confirma que WiMAX es una opción viable no solo desde un punto de vista tecnológico, sino también económico para las zonas rurales en estudio.

Figura 9:

Enlace Luya -Lonya Chico



Por lo tanto, en esta simulación será necesario implementar una serie de enlaces de apoyo o repetidores, los cuales deberán ubicarse cerca de fuentes de energía eléctrica. Para asegurar un suministro adecuado, se tomarán como referencia las viviendas cercanas, que servirán como puntos clave para acceder a la red eléctrica existente en la zona.

En este caso, los puntos de apoyo se utilizarán para asegurar una línea de vista directa, sin embargo, se realizó un estudio exhaustivo de todos los posibles emplazamientos con el fin de minimizar el número de repetidores y así reducir los costos. Debido a las condiciones geográficas del entorno, se obtuvieron dos soluciones viables: una que requería la instalación de tres repetidores y otra que solo necesitaba dos. También se consideró utilizar un único repetidor, al no encontrarse un punto que estuviera cerca a una fuente de energía sin que la vista directa fuera obstruida por cerros o montañas cercanas a las viviendas identificadas, con esto descartamos esta posibilidad.

Figura 10:

Luya - 3 repetidores - Lonya Chico



En este primer escenario, se utilizaron tres repetidores estos no lograron un buen desempeño en la potencia de transmisión. Para mejorarlo, se optó usar el repetidor 2 como enlace principal en la nueva configuración, esto llevo a una mejora significativa en la potencia de transmisión. Con esta configuración se realizaron los cálculos finales, ya que en términos de conectividad y eficiencia era la que nos daba un mejor rendimiento.

Figura 11:

Luya - 2 repetidores - Lonya Chico



Al encontrar la mejor ruta para el enlace, se consideró que la mejor ubicación para la instalación antena fue el punto Luya V1 gracias a que está conectado a la Red Nacional de Fibra Óptica. Esta configuración nos permitió emplear en el enlace un único repetidor. La antena ubicada en Luya V1 recibe el internet proveniente de la fibra óptica, actuando como la emisora principal. Se eligió el punto llamado Red Luya2 como repetidor, mientras que como punto receptor fue elegido Lonya Chico. Con esta disposición se garantiza una transmisión eficiente de la señal ya que se optimiza el uso de la infraestructura existente y reduce la necesidad de repetidores adicionales.

Tabla 2:*Repetidor a Rep Luya 2*

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA DE ANTENA
Luya V1	06.16613S	077.94200W	10m
Rep. Luya 2	06.18281S	077.94816W	20m
Lonya Chico	06.22915S	077.95439W	20m

En este escenario, se ha optado por utilizar antenas con una altura no mayor a 20 metros, con el objetivo de mejorar y garantizar la conectividad de manera eficiente. Además, se realizó una proyección del crecimiento poblacional para asegurar que el sistema pueda soportar el aumento en la demanda de servicios en el futuro. En esta proyección, se han considerado no solo las necesidades de la población general, sino también infraestructuras clave como postas médicas, colegios y comisarías, asegurando que estos centros críticos cuenten con una conectividad adecuada para el desarrollo de sus actividades y servicios esenciales.

Tabla 3:*Proyección del crecimiento poblacional*

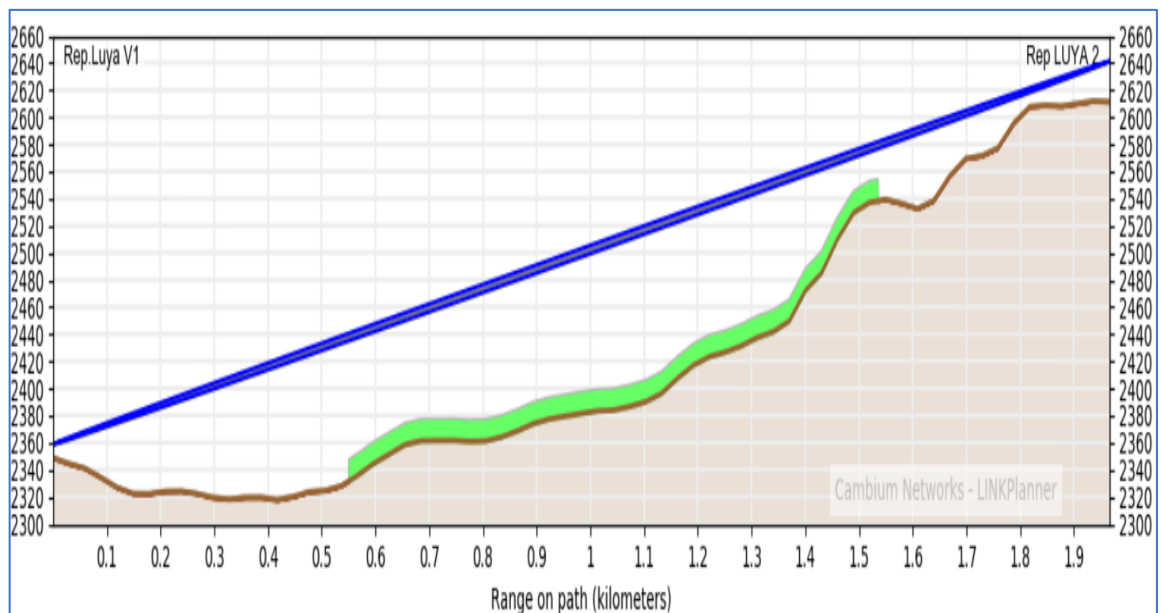
Nombre	2005	2008	2014	2020	2024	2030	Comisaria	Colegio	Postas
Lonya Chico	1047	1015	997	878	858	760	1	4	1

Considerando el escenario proyectado para 800 usuarios, se ha previsto que aproximadamente el 25% de ellos, es decir, 200 usuarios, se conecten y realicen descargas simultáneamente, cumpliendo con los estándares mínimos aceptados por OSIPTEL. Esto implica una demanda de 800 Mbps de descarga y 200 Mbps de subida, lo cual garantiza los 4 Mbps de descarga y 1 Mbps de subida por usuario, conforme a los parámetros establecidos por el regulador. Para cumplir con estos requerimientos de conectividad simultánea, se determinó la necesidad del uso de una banda de frecuencia mayor a los 5 GHz, con un ancho de banda de 160 MHz, permitiendo llegar hasta los 1.5 Gbps de velocidad, cubriendo así el tráfico de red, Para este tipo de escenarios se logró identificar que una banda de frecuencia de 24 GHz es la más recomendada ya que bajo estas condiciones ofrece mayor capacidad y estabilidad en las conexiones.

3.1.1.1.1 Repetidor Luya V1– Rep Luya 2 usando 5.8Ghz como banda de frecuencia

Figura 12:

Rep Luya v1 - Rep Luya 2



En este primer radioenlace, se logró una conectividad de 226 Mbps y una latencia de 2.4 minutos por año, utilizando una frecuencia de banda de 5.8 GHz con un ancho de banda de 45 MHz. Estos valores cumplen con la expectativa de rendimiento y se encuentran dentro de los parámetros previstos, Se puede llegar a alcanzar velocidades de hasta 1.5 Gbps con una latencia de 3.6 minutos por año empleando un ancho de banda de 160 MHz. Con esta configuración se asegura que el radioenlace sea adecuado para cubrir las necesidades de la zona, manteniendo en las comunicaciones un equilibrio entre calidad y velocidad.

Tabla 4:

Emisor Luya V1

Performance to LUYA	
Predicted Receive Power :	-35 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	225.56 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4511 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Al usar el emisor el ancho de banda de 45 Mhz. y una frecuencia de banda de 5.8Ghz.

Tabla 5:

Resumen del enlace

Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	451.11 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
<hr/>	
System Gain Margin :	52.54 dB
Free Space Path Loss :	103.23 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.00 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	103.23 dB

Los cálculos arrojan una pérdida total de 103,23 dB del radioenlace, esto debido a la pérdida de trayectoria en el espacio libre. Este tipo de pérdida es inherente a la propagación de la señal a través del espacio y está influenciada por factores como la distancia entre los puntos de transmisión y recepción, así como la frecuencia utilizada. A pesar de esta pérdida, el sistema sigue dentro de los parámetros aceptables de funcionamiento, garantizando una conectividad estable y eficiente para la solución propuesta.

Tabla 6:

Receptor Repetidor Luya 2

Performance to Rep.Luya V1	
Predicted Receive Power :	-35 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	225.56 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4511 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Como resultado, se ha confirmado que al repetidor Luya 2 le están llegando los 226 Mbps transmitidos, lo que indica que la primera etapa del radioenlace se ha completado con éxito. Este resultado garantiza que el enlace inicial cumple con los requisitos de velocidad y estabilidad previstos, asegurando una conectividad adecuada para el siguiente tramo del sistema de comunicación inalámbrica proyectado. Con este paso concluido, se valida la efectividad del diseño y la capacidad de la infraestructura para soportar la demanda de datos en las siguientes fases.

Figura 13:

Emisor Luya V1

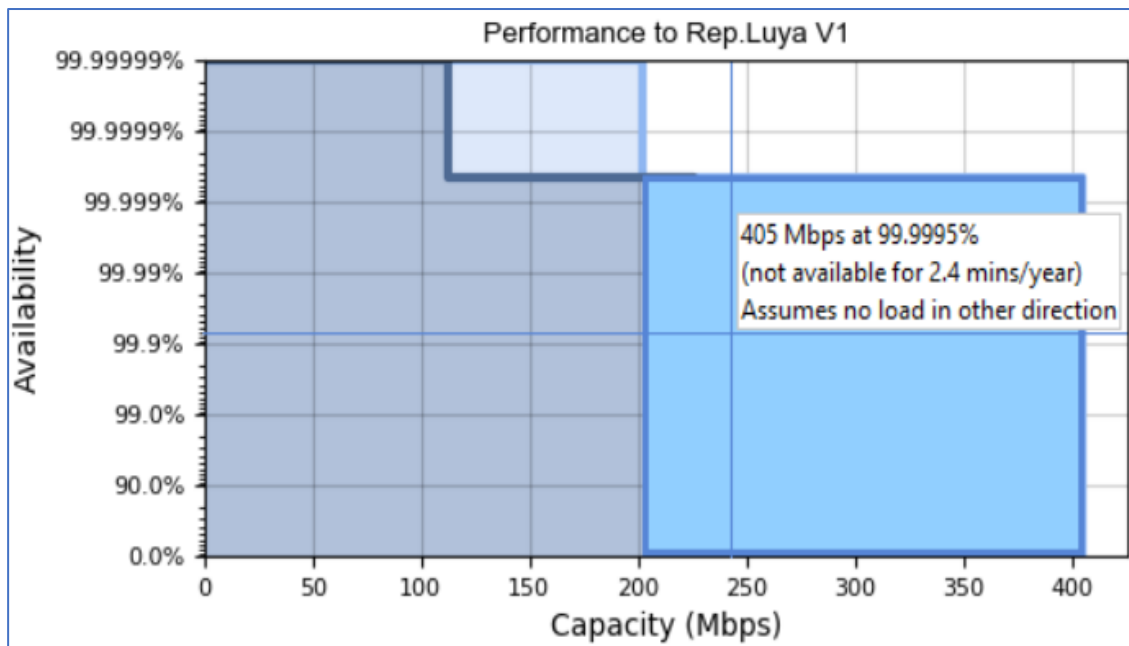
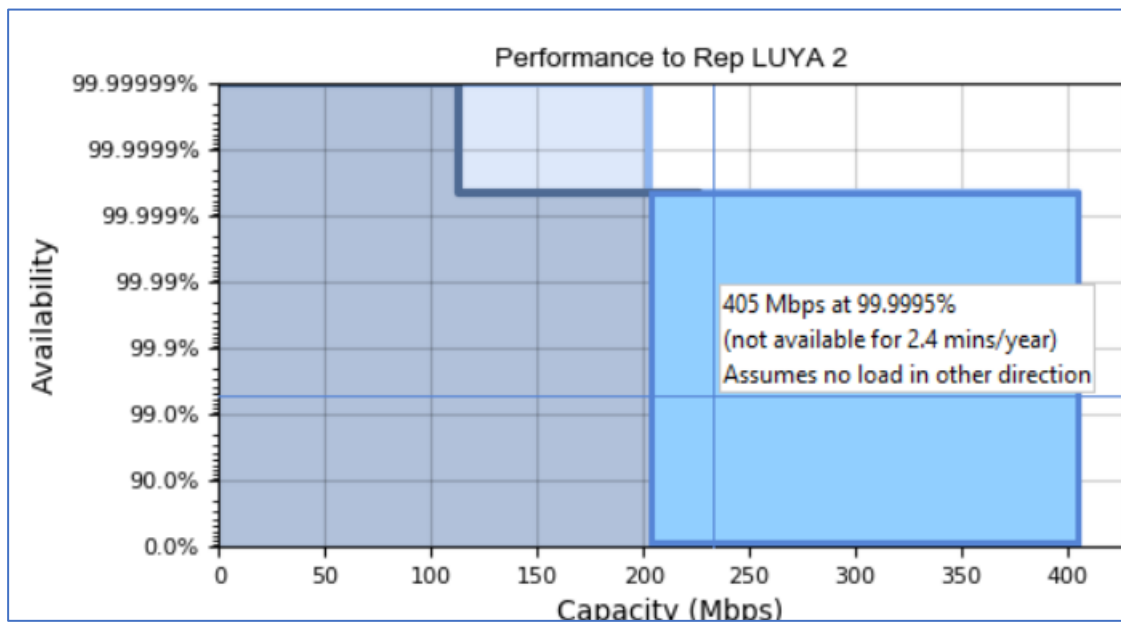


Figura 14:

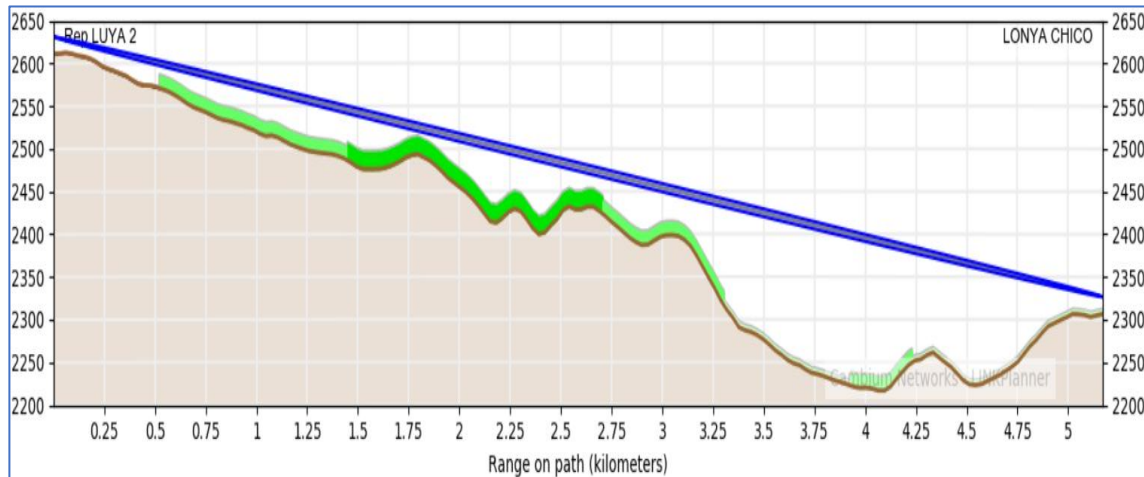
Repetidor Luya 2



3.1.1.1.2 Repetidor Luya 2 – Lonya Chico usando 5.8Ghz como banda de frecuencia

Figura 15:

Enlace Repetidor Luya 2 - Lonya chico



En el segundo radioenlace, se utilizó una frecuencia de banda de 5.8 GHz con un ancho de banda de 45 MHz, logrando una conectividad de 224 Mbps y una latencia de 8 minutos por año. Estos valores están dentro de los parámetros previstos para garantizar un enlace estable y eficiente. Al aumentar el ancho de banda a 160 MHz, se obtuvo un rendimiento significativamente mayor, alcanzando velocidades de hasta 996 Mbps con una latencia de 9 minutos por año. Con esto el radioenlace es el apropiado para mantener una transmisión de datos robusta y confiable en este tramo del sistema ya que cumple las exigencias de conectividad y rendimiento.

La señal antes de llegar a Lonya Chico pasa por un repetidor, teniendo una pérdida de 0.01% de la pérdida total, lo cual está dentro de lo permitido. Esto asegura que la calidad de la señal transmitida se mantenga en un nivel adecuado, garantizando la conectividad en Lonya Chico sea

eficiente y cumpla con los estándares requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de comunicación inalámbrica propuesto.

Tabla 7:

Emisor: Repetidor Luya 2

Performance to Rep LUYA 2	
Predicted Receive Power :	-49 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	223.65 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4473 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

El rendimiento es satisfactorio ya que la señal entregada es del 99.99% de la señal, lo que nos lleva a concluir que la ubicación del repetidor como punto de apoyo es la más apropiada para asegurar la conectividad entre los distritos de Inguilpata y Lonya Chico. El diseño del sistema de comunicación inalámbrico es el apropiado y garantiza una transmisión estable manteniendo una calidad óptima y minimiza las pérdidas de la señal.

Tabla 8:

Resumen de Enlace

Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	447.30 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
System Gain Margin :	39.28 dB
Free Space Path Loss :	121.97 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.03 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	122.00 dB

El radioenlace se pierde en su totalidad en 122 dB, esto se debe a que en el espacio libre se pierde la trayectoria. Esta pérdida es inherente a la transmisión de la señal a través del aire, esto también depende de la distancia entre los puntos de transmisión y recepción, así como también la frecuencia utilizada, el diseño del enlace cumple con los parámetros aceptables de funcionamiento a pesar de la pérdida. Garantizando estabilidad y eficiencia de conectividad para la solución de comunicación inalámbrica propuesta.

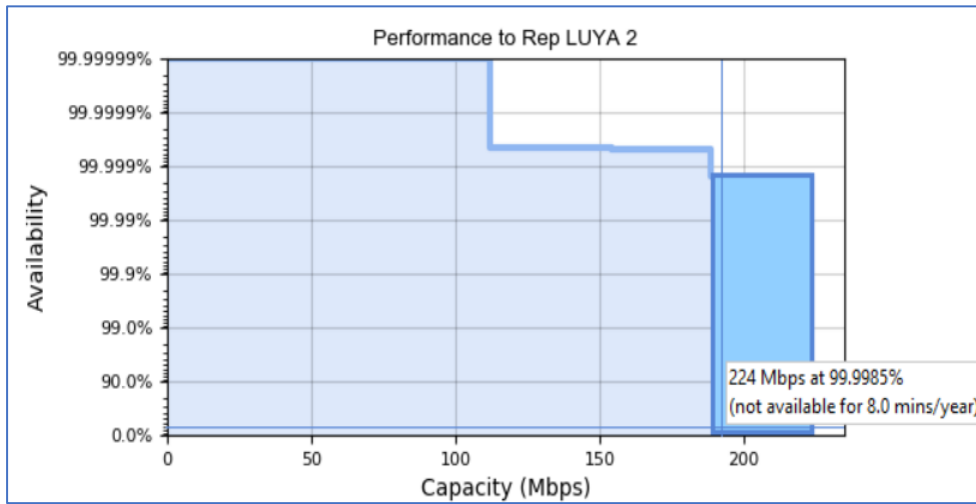
Tabla 9:

Receptor Lonya Chico

Performance to LONYA CHICO	
Predicted Receive Power :	-49 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	223.65 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4473 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

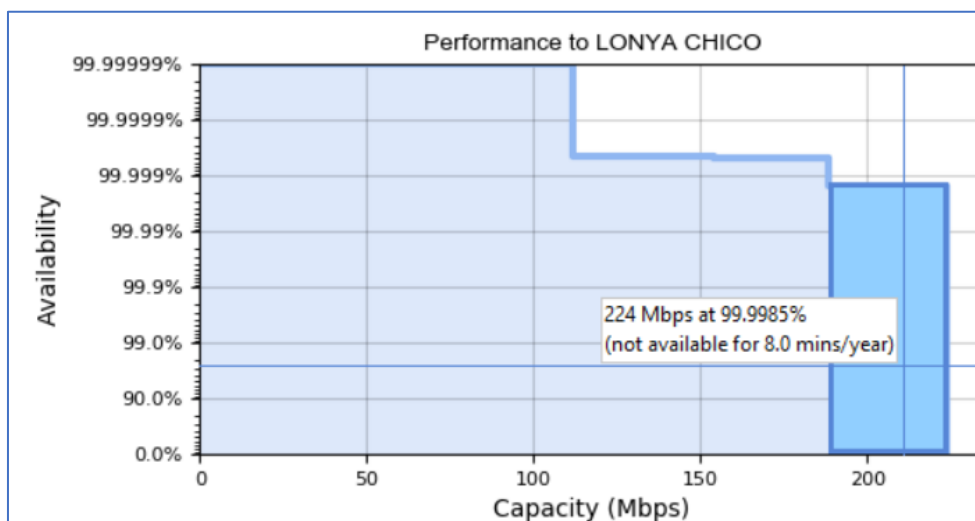
En los resultados se verificó que los 224 Mbps transmitidos llegan al receptor en Lonya Chico, esto demuestra que se completó satisfactoriamente la segunda etapa del radio enlace. Con estos resultados se puede confirmar que el enlace final cumple con los requisitos de velocidad y estabilidad anteriormente establecidos. permitiendo que Lonya Chico tenga conectividad estable y eficiente. Con la culminación de esta etapa, se valida la eficacia del diseño y se garantiza que el sistema de comunicación inalámbrica está operando dentro de los parámetros esperados para brindar el servicio proyectado.

Figura 16:
Repetidor Luya 2



Garantizamos el envío de 224 Mbps, con una latencia de 8 min/año, aun así, en el peor de los eventos se garantiza 112Mbps sin interrumpirse, esto nos lleva a garantizar que en el momento que no enviemos 224Mbps vamos a enviar como mínimo 112Mbps, esto garantizando que la conectividad no se pierda.

Figura 17:
Receptor Lonya Chico



Al receptor en Lonya Chico le llegará una señal de 224 Mbps, a pesar de la pérdida total del radioenlace de 122 dB. Sin embargo, se garantiza que, como mínimo, 112 Mbps llegarán de manera ininterrumpida, lo que asegura una conectividad estable. Para garantizar una conectividad efectiva entre los puntos de Luya (06.16613S, 077.94200W) y Lonya Chico (06.22915S, 077.95439W), se ha determinado que es necesario un punto de apoyo, estratégicamente ubicado para garantizar también el acceso a una red eléctrica. El repetidor se colocó en la ubicación de Repetidor Luya con coordenadas (06.18223S, 077.94777W).

El sistema utiliza una antena emisora Cambium Networks High Gain Integrated (23.0 dBi) a 10 metros de altura en el punto de Luya, que transmite hacia el repetidor, equipado con otra antena de Cambium Networks High Gain Integrated (23.0 dBi) a 20 metros de altura. Finalmente, el receptor en Lonya Chico también cuenta con una antena Cambium Networks High Gain Integrated (23.0 dBi) a 20 metros de altura. Esta configuración garantiza la conectividad con una latencia no mayor a 10 minutos por año y una pérdida de solo 0.01%. Además, para mejorar la calidad de la conexión, se ha optado por utilizar una frecuencia de banda de 24 GHz, lo que proporciona una mayor estabilidad y asegura una conectividad más robusta, cumpliendo plenamente con los requisitos del sistema de radioenlace.

3.1.1.1.3 Repetidor Luya V1– Rep Luya 2 usando 24 Ghz como banda de frecuencia

Al utilizar una banda de frecuencia de 24 GHz con un ancho de banda de 56 MHz, se ha logrado una velocidad de transmisión de 527 Mbps, con una latencia de 2.4 horas por año. Con esto se garantiza una velocidad de 174 Mbps de manera ininterrumpida en condiciones muy desfavorables, asegurando una conectividad continua. Esta configuración optimizada del

radioenlace ofrece una solución estable de comunicación inalámbrica entre los distritos de Luya y Lonya Chico.

Tabla 10:

Emisor Luya V1

Performance to Rep.Luya V1	
Predicted Receive Power :	-37 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted :	527.04 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	10541 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Tabla 11:

Resumen de Radioenlace

Operating Conditions	
Frame Size :	1024 Bytes
Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	1052.75 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
System Gain Margin :	45.11 dB
Free Space Path Loss :	126.01 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.29 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	126.29 dB

Es posible aumentar el ancho de banda para mejorar el desempeño del sistema de radioenlace. Esto se sustenta en que al utilizar una frecuencia de 24 GHz y un ancho de banda de 56 MHz, se produce una pérdida de 126.29 dB. Estos resultados fueron comparados con otros donde se tuvo en cuenta las mismas condiciones de altura y tipo de antena, pero utilizando una frecuencia de 5.8 GHz, resultando ser más favorable en términos de estabilidad y conectividad. Si se requiere mejorar la conectividad, una estrategia es

incrementar el ancho de banda, aumentando la velocidad la transmisión y reducir las pérdidas en el enlace, logrando que el rendimiento general del sistema de comunicación inalámbrica sea óptimo.

Tabla 12:

Repetidor Luya 2

Performance to Rep LUYA 2	
Predicted Receive Power :	-37 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted :	526.37 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	10527 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Figura 18:

Emisor Luya V1

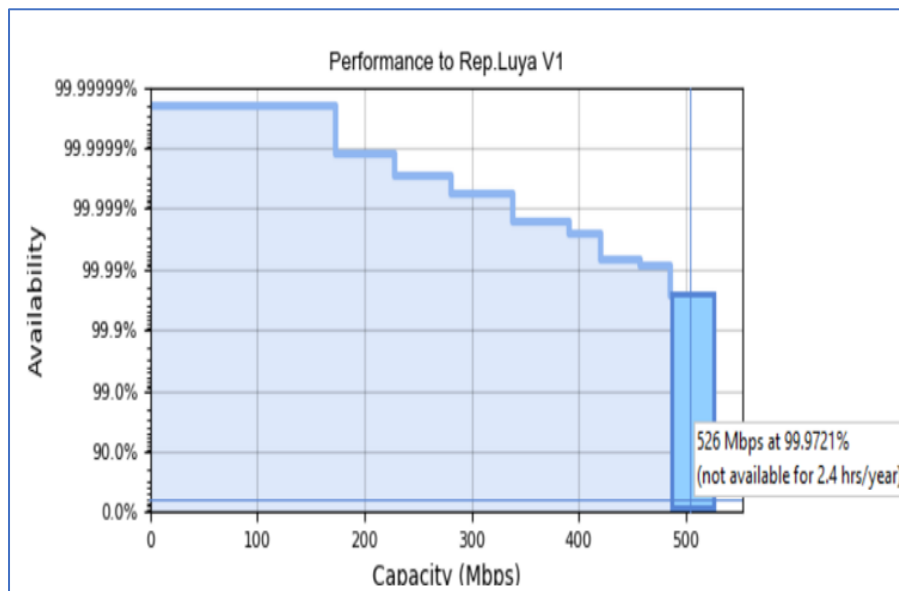
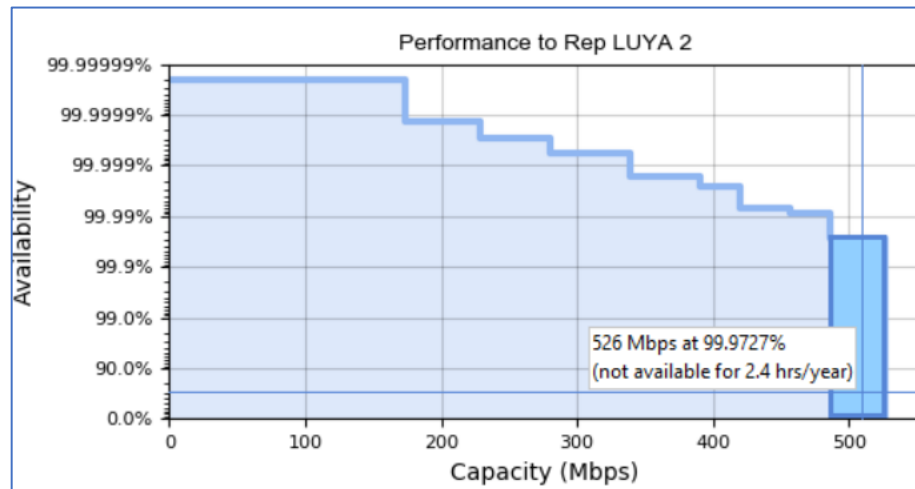


Figura 19:

Repetidor Luya 2



3.1.1.1.4 Repetidor Luya 2 – Lonya Chico usando 24 Ghz como banda de frecuencia

Tabla 13:

Emisor - Repetidor Luya 2

Performance to Rep LUYA 2	
Predicted Receive Power :	-46 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted :	488.82 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	9776 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	99.9988 %

Los resultados nos muestran que se obtuvo una velocidad de 489 Mbps, con 11 días por año de latencia. Sin embargo, esa latencia no impide que se dé una conectividad ininterrumpida de 86 Mbps, garantizando un nivel de servicio estable. este desempeño se mantiene la comunicación en

los distritos de Inguilpata y Lonya Chico manteniéndose como el adecuado, además si se requiere reducir la latencia se puede considerar ajustar el ancho de banda o la infraestructura.

Tabla 14:

Resumen de radioenlace

Operating Conditions	
Frame Size :	1518 Bytes
Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	977.63 Mbps
Lowest Mode Availability :	99.9988 %
System Gain Margin :	36.30 dB
Free Space Path Loss :	134.37 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.77 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	135.14 dB

En este radioenlace se produjo una pérdida de 135.14 dB, sin embargo, al ser un valor considerable, nos brinda una velocidad de por encima de los 480 Mbps resultando satisfactorio. El enlace mantiene una conectividad eficiente y estable gracias al rendimiento obtenido. Satisfaciendo la transmisión de datos inclusive en condiciones de pérdida por distancia y obstáculos de la zona. Al ser capaz de mantener una velocidad de esta magnitud bajo condiciones de pérdida, afirma la viabilidad del diseño del sistema de comunicación inalámbrica.

Tabla 15:

Receptor Lonya Chico

Performance to LONYA CHICO	
Predicted Receive Power :	-46 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted :	488.82 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	9776 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	99.9988 %

Radioenlace entre Luya y Lonya Chico, la evaluación muestra una conectividad ininterrumpida fiable de 86 Mbps, trabajando a una frecuencia de 24 GHz y un ancho de banda de 56 MHz. A pesar de su buen funcionamiento, es insuficiente frente a las necesidades demandantes del radioenlace proyectado. Para ser frente a esta limitación es recomendable utilizar una frecuencia de 5.8 GHz acompañado de un ancho de banda de 160 MHz, con esto se tendría un aumento significativo en la velocidad de transmisión y se tendría una estabilidad de conectividad optimizada. Con estas características esta opción sería la más adecuada para satisfacer los requerimientos de conectividad en la zona y dándole un rendimiento superior al sistema de comunicación inalámbrica.

3.1.1.2 Tecnología WLL (Wireless Local Loop)

También llamada RITL (Radio in the loop) o FRA (Fixed Radio Access) permite que los usuarios se conecten a la red de telefonía pública mediante el uso de señales de radio y no tradicionalmente como el uso de cables en líneas de cobre o fibra óptica, este tipo de tecnologías es utilizada en áreas rurales o de difícil acceso, donde realizar una instalación de infraestructura física sería costosa o complicada. WLL utiliza estaciones base para hacer el envío de señales de radio a los dispositivos de los usuarios finales brindándoles acceso a Internet y a servicios de telefonía móvil sin tener que recurrir al cableado directo. Gracias a esto el servicio de telecomunicaciones se puede expandir y reducir costos de despliegue en zonas con una población reducida o donde la geografía es un reto para el tendido de cables.

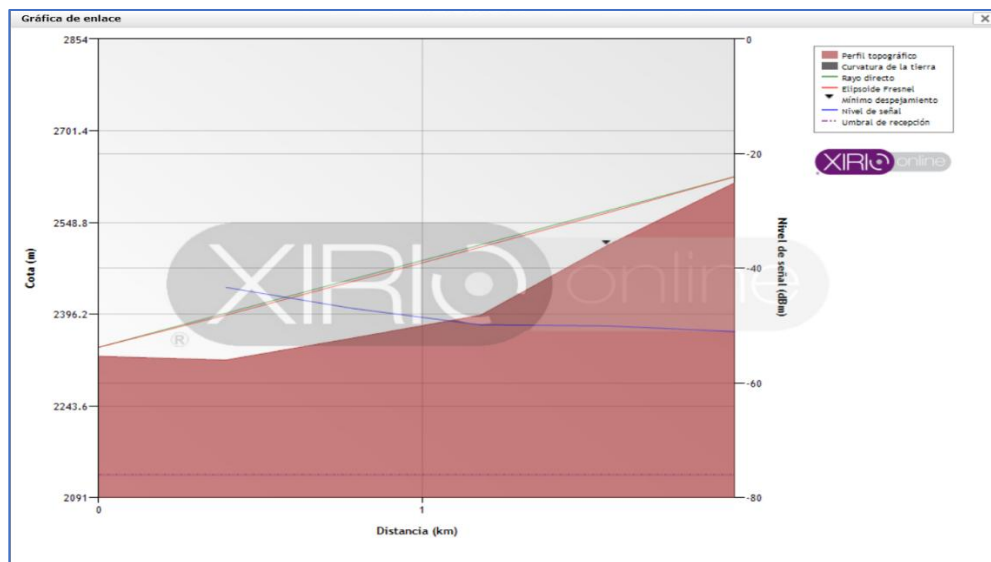
3.1.1.2.1 Luya – Repetidor Luya

Para los puntos de enlace donde la distancia entre ellos es corta, se utiliza la red WLL (Wireless Local Loop) que ofrece una reducción considerable de interferencia en conectividad y la pérdida de señal. En el primer enlace entre Luya y el repetidor Luya, la

aplicación de la red WLL y contando con una distancia corta entre los equipos permite que la transmisión se dé de manera eficiente y confiable, resultando ser eficiente. Por otro lado, por su naturaleza de ser inalámbrica reduce los costos y tiempo de instalación, haciendo que la implementación sea más rápida en áreas de difícil acceso. Esto mantendrá una calidad constante en la transmisión de datos y voz, incluso en entornos con condiciones geográficas complejas.

Figura 20:

Enlace Luya - Repetidor Luya



En el primer enlace, la señal se mantuvo estable sin tener pérdidas significativas, esto debido a que tuvo una visibilidad libre de obstrucciones por vegetación, obteniendo un nivel de señal de -51.04 dBm. Este resultado permite aprovechar la máxima velocidad de transmisión. Esto optimiza el desempeño general del sistema, garantizando transmisión eficiente y confiable.

Tabla 16:

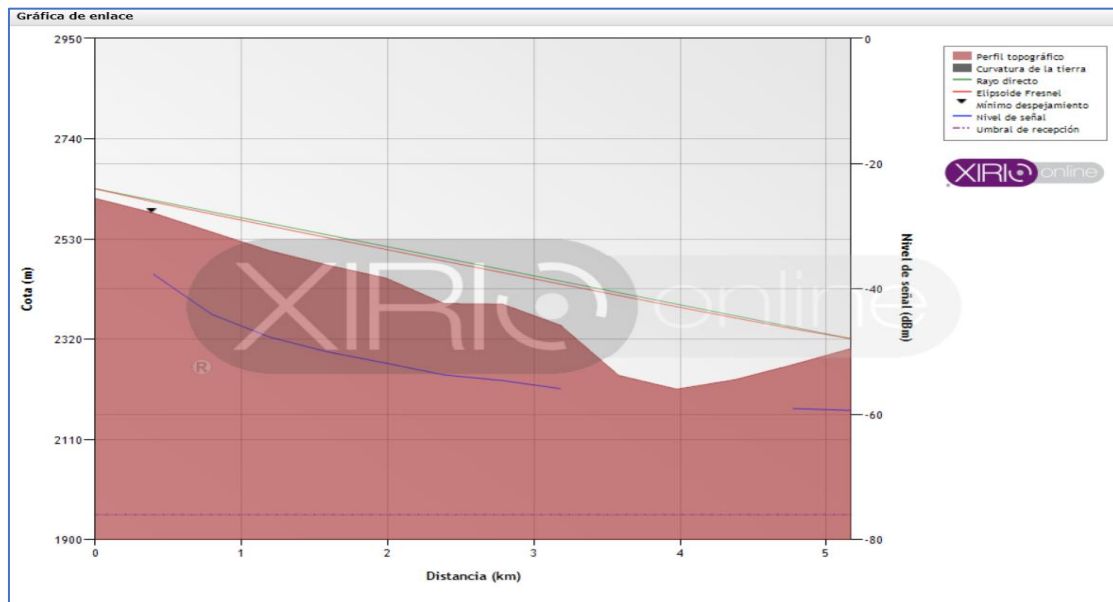
Informe de enlace

Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	2326.22	---
0.393	2320.11	-43.33
0.787	2356.66	-47.01
1.18	2394.6	-49.85
1.573	2511.01	-50.04
1.967	2615.14	-51.04

3.1.1.2.1 Repetidor Luya – Lonya Chico

Figura 21:

Repetidor Luya - Lonya Chico



En el radioenlace que se da entre el repetidor Luya y Lonya Chico, se detectó una pérdida del 0.01% de la señal recibida del total de la señal enviada por el transmisor, esto

debido a una pequeña interferencia. A pesar de este inconveniente menor la calidad del enlace no sigue siendo la más adecuada para asegurar una buena conectividad.

Tabla 17:

Resultado Enlace repetidor Luya - Lonya Chico



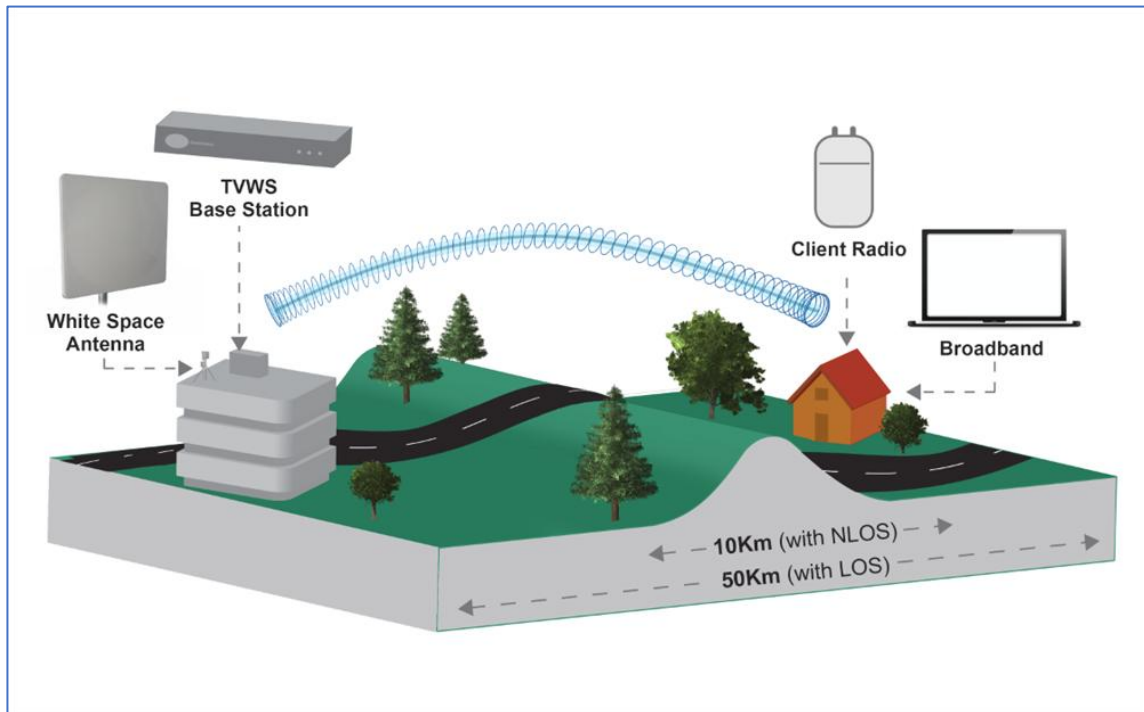
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	2615.14	---
0.398	2584.15	-37.64
0.796	2544.47	-44.03
1.193	2505.18	-47.67
1.591	2474.88	-50.03
1.989	2447.73	-51.83
2.387	2394.17	-53.71
2.784	2393.28	-54.6
3.182	2348.89	-55.9
3.58	2243.9	---
3.978	2215.24	---
4.375	2235.1	---
4.773	2266.69	-59.07
5.171	2300.95	-59.37

3.1.1.3 Tecnología TVWS (Televisión White Space)

Es un tipo de tecnología que en sus inicios fue designado para la transmisión de televisión, esta aprovecha los espacios en blanco o (“White Spaces”) en el espectro de frecuencias. Estos espacios que son bandas de frecuencia que no están en actividad en una región determinada, y que pueden ser utilizadas para ofrecer servicio de conectividad. La tecnología TVWS que brinda un rango de cobertura amplio, utiliza estas frecuencias para realizar la transmisión de datos, la que lo convierte en la opción ideal para las zonas donde las tecnologías tradicionales de banda ancha son limitadas o costosas.

Figura 22:

Tecnología TVWS (Televisión White Space)



Al operar en frecuencias más bajas (normalmente entre 470 y 790 MHz), TVWS tiene una de sus principales ventajas: puede abarcar distancias más largas y superar obstáculos como edificios o vegetación, que no siempre son posibles con frecuencias más altas. A pesar de sus ventajas, la tecnología tiene una capacidad de transmisión de datos limitada, lo que la hace inútil frente a aplicaciones que requieren altas velocidades de conectividad, como las normas mínimas establecidas por organismos reguladores en algunos países.

El uso de tecnologías como TVWS (Televisión White Space) no es recomendable debido a las limitaciones en la velocidad mínima permitida, lo que impide cumplir con los requisitos establecidos por OSIPTEL. En cambio, una alternativa viable para alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps o más es recurrir a redes satelitales, especialmente aquellas que utilizan satélites de órbita baja, como Starlink. Estos satélites pueden ofrecer velocidades superiores a 1 Gbps, pero su

efectividad dependerá de factores como los costos de instalación y mantenimiento, además de posibles interferencias causadas por condiciones climáticas adversas. También se pueden considerar satélites de órbita media, que suelen ser más recomendados por su equilibrio entre rendimiento y costo. Sin embargo, la elección final dependerá de la ubicación geográfica donde se instalen el emisor y el receptor, ya que un enlace satelital depende directamente de la disponibilidad del satélite y las bandas de frecuencia que utilice, así como de la capacidad de transmisión que pueda soportar.

3.1.1.4 Comunicación Satelital

La tecnología satelital en las telecomunicaciones utiliza satélites artificiales ubicados en diferentes órbitas alrededor de la Tierra para transmitir señales de comunicación entre distintos puntos geográficos. Esta tecnología permite la transmisión de datos, voz, video y otros servicios de telecomunicaciones, ofreciendo cobertura global, lo que la convierte en una solución ideal para áreas remotas o de difícil acceso donde las infraestructuras terrestres, como cables de fibra óptica o torres de comunicación, no son viables o resultan demasiado costosas.

Existen diferentes tipos de satélites utilizados en telecomunicaciones, clasificados según su órbita:

3.1.1.4.1 Satélites de órbita geostacionaria (GEO):

Estos satélites están situados a unos 36,000 kilómetros sobre el ecuador terrestre, en una posición fija con respecto a la Tierra. Debido a su altura, pueden cubrir amplias áreas, pero la señal tarda más en llegar a los usuarios, lo que introduce latencias más elevadas. GEO se utiliza en servicios como televisión por satélite, comunicaciones internacionales y conectividad en áreas rurales.

3.1.1.4.2 Satélites de órbita media (MEO):

Estos satélites están ubicados a altitudes de entre 8,000 y 20,000 kilómetros. Proporcionan un equilibrio entre cobertura, latencia y capacidad, siendo ideales para aplicaciones como navegación por satélite y comunicaciones globales. Los satélites MEO tienen menor latencia que los GEO, lo que los hace útiles en telecomunicaciones de mayor velocidad.

3.1.1.4.3 Satélites de órbita baja (LEO):

Estos satélites operan a altitudes de entre 500 y 2,000 kilómetros. Debido a su proximidad a la Tierra, ofrecen latencias más bajas y velocidades de conexión más rápidas. Sin embargo, su cobertura es limitada, por lo que se necesitan constelaciones de múltiples satélites para garantizar una cobertura continua. Starlink es un ejemplo de red satelital de órbita baja diseñada para ofrecer internet de alta velocidad en áreas rurales y remotas.

3.1.1.4.4 Ventajas de la tecnología satelital:

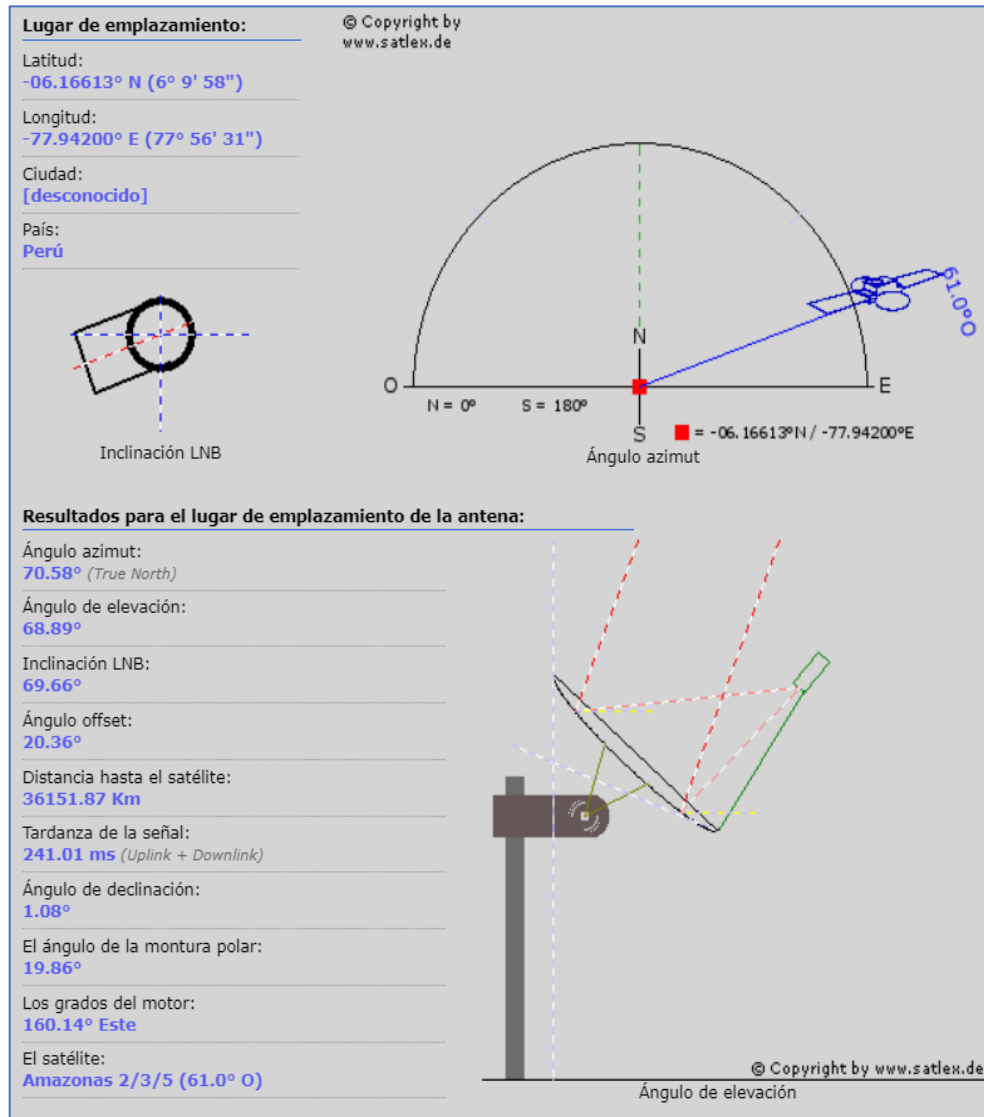
Cobertura global: La tecnología satelital puede proporcionar servicios de comunicación en cualquier parte del mundo, incluidas áreas donde no existe infraestructura terrestre. Acceso a áreas remotas: Es ideal para regiones montañosas, rurales o donde la infraestructura terrestre es costosa o difícil de implementar. Movilidad: Es útil para servicios móviles y marítimos, donde se necesita conectividad en movimiento.

3.1.1.4.5 Usando enlace Satelitales

Luya – Satélite amazonas 2/3/5

Figura 23:

Radioenlace Satelital Emisor Luya



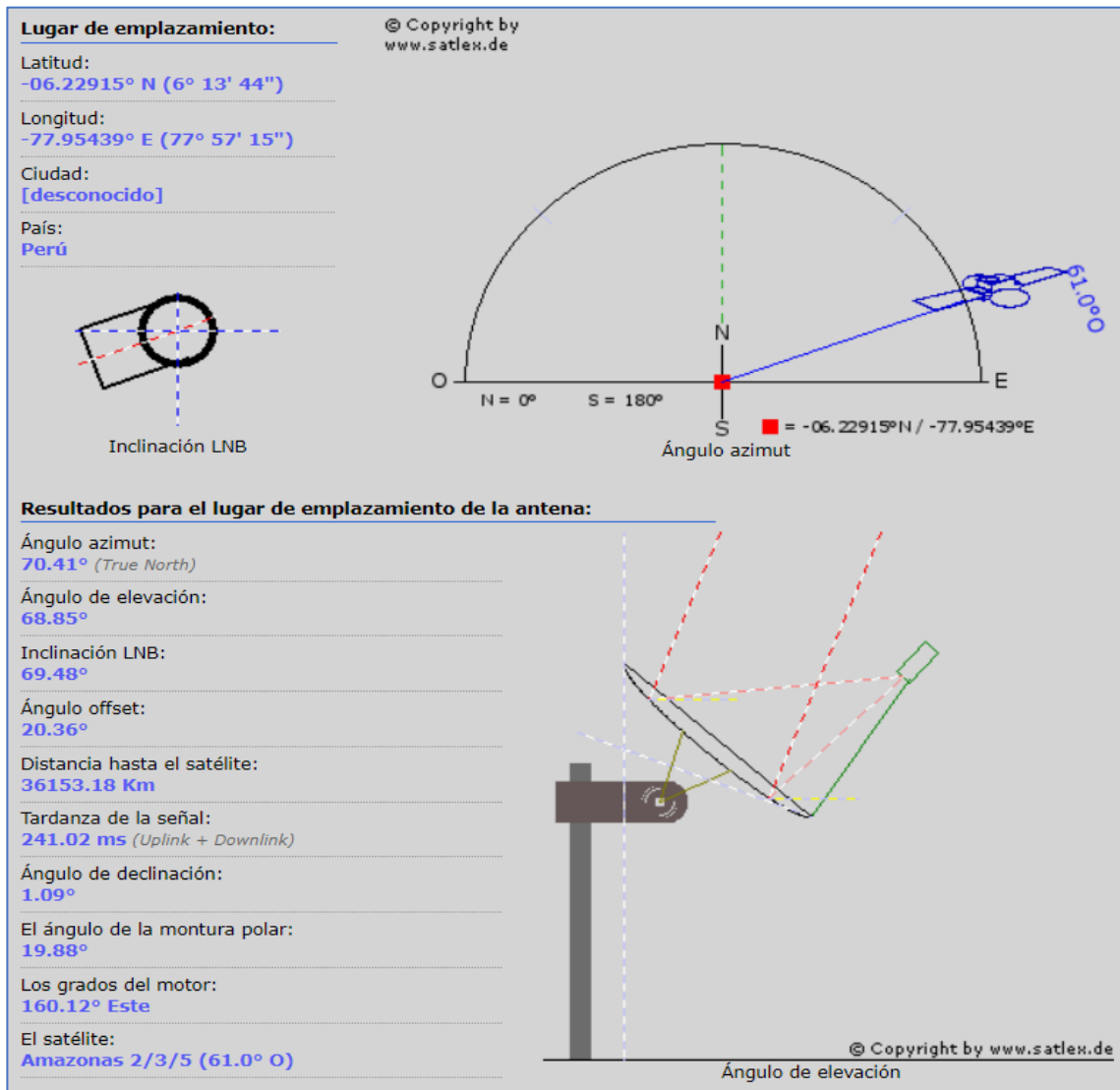
3.1.1.4.6 Desventajas de la tecnología satelital:

- **Latencia:** Dependiendo de la órbita, especialmente en los satélites GEO, la latencia puede ser significativa, afectando servicios sensibles al tiempo, como videoconferencias y videojuegos en línea.
- **Costo:** El despliegue y mantenimiento de satélites es costoso, aunque los satélites de órbita baja y media están reduciendo los costos de acceso a los servicios de internet satelital.
- **Interferencias climáticas:** La señal puede verse afectada por las condiciones climáticas desfavorables, especialmente en satélites donde usan señales frecuencias altas.

En el análisis del enlace satelital se encontró que este presenta de 241.01 ms de latencia que se observó en la subida y descarga de datos, calculando correctamente los ángulos de azimut y de la elevación. En nuestro caso utilizamos el satélite Amazonas Nexus, que brinda una capacidad de transmisión de hasta 1Gbps. Se tomaron en consideración a los satélites que se encuentran en la misma ranura orbital a 61° oeste, estos son los satélites Amazonas 2/3/5, convirtiéndose en la opción viable para cubrir los requisitos de velocidad y rendimiento del sistema.

Figura 24:

Enlace Amazonas 2/3/5- Lonya Chico



La simulación utilizó Satélites Amazonas 2/3/5, que brindaron la conectividad y la velocidad necesarias. Sin embargo, debemos usar el satélite Amazonas Nexus o la red de satélites de Starlink si queremos llevarlo al campo y maximizar su rendimiento. Ambos satélites cumplen con las características de conectividad requeridas y pueden proporcionar altas velocidades de transmisión.

3.1.1.5 Red Luya – Inguilpata

3.1.1.5.1 Usando radioenlace WiMax

Para realizar este cálculo, se tomó en cuenta la ubicación de los puntos entre Luya e Inguilpata, utilizando la presencia de la red dorsal de fibra óptica para orientar y posicionar la antena destinada al radioenlace de manera adecuada. Se ha creado una red de apoyo para asegurar la conectividad debido a la geografía inadecuado del área donde se instalará el radioenlace. Teniendo en cuenta que entre Lonya Chico e Inguilpata existe un contacto directo, el radioenlace entre estos dos puntos será exitoso. Para mayor confiabilidad se creó una ruta alternativa para asegurar la conectividad continua en las zonas de Inguilpata y Lonya Chico, brindando un servicio ininterrumpido en ambas localidades.

Por lo contrario, entre Luya e Inguilpata no se puede asegurar una conectividad directa, se tuvo que elegir un punto de apoyo, siendo este el Repetidor Luya 2. Con esto no solo se avala la conectividad entre dichos puntos, sino que crea una ruta alternativa que mantendrá el servicio en caso de que se produzcan fallos en el enlace principal. Este enfoque de redundancia es clave para garantizar un servicio estable y continuo, optimizando el rendimiento de la red y reduciendo posibles interrupciones.

Figura 25:

Enlace Luya -Inguilpata

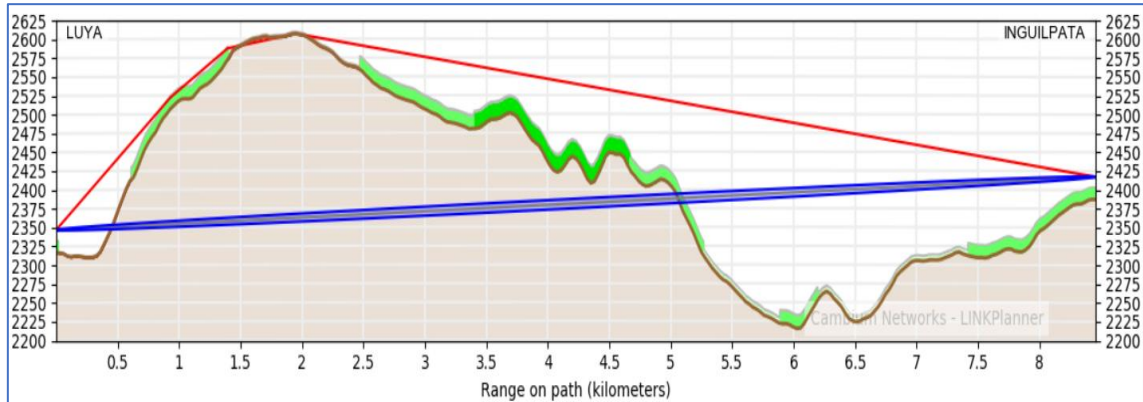


Tabla 18:

Punto de apoyo repetidor Luya 2

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA DE ANTENA
Luya Antena	06.16613S	077.94200W	10m
Rep. Luya 2	06.18281S	077.94816W	20m
Inguilpata	06.24116S	077.95585W	20m

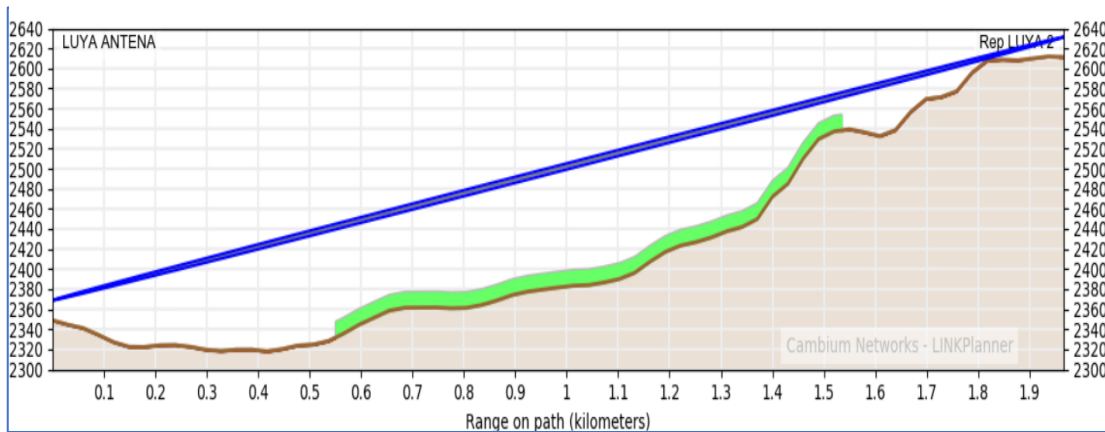
Enlace Luya Antena – Repetidor Luya 2

La frecuencia de banda de 5.8 GHz y el ancho de banda de 45 MHz utilizados en este enlace permitieron la conectividad de 226 Mbps con una latencia de 2.4 minutos por año, cumpliendo con los parámetros permitidos. El rendimiento se mejora significativamente al aumentar el ancho de banda a 160 MHz, alcanzando una velocidad de 1.5 Gbps.

Con una latencia de 3.6 minutos por año. Esta configuración cumple con las exigencias de estabilidad y conectividad necesarios para el sistema propuesto. Asegurando que el radio enlace sea el adecuado.

Figura 26:

Enlace Luya Antena – Repetidor Luya 2



Utilizando un emisor trabajando en una frecuencia de 5.8 GHz con un ancho de banda de 45 MHz, aseguramos que la transmisión de datos sea eficiente, llegando a alcanzar velocidades de hasta 226 Mbps, este tipo de configuración es la más indicada en aplicaciones de una capacidad media y asegura un equilibrio entre cobertura y rendimiento en el enlace. La frecuencia de 5.8 GHz, brinda una transmisión estable y una conectividad robusta en áreas con obstáculos moderados y siempre cuando la línea de vista sea pertinente.

Tabla 19:

Emisor Luya Antena

Performance to LUYA	
Predicted Receive Power :	-35 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	225.56 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4511 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Tabla 20:

Resumen del enlace

Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	451.11 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
System Gain Margin :	52.54 dB
Free Space Path Loss :	103.23 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.00 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	103.23 dB

Se calculó en 103.23 dB el total de pérdida de radioenlace, esta se atribuyó a la pérdida de trayectoria en el espacio libre. Esta pérdida se considera un fenómeno natural en la dispersión de señales por medio del aire, y se ve afectada por la distancia que separa los puntos de transmisión y recepción, además de la frecuencia empleada. A pesar de esta pérdida, el enlace sigue cumpliendo con los parámetros técnicos establecidos, asegurando una conectividad eficiente y estable en el sistema de comunicación propuesto.

Tabla 21:

Receptor Repetidor Luya 2

Performance to Rep.Luya V1	
Predicted Receive Power :	-35 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	225.56 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4511 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Como resultado, se ha comprobado que al Repetidor Luya 2 llegan los 226 Mbps transmitidos, lo que nos demuestra que la primera etapa del radioenlace se ha completado exitosamente. Este resultado nos garantiza que la transmisión de datos es eficiente y que la conectividad establecida en esta fase satisface los parámetros de rendimiento esperados. Con el termino de esta primera etapa, el sistema de comunicación inalámbrica avanza de manera óptima hacia las siguientes fases.

Figura 27:

Emisor Luya Antena

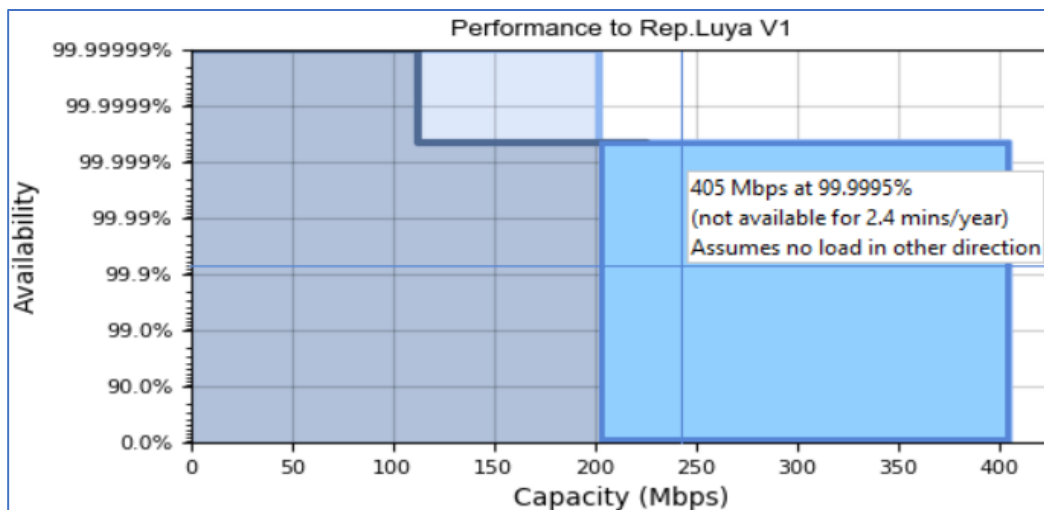


Figura 28:

Receptor - Repetidor Luya 2

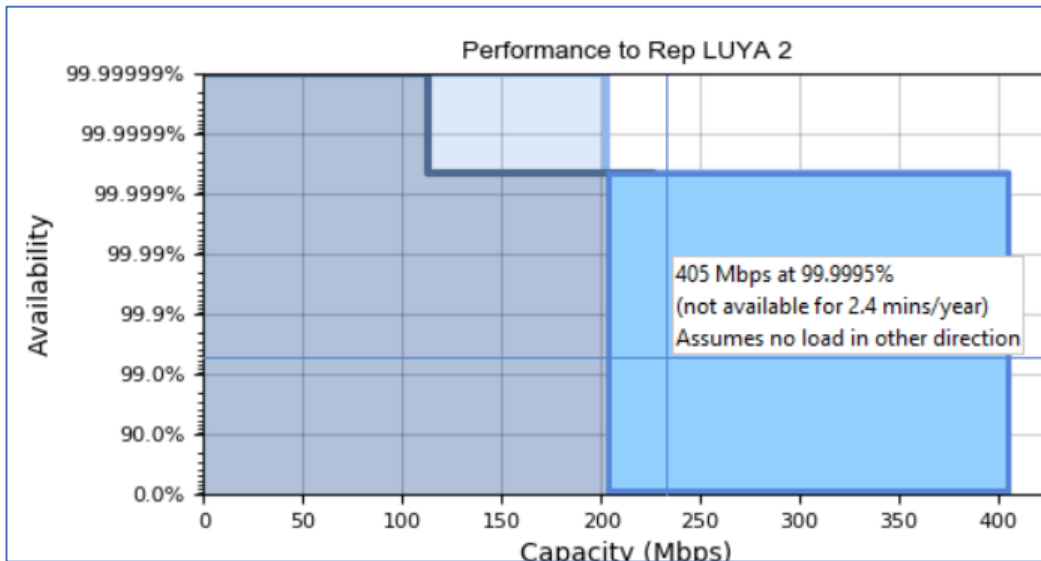
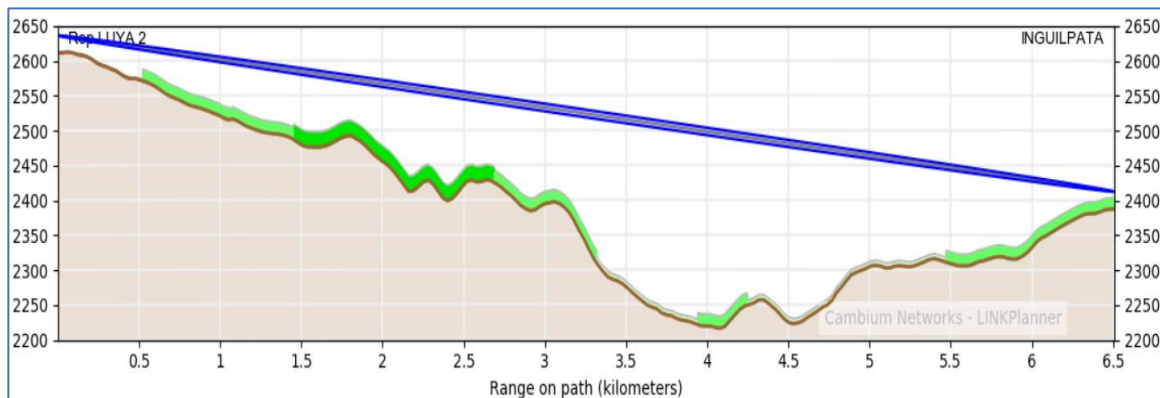


Figura 29:

Vista de Enlace Repetidor Luya 2 - Inguilpata



En el enlace Repetidor Luya 2 - Inguilpata, al contar con una línea de vista directa, nos facilita el optimizar la velocidad de transmisión. Sin embargo, puesto que la cantidad de velocidad mínima necesaria para Inguilpata es de 400 Mbps, se ha determinado la posibilidad de cumplir con este requisito utilizando una frecuencia de 5 GHz y un ancho de banda de 45 MHz. Esta

configuración asegura que la transmisión sea capaz de alcanzar la velocidad necesaria, asegurándonos una conectividad adecuada y eficiente para satisfacer las demandas de la localidad de Inguilpata.

Tabla 22:

Emisor Repetidor Luya 2

Performance to Rep LUYA 2	
Predicted Receive Power :	-51 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	223.33 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4467 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Se garantiza que se obtendrán 223 Mbps con una latencia de 1.7 horas por año, con esto se asegura un nivel de conectividad adecuado que permite satisfacer las exigencias del enlace, también proporciona una capacidad de respaldo de 122 Mbps sin interrupciones. Esto es suficiente ya que mantiene un desempeño continuo y estable. Con esta configuración el enlace satisface las exigencias de conectividad y rendimiento establecido, haciendo que el servicio que se ofrece a la zona sea confiable.

Tabla 23:

Resumen de Enlace

Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	446.65 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
System Gain Margin :	37.25 dB
Free Space Path Loss :	123.99 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.04 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	124.02 dB

Se obtuvo una pérdida total de 124 dB, esto se debe al margen de visibilidad del enlace. Las condiciones geográficas y la distancia hacen que se produzca esta pérdida, afectando la propagación de la señal. Aunque con esta pérdida, el enlace se mantiene en funcionamiento dentro de los parámetros aceptables, asegurando estabilidad y eficiencia de la conectividad,

Tabla 24:

Receptor Inguilpata

Performance to INGUILPATA	
Predicted Receive Power :	-51 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	223.33 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4467 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Figura 30:

Emisor Repetidor Luya 2

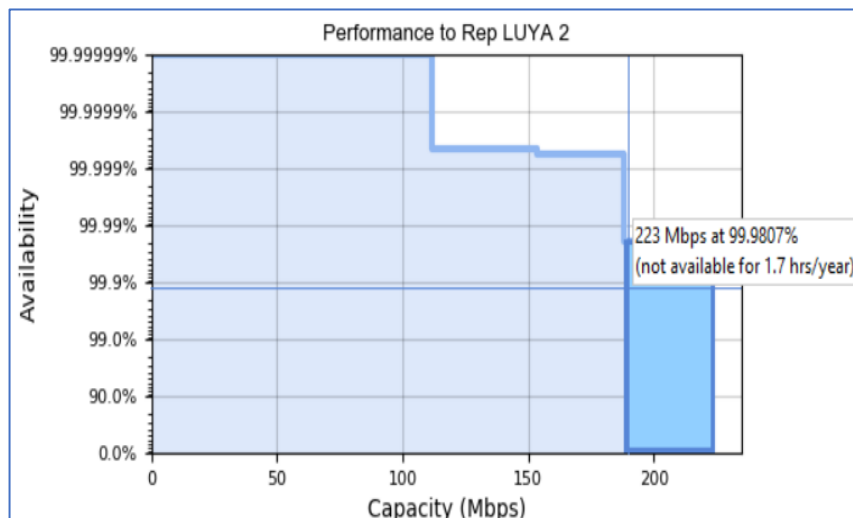
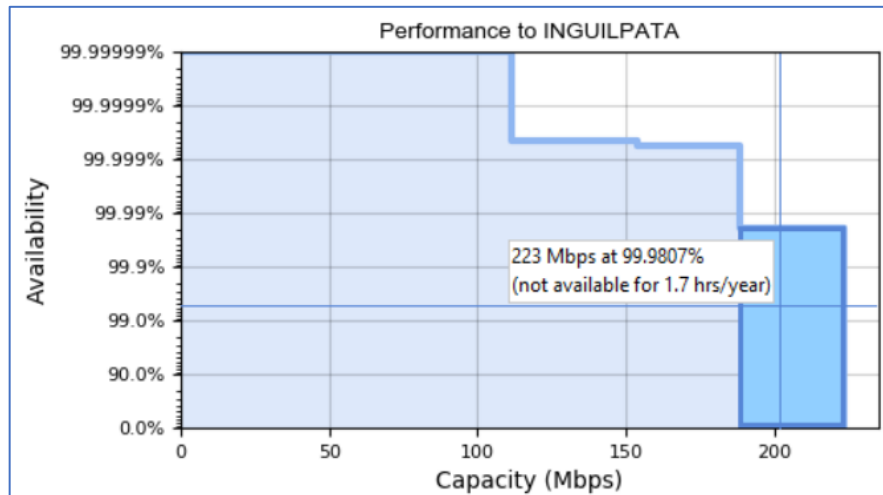


Figura 31:

Receptor Inguilpata

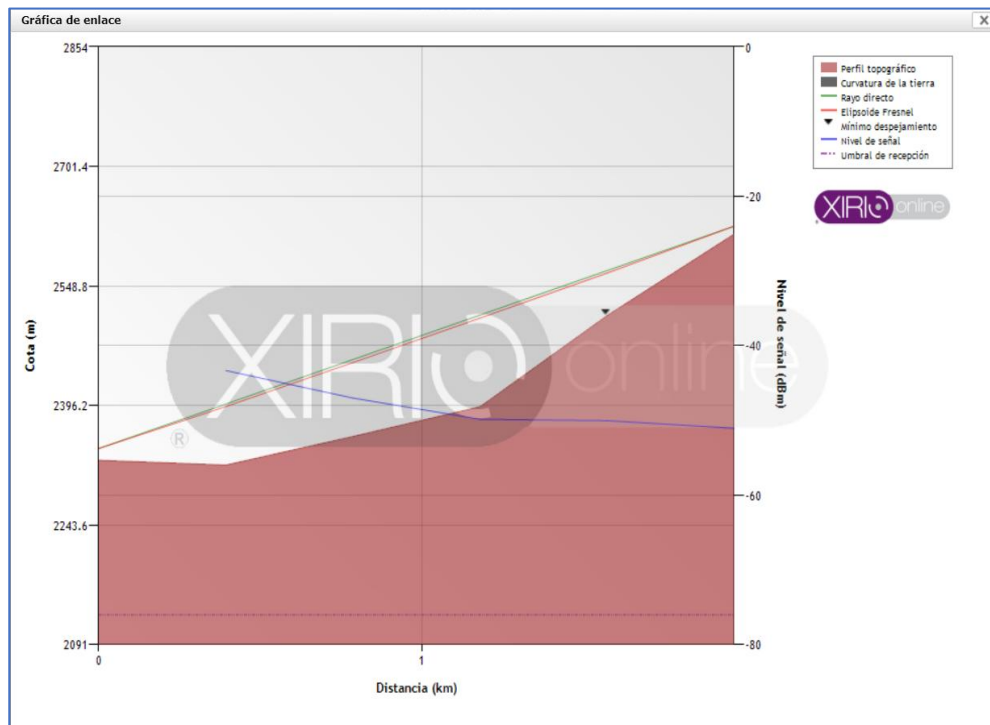


3.1.1.5.2 Usando radioenlace WLL

Luya – Repetidor Luya

Figura 32:

Enlace Antena Luya - Repetidor Luya



En el primer enlace, la señal se mantuvo estable sin tener pérdidas significativas, esto debido a que tuvo una visibilidad libre de obstrucciones por vegetación, obteniendo un nivel de señal de -51.04 dBm. Este resultado permite aprovechar la máxima velocidad de transmisión. Esto optimiza el desempeño general del sistema, garantizando transmisión eficiente y confiable.

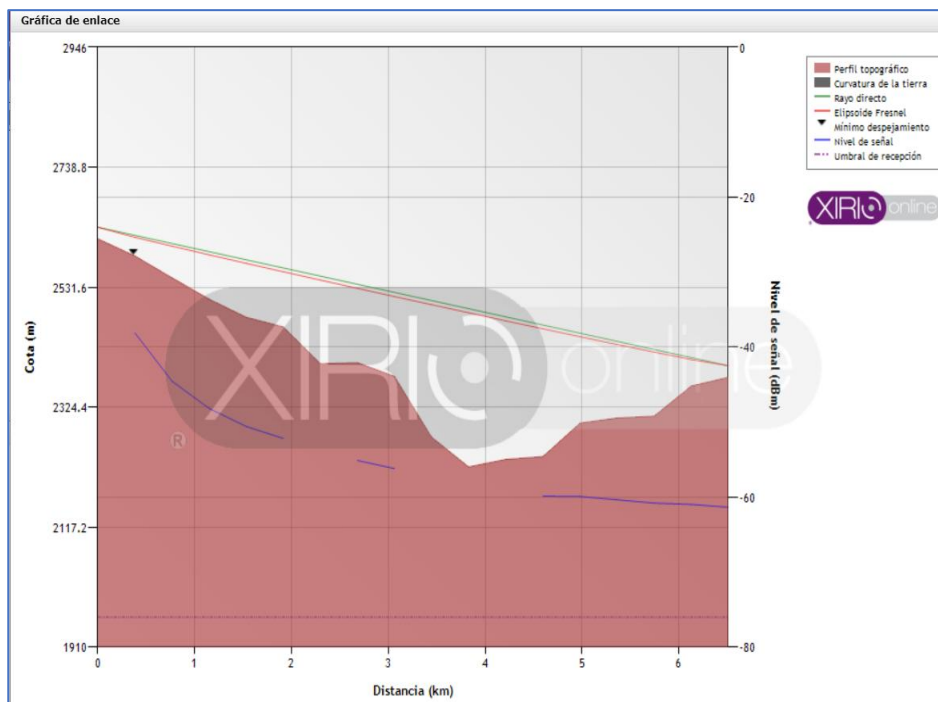
Tabla 25:

Informe de enlace

Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	2326.22	---
0.393	2320.11	-43.33
0.787	2356.66	-47.01
1.18	2394.6	-49.85
1.573	2511.01	-50.04
1.967	2615.14	-51.04

Figura 33:

Repetidor Luya 2 - Inguilpata



Se asegura que el nivel de la señal este en dentro de los límites de los parámetros permitidos, lo que garantiza que la velocidad sea aceptable y estable para el sistema, con este nivel se ve que la señal optimiza el rendimiento de la transmisión, permitiendo que la señal cumpla los requisitos y funcione eficientemente.

Tabla 26:

Informe de enlace

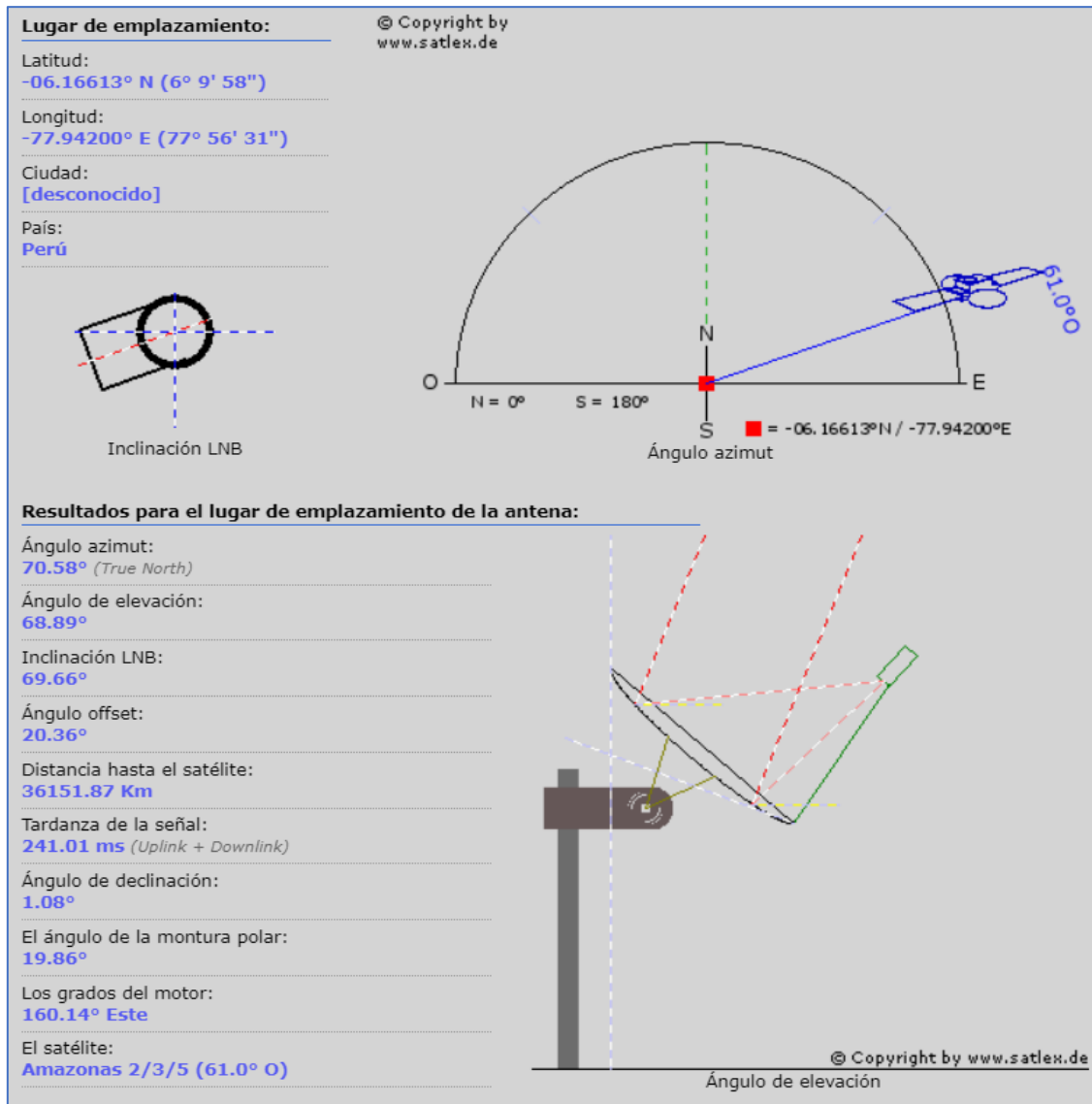
Informe de enlace		
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	2615.14	---
0.383	2585.39	-38.12
0.766	2547.54	-44.54
1.149	2510.64	-48.17
1.531	2479.24	-50.58
1.914	2462.52	-52.18
2.297	2398.92	---
2.68	2400.5	-55.12
3.063	2376.84	-56.19
3.446	2272.06	---
3.829	2220.65	---
4.211	2233.6	---
4.594	2238.56	-59.87
4.977	2296.29	-59.92
5.36	2305.27	-60.35
5.743	2308.63	-60.8
6.126	2360.79	-60.98
6.509	2375.89	-61.36

3.1.1.5.3 Usando Enlace Satelital

Luya – Satélite Amazonas 2/3/5

Figura 34:

Enlace Luya - Satélite Amazonas 2/3/5

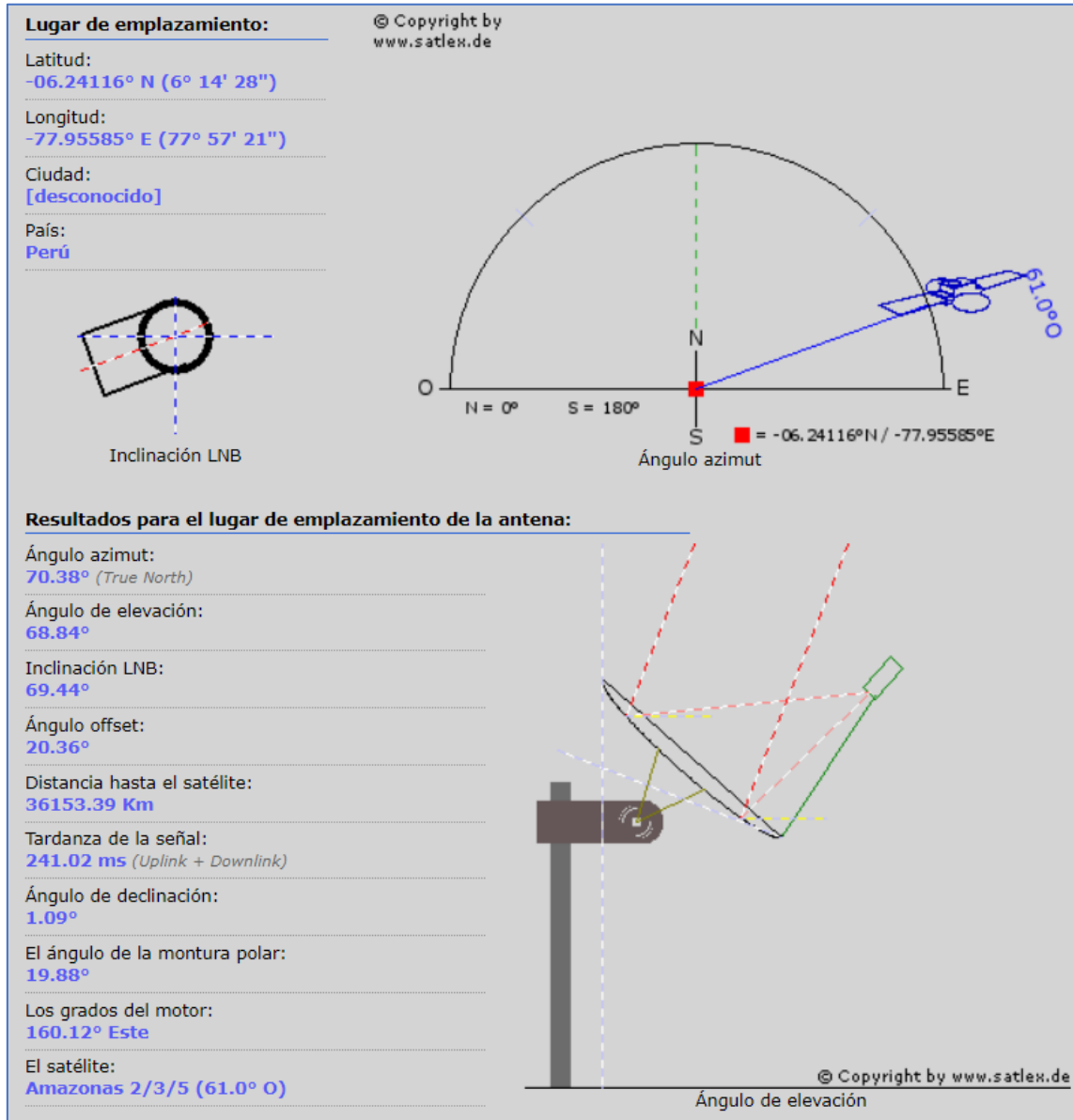


Tanto la subida como la descarga del enlace satelital tendrán una latencia de 241.01 ms. En esta situación práctica, es importante tener en cuenta el satélite Amazonas Nexus, el cual garantiza una velocidad de 1 Gbps. Además, se ha evaluado el uso de los satélites

Amazonas 2/3/5, que están ubicados en la misma ranura orbital a 61° oeste, como alternativas viables para cumplir con los requisitos de conectividad, aprovechando la infraestructura ya establecida en esta posición orbital.

Figura 35:

Receptor Inguilpata

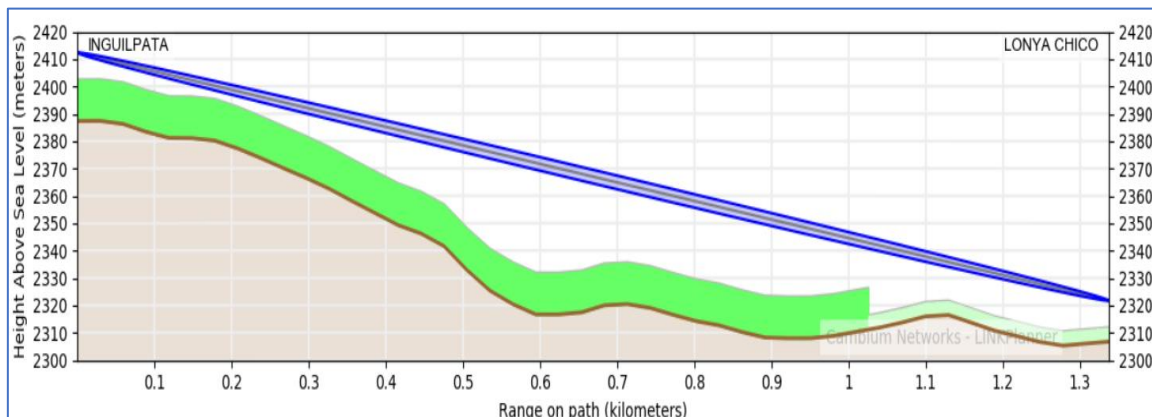


El uso de TVWS (Televisión White Space) no es recomendable en este caso, ya que el servicio se brindará a un distrito donde se prevé que el 25% de la población se conecte de manera simultánea. Para garantizar que cada usuario reciba la velocidad mínima permitida por OSIPTEL, TVWS no sería una opción adecuada, ya que esta tecnología no tiene la capacidad de soportar la demanda necesaria ni cumplir con los estándares de velocidad requeridos en un entorno de alta concurrencia como el descrito.

3.1.1.6 Red de Respaldo Lonya Chico – Inguilpata

Figura 36:

Enlace Lonya Chico - Inguilpata



Los resultados que se obtuvieron detallan que la conectividad entre Inguilpata y Lonya Chico no presenta dificultades significativas, haciendo que la robustez del primer enlace entre Luya y Lonya Chico se vea reforzada. Considerando la densidad poblacional actual conjuntamente el crecimiento de conectividad que esta demandan, Se prevé que el nuevo radioenlace, deberá proveer una velocidad mínima de 1.4 Gbps utilizando a Lonya Chico como repetidor. Esta estimación se basa en la población actual de Inguilpata, con 486 habitantes, anticipando que el 25 % de la población se conectará en simultaneo. Cabe

destacar que a pesar que estos distritos son de bajos recursos, la conectividad de 1 Gbps que se les proporciona es una mejora valiosa. Asimismo, es suficiente abarcar el 25% de la población de manera simultánea para satisfacer las necesidades de conectividad de los dos distritos, fortaleciendo un servicio de calidad y sostenible.

Tabla 27:

Emisor Lonya Chico

Performance to LONYA CHICO	
Predicted Receive Power :	-37 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted :	226.11 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4522 %
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

La pérdida total de este radioenlace es de 110.23 dB, teniendo un enlace operativo y óptimo. Para tener una buena conectividad y eficiencia garantizada, se utiliza una frecuencia de 5.8 GHz y un ancho de banda de 160 MHz, para así tener una conectividad eficaz y duradero hasta Inguilpata. Los parámetros mencionados nos proporcionan una transmisión robusta, lo que nos garantiza que el sistema cumpla con los requisitos de conectividad y rendimiento en dicho lugar, preservando un servicio de calidad y adecuada.

Tabla 28:

Resumen de Radioenlace

Link Summary	
Aggregate IP Throughput :	452.23 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
<hr/>	
System Gain Margin :	51.04 dB
Free Space Path Loss :	110.23 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.01 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	110.23 dB

Tabla 29:

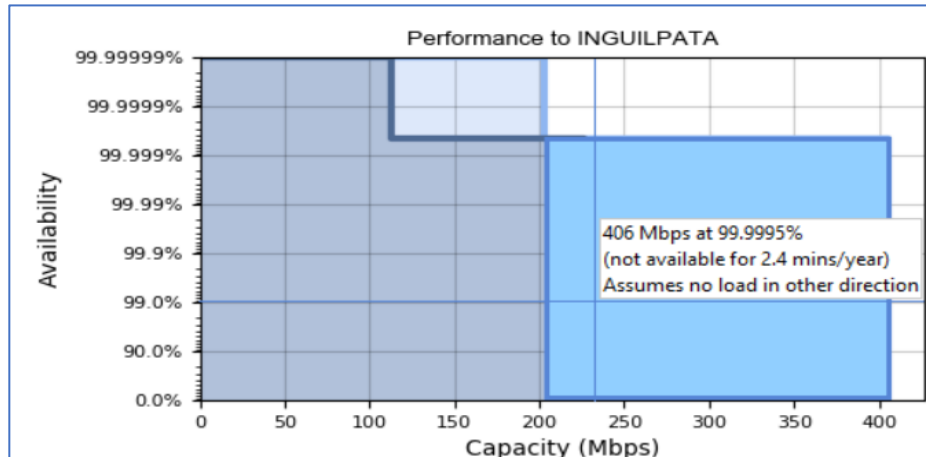
Receptor Inguilpata

Performance to INGUILPATA	
Predicted Receive Power :	-37 dBm ± 5 dB
<hr/>	
Mean IP Predicted :	226.11 Mbps
Mean IP Required :	5.0 Mbps
% of Required IP :	4522 %
<hr/>	
Min IP Required :	1.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	100.0000 %

Pronosticando una velocidad de 226 Mbps, empleando un ancho de banda de 45 MHz, y teniendo en cuenta los resultados previos, podemos garantizar que, al incrementar el ancho de banda a 160 MHz, la velocidad que se puede alcanzar es de 1.5 Gbps. Así como también nos garantiza el éxito del radioenlace, teniendo una prometedora capacidad de transmisión eficiente apropiada para cumplir con las necesidades de conexión en la región y tener un servicio de alta calidad.

Figura 37:

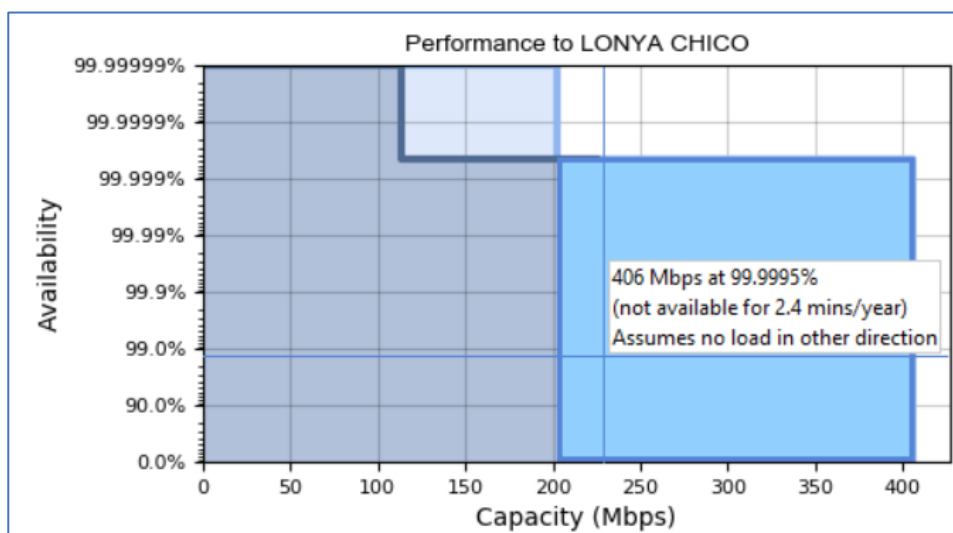
Receptor Inguilpata



Se utilizó la antena de Lonya Chico como repetidor de señal para suministrar la velocidad requerida a Inguilpata. Con esta configuración, se considera que, incluso con una pérdida superior a 2.4 minutos por año, se mantiene una velocidad constante de 406 Mbps, lo que representa un 99.99% de eficiencia en el enlace. Este alto nivel de rendimiento asegura que el radioenlace proporcione la conectividad necesaria de manera estable y confiable, cumpliendo con los requisitos de calidad y velocidad establecido

Figura 38:

Emisor Lonya Chico



3.1.2 Selección de la Tecnología Adecuada

El tercer objetivo específico de la investigación fue seleccionar la tecnología más adecuada para los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, considerando los resultados obtenidos en los análisis anteriores. A partir de los factores evaluados (cobertura, velocidad, latencia y costo), WiMAX surge como la opción más viable para mejorar la conectividad en estas áreas rurales. Sus principales ventajas incluyen su capacidad para cubrir grandes distancias con una infraestructura mínima, su flexibilidad en la asignación de espectro radioeléctrico y su menor costo de implementación en comparación con LTE.

Si bien LTE ofrece mayores velocidades de transmisión y una latencia más baja, los costos asociados a su implementación, junto con la necesidad de una infraestructura más densa, limitan su viabilidad en áreas rurales dispersas y montañosas como las que se encuentran en los distritos objeto de estudio. En cuanto a las redes mesh, aunque ofrecen una solución efectiva para comunidades pequeñas y concentradas, no son adecuadas para cubrir áreas extensas sin una degradación significativa en el rendimiento. Por lo tanto, si se quiere garantizar una conectividad amplia, eficiente y rentable en los distritos de Inguilpata y Lonya Chico, la mejor opción es WiMAX.

3.1.3 Discusión Comparativa con Estudios Previos

Comparando los resultados de investigaciones con relación al tema de investigación, se encontró que WiMAX ha sido la mejor opción en muchos proyectos rurales a nivel de América Latina y otras regiones. En países como Perú, Bolivia y Colombia, la solución más eficaz para llevar internet a zonas montañosas y de difícil acceso donde la viabilidad de tecnologías tradicionales de telecomunicaciones es nula, ha sido WiMAX. Estos estudios destacan que la flexibilidad y el bajo

costo de WiMAX lo convierten en una opción ideal para proyectos de conectividad rural con recursos limitados.

Sin embargo, si se requiere maximizar el rendimiento y la cobertura en áreas rurales, se asume la posibilidad de utilizar soluciones híbridas que combinan tecnologías como WiMAX y LTE. En algunos estudios, LTE ha sido implementado con WiMAX con el fin de brindar velocidades más altas en zonas específicas, mientras que WiMAX ofrece cobertura en áreas de gran extensión. Esto da luz a que este tipo de combinación de tecnologías se implementen a futuro en los distritos de Inguilpata y Lonya Chico ofreciendo un equilibrio entre cobertura, velocidad y costos.

4 CAPÍTULO IV

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- La revisión de literatura nos dejó ver muy en claro las principales tecnologías que se utilizaron en ambientes similares a los distritos de Inguilpata y Lonya Chico. Resultando que WiMAX, Satelital y WLL (Wireless Local Loop) son las opciones con más participación en zonas rurales. Sin embargo, cada tecnología tiene sus propias características que deben considerarse según los requerimientos de cobertura, velocidad, latencia y costos.
- El análisis teórico de los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos seleccionados ha mostrado que, en términos de cobertura, y las tecnologías que mejores se ajustan a las demandas de los distritos son WiMAX, comunicación satelital y las tecnologías Wireless Local Loop (WLL), ofreciendo mayor velocidad de transmisión y menor latencia, requiriendo una densa y costosa arquitectura para garantizar en áreas extensas una cobertura adecuada.
- El análisis exhaustivo de tecnologías para mejorar la conectividad en los distritos rurales de Luya, Lonya Chico e Inguilpata ha demostrado que la opción más pertinente es WiMAX. Esta determinación se ve respaldada en el análisis integral de factores críticos como cobertura, velocidad, latencia y costo. WiMAX sobresale gracias a la capacidad de cubrir áreas geográficas extensas con una mínima estructura y flexibilidad en la asignación del espectro radioeléctrico y una favorable relación costo-beneficio.

4.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar e implementar un proyecto piloto donde se emplee la tecnología WiMAX en los distritos de Inguilpata y Lonya Chico. Este sistema a evaluar las condiciones reales de cobertura en campo, así como ajustar el diseño teórico que se planteó en esta investigación. Se sugiere que se inicie por las instalaciones de estaciones base en puntos estratégicos previamente identificados, garantizando la maximización de cobertura en zonas de difícil acceso. Esta implementación permitirá la evaluación de los resultados obtenidos y de hacer los ajustes necesarios para una expansión mayor.

- Sin embargo, al ser WiMAX la tecnología más apropiada para la conectividad general en los distritos, es recomendable utilizar las tecnologías complementarias como las LTE que pueden ser implementadas en áreas donde se requiera una velocidad mayor de transmisión de datos o donde la latencia sea un factor crítico, como en instituciones educativas o de salud. Esta solución híbrida podría maximizar los beneficios de ambas tecnologías, asegurando una óptima conectividad en zonas donde se requieran servicios más avanzados.

- Debido a que la tecnología es inalámbrica implementada en áreas rurales puede verse afectada por la falta de personal capacitado y recursos técnicos, se recomienda invertir en programas de capacitación técnica para las comunidades locales, para que la conectividad sea duradera a largo plazo. Es necesario que se formen equipos locales capaces de mantener y operar la infraestructura tecnológica, así como de realizar reparaciones menores en caso de fallos.

- Es recomendable establecer un programa de monitoreo y evaluación continua para asegurar que el sistema de comunicación inalámbrica diseñado cumpla con las expectativas y necesidades de los distritos. Este programa debe evaluar regularmente indicadores clave como, la calidad de señal, la velocidad de transmisión, la estabilidad de la red y la satisfacción de los usuarios. Los datos obtenidos permitirán realizar mejoras progresivas y garantizar que la conectividad se mantenga adecuada a medida que las necesidades de las comunidades evolucionan.

5 REFERENCIAS

Alam, M. M., Azim, R., Mehedi, I. M., & Khan, A. I. (2021). A low-profile planar monopole antenna for ISM/IMT/Bluetooth/Zigbee/WiFi/WiMAX/WLAN wireless communication applications. *International Journal of Communication Systems*, 34(17). Scopus.

<https://doi.org/10.1002/dac.4993>

Alam, M. M., Azim, R., Mehedi, I. M., & Khan, A. I. (2021). A low-profile planar monopole antenna for ISM/IMT/Bluetooth/Zigbee/WiFi/WiMAX/WLAN wireless communication applications. *International Journal of Communication Systems*, 34(17). Scopus.

<https://doi.org/10.1002/dac.4993>

Arias-Rodríguez, A. (2022). *Caracterización de sistemas de comunicación RF y ópticos en aplicaciones submarinas* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya].

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/372768>

Cabana-Mamani, J., & Supho-Mayta, L. (2022). *Evaluación de un sistema de comunicación inalámbrico en el cambio de linners de impacto en chutes y feeders para la reducción del índice de accidentabilidad en una empresa contratista, Arequipa, 2022* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Tecnológica del Perú].

<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6118>

Espinoza, M. D. C., Burga, A., & Okumura, A. (2020). Estructura Factorial de la Escala de Riesgo de Violencia de Plutchik (ERVP): Propiedades psicométricas y diferencias en función a variables sociodemográficas en universitarios limeños. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 12(2), 59-68.

<https://doi.org/10.32348/1852.4206.v12.n2.26387>

- Herrera, M. (2022). *Redes 6G empoderadas por superficies inteligentes reconfigurables: Simulación de comunicaciones inalámbricas asistidas por superficies inteligentes reconfigurables con errores de fase*. [bachelorThesis, Quito : EPN, 2022.].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22696>
- Hinostroza, V., & Garcés, H. (2019). Aplicaciones de aprendizaje profundo en comunicaciones inalámbricas. *Revista Aristas*, 7(14), 238-244.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Provincia y Distrito, 2018—2020* (Boletín Especial No. N° 26; p. 110). Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017. (2018, noviembre 14). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, Departamento de Amazonas*. Censos Nacionales 2017. <https://censo2017.inei.gov.pe/departamento-de-amazonas-alberga-a-379-384-habitantes/>
- Llongo-Sanunga, C. (2022). *Diseño e implementación de sistema de comunicación inalámbrico para monitoreo del sistema de emergencia eléctrico en nodos críticos de comunicación* [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8858>
- Malik, V., Sharma, T., & Sharma, M. (2020a). A multiband (WWAN/Bluetooth/WiMAX) square monopole antenna with simple structure for wireless communication system applications and optimization by using artificial intelligence. *Proc. Conflu. - Int. Conf.*

Cloud Comput., Data Sci. Eng., 440-444. Scopus.

<https://doi.org/10.1109/Confluence47617.2020.9058135>

Malik, V., Sharma, T., & Sharma, M. (2020b). A multiband (WWAN/Bluetooth/WiMAX) square monopole antenna with simple structure for wireless communication system applications and optimization by using artificial intelligence. *Proc. Conflu. - Int. Conf. Cloud Comput., Data Sci. Eng.*, 440-444. Scopus.

<https://doi.org/10.1109/Confluence47617.2020.9058135>

Maticorena-Balvin, F. (2020). *Estrategias para mejorar la gestión de la calidad en telecomunicaciones en el Perú* [Tesis de grado, Universidad del Callao].

<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5515>

Medina-Beltrán, E. (2019). *Desarrollo de antenas miniatura UWB con aplicación en sistemas de comunicaciones móviles 5G* [Tesis de grado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada].

<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2995>

Ortiz-Perez, J. (2022). *Análisis y estudio preliminar para la optimización de la infraestructura de red de la información y comunicación de la empresa constructora INGPRRA* [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/44494>

Quillas-Cupe, A. A., Gálvez-Quiñones, J. V., & Sandoval-López, J. F. (2020). *Diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 5,4 ghz de red de acceso para poblados rurales sin servicios de telecomunicaciones en el Perú en la región de Huancavelica* [Tesis para optar el título profesional, Universidad del Callao].

<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6316>

- Quilumba, L., & Pullotasig, D. (2021). *Estudio comparativo de tecnologías de comunicación inalámbrica en la transmisión del consumo de agua residencial*. [bachelorThesis, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://localhost/handle/27000/8088>
- Rafli, A., & Edy Purnomo, M. F. (2022). A 30-Pointed Star-Shaped Patch Wideband Antenna for WLAN and WiMAX Applications. *Proc. - Electr. Power, Electron., Commun., Control, Informatics Semin., EECCIS*, 260-263. Scopus. <https://doi.org/10.1109/EECCIS54468.2022.9902891>
- Rosaline, S. I., Akkamahadevi, M. B., Pooja, N., & Kallur, R. S. (2020). A Miniaturized Circular Split Ring Embedded Monopole for WiMAX Applications. En *Lecture. Notes. Data Eng. Commun. Tech.* (Vol. 38, pp. 33-39). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34080-3_4
- Sellan, Y. (2022). *5g basado en open source como una solución de bajo costo para el fortalecimiento de las comunicaciones inalámbricas del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Babahoyo* [bachelorThesis, Babahoyo: UTB-FAFI. 2022]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11673>
- Toro-Bernal, H. (2020). *Análisis de tecnologías de comunicaciones inalámbricas para determinar la mejor opción a implementar para los servicios que presta la DITG-EAAB* [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/20741>

ANEXOS

ANEXO 01: Luya, Amazonas - Perú

Figura 39:

Luya, Amazonas, Perú



ANEXO 02: Estadísticas del Departamento de Amazonas

Figura 40:

Suscriptores con conexión al servicio de internet móvil

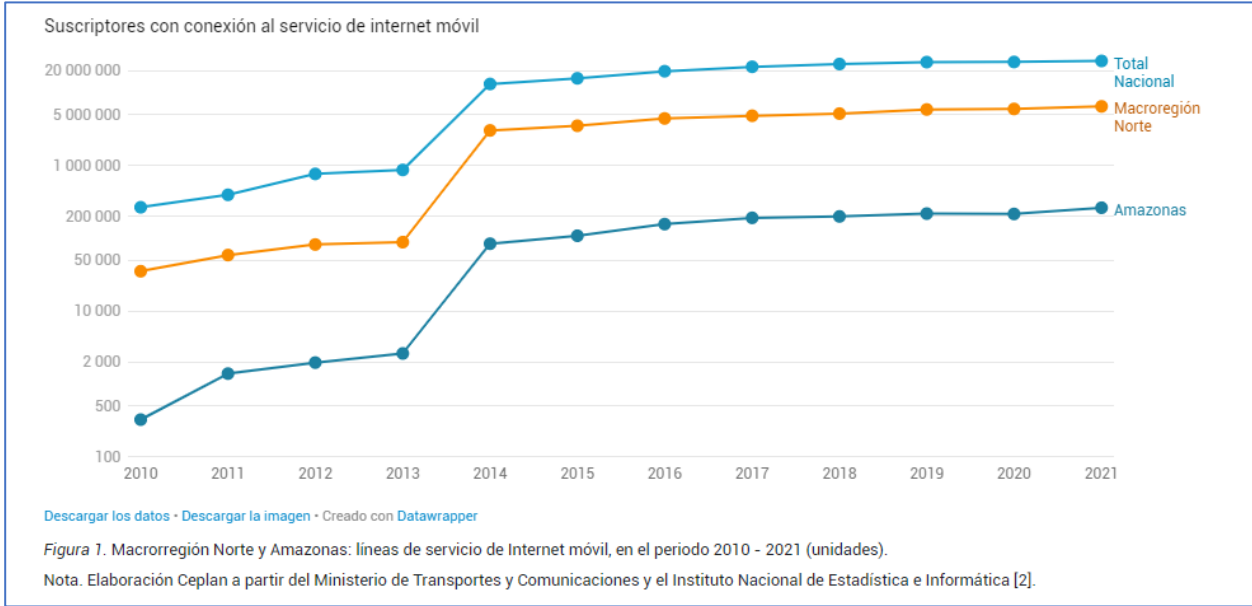


Figura 41:

Suscriptores con conexión al servicio de internet fijo

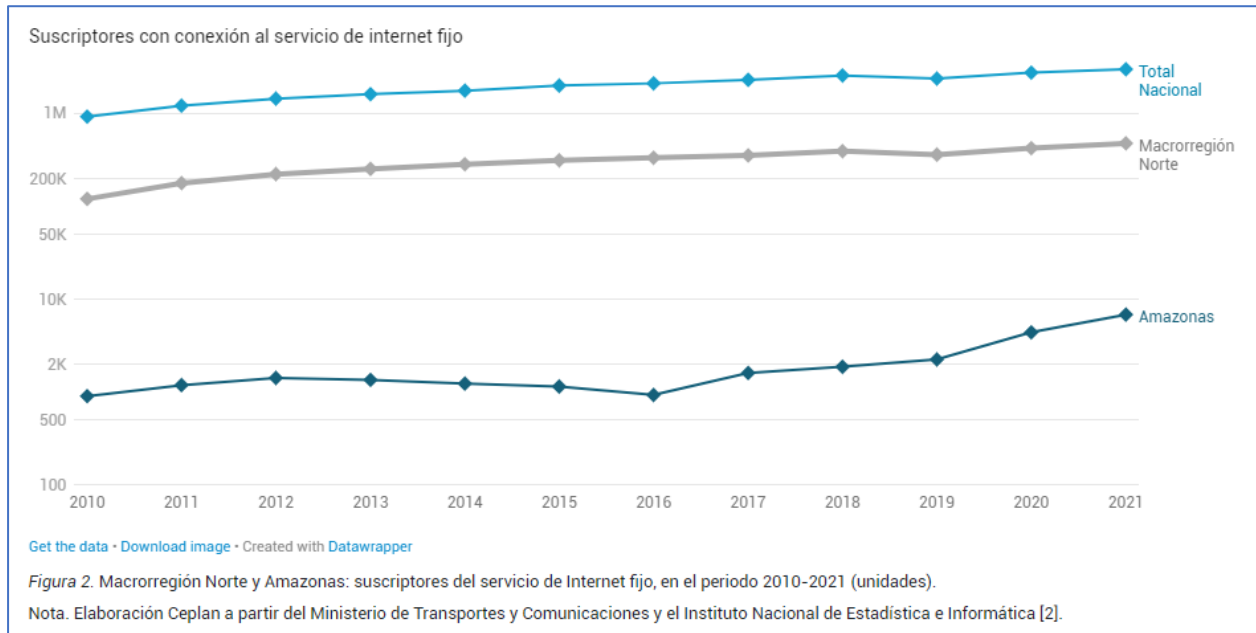
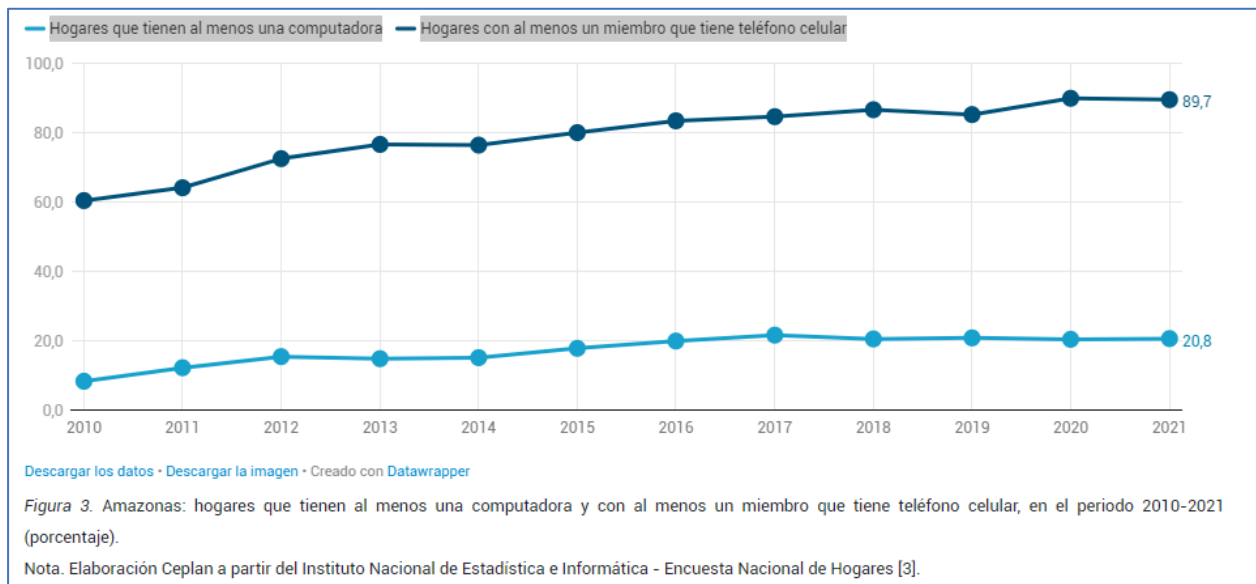


Figura 42:

Hogares que tienen al menos una computadora y Hogares con al menos un miembro que tiene teléfono



ANEXO 03: WiMAX standard IEEE 802.16

Figura 43:

Arquitectura de red IEEE 802.16

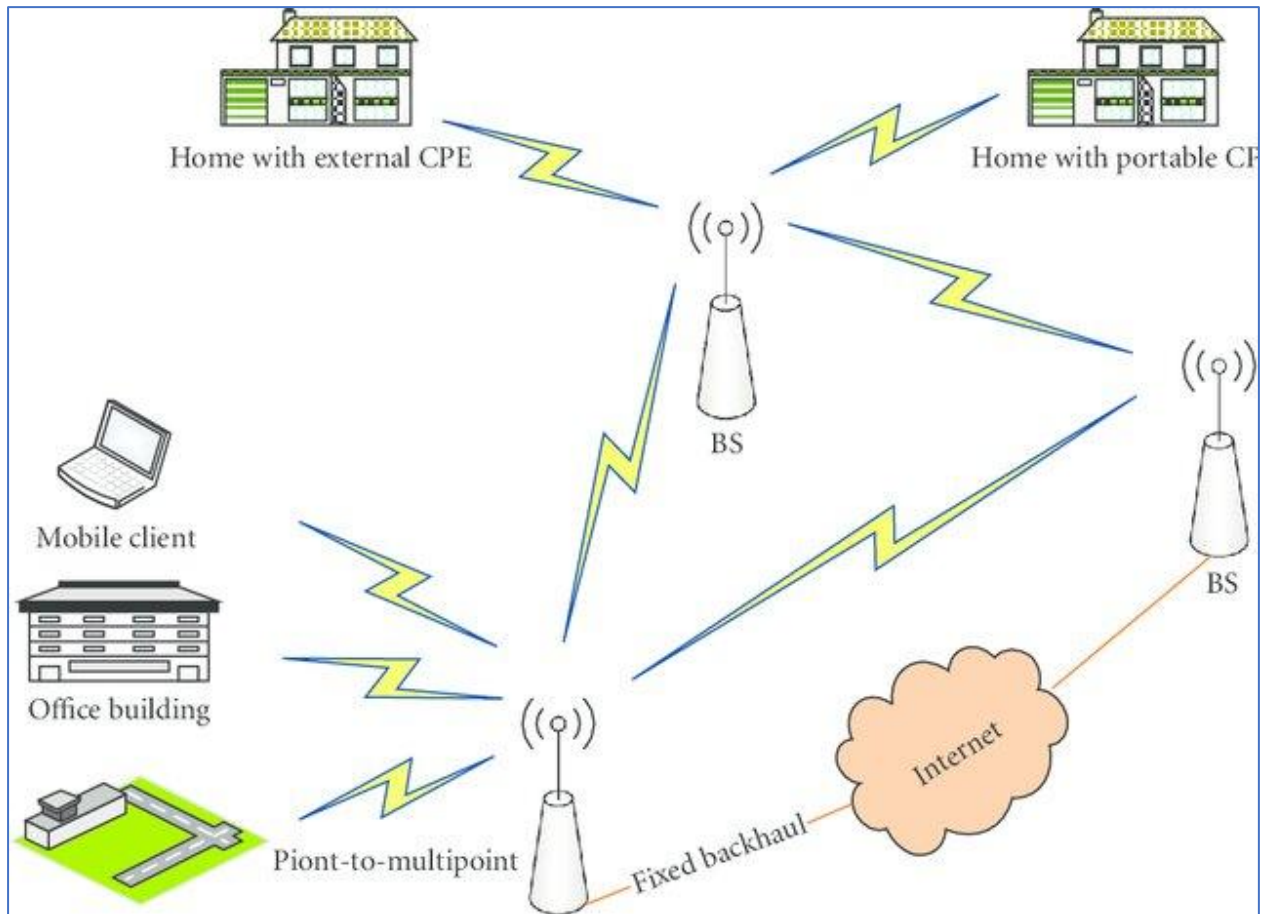


Figura 44:

Figure 2: Frame structure of IEEE 802.16 MAC.

