



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

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE INFRAESTRUCTURA WIMAX PARA
LA PARROQUIA COLONCHE**

AUTOR:

SOLORZANO VALDIVIA GALO AMMÓN

MODALIDAD DE TITULACIÓN:

EXAMEN COMPLEXIVO

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO EN
INGENIERO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

TUTOR:

ING. JARAMILLO INFANTE MÓNICA KARINA MGT.

Santa Elena, Ecuador

Año 2024



UPSE

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. José Sánchez Aquino, Mgt.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mónica Jaramillo Infante, Mgt.

TUTOR

Ing. Carlos Castillo Yagual, Mgt.

DOCENTE ESPECIALISTA

Ing. Marjorie Coronel Suárez, Mgt.

DOCENTE GUÍA UIC



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **SOLÓRZANO VALDIVIA GALO AMMÓN**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Tecnologías de la Información.

La Libertad, a los 26 días del mes de noviembre del año 2024

TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**MONICA KARINA
JARAMILLO
INFANTE**

Ing. Mónica Karina Jaramillo Infante Mgt.



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, SOLÓRZANO VALDIVIA GALO AMMÓN

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE INFRAESTRUCTURA WIMAX PARA LA PARROQUIA COLONCHE**, previo a la obtención del título en Ingeniero en Tecnologías de la Información, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

La Libertad, a los 26 días del mes de noviembre del año 2024

EL AUTOR

A handwritten signature in black ink, reading "Galo Solórzano V", is written over a horizontal line.

GALO AMMÓN SOLÓRZANO VALDIVIA



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE INFRAESTRUCTURA WIMAX PARA LA PARROQUIA COLONCHE** presentado por el estudiante, **SOLÓRZANO VALDIVIA GALO AMMÓN** fue enviado al Sistema Antiplagio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 1%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 **CERTIFICADO DE ANÁLISIS**
magister

GALO AMMON SOLORZANO VALDIVIA

< 1%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
4 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% idiomas no reconocidos
13% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: GALO AMMON SOLORZANO VALDIVIA.pdf	Depositante: MÓNICA KARINA JARAMILLO INFANTE	Número de palabras: 14,034
ID del documento: f4a728e32b8e00aa0848773ef9810e34045c0b0b4	Fecha de depósito: 26/11/2024	Número de caracteres: 92,633
Tamaño del documento original: 1,4 MB	Tipo de carga: interface	
Autores: []	fecha de fin de análisis: 26/11/2024	

Ubicación de las similitudes en el documento:



TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**MONICA KARINA
JARAMILLO
INFANTE**

Ing. Mónica Karina Jaramillo Infante Mgt.



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

Yo, SOLÓRZANO VALDIVIA GALO AMMÓN

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

Cedo los derechos en línea patrimoniales del trabajo de titulación con fines de difusión pública, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 26 días del mes de noviembre del año 2024

EL AUTOR

A handwritten signature in black ink that reads "Galo Solórzano V." with a stylized flourish at the end.

SOLÓRZANO VALDIVIA GALO AMMÓN

AGRADECIMIENTO

Al culminar este trabajo de investigación, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido a lo largo de este proceso educativo, familiares, docentes y amigos. En primer lugar, quiero agradecer a la Ing. Mónica Jaramillo, por su invaluable orientación, apoyo y paciencia durante todo el proceso, su experiencia y consejos han sido fundamentales para la elaboración de este trabajo. A mis profesores y profesoras, quienes me han brindado las herramientas académicas necesarias para desarrollar este trabajo a través de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, sus enseñanzas han sido una guía constante en mi formación. A mi familia, que ha sido mi pilar durante todo este recorrido académico. Gracias por su amor, comprensión y por creer en mí incluso cuando yo misma lo dudaba, este logro es tan suyo como mío.

Galo Ammón Solórzano Valdivia

DEDICATORIA

Con inmensa gratitud y amor, dedico esta tesis a mi familia, mi mamá Jessenia Valdivia, a mi papá Galo Solórzano, mi hermano Jared Solórzano, mis abuelos Javier Valdivia, Marjorie de Valdivia, a mi novia Romina Vásquez y Jorge Guerrero quienes han sido un pilar fundamental para alcanzar este logro tan significativo en mi vida, este trabajo es el reflejo del esfuerzo compartido con todos ustedes, a quienes estoy profundamente agradecidos por ser el motor que me ha traído hasta aquí.

A todos aquellos que me han animado a no desmayar en mi carrera universitaria y a quienes de forma directa o indirectamente, siempre me inspiraron a superar mis límites ante los retos, a los profesores que, con sus enseñanzas, encendieron mi pasión por aprender y crecer y a mis amigos por ser parte de este proceso. Gracias por ser mi luz en los días más oscuros y por darme la fuerza para continuar cuando todo parecía imposible. Con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo, que no habría sido posible sin ustedes.

Galo Ammón Solórzano Valdivia

ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
DECLARO QUE:	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN	17
1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	17
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	18
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL:	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	19
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO	20

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL PROYECTO	21
2.1. MARCO CONCEPTUAL	21
2.1.1 WIMAX	21
2.1.2 TIPOS DE REDES	22
2.1.3 ENLACE PUNTO A PUNTO (PTP)	23
2.1.4 ENLACE PUNTO A MULTIPUNTO (PMP)	24
2.1.5 TECNOLOGIAS INALÁMBRICAS	25
2.1.5 ESTANDARES DE LA TECNOLOGÍA WIMAX	25
2.1.7 ARQUITECTURA WIMAX	26
2.1.8 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.16	27
2.1.9 TIPOS DE MODULACION DIGITAL	28
2.1.10 PROPAGACIÓN LOS Y NLOS	29
2.1.11 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS CENTIMÉTRICAS	30
2.1.12 ESPECTRO DE FRECUENCIA	30
2.1.13 PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA	31
2.1.14 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	32
2.1.15 REGULACIÓN DEL ESPECTRO	33
2.2. MARCO TEÓRICO	34
2.3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	35
2.3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	35
2.3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
2.3.3 METODOLOGÍA DE DESARROLLO	36
CAPITULO III. PROPUESTA	38
3.1. DESARROLLO	38

3.1.1	FASE DE IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	38
3.1.2	FASE DE RECOPIACIÓN DE DATOS	40
3.1.3	FASE DE SELECCIÓN DE ANTENAS	42
3.1.3.1	ELECCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN	44
3.1.4	FASE DE DISEÑO DE LA RED WIMAX	45
3.1.5	FASE DE SIMULACION DE LA RED	46
3.1.5.1	PREDICCIONES	51
3.1.5.2	ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DE SEÑAL WIMAX	53
3.1.5.3	ESCENARIOS DE EXPANSIÓN Y ESCALABILIDAD	54
3.1.6	FASE DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
3.1.6.1	CONCLUSIONES	55
3.1.6.2	RECOMENDACIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	58
	ANEXO 1	62
	ANEXO 2	64
	ANEXO 3	66
	ANEXO 4	67
	ANEXO 5	70
	ANEXO 6	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espectro Electromagnético	33
Tabla 2 Acceso a internet - Parroquia	38
Tabla 3 Datos Generales	40
Tabla 4 Delimitaciones Colonche	41
Tabla 5 Características antena	63
Tabla 6 Características repetidora	65
Tabla 7 Comparativa Modelos de Propagación	66
Tabla 8 Coordenadas de Antenas	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Funcionamiento de WIMAX	21
Ilustración 2 Tipos de Redes	23
Ilustración 3 Enlace Punto a Punto	24
Ilustración 4 Enlace Multipunto	24
Ilustración 5 Estructura WIMAX	27
Ilustración 6 Línea de visión	29
Ilustración 7 Propagación a larga distancia	31
Ilustración 8 Propagación Radioeléctrica	32
Ilustración 9 Fases de implementación	37
Ilustración 10 Acceso a internet	39
Ilustración 11 Parroquia Colonche	40
Ilustración 12 Relieve de la parroquia Colonche	41
Ilustración 13 Puntos de antenas	46
Ilustración 14 Mapa de cobertura	47
Ilustración 15 Línea de visión	47
Ilustración 16 Simulación de recepción de señal	48
Ilustración 17 Simulación de interferencia de señal	48
Ilustración 18 Detalles de conexiones cercanas	49
Ilustración 19 Simulación de usuarios	50
Ilustración 20 Estadísticas Cobertura por nivel de señal	51
Ilustración 21 Estadísticas de Señal eficaz	52
Ilustración 22 Cobertura por rendimiento	52

RESUMEN

Este trabajo se enfoca en el diseño y simulación de una red WiMAX para la parroquia Colonche, con el objetivo de mejorar el acceso a internet en una zona caracterizada por su topografía accidentada y dispersión poblacional que además han tenido una dificultad histórica al acceso de servicios de conectividad. Mediante una metodología aplicada y utilizando el software de simulación Atoll, se seleccionaron los modelos de propagación y tipos de antenas para estación base y repetidoras, garantizando una cobertura óptima y una calidad de señal consistente.

Los resultados obtenidos a partir de la simulación reflejan que la red propuesta tiene la potencia de ofrecer conectividad confiable incluso en áreas más remotas, permitiendo que los habitantes de la parroquia Colonche acceda a recursos educativos, oportunidades laborales y servicios digitales. Este proyecto no solo demuestra la viabilidad técnica de implementar WiMAX en zonas rurales, sino que también destaca el valor humano y social de la tecnología, evidenciando como esta red puede ayudar a reducir la brecha digital en comunidades rurales del Ecuador.

Palabras claves: WiMAX, conectividad rural, diseño de red.

ABSTRACT

This work focuses on the design and simulation of a WiMAX network for the Colonche parish, with the objective of improving internet access in an area characterized by its rugged topography and population dispersion, which also has had historical difficulty accessing connectivity services. By means of an applied methodology and using Atoll simulation software, propagation models and antenna types for base station and repeaters were selected, guaranteeing optimal coverage and consistent signal quality.

The results obtained from the simulation reflect that the proposed network has the power to provide reliable connectivity even in the most remote areas, allowing the inhabitants of the Colonche parish to access educational resources, job opportunities and digital services. This project not only demonstrates the technical feasibility of implementing WiMAX in rural areas, but also highlights the human and social value of the technology, showing how this network can help reduce the digital divide in rural communities in Ecuador.

Keywords: WiMAX, rural connectivity, network design.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el acceso a internet se ha convertido en un recurso esencial para el desarrollo social, económico y educativo de las comunidades a mundial, sin embargo las zonas rurales como la parroquia Colonche en el cantón Santa Elena, Ecuador, enfrentas grandes barreras para acceder a servicios de conectividad debido a factores como su topografía desafiante y dispersión poblacional, creando una brecha digital cada vez más grande y afectando las oportunidades de crecimiento y bienestar de sus habitantes.

Por estos motivos se vio efectiva la realización de éste trabajo de titulación que se enfoca en el diseño y simulación de una infraestructura WiMAX para la parroquia Colonche , con el objetivo principal de proporcionar una solución tecnológica que permita mejorar de verdad el acceso a internet en la región, con el apoyo de herramientas avanzadas de simulación como el software Atoll, se busca garantizar una cobertura eficiente y de calidad, adaptada a las características geográficas y demográficas de la zona.

El proyecto está constituido por el análisis de modelos de propagación, la selección de antenas adecuadas para el entorno y la simulación de escenarios de rendimiento, con el propósito de evaluar la viabilidad técnica y económica de la red, además se proponen estrategias para la implementación de la infraestructura considerando su impacto en la comunidad y su potencial crecimiento para fomentar el desarrollo integral de la localidad.

Los resultados obtenidos a en la simulación fueron muy buenos, evidenciando que las configuraciones propuestas superaron las expectativas iniciales en términos de calidad y cobertura de señal, las pruebas realizadas en condiciones topográficas complejas demostraron que la red propuesta es capaz de mantener niveles óptimos de conectividad incluso en zonas de difícil acceso.

Este avance beneficia directamente a los residentes locales, facilitando el acceso a recursos educativos, servicios digitales y nuevas oportunidades laborales, sirviendo este trabajo como base para un desarrollo integral de la comunidad, sentando un precedente de como la tecnología puede ser utilizada de manera estratégica para transformar positivamente la vida de las comunidades.

CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN

1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El último censo realizado en Ecuador en el año 2022 dejó datos importantes como que el 62.2% de los hogares tienen acceso a internet fijo, mientras que el 37.8% no tienen acceso a este servicio esencial hoy en día. Esto demuestra que 4 millones de personas no cuentan con internet, dejando a evidencia una brecha digital en el territorio ecuatoriano. En las áreas rurales los problemas son aún mayores mostrándose una conectividad mucho menor, solo en la provincia de Santa Elena con una población censada de 385.735 habitantes, apenas el 49.3% es decir 190.167 personas tiene conectividad a internet fijo y el 50.7% correspondiente 195.568 personas tienen acceso a internet fijo. Una de las zonas más afectadas por esta problemática es la Parroquia Colonche donde solo el 34.1% de las casas censadas tienen acceso a internet y el 65.9% de la población de la parroquia es decir 26.399 personas no tienen conectividad [1].

Esta problemática no solo afecta en los hogares de los habitantes de la parroquia Colonche, también afecta a las medianas y grandes empresas que se encuentran en la localidad limitando el acceso al comercio electrónico o servicios en línea que podrían ofrecer. Afectando directamente a la economía de la parroquia al limitar las oportunidades de negocio, emprendimiento y empleo, sin tomar en cuenta de las limitaciones que tienen las escuelas y estudiantes para tomar clases en línea o realizar investigaciones, quitándoles el acceso a recursos digitales que podrían mejorar su aprendizaje [2].

Otra de las problemáticas producto de la falta de conectividad a internet fijo y no menos importante es el acceso a telemedicina o servicios que podrían reducir la posibilidad de diagnósticos y consultas médicas a distancia, servicios que podrían mejorar la calidad de atención médica en la localidad y así no depender en su totalidad de los escasos centros de salud que muchas veces carecen de profesionales o recursos para cubrir las necesidades de la población [3].

La tesis desarrollada por Magda Ely Leyva Vázquez en México, previa a la obtención de maestría titulada “Despliegue de la tecnología WIMAX”, se habla de la carencia que tienen las zonas rurales de infraestructura de cualquier tipo tecnológica, como en este caso en el Valle de Guadalupe, donde tan solo una pequeña parte de la población tiene

acceso a servicios de telecomunicaciones actuales, afectando directamente a los habitantes de esta zona y restringiendo el desarrollo empresarial, turístico y agrícola que son sectores que cada vez más migran a la tecnología digital para optimizar sus operaciones y atraer clientes nuevos [4] .

El trabajo de ingeniería titulada “Diseño de un sistema de comunicaciones para brindar internet a zonas rurales (San Antonio de Pichincha) utilizando tecnología WIMAX”, desarrollado por Iván Andrés González Arias en la Universidad de las Américas – Quito explica claramente la problemática que encontró en la localidad de San Antonio de Pichincha donde el 72.70% de los residentes no tiene acceso a internet y teniendo una desventaja notable al contar con pocos proveedores de internet en la zona como CNT quienes ofrecen una baja cobertura del servicio debido a que la infraestructura no es suficiente para cubrir la demanda existe de clientes que hay en la zona [5].

El artículo titulado “Implementación del módulo Pineapple Tetra para un proceso de auditorías mediante suplantación de APS en la banda 2.4 y 5 GHz” desarrollado por la ingeniera Mónica Jaramillo et al. en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se estudian varios temas relacionados con la mejora del rendimiento de una red inalámbrica y la eficiencia del espectro radioeléctrico, destacando la importancia de analizar la cobertura en condiciones reales con obstáculos e interferencias que obviamente no siempre son consecuencia de terrenos físicos en la línea de visión entre transmisión y receptor sino también por los dispositivos eléctricos que operan en la misma frecuencia [6].

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se centra en el diseño y simulación de una red WiMAX para prever la conectividad de Internet en la Parroquia Colonche. Este proyecto busca proporcionar una solución en áreas donde las infraestructuras tradicionales son limitadas o costosas de implementar, enmarcado dentro de una metodología de investigación aplicada que sigue un enfoque sistemático a través de 6 fases.

- 1. Identificación del problema**
- 2. Recopilación de datos**
- 3. Selección de Antenas**
- 4. Diseño de la Red WiMAX**

5. Simulación de la Red

6. Conclusiones y Recomendaciones

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar una infraestructura de red WiMAX mediante simulaciones que permitan analizar la mejora al acceso de banda ancha en la Parroquia Colonche.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar las características geográficas y demográficas de la Parroquia Colonche de manera detallada para identificar los requerimientos específicos de conectividad.
- Determinar equipos y tecnologías WiMAX más adecuados para desplegar la infraestructura de red según los requisitos identificados.
- Simular la cobertura, capacidad y rendimiento de la infraestructura de red WiMAX utilizando herramientas de simulación para evaluar su comportamiento en diferentes escenarios geográficos y demográficos.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El avance tecnológico y científico desde la pandemia ha creado oportunidades sin precedentes para el desarrollo social y económico, al mismo tiempo el uso y acceso a la tecnología han cambiado fundamentalmente los patrones de comunicación y búsqueda de información para las personas, en partículas, a través de internet. En este contexto, la mejora de conectividad en zonas rurales se ha transformado en una prioridad para fomentar una conectividad equitativa [7].

Para los países en desarrollo conectar a la población de zonas rurales al mundo digital es un enorme desafío, donde muchos centros de salud y escuelas carecen de un acceso a la información e intercambio de conocimiento. Por este motivo muchos países trabajan en impulsar la creación e implementación de sistemas integrados basado en la tecnología moderna para lograr un fin común, fortalecer el desarrollo social y comunitario. Los

estudiantes universitarios también desempeñan un papel clave en estos tipos de proyectos aportando conocimientos y soluciones innovadoras que contribuyen a mejorar la calidad de vida en las zonas rurales [8].

El diseño y la simulación de una infraestructura de red WiMAX adaptada a las condiciones geográficas y demográficas de la zona Colonche busca ofrecer una solución técnica y económica para mejorar la infraestructura de conectividad de la zona. El proyecto fomentaría el desarrollo de sectores claves previamente identificados como necesidades como la educación, salud y el comercio local integrándolos al nuevo mundo digital e impulsando el crecimiento económico y comunicacional de la parroquia Colonche donde las limitaciones de la infraestructura de red actual obstaculizan el acceso a servicios de Internet de alta velocidad y confiabilidad [9].

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto de titulación se centra en el diseño y simulación de una red WiMAX para la parroquia Colonche, teniendo en cuenta las características geográficas y demográficas de la zona en estudio, realizando el análisis del terreno, la dispersión poblacional y los requerimientos de conectividad necesarios por la población para reducir la brecha digital. La simulación de la red se realizará en su totalidad en el programa Atoll por su flexibilidad para modelar el comportamiento de las redes en entornos geográficamente complejos y limitando la infraestructura a las opciones que Atoll ofrece como modelos de red WiMAX, permitiendo obtener la cobertura, capacidad de la red, propagación de las señales y evolución de la red bajo diversas condiciones de estudio.

Este enfoque teórico práctico permitirá llevar a cabo una correcta simulación del desarrollo de la red mediante diversas pruebas estructurales en Atoll, evaluando los cambios en la intensidad de la señal y potencia de la frecuencia SHF, permitiéndonos determinar la factibilidad y viabilidad técnica de este trabajo de titulación, además de identificar los recursos y características de equipos necesarios, siempre tomando en cuenta las mejoras en beneficio de la conectividad, impacto en la comunidad y empresas locales. De esta forma el proyecto establecerá una base sólida para futuras decisiones sobre el despliegue de redes de banda ancha en áreas similares.

Fuera del alcance del proyecto, no se incluirán estudios detallados sobre el financiamiento o la obtención de licencias y permisos para el uso del espectro radioeléctrico, aspectos que dependerán de entidades reguladoras como ARCOTEL en Ecuador. Asimismo, debido a limitaciones de tiempo y presupuesto, este proyecto se centrará en la simulación y análisis técnico, sin proceder a una implementación física de la red WiMAX. De igual manera, el proyecto no considerará tecnologías alternativas como LTE o 5G, ni evaluará posibles alianzas con proveedores de servicios de telecomunicaciones.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL PROYECTO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 WIMAX

WiMAX, cuyas siglas provienen de *Worldwide Interoperability for Microsoft Access*, es una tecnología de comunicación inalámbrica de banda ancha basada en el estándar IEEE 802.16, esta tecnología permite no solo brindar conectividad sino también que sea a largas distancias, disponibles para configuraciones fijas y móviles. En el año 2008 la Unión Internacional de Telecomunicaciones fue reconocida la versión móvil desarrollada previamente bajo la norma IEEE 802.16e, como parte de las tecnologías IMT-2000 para redes de tercera generación, teniendo luego una actualización e incorporando mejoras significativas en eficiencia espectral, reducción de latencia y capacidad para gestionar más usuarios bajo el estándar IEEE 802.16m propuesto principalmente para tecnologías de cuarta generación. Logrando brindar acceso de banda ancha hasta 50 kilómetros en modo fijo y 15 kilómetros en modo móvil, con velocidades de hasta 1 Gbps [10].

2.1.2 TIPOS DE REDES

➤ PERSONAL AREA NETWORK (PAN)

Una red PAN (Personal Area Network) busca conectar dispositivos individuales, pero en un área limitado utilizando tecnología inalámbrica como Bluetooth que ofrece alcance de entre 1 y 100 metros y velocidades hasta los 3 Mbps, como también es el caso de Zigbee que trabaja a distancias similares con aplicaciones de bajo consumo energético. Este tipo de redes es ideal para tareas como la sincronización de datos, el control de dispositivos o la transferencia de archivos entre equipos cercanos. Entre sus beneficios y principales ventajas esta la comunicación rápida sencilla y segura brindando un entorno privado y adaptándose a las necesidades del usuario [11].

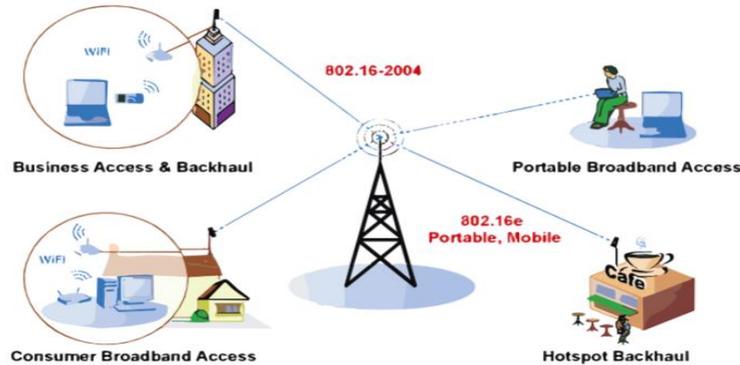


Ilustración 1 Funcionamiento de WIMAX

➤ WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (LAN)

Una red de área local LAN por sus siglas en inglés, es un sistema de interconexiones de dispositivos dentro de un espacio físico reducido, ideal para escenarios como casas, oficinas, edificios, entre otros. Este tipo de red se utiliza principalmente para conectar computadoras personales y otros dispositivos con el objetivo de compartir recursos dentro del mismo entorno como impresoras, almacenamiento, aplicaciones y facilitar el intercambio de información de manera eficiente. Por estas razones las redes LAN son conocidas como redes corporativas o empresariales ya que permiten optimizar la productividad al ofrecer acceso compartido a herramientas tecnológicas claves, agilizando proceso y promoviendo la colaboración entre los usuarios dentro de la misma infraestructura [11].

➤ WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK (MAN)

Una red de área metropolitana (MAN) cubre una región o área geográfica más amplia que una red de área local, este tipo de estructura generalmente se suele usar para abarcar una ciudad o zona urbana extensa, ya que son ideales para conectar múltiples redes locales, proporcionando una infraestructura que facilita la comunicación y el acceso a recursos compartidos en áreas metropolitanas. Es usado en redes de televisión por cable donde una sola antena central instalada en un lugar estratégico teniendo en cuenta la cobertura deseable, capta la señal y la distribuye a los suscriptores mediante un sistema cableado y permitiendo también dar servicios de datos, voz y video facilitando así la comunicación y el acceso a recursos en áreas urbanas [11].

➤ WIRELESS WIDE AREA NETWORK (WAN)

Las redes de área amplia (WAN) es una infraestructura de comunicación que se extiende a lo largo de grandes áreas geográficas, siendo este el caso de regiones, ciudades, países y hasta continentes. A diferencia de las redes de área local, que fueron diseñadas solo para operar en espacios reducidos, las WAN permiten conectar múltiples redes locales a través de enlaces de larga distancia como son las líneas telefónicas, satélites o fibra óptica. Este tipo de red facilita el intercambio de información, el acceso compartido a recursos y comunicación eficiente entre lugares lejanos, garantizando la operatividad y la coordinación a nivel global. Una de sus características que más destaca es su capacidad para integrar grandes volúmenes de datos y soportar largas distancias [11].

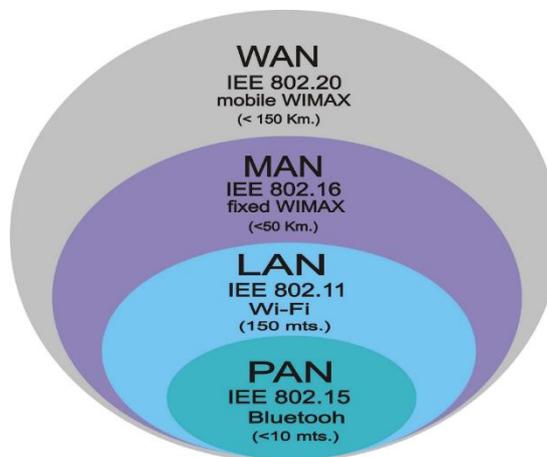


Ilustración 2 Tipos de Redes

2.1.3 ENLACE PUNTO A PUNTO (PTP)

Este tipo de enlace es una conexión directa y exclusiva que une dos dispositivos dentro de una red que podría ser establecida mediante cable como fibra o de manera inalámbrica con tecnología de radiofrecuencia, permitiendo así el intercambio de datos de manera directa sin la intervención de otro nodo externo. El principal beneficio es que todo el ancho de banda estará dedicado únicamente a los dispositivos conectados garantizando así una comunicación eficiente, estable y libre de interferencias [12].



Ilustración 3 Enlace Punto a Punto

2.1.4 ENLACE PUNTO A MULTIPUNTO (PMP)

Se trata de un tipo de conexión de red en la que varios dispositivos se conectan a un nodo central el cual actúa como intermediario y gestiona la comunicación entre dispositivos, una estación base podría enviar y recibir datos de manera simultánea a varios dispositivos, es por eso que este tipo de enlace es muy utilizado en casos donde se requiere que varios usuarios o dispositivos tengan acceso o necesiten comunicarse entre sí, permitiendo que compartan un solo canal de comunicación y reduciendo significativamente los costos de infraestructura y su escalabilidad, siempre y cuando se tome en cuenta la cantidad de usuarios y el ancho de banda disponible. [12].



Ilustración 4 Enlace Multipunto

2.1.5 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Las tecnologías inalámbricas facilitan la transmisión de datos a través de las ondas electromagnéticas, utilizando principalmente frecuencia de radio, microondas y en pocas ocasiones infrarrojos, eliminando así la necesidad de cables físicos y ofreciendo una solución flexible ya que operan en bandas de frecuencia específicas como 2.4GHz y 5GHz y transferencia de datos hasta 54 Mbps para Wi-Fi y entre 2.3GHz y 3.5GHz y 70 Mbps en WiMAX. Entre sus usos más comunes se encuentran las redes de área local, redes de banda ancha inalámbrica y tecnologías móviles avanzadas como LTE y 5G capaces de alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps. Estas tecnologías son esenciales en entornos donde las infraestructuras cableadas son costosas o imprácticas [13]. Sin embargo, el rendimiento de estas redes inalámbricas puede verse afectado por factores como la interferencia, topografía del terreno y condiciones climáticas, es por esa razón que estas redes son gestionadas mediante asignación de espectro regulado garantizando así la eficiencia operativa y minimizando posibles interferencias.

2.1.5 ESTÁNDARES DE LA TECNOLOGÍA WIMAX

- **IEEE 802.16 – 2001.-** Representa el primer estándar que definió la tecnología WiMAX, diseñado para redes de acceso inalámbrico fijo que permitía la transmisión de datos mediante enlaces punto a punto y punto a multipunto mediante la modulación por división de frecuencias en bandas de 10 a 66 GHz ofreciendo así conectividad de banda ancha en áreas urbanas y rurales. Su requerimiento de línea de visión directa limitó su aplicación [14].
- **IEEE 802.16a – 2003.-** Trajo consigo mejoras al operar ya en bandas de frecuencia más bajas es decir menores a 11 GHz, permitiendo así mayor cobertura y mejor penetración en interiores, además de la implementación de la modulación OFDM con la cual se eliminó la necesidad de línea de visión directa y ayudando a consolidar así a WiMAX como una solución viable para acceso fijo [14].
- **IEEE 802.16d – 2004.-** Este estándar ayudó a consolidar WiMAX para aplicaciones fijas al lograr optimizar la eficiencia espectral y proporcionar soporte para calidad de servicios, además de permitir la operación de bandas licenciadas y no licenciadas, logrando estandarizar su uso para acceso fijo y facilitando servicios como voz y video [14].

- **IEEE 802.16e – 2005.-** Marco un avance significativo al implementar la movilidad en WiMAX además de implementar mejoras como OFDMA y MIMO incrementando así la eficiencia espectral, la capacidad y la cobertura [14].
- **IEEE 802.16j – 2009.-** Con los nuevos avances este estándar permitió extender cobertura y capacidad para manejar más usuarios sin comprometer la calidad además de no tener la necesidad de más estaciones bases siendo muy útil en áreas urbanas de difícil acceso y ofreciendo redes distribuidas que mejoraron la eficiencia y redujeron costos significativos. [14].
- **IEEE 802.16m – 2011.-** Marco la evolución hacia la tecnología 4G permitiendo velocidades de hasta 1Gbps y empezó a utilizar tecnología avanzada como beamforming y agregación de portadoras, buscando competir con LTE y ofreciendo una solución robusta para internet móvil de velocidad y baja latencia, cumpliendo con los requisitos de IMT – Avanzado, ideal para aplicaciones como videoconferencias y transmisiones de contenido [14].

2.1.7 ARQUITECTURA WIMAX

Una red basada en el estándar 802.16 (WiMAX) está compuesta esencialmente por dos elementos claves como las estaciones base (BS) y las estaciones suscriptoras (SS), que pueden ser fijas o móviles, las estaciones suscriptoras no están diseñadas para comunicarse directamente entre sí, ya que todas las transmisiones deben pasar a través de las estaciones base, este modelo de operación generalmente adopta una arquitectura de punto a multipunto (PMP), lo que permite que una estación base gestione múltiples estaciones suscriptoras simultáneamente [15].

En escenarios donde se requiere extender la cobertura o proporcionar conectividad en áreas más remotas, puede haber una sola estación cliente que actúe como un enlace de backhaul hacia otras redes troncales. Aunque el estándar permite arquitecturas adicionales, como el modo de malla, que permite la interconexión directa entre estaciones suscriptoras, estas implementaciones no han sido ampliamente adoptadas en el mercado debido a su complejidad técnica y costos asociados [15]. Por otra parte, el uso de estaciones repetidoras para mejorar la cobertura o capacidad es una opción viable en configuraciones específicas de red.

En la arquitectura utilizada todas las comunicaciones pasan por la estación base, que es además la encargada de gestionar el acceso al medio, identificando a las estaciones subscriptoras y permitiendo el acceso sólo a aquellas autorizadas, además, es la estación base la encargada de planificar los recursos que recibe cada estación suscriptora, sincronizando todas las estaciones para optimizar el uso del espectro, de forma que se puedan mantener los requisitos de QoS de las distintas comunicaciones que tienen lugar dentro de la red.

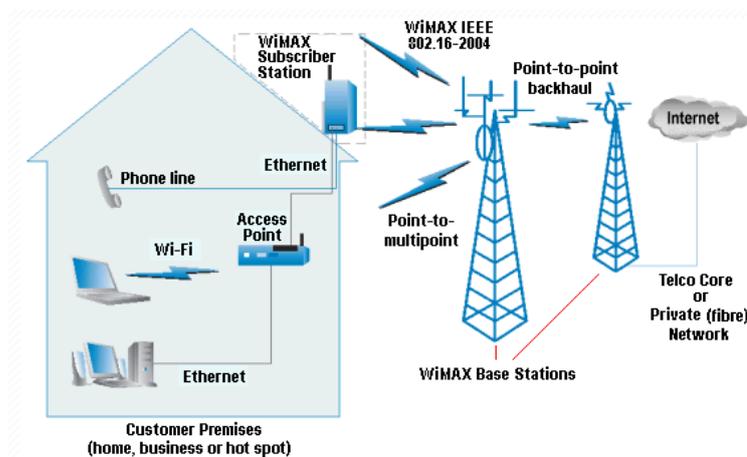


Ilustración 5 Estructura WIMAX

2.1.8 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.16

- WiMAX utiliza el aire como medio de transmisión, reduciendo así costos al eliminar la necesidad de infraestructura física como cables y facilitando la conectividad en áreas remotas sin infraestructura previa.
- Opera en bandas menores a 11 GHz y con frecuencias comunes como 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.7 GHz comúnmente, adaptándose a diferentes condiciones del espectro para optimizar el rendimiento en diversas ubicaciones.
- Emplea Orthogonal Frequency Division Multiplexing, tecnología que permite mejorar la eficiencia del espectro y minimiza la interferencia, permitiendo así transmisiones estables en entornos complicados.
- Alcanza hasta 10 Mbps en condiciones normales y en condiciones ideales puede ofrecer desde 70 Mbps hasta 100 Mbps dependiendo de factores claves como la carga del sistema y las condiciones de enlace.

- Puede llegar a cubrir distancias de hasta 20 kilómetros en configuraciones de enlace fijo, proporcionando coberturas en áreas suburbanas y rurales de difícil acceso.
- Permite flexibilidad en topología de red ya que soporta enlaces punto a punto y punto a multipunto facilitando la interconexión de estaciones base con suscriptores finales, permitiendo crear redes escalables y eficientes [16].

2.1.9 TIPOS DE MODULACIÓN DIGITAL

➤ MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD (ASK)

Esta técnica se basa en cambiar la amplitud de una señal para representar los datos binarios como 0 y 1, al utilizar diferentes niveles de intensidad para cada valor la hace la forma más simple de modulación. Sin embargo, es muy sensible al ruido, lo que podría ser perjudicial para la calidad de transmisión en entornos con mucha interferencia, por esa razón se usa en aplicaciones de corto alcance o en situaciones donde el canal de comunicación es excelente. [17].

➤ MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

Esta técnica codifica la información digital mediante cambios en la frecuencia de la señal dándole un valor binario 0 a frecuencias más bajas y un 1 para frecuencias más altas, en comparación con la modulación ASK es más resistente al ruido ya que no depende de la ampliación de la señal, pero requiere de mayor ancho de banda y su implementación puede ser más compleja en sistemas donde la frecuencia es un recurso limitado [17].

➤ MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE (PSK)

En esta técnica la información digital se transmite a través de cambios en la fase de la señal portadora, siendo eficiente en el uso del ancho de banda y menos afectada por el ruido en comparación de las dos técnicas antes mencionadas. Su uso es común en sistemas más avanzados debido a su balance entre eficiencia y confiabilidad, pero también requiere una sincronización precisa entre el transmisor y el receptor ya que cualquier error en los cambios de fase podría causar problemas en la transmisión [17].

2.1.10 PROPAGACIÓN LOS Y NLOS

La propagación de señales en sistemas inalámbricos desempeña un papel clave en la eficiencia y cobertura de redes que se podría proporcionar, ya que está influida significativamente por las condiciones geográficas y si la zona ofrece línea de vista directa o no.

- **LoS (Line of Sight).** – Este escenario describe la propagación directa de las ondas de radio entre el transmisor y el receptor sin obstáculos físicos en el camino, permitiendo una transmisión óptima con tasas superiores al 90% en condiciones óptimas donde exista ausencia de interferencia o atenuación, ofreciendo mayores velocidades de datos y amplio rango de cobertura. Las comunicaciones LOS son esenciales en aplicaciones críticas como redes de emergencia, videollamadas de alta definición y transmisión de datos en tiempo real, donde a estabilidad y la calidad son prioritarias [18].
- **NLoS (Non-Line of Sight).** – A diferencia de la propagación por la línea de visión en este caso la señal se encuentra con obstáculos físicos como edificios, árboles o montañas lo que permite el fenómeno como difracción, reflexión y dispersión, esto provoca una disminución considerable en la eficiencia de transmisión que puede reducirse en más del 50% dependiendo de la densidad y el tipo de obstrucciones [18].

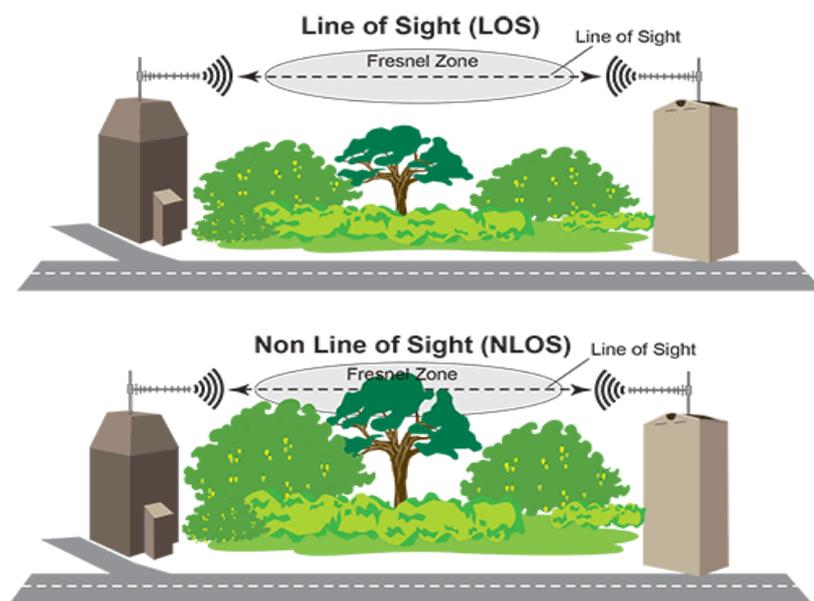


Ilustración 6 Línea de visión

2.1.11 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS CENTIMÉTRICAS

Las ondas centimétricas, también conocidas como frecuencia superalta (SHF) tienen la particularidad de propagación exclusivamente mediante línea de vista directa, así que necesita una conexión sin obstáculos entre la estación emisora y receptora para garantizar así una transmisión efectiva. Viajan en línea recta utilizando una propagación denominada onda espacial a diferencia de las ondas de baja frecuencia que pueden adaptarse al contorno de la tierra o reflejarse en la ionosfera [19].

Esta modalidad de propagación se limita a las bandas de UHF, VHF y SHF, donde las ondas viajan principalmente en forma directa entre las antenas de transmisión y recepción, aunque también pueden reflejarse en el suelo, dado que las ondas espaciales están restringidas por la curvatura de la Tierra, la propagación efectiva de estas ondas depende de la visibilidad directa sin obstáculos, lo que las hace sensibles a la topografía y condiciones ambientales.

Para mitigar las restricciones del horizonte de radio, es posible extender la cobertura elevando las antenas de transmisión y recepción mediante el uso de torres, montañas o edificios, permitiendo ampliar el rango de propagación y optimizando la eficiencia de los enlaces de comunicación en aplicaciones que dependen de ondas centimétricas como las redes de microondas o enlaces satelitales [20].

2.1.12 ESPECTRO DE FRECUENCIA

El espectro de frecuencias es un recurso limitado y estratégico, esencial para la transmisión de señales de comunicación mediante ondas electromagnéticas, este rango, que abarca desde los 10 kHz hasta varios GHz, es la base de operación para numerosos sistemas radioeléctricos, como redes celulares, PCS, microondas o satélites, en estos sistemas, la información se transmite desde un transmisor hacia un receptor utilizando frecuencias específicas cuidadosamente asignadas para evitar interferencias y garantizar un funcionamiento estable.

La asignación de frecuencias fijas para transmisión y recepción no solo asegura la estabilidad operativa de los sistemas, sino que también permite predecir su comportamiento en red, siendo clave para integrar radiofrecuencias en infraestructuras de telecomunicaciones más amplias, al soportar diversas interfaces y métodos de

transmisión, destacando los enlaces de línea de vista (LOS), utilizados principalmente en sistemas de microondas, y las comunicaciones punto a punto, esenciales para redes troncales y comunicaciones privadas.

El desempeño de las señales radioeléctricas depende de varios factores técnicos, entre ellos la frecuencia, que determina la cantidad de información que puede transportarse en un segundo, sin embargo, el ruido y la atenuación son desafíos clave ya que se podría presentar degradación de la calidad de la señal, disminución de la potencia de la señal al atravesar materiales o recorrer grandes distancias, para mitigar estos efectos, se utilizan estrategias como el uso de técnicas de modulación avanzadas y ajustes en la potencia de transmisión según la distancia [21].

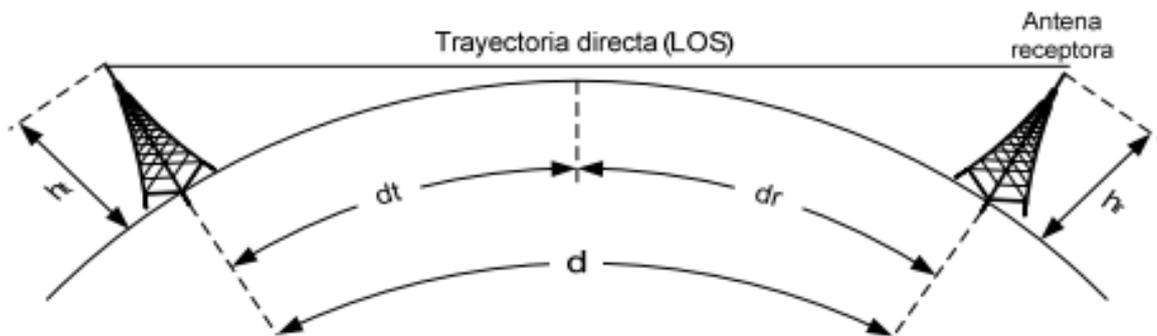


Ilustración 7 Propagación a larga distancia

2.1.13 PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA

La propagación de señales radioeléctricas depende en gran medida del rango de frecuencia en el que operan, ya que al emitir una señal esta puede desplazarse siguiendo la curvatura del planeta mediante propagación omnidireccional o direccional. En algunos casos la energía de la señal se adapta al contorno del a tierra mientras que las reflexiones desde la superficie también pueden contribuir a extender su alcance.

En frecuencias bajas y medias las señales tienden a viajar adheridas al terreno, causando un fenómeno conocido como onda de superficie, las distancias que estas ondas pueden cubrir depende principalmente de la potencia del transmisor, haciéndolo ideal para aplicaciones de largo alcance como las comunicaciones marítimas y la radio AM. En el caso de las altas frecuencias las ondas de superficie son rápidamente absorbidas pero una

parte de la señal viaja hacia la ionosfera, donde las ondas son refractadas y regresan a la tierra permitiendo transmisiones de larga distancia con menor potencia, resultando esencial para las comunicaciones de onda corta.

En muy altas frecuencias las ondas para su propagación necesitan condiciones de línea de vista entre el transmisor y el receptor, las ondas reflejadas desde el terreno o superficie cercanas pueden interferir con la señal directa causando distorsiones, sino se gestionan adecuadamente una forma efectiva de mitigar estos problemas se podría aumentar las alturas de las antenas mejorando significativamente el rendimiento de la señal. Por su parte las frecuencias de ultra alta frecuencia son utilizados en sistemas de microondas donde las comunicaciones suelen ser direccionales y de punto a punto y permitiendo la multiplexación de múltiples canales, integrándolos en un único portador, siendo una solución eficiente para aplicaciones avanzadas de telecomunicaciones como redes móviles y enlaces satelitales [22].

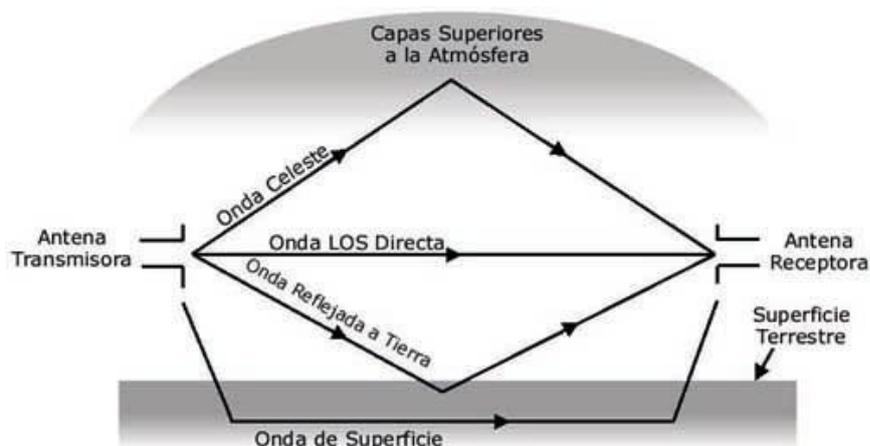


Ilustración 8 Propagación Radioeléctrica

2.1.14 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico es una porción del espectro electromagnético dedicado a la transmisión de señales mediante las ondas radioeléctricas, siendo fundamental para el funcionamiento de una amplia variedad de servicios de comunicación, al ser usados en telefonía móvil, televisión, radiodifusión, comunicación por microondas y servicios de radiobúsqueda. Para su uso eficiente el espectro está organizado en bandas de frecuencia asignadas cada una a servicios específicos.

Esta división permite que diferentes tecnologías y sistemas operen tener interferencia entre sí, sin embargo, dado que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado, es esencial su gestión y regulación adecuada para garantizar que las comunicaciones inalámbricas funcionen de manera óptima. Por este motivo cada país, gobierno y organismo desempeña un papel clave en la administración del espectro, estableciendo políticas que aseguren su asignación equitativa y uso eficiente tomando en cuenta el crecimiento de nuevas tecnologías [23].

Rango de Frecuencia	Designación	Usos
30 Hz a 300 Hz	ELF (Extremely Low Frequency)	Submarino/Energía
300 Hz a 3 KHz	ULF (Ultra Low Frequency)	Comunicación minera
3 KHz a 30 KHz	VLF (Very Low Frequency)	Navegación/Submarinos
30 KHz a 300 KHz	LF (Low Frequency)	Radiobalizas
300 KHz a 3 MHz	MF (Médium Frequency)	Radio AM
3 MHz a 30 MHz	HF (High Frequency)	Onda corta
30 MHz a 300 MHz	VHF (Very High Frequency)	Radio FM/TV
300 MHz a 3 GHz	UHF (Ultra High Frequency)	TV digital/Wi-Fi
3 GHz a 30 GHz	SHF (Super High Frequency)	WiMAX/Microondas
30 GHz a 300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)	Satélites/Radares

Tabla 1 Espectro Electromagnético

2.1.15 REGULACIÓN DEL ESPECTRO

En Ecuador la administración del espectro radioeléctrico está a cargo de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) en cumplimiento con el Plan Nacional de Frecuencias aprobado previamente por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). Este plan se actualiza periódicamente para incorporar

innovaciones tecnológicas y responder a las demandas crecientes en el ámbito de las telecomunicaciones [24].

Por su parte el Plan Nacional de Frecuencias detalla los procesos de atribución, adjudicación y asignación de bandas específicas para servicios como radiocomunicaciones, televisión, telefonía móvil y redes inalámbricas, garantizando un uso eficiente del espectro, promoviendo el acceso equitativo y fomentando el desarrollo tecnológico nacional [25].

El reglamento estipula que el uso de frecuencia requiere título habilitante, otorgado solo mediante contratos específicos para sistemas de explotación pública y privada. En cuanto a las bandas no licenciadas utilizadas principalmente por tecnologías como Wi-Fi y WiMAX, ARCOTEL exige que los equipos previamente pasen por un proceso de homologación asegurando así que no generen interferencias y cumplan con las normas técnicas vigentes, contribuyendo a una gestión eficiente y sostenible del espectro [26].

2.2. MARCO TEÓRICO

En 2022, en la comunidad de Valencia, se desarrolló un Proyecto titulado "**Diseño y despliegue de una red WiMAX para entornos rurales en núcleos de población dispersos en el interior de la Comunidad Valenciana**", este trabajo buscaba mejorar la conectividad en áreas rurales mediante el uso de la tecnología WiMAX, la cual fue elegida por su capacidad para proporcionar amplia cobertura con un número reducido de puntos de acceso. El autor utilizó la herramienta Radio Mobile para simular la cobertura considerando aspectos geográficos y regulaciones sobre potencias de transmisión. La selección de estaciones base y repetidoras permitió superar obstáculos físicos y garantizar una conectividad eficiente, demostrando que WiMAX es una solución viable y económica para comunidades con baja densidad poblacional. [27].

En 2013 la Pontificia Universidad Católica del Perú desarrolló el "**Diseño de una red WiMAX para el Valle de Churín - Lima**", buscando mejorar la conectividad en la región montañosa y de difícil acceso, beneficiando tanto a locales como turistas. El proyecto incluyó un análisis del contexto social y económico, destacando las deficiencias en telecomunicaciones de la zona, eligiendo a la tecnología WiMAX por encima de otras tecnologías por su capacidad para ofrecer conexiones de alta velocidad mediante enlaces punto a punto y punto a multipunto. El diseño de la infraestructura considero el

dimensionamiento y ubicación de estaciones base y repetidoras evaluando la viabilidad económica a través de un análisis de costos que incluyo inversión inicial y gastos operativos [28].

En Ecuador los estudios sobre redes WiMAX han abordado contextos rurales y urbanos como es el caso del proyecto titulado **“Evaluación financiera para la implementación del sistema WiMAX en conjuntos y/o urbanizaciones de la provincia de Pichincha por parte de CNT S.A.”** desarrollada en la Universidad Central del Ecuador dejando en evidencia un incremento en las ventas y servicios basados en WiMAX en comparación con tecnologías tradicionales que ofrecen las empresas. Además, se propuso una planificación estratégica para ampliar la cobertura y competitividad de la Corporación Nacional de telecomunicaciones (CNT) [29]. De manera similar, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, se diseñó una red WiMAX enfocada en áreas urbanas de alta demanda en Guayaquil, utilizando herramientas de simulación como Atoll y Google Earth para asegurar y configurar una cobertura eficiente [30]. Ambos estudios resaltan el potencial de WiMAX para mejorar la conectividad en distintas zonas del país demostrando así su versatilidad en zonas urbanas y rurales del país para brindar el servicio de internet inalámbrico.

2.3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

2.3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto propuesto sigue una metodología investigativa experimental, orientada a la medición de una variable específica que permita observar los cambios en los resultados antes y después de la simulación. La variable por analizar es la percepción de cobertura y desempeño de la infraestructura WiMAX en la parroquia Colonche, evaluándola principalmente por indicadores de calidad de señal y nivel de servicio. Este enfoque experimental esta alineado con el objetivo principal de la tesis la cual busca garantizar una cobertura optima de la red WiMAX mediante la simulación y configuración adecuada de antenas en un entorno rural [31].

El alcance de la investigación es explicativo ya que se centra en analizar las causas y efectos relacionados con la percepción de cobertura y calidad de señal de la red, buscando identificar factores determinantes que impactan directamente en la experiencia del usuario como la distribución de las antenas y las configuraciones de la red. Se espera

obtener una comprensión detallada de los elementos influyentes en el desempeño de la red y generar información valiosa para optimizar la cobertura y calidad en entornos rurales [32].

Además, el proyecto utiliza un enfoque de investigación cuantitativa, basado en la simulación de la infraestructura WiMAX mediante datos numéricos reales que permitan evaluar objetivamente la cobertura y calidad de la señal, asegurando así que las decisiones se basen en resultados medibles y precisos, facilitando la implementación de soluciones basadas en evidencia. [33].

Se emplea también un enfoque metodológico deductivo que parte de teorías generales sobre las redes inalámbricas para aplicarlas específicamente al diseño de esta infraestructura, facilitando la formulación de hipótesis basadas en estudios previos. Se plantea no solo validación de expectativas teóricas sino también identificar patrones y relaciones prácticas que sirvan de base para las futuras implementaciones en áreas rurales [34].

2.3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas

- Estado del arte, fuentes bibliográficas.

Instrumento

La recolección de datos en esa tesis se realizará mediante revisión bibliográfica y análisis de datos históricos, enfocándose en aspectos técnicos del diseño y desarrollo de la red WiMAX en Colonche. Se investigarán temas como la planificación de infraestructura, implantación de estaciones bases, distribución de frecuencia y criterios técnicos para la construcción de la red, analizando herramientas como Atoll, configuraciones de antenas y frecuencias garantizando datos precisos alineados con los objetivos del proyecto.

2.3.3 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La metodología de desarrollo de este proyecto es cuantitativa y aplicada, utilizando análisis de datos y simulaciones para diseñar una red WiMAX que ofrezca conectividad a la parroquia Colonche, basándose en las siguientes fases de implementación:

1. **Fase de identificación del problema:** Se abordará la falta de cobertura e infraestructura de redes tecnológicas en la parroquia Colonche, destacando su impacto en la economía, educación y salud justificando así la implementación de la red WiMAX como solución.
2. **Fase de recopilación de datos:** Se analiza datos estadísticos como censos y estudios existentes además de datos demográficos y técnicos para comprender de mejor manera la demanda y limitaciones técnicas actuales de la zona.
3. **Fase de selección de antenas:** Se evaluarán y analizarán antenas que existen en el mercado según su ángulo de apertura, ganancia y tilt eléctrico, seleccionándolas según las características y necesidades entorno a cubrir.
4. **Fase de diseño de la red WiMAX:** Basándonos en los datos analizados, se hará el diseño preliminar y configuración para tener una buena cobertura, además de definir ubicaciones óptimas para estaciones bases y repetidoras.
5. **Fase de simulación de la red:** Mediante la herramienta de simulación de redes Atoll se modelará el rendimiento de señal de la red bajo distintas condiciones reales ajustando los parámetros y optimizando cobertura y calidad de señal.
6. **Fase de conclusiones y recomendaciones:** Se expondrán los resultados obtenidos mediante la simulación además de un plan de implementación y estrategias para el mantenimiento y expansión de la red WiMAX en el futuro.

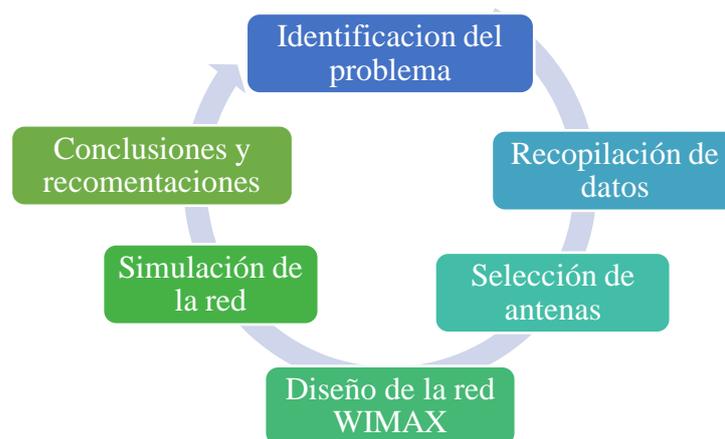


Ilustración 9 Fases de implementación

CAPITULO III. PROPUESTA

3.1. DESARROLLO

3.1.1 FASE DE IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En Ecuador, la brecha digital sigue siendo un problema que afecta profundamente a las comunidades rurales tal como se muestra en la tabla, donde muchas familias no cuentan con acceso a internet fijo, según el censo realizado en el 2022 un gran número de hogares de esta zona sigue desconectado limitando oportunidades como educación en línea, servicios de salud o empleo.

Parroquia	Población	Acceso a internet	Sin acceso a internet
Salinas	35.081	57 % 19.996	43 % 15.085
José Luis Tamayo	36.668	51.6 % 18.920	48.4 % 17.748
Anconcito	15.052	40.6 % 6.111	59.4 % 8.941
San José de Ancón	7.918	55.3 % 4.378	44.7 % 3.540
La Libertad	112.247	55.1 % 61.848	44.9 % 50.399
Santa Elena	72.598	53.9 % 39.130	46.1 % 33.468
Atahualpa	4.004	37.9 % 1.517	62.1 % 2.487
Chanduy	20.558	44.2 % 9.086	55.8 % 11.472
Simón Bolívar	4.384	22.4 % 982	77.6 % 3.402
Colonche	40.058	34.1 % 13.659	65.9 % 26.399
Manglaralto	37.167	38.9 % 14.457	61.1 % 22.710

Tabla 2 Acceso a internet - Parroquia

En contraste las zonas urbanas cuentan con un acceso a internet significativamente mayor lo que evidencia las desigualdades en la infraestructura de telecomunicaciones entre las regiones del país. Esta brecha no solo restringe las oportunidades de desarrollo de las comunidades y de quienes residen en ellas, frenando el progreso socioeconómico como es el caso de la parroquia Colonche, enfrentando desafíos para tener conectividad.

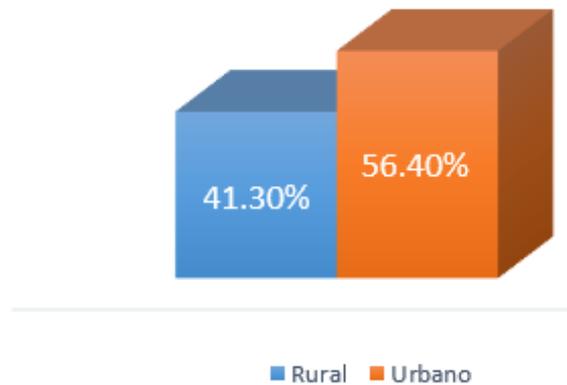


Ilustración 10 Acceso a internet

El mercado de proveedores de internet fijo en el Ecuador está dominado por un pequeño grupo de empresas con alta concentración de suscriptores, ofreciendo como principal tecnología la fibra óptica, ADSL y cable centrando su infraestructura en áreas urbanas, mientras que los servicios de tecnología WiMAX son escasos en zonas rurales y de difícil acceso. A marzo del 2024, Megadatos S.A. lidera el mercado con 30.44% de participación destacándose por su servicio con innovación tecnológica y cobertura extendida en fibra óptica, seguida solo por la CNT EP con un 23.39% que ofrece servicios tradicionales como ADSL y fibra óptica en gran parte del territorio ecuatoriano.

Claro ocupa el tercer puesto con un 14.09% enfocándose en la expansión de su red de fibra óptica, televisión y telefonía, TV Cable con el 10.59% y PuntoNet S.A. con 9.12% dirigiéndose principalmente a usuarios urbanos. Por su parte ETAPA EP con 5.61 se centra con su infraestructura en Cuenca y Telconet S.A. liderando el segmento corporativo con conectividad de alta capacidad, pero con el 2.53% de usuarios.

Proveedores pequeños como Intercommerce S.A. con 1.25%, Pacheco Saguy Luis Eduardo con 1.19 y Saitel 0.92% se centran en nichos específicos de usuarios en áreas rurales o sectores comerciales, además de otras 1128 pequeñas empresas proveedoras de

servicio de internet fijo que suman 0.87% del mercado, esta diversidad refleja tanto el desafío de la brecha digital como el potencial de la tecnología WiMAX para mejorar la conectividad en el país.

3.1.2 FASE DE RECOPIACIÓN DE DATOS

DATOS GENERALES DE LA PARROQUIA COLONCHE				
	Extensión Km²	Población	Viviendas	% del Cantón Santa Elena
Parroquia Colonche	1137.2	40.058	12.324	30.32

Tabla 3 Datos Generales



Ilustración 11 Parroquia Colonche

La parroquia Colonche, ubicada en el cantón Santa Elena, Ecuador, destaca por su diversidad geográfica que incluye zonas costeras, áreas montañosas de la cordillera Chungón-Colonche y que cuenta con amplias zonas de vegetación densa, siendo principalmente reconocida por su riqueza natural y cultural, albergando varias comunas con una población distribuida de manera dispersa. Los asentamientos llegan a extenderse sobre grandes áreas de terreno, con densidad de población variable con asentamientos cercanos al mar y las montañas demostrando una organización tradicional en las que cada comunidad conserva su identidad y características propias, adaptándose a las condiciones geográficas y climáticas de la zona.

DELIMITACIÓN

NORTE	Parroquia Manglaralto y cantón Pedro Pablo Gómez de la Provincia de Manabí.
SUR	Parroquias de Simón Bolívar y Santa Elena
ESTE	Cantones Pedro Carbo de la provincia del Guayas y Cascol de Manabí
OESTE	Océano Pacífico y parroquias de Manglaralto y Santa Elena

Tabla 4 Delimitaciones Colonche

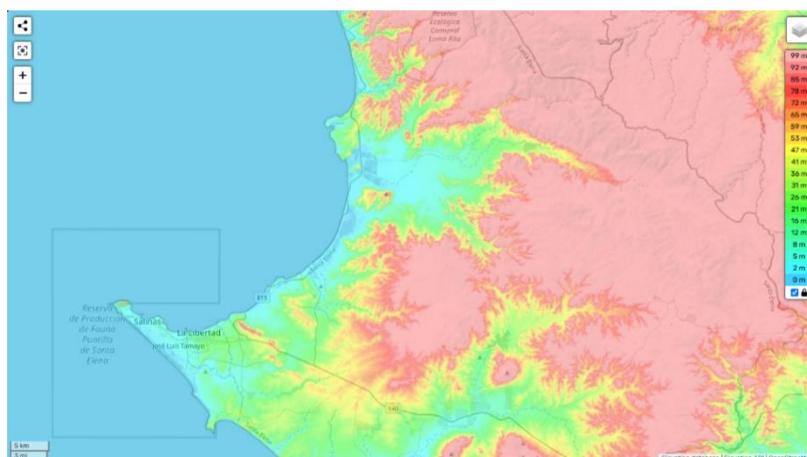


Ilustración 12 Relieve de la parroquia Colonche

La parroquia de Colonche presenta una geografía diversa que va desde las playas de la costa hasta las empinadas montañas de la cordillera Chongón-Colonche, un lugar donde abunda el bosque tropical, la mayoría de su terreno es esta cordillera está formado por rocas lo que da lugar a terrenos escarpados y con poca profundidad, complicando así el acceso a muchas de sus áreas. Al observar el mapa topográfico de la parroquia se puede notar una gran variabilidad en la altitud, lo cual tiene un impacto directo en la cobertura de internet en la zona y en la distribución de las distintas comunas que conforman la parroquia Colonche como Aguadita, Ayangue, Bajadita de Colonche, entre otras.

Contando con zonas muy elevadas que superan los 99 metros, zonas que están marcadas con tonos de color rojo y rosa en la ilustración ubicándose principalmente cerca de la cordillera, mientras que las zonas más bajas y de menor altitud se representan de color verde y azul correspondientes a las zonas cercanas a la costa.

3.1.3 FASE DE SELECCIÓN DE ANTENAS

Para la fase de selección de antenas en el diseño de la infraestructura WiMAX en la parroquia Colonche se llevó a cabo el análisis de diversas opciones disponibles en el mercado, evaluando factores como la Gancia, el ancho de cobertura, la factibilidad de integración con la infraestructura y la capacidad de operar en condiciones de largo alcance y terrenos complejos. Tras las evaluaciones de las alternativas se optó por la antena Airspan SEC65X-3.5-D4.3-T0-1 de la empresa Airspan Technologies que se destaca por su rendimiento superior en la comparativa con otras antenas que ofrece el mercado. Las especificaciones completas de esta antena, incluyendo su ganancia, patrón de radiación y características relevantes se presenta en el *ANEXO I*.

Haciendo la comparativa con otras antenas sectoriales que ofrece el mercado como la antena Ubiquiti Rocket M5 con antena sectorial de 120° y 18 dBi, la antena Airspan SEC65X ofrece una amplia ventaja en términos de direccionalidad y ganancia ajustada, lo que permite lograr un rendimiento más eficiente en enlaces de largo alcance especialmente para áreas rurales y con geografía compleja como las que caracteriza a la parroquia Colonche. Aunque la antena Rocket M5 tiene un ángulo de cobertura más amplio su ganancia no es tan alta ni tan direccionada, lo que puede afectar significativamente la eficiencia en distancias largas ya que está orientada a implementación de corto alcance mientras que la antena Airspan SEC65X esta optimizada para cubrir distancias mayores y áreas con obstáculos.

Por otro lado, la antena sectorial MikroTik NetMetal 5 que a pesar de ser una opción económica y flexible no iguala en la capacidad para manejar interferencias y mantener la estabilidad en entornos de alto tráfico o con obstáculos como lo puede hacer la antena Airspan SEC65X. La antena NetMetal 5 es más susceptible a interferencias debido a la menor ganancia y por su necesidad de ajusten frecuentes, por su parte la antena Airspan SEC65X garantiza una conexión más confiable y estable, cumpliendo con los estándares para una transmisión de datos adecuada en entornos complejos.

La antena Cambium Networks con el modelo ePMP 1000 ofrece una alta capacidad en enlaces de largo alcance y este modelo en especial es ideal para configuraciones punto a multipunto, por su parte Airspan SEC65X tiene una mejor optimización para enlaces de microondas de largo alcance manteniéndolos de forma estable lo que la hace ideal para los terrenos montañosos que se encuentran en la parroquia Colonche.

En cuanto a la elección de antenas repetidoras para complementar la infraestructura de la red WiMAX, se consideraron opciones que logren garantizar un rendimiento eficiente en áreas de difícil acceso y con largos alcances, notando que la antena Ubiquiti AirFiber 5XHD ofrece enlaces de microondas de alto rendimiento en distancias largas, además de ser especialmente útil en zonas rurales con obstáculos y demás características que se detallan en el *ANEXO 2*.

Aunque la antena Cambium Networks PTP 550 es una excelente opción para enlaces de microondas y aplicaciones de alta capacidad, además de que puede ser usada en escenarios de enlaces punto a multipunto, su rendimiento se ve reducido en escenarios con distancias largas y en zonas con alta interferencia, características con las que cuentan áreas rurales como la parroquia Colonche, factores que la hace menos efectiva en comparación con la antena AirFiber 5XHD que logra mantener una señal estable a largas distancias.

En el caso de la antena MikroTik NetMetal 5 logra ser una opción económica pero su rendimiento en enlaces de microondas de largo alcance es menos robusto que el de la antena AirFiber 5XHD que ofrece un rendimiento superior en estabilidad y eficiencia a mayores, estando la antena MikroTik NetMetal 5 más orientada a configuraciones pequeñas o enlaces más cortos, limitando su efectividad en el entorno de la parroquia Colonche, caracterizado por distancias largas y obstáculos en toda su extensión.

Tras analizar las diferentes opciones que ofrece el mercado para antenas de estaciones bases y antenas repetidoras, se seleccionaron las antenas Airspan SEC65X-3.2-D4.3-T0-1 para antenas de estación base y la Ubiquiti AirFiber 5XHD por sus capacidades para operar de manera eficaz en condiciones de largo alcance y terrenos difíciles garantizando una buena cobertura en zonas como las que presenta la parroquia Colonche.

3.1.3.1 ELECCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

Para el diseño de redes inalámbricas la elección del modelo de propagación es crucial para obtener simulaciones precisas y realistas que reflejen las características específicas del entorno, por ello se optó por el modelo de propagación Erceg-Greenstein (SUI) el cual presenta ventajas técnicas destacadas que se detallan en el *ANEXO 3* en comparación con otros modelos disponibles en el software de simulación Atoll, como el Cost-Hata, ITU-R P1546 y el Longley-Rice.

Este modelo permite ajustar parámetros clave como la atenuación, la altura de las antenas, tilt eléctrico y la pérdida de señal considerando tres tipos de terrenos como urbano, suburbano y rural, siendo estas características particularmente útiles para un entorno como en el que se está trabajando en este caso la parroquia Colonche, cuyo territorio presenta zonas irregulares y vegetación densa, lo que podría dificultar la propagación de la señal.

En contraste, el modelo Cost-Hata fue diseñado para su uso en frecuencias inferiores a 2GHz siendo más adecuado para zonas urbanas y suburbanas con escenarios menos complejos, debido a que en terrenos más accidentados su rendimiento tiende a verse afectado, disminuyendo directamente a la propagación de la señal, por lo tanto, el modelo Cost-Hata tiene limitaciones significativas cuando se trata de entornos con condiciones geográficas complejas como las que encontramos en la parroquia Colonche.

El modelo ITU-R P.1546 se especializa en la propagación de señales a largo alcance en frecuencias entre 30 MHz y 3 GHz, además de ser efectiva en áreas abiertas y sin obstáculos naturales importantes, tomando en cuenta estos factores no cumple con las necesidades básicas que tenemos en este proyecto. Por último el modelo de propagación Longley-Rice tiene la particularidad de ser altamente detallado y preciso, sin embargo, tiene desventajas significativas como su alta demanda de recursos computacionales y necesidad de datos geográficos muy precisos, ya que fue originalmente desarrollado para frecuencias de radio, televisión y su implementación en redes WiMAX requiere ajustes técnicos adicionales, lo que lo convierte en una opción menos eficiente para este proyecto.

Al evaluar y comparar estos modelos, el modelo de propagación Erceg-Greenstein (SUI) se destaca sobre los demás modelos por su capacidad de adaptarse de forma ideal a las condiciones que presenta la zona trabajada en este proyecto con terrenos montañosos y

mucha vegetación en la zona, brindando un equilibrio ideal entre precisión y flexibilidad. Mientras que el modelo Cost-Hata es útil es escenario con terrenos más simples, por su parte el modelo ITU-R P.1546 es adecuado para áreas más abiertas sin tantos terrenos accidentados y por último el modelo Longley-Rice aunque es preciso no resulta tan eficiente su implementación en este proyecto debido a sus exigencias computacionales, sobresaliendo el modelo Erceg-Greenstein (SUI) por su utilidad en terrenos rurales y complejos siendo el más adecuado para el diseño de infraestructura WiMAX en Colonche.

3.1.4 FASE DE DISEÑO DE LA RED WIMAX

Se identificaron puntos estratégicos para la instalación de las antenas, teniendo como propósito maximizar la cobertura y optimización de la señal, estas ubicaciones fueron determinadas considerando factores críticos como la topología local, las distancias entre los puntos de enlace y la presencia de obstáculos naturales en la zona como montañas y vegetación que podría afectar la propagación de la señal.

Para asegurar un desempeño óptimo las antenas fueron ubicadas geográficamente como se detalla en el **ANEXO 4**, estando situados en puntos elevados y estratégicos entre las comunidades, ofreciendo una mayor visibilidad y cobertura de la señal. Las torres utilizadas tienen una altura de 40 metros la cual es sumada a la altura natural de las ubicaciones seleccionadas, garantizando una línea de visión despejada para los enlaces de microondas y mejorando significativamente el ángulo de cobertura, buscando minimizar las interferencias, reduciendo las pérdidas de señal y asegurando que la red cubra de manera eficiente las necesidades de la parroquia colonche, proporcionando una transmisión de datos estables en una región caracterizada por su geografía irregular.

Las antenas antes seleccionadas destacan por su ganancia de 18 dBi, un valor ideal para alcanzar largas distancias sin comprometer la calidad de la señal además cuenta con un ángulo de apertura de 65° permitiendo un equilibrio entre una cobertura amplia y una señal bien dirigida hacia los usuarios finales. Para asegurar la efectividad en el despliegue se configuro la antena con un tilt eléctrico de 4° , el cual contribuye a una alineación precisa y maximiza la cobertura de la zona. Estas antenas operan en banda de 3.3 GHz ajustándose a las necesidades específicas del entorno y mitigando las posibilidades de interferencia proveniente de otras frecuencias, con un ancho de banda de -20 MHz



Ilustración 13 Puntos de antenas

logrando un desempeño confiable incluso en escenarios donde las condiciones geográficas podrían influir en la calidad del servicio. Esta combinación de características técnicas y adaptaciones específicas garantiza que la infraestructura de WiMAX diseñada para la comuna Colonche cumpla con los estándares esperados para áreas rurales complejas, se podría consultar el **ANEXO 5** y **ANEXO 6** donde se incluyen los parámetros, especificaciones y configuraciones técnicas de las antenas seleccionadas.

3.1.5 FASE DE SIMULACION DE LA RED

El uso del software de simulación Atoll ha sido clave para modelar y analizar la cobertura y el rendimiento de la red WiMAX diseñada para la parroquia Colonche, centrando la simulación en evaluar como influyen factores como la topología irregular, la configuración técnica de las antenas y las características del entorno natural en la calidad de la señal. Este método permite comprender el comportamiento de la propagación de la señal en una región marcada por la presencia de montañas y vegetación densa, factores que tradicionalmente representan retos significativos para las telecomunicaciones.

A través de esta herramienta es posible identificar áreas con baja intensidad de señal y determinar los puntos donde la infraestructura podría mejorarse para optimizar el servicio de cobertura de banda ancha, además de facilitar una representación precisa de las condiciones reales del terreno y permitiendo tomar decisiones informadas sobre ajusten importantes en el diseño de la red, orientación de la antena, ajuste de tilt eléctrico y la necesidad de incluir repetidoras para extender la cobertura. Proporcionando no solo un análisis de la conectividad si no también destacando los desafíos que enfrentan estas regiones en el acceso a servicios tecnológicos.

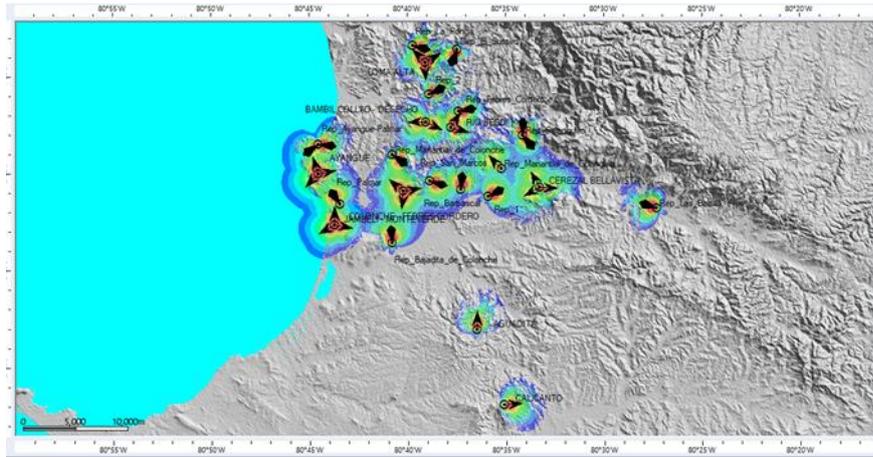


Ilustración 14 Mapa de cobertura

La ilustración muestra los puntos geográficos de las antenas y la de medición de la señal WiMAX, destacando como la cobertura es más fuerte cerca de las estaciones base y disminuye gradualmente con la distancia o presencia de obstáculos como montañas o vegetación, siendo un comportamiento característico de las redes WiMAX donde la calidad de la señal depende tanto de la proximidad a las antenas como del a interacción con el entorno pero cubriendo gran parte de la zona propuesta a trabajar en este proyecto, evidenciando la importancia de una planificación estratégica para optimizar la cobertura en áreas rurales.

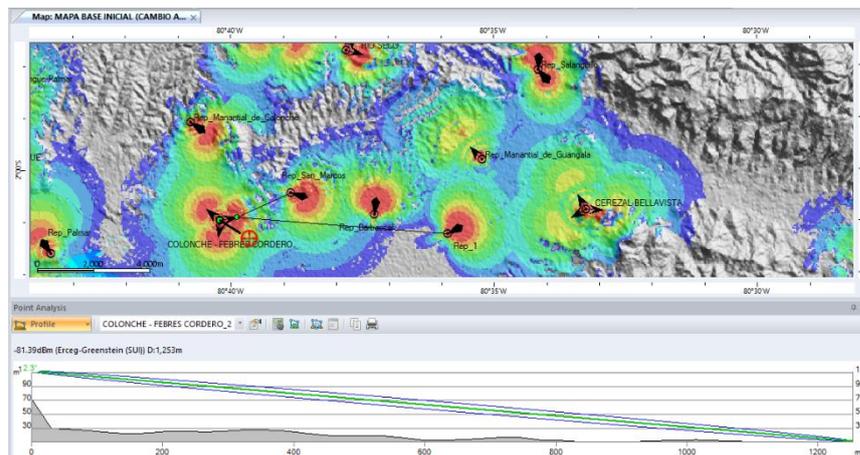


Ilustración 15 Línea de visión

La simulación evidenció cómo la línea de visión (LoS) influye directamente en a la calidad de la señal WiMAX, por esa razón se priorizo que entre antenas emisoras y receptoras haya línea de visión directa, ofreciendo una señal fuerte y estable, asegurando

una cobertura optima. Sin embargo, en zonas donde la línea de visión no es directa y esta obstruida por montañas, vegetación o edificios, la intensidad de la señal disminuye notablemente lo que se refleja en el mapa de simulación con colores celeste y azul que indican menor cobertura, demostrando la necesidad de antenas repetidoras en la red.

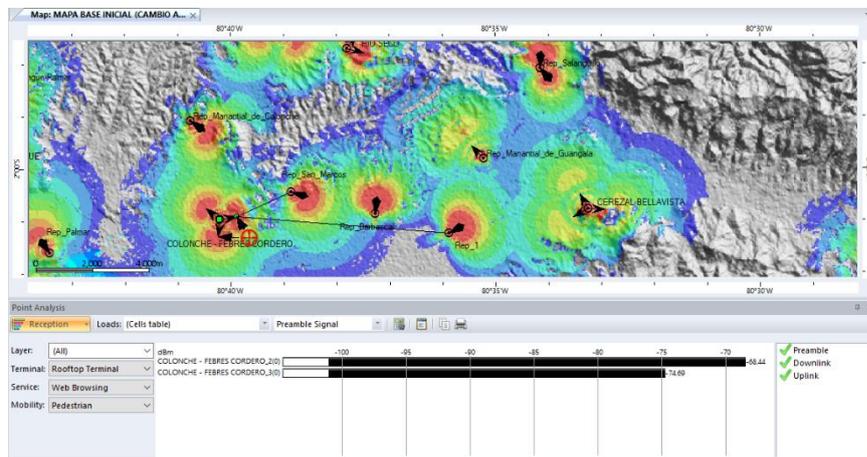


Ilustración 16 Simulación de recepción de señal

La simulación de cobertura de recepción de señal revela que la antena “Colonche – Febres Cordero” registra niveles de señal de entre -68.44 dBm y -74.68 dBm cuyos valores son adecuados y garantizan una navegación web estable como se muestra en este caso, pero también puede ser útil para videoconferencias y VoIP. Se observa que aproximadamente el 85% de las zonas con señal superior a -70 dBm proporcionan una cobertura optima y confiable, favoreciendo a la conectividad eficiente para los usuarios finales, destacando esta simulación la importancia de mantener valores igual o por encima de este umbral para asegurar un rendimiento optimo de la red.

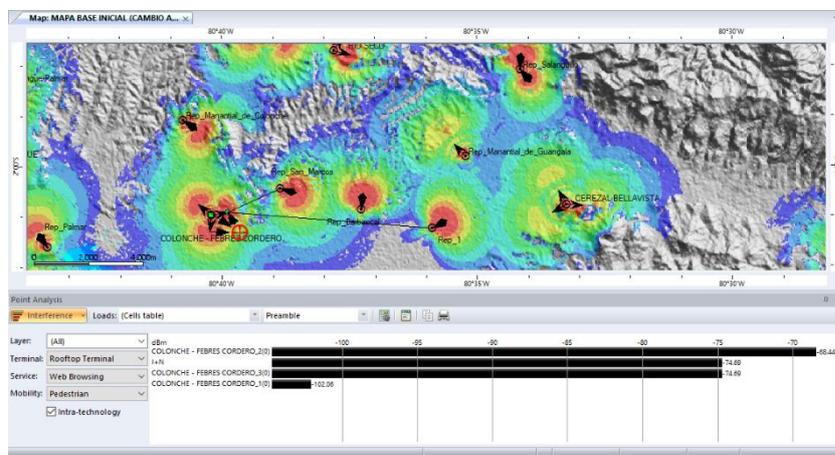


Ilustración 17 Simulación de interferencia de señal

El análisis de la simulación de interferencia de cobertura muestra que las antenas “Colonche – Febres Cordero 2” destaca con el mejor nivel de señal antenna a la que estaría conectado el usuario final es este caso de simulación, alcanzando -68.44 dBm, mientras que el valor de interferencia + ruido (I + N) se sitúa en 74.69 dBm reflejando una influencia moderada en la calidad de la señal, mientras que las antenas adicionales como “Colonche – Febres Cordero 3” y “Colonche – Febres Cordero1” registran niveles de entre -74.69 y -102.06 dBm indicando una menor interferencia en la cobertura principal y una contribución limitada en las zonas de señal estable.

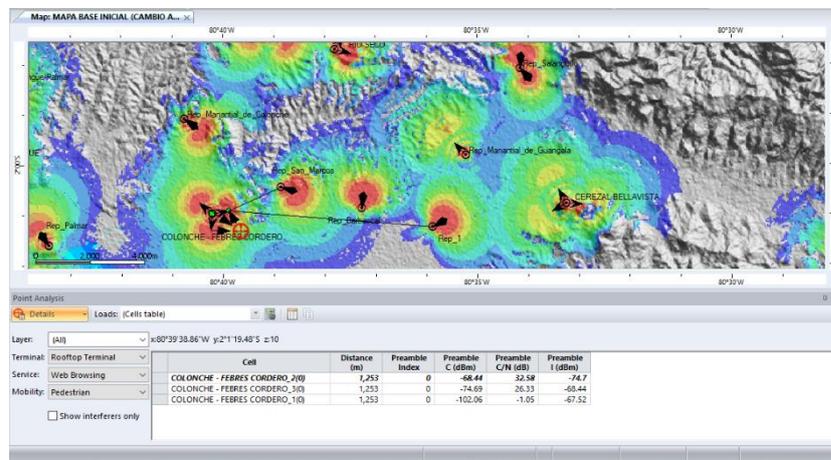


Ilustración 18 Detalles de conexiones cercanas

La imagen de detalles de conexiones destacan que la antena principal “Colonche – Febres Cordero 2” ofrece una señal de alta calidad al ser la antena más cercana al usuario final con un nivel de preámbulo de -68.44 dBm y una relación señal/ruido (C/N) DE 32.58 dB lo que asegura una conexión estable en la propagación de señal y banda ancha, mientras que las antenas adicionales en la torre como “Colonche – Febres Cordero 3” y “Colonche – Febres Cordero1” muestran niveles de señal más bajos en la tabla de simulación pero no impacta significativamente en la calidad de la conexión ya que los usuarios reciben una señal directa con línea de visión óptima desde la antena “Colonche – Febres Cordero 2”. Estos resultados destacan positivamente la importancia de seleccionar ubicaciones adecuadas para las antenas principales, secundarias y repetidoras con el objetivo de optimizar la cobertura y minimizar las limitaciones técnicas que podrían afectar la experiencia de los usuarios.

3.1.5.1 PREDICCIONES

COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL

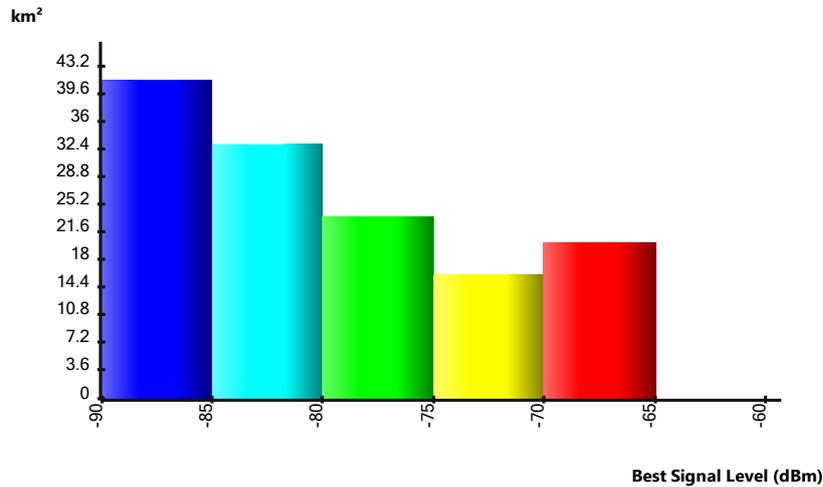


Ilustración 20 Estadísticas Cobertura por nivel de señal

La distribución de cobertura presentada en el cuadro estadístico de cobertura por nivel de señal muestra distintos rangos de señal, cada uno representando una calidad y capacidad de conexión específica para diferentes necesidades de los usuarios finales. La barra de color azul que abarca un rango de señal entre -90 y -85 dBm cubre 41.3 km² reflejando una cobertura sólida y estable adecuada para la mayoría de las aplicaciones de datos que no requieren una alta velocidad o baja latencia. En la barra de señal celeste con niveles de -85 a -80 dBm con cobertura de 33 km² se mantiene como una conexión robusta y eficaz para la mayoría de las actividades que se realizan en línea.

La barra de color verde, con valores de señal -80 a -75 dBm cubre 23.7 km² proporcionando una conexión más fuerte en comparación a las anteriores y soportable para video llamas o actividades que requieren menos latencia, el área de color amarilla con rangos de señal -75 a -70 dBm cubre 16 km² y refleja zonas con una excelente calidad de señal, ideales para usuarios que necesiten una conexión de alta velocidad para transmitir videos o realizar descargas de datos. Por último, la franja de rojo que representa señales superiores a -70 dBm y cubriendo un área de 20.2 km² que representa la señal más fuerte, perfecta para aplicación que requieren mayor cantidad de datos.

ANÁLISIS DE SEÑAL EFICAZ

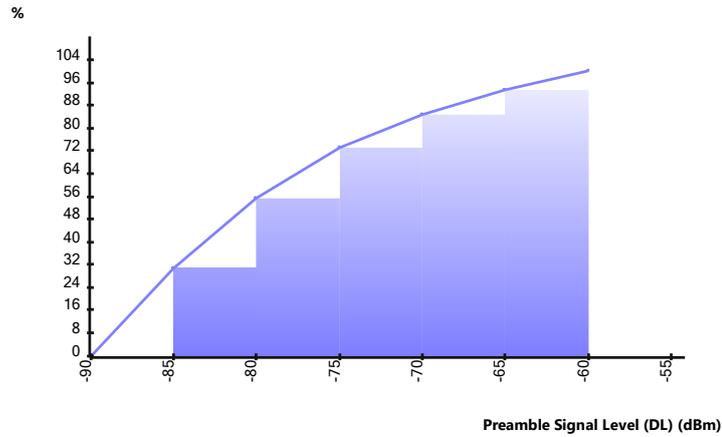


Ilustración 21 Estadísticas de Señal eficaz

Este gráfico presenta la distribución acumulada de forma inversa de la cobertura según el nivel de potencia de la señal recibida, en el eje horizontal se muestra la intensidad de la señal en dBm mientras que en el eje vertical se representa el área cubierta en km^2 reflejando mediante la curva como a medida que aumenta la intensidad de la señal, también se amplía la cobertura, indicando que la infraestructura de la red junto con la ubicación de las antenas ha sido estratégicamente diseñada para maximizar el alcance y asegurar coberturas extensas en la zona de estudio

COBERTURA POR RENDIMIENTO

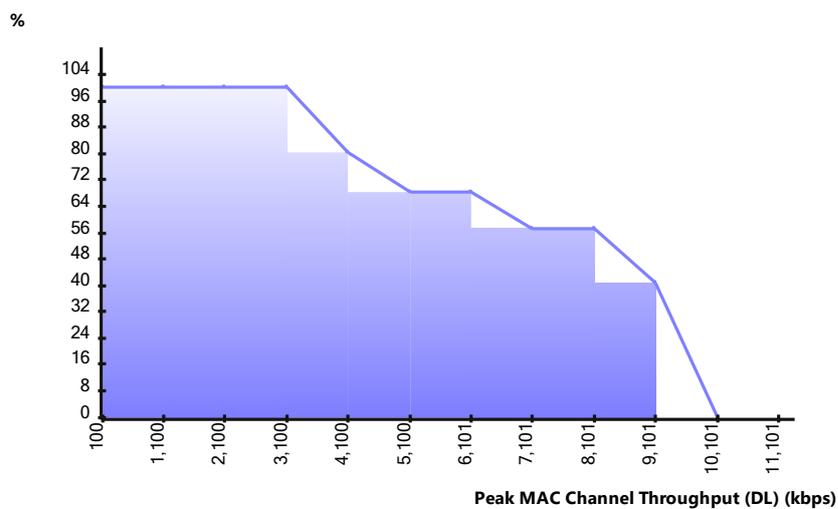


Ilustración 22 Cobertura por rendimiento

Por su parte este grafico muestra que la red esta optimizada para ofrecer un alto rendimiento en áreas claves y de mayor necesidad, a medida que los usuarios se acercan a una estación base o punto de acceso el rendimiento mejora significativamente, alcanzando velocidades de descarga de hasta 10.000 Kbps o más en zonas estratégicamente identificadas, estos resultados logran garantizar una excelente experiencia de conexión en puntos con mayor demanda, haciéndolo ideal para aplicación que requieren alta velocidad.

3.1.5.2 ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DE SEÑAL WIMAX

Durante la simulación en Atoll, se modelaron e identificaron diversas condiciones que afectan directamente la calidad de la señal como las elevaciones montañosas, la vegetación y la variación climática, factores que influyen de gran manera en la propagación de la señal mediante mecanismo como la atenuación, dispersión, absorción y difracción, los cuales causan pérdida de potencia especialmente en áreas sin línea de vista directa, pudiendo deteriorar la calidad del servicio y comprometiendo la integridad de transmisión y cobertura.

La topología de Colonche, caracterizada por elevaciones considerables como las cercanas a la cordillera Chongón – Colonche, presenta obstáculos físicos significativos para la propagación de las ondas electromagnéticas, revelando mediante las simulaciones que la señal se ve notablemente afectada por fenómenos de difracción y reflexión en estas áreas elevadas, resultando en zonas sombra y cobertura insuficiente, pero en zonas sin habitantes.

Para mitigar estos efectos se ajustaron parámetros claves en las antenas como el tilt y la ganancia tras realizar varias pruebas, se determinó que un tilt eléctrico de 4° y una Gancia de 18 dBi proporcionando una mejor cobertura en zonas con obstáculos naturales como se reflejó en los mapas de simulación y cuadros estadísticos. Estos ajustes centran la energía de la señal hacia las áreas elevadas, reduciendo la dispersión y mejorando la eficiencia de la cobertura, además de emplear técnicas de diseño de patrones de radiación para optimizar la propagación en zonas de difícil acceso y maximizar la penetración de la señal en áreas críticas.

El análisis climático en este escenario también fue crucial, ya que las condiciones meteorológicas en la parroquia Colonche que es una zona con alta humedad, lluvia y

variación de temperatura, incrementan la atenuación de la señal, bajo este contexto se utilizó el modelo de propagación Erceg-Greenstein (SUI) ideal por su adaptabilidad para ambientes rurales además de que se adapta de mejor forma a la topología vegetación de altura de antenas, proporcionando resultados más representativos y realistas de la cobertura en la zona de estudio.

Este diseño optimizado garantiza una cobertura continua en la mayoría del territorio de las comunas de Colonche, superando obstáculos geográficos y climáticos de la región, reforzando así la viabilidad de la red WiMAX para ofrecer servicios de conectividad de calidad, además de demostrar que esta infraestructura es una solución efectiva para reducir la brecha digital en zonas rurales, otorgando beneficios tanto a los residentes como al desarrollo de actividades económicas y educativas de la comunidad.

3.1.5.3 ESCENARIOS DE EXPANSIÓN Y ESCALABILIDAD

El diseño actual de la red WiMAX desarrollado en este trabajo de titulación para la parroquia Colonche ofrece una base sólida ya adaptable para futuras expansiones geográficas y el aumento de la cantidad de usuarios, respondiendo al crecimiento esperado en la demanda de conectividad. Este apartado explora las posibilidades de expansión para cubrir más zonas, teniendo en cuenta los ajustes y configuraciones necesarias para soportar mayor número de usuarios y la integración de nuevas tecnologías avanzadas en el futuro.

Una de las ventajas de la tecnología WiMAX es que facilita una expansión modular y flexible, ideal para extender la cobertura a las zonas vecinas que cuenten con topografías similar o mejores a las que presenta la parroquia Colonche, dicha expansión podría lograrse mediante la instalación de estaciones base adicionales conectadas mediante enlaces de microondas ubicadas en puntos estratégicos con antenas sectoriales de alta ganancia y tílt adaptativo, garantizando la continuidad de la cobertura entre nodos y reduciendo la necesidad de infraestructura física extensa y costosa.

A medida que crece la demanda de servicios de internet y el número de dispositivos conectados, la red deberá modificarse para gestionar una mayor densidad de usuarios sin comprometer la calidad del servicio, esto sería posible mediante técnicas de reutilización de las frecuencias y sectorización en las estaciones bases, lo que aumentaría la capacidad sin reducir el ancho de banda disponible, además del uso de técnicas de acceso múltiple

OFDMA permitiría asignar subcanales a múltiples usuarios de forma eficiente, mejorando la calidad de la conexión en áreas con alta densidad de usuarios.

En una futura fase de expansión de la red, se podría implementar la instalación de nodos adicionales en zonas de alta densidad poblacional, como en áreas residenciales o comerciales, utilizando antenas de panel sectorial o repetidores activos que ofrece el mercado para reforzar la señal en zonas de baja cobertura, garantizando que la red pueda manejar tráfico de datos sin interrupciones.

La infraestructura WiMAX también es compatible con tecnologías como LTE y 5G lo que permitiría que la red se adapte a estos avances mediante estaciones base que soportan múltiples frecuencias y tecnologías de multiplexación. Esta convergencia aumentaría la capacidad de la red, reduciría la latencia y mejoraría los servicios para aplicaciones de baja latencia como telemedicina y educación en línea.

Los escenarios de expansión y escalabilidad propuestos aseguran que la red WiMAX diseñada para la parroquia Colonche no solo cubre las necesidades actuales de conectividad, sino que también está preparada estructuralmente para satisfacer las demandas futuras de una población en crecimiento y un mayor uso de servicios digitales. La infraestructura flexible y modular permitirá realizar ajustes conforme a las necesidades de cobertura, capacidad y velocidad, ofreciendo un módulo sostenible que podría replicarse en otras zonas rurales con características similares.

3.1.6 FASE DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1.6.1 CONCLUSIONES

- La simulación realizada a lo largo de este proyecto permitió identificar las áreas de mayor y menos cobertura dentro de la parroquia Colonche, observando que la topografía accidentada y la vegetación densa reducen significativamente la calidad de la señal en ciertas zonas, no obstante, la configuración de las antenas y los ajustes del tilt y la ganancia mostraron mejoras notables, ampliando la cobertura en áreas rurales específicas. Concluyendo que la configuración óptima para este entorno es aquella que maximiza el alcance sin comprometer la calidad de la señal tal como lo hace esta estructura de red WiMAX.

- La optimización de la red se alcanzó mediante ajustes estratégicos en la configuración de las antenas, permitiendo la simulación evaluar diversas combinaciones de tilt y ganancia, determinando que la utilización de antenas con un tilt de 4° y una ganancia de 18 dBi proporciona el equilibrio ideal entre alcance y calidad de la señal. Demostrándose la importancia de personalizar el diseño de la red para adaptarse a las características geográficas y ambientales específicas de la parroquia Colonche.
- Los resultados de la simulación demuestran que implementar una red WiMAX en la parroquia Colonche es viable y favorable ya que ofrece una solución eficiente para cubrir áreas de difícil acceso donde otras tecnologías no logran una buena cobertura, además que esta red tiene la capacidad de satisfacer las necesidades de conectividad de la comunidad rural, proporcionando una alternativa para la inclusión digital y reduciendo la brecha tecnológica que se presenta en la zona de estudio.
- La red WiMAX proyectada en las simulaciones beneficiaría significativamente a los habitantes de Colonche, permitiría acceso a internet y facilitaría oportunidades en áreas específicas como la educación, salud, comercio y comunicación, mejorando las posibilidades de integración en el entorno digital y su progreso socioeconómico de la localidad.

3.1.6.2 RECOMENDACIONES

- Se propone a futuro un plan de implementación detallado para la instalación progresiva de los equipos, basado en las configuraciones que han demostrado ofrecer los mejores resultados en la simulación, es fundamental establecer así el cronograma de ejecución claro que defina las etapas de trabajo y asigne los recursos necesarios para la implementación de las torres, antenas, pruebas iniciales y ajustes necesarios, garantizando que cada componente de la infraestructura se configure adecuadamente para optimizar el rendimiento de la red.

- Para el mantenimiento óptimo de la red, se recomienda establecer un programa de mantenimiento regular, que contemple la inspección y mantenimiento periódico de las antenas, limpieza de los equipos y la revisión de la infraestructura, además de prever posibles actualizaciones en el software de las antenas y los sistemas de monitoreo, adaptándose a los avances tecnológicos y asegurando que la red continúe operando de manera eficiente.
- Si los resultados de la implementación inicial son satisfactorios se sugiere considerar la expansión de la red WiMAX hacia otras comunidades cercanas o áreas con necesidades similares de conectividad, con un previo análisis y evaluación en función de la demanda, viabilidad técnica y costo de cobertura. Teniendo como objetivo extender los beneficios de la red a una mayor cantidad de personas, ampliando la conectividad en la región y contribuyendo al desarrollo de nuevas oportunidades de acceso digital.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INEC, Interviewee, *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. [Entrevista]. 2022.
- [2] N. Dávalos, «El 14,5% de las parroquias en Ecuador no está conectada a Internet,» *Primicias*, 20 septiembre 2024.
- [3] S. Ziegler, J. Arias Segura, M. Bosio y K. Camacho, *Conectividad rural en América Latina y el Caribe. Un puente al desarrollo sostenible en tiempos de pandemia*, San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2020.
- [4] M. E. L. Vázquez, «Despliegue de la tecnología WiMAX en zonas rurales,» México, 2008.
- [5] I. A. G. Arias, «Diseño de un sistema de comunicaciones para brindar internet a zonas rurales (San Antonio de Pichincha) utilizando tecnología WIMAX,» Quito, 2017.
- [6] M. Jaramillo, L. Amaya, W. Reyes, A. Rocha, A. Tumbaco, W. Torres y L. Chuquimarca, «Implementación del módulo Pineapple Tetra para un proceso de auditorías mediante suplantación de APS en la banda 2,4 y 5 GHz,» *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, pp. 65-77, 2019.
- [7] A. Bárcena, S. Cafiero, D. Filmus y P. V. Castillo, «La ciencia, tecnología e innovación son cruciales para enfrentar la pandemia y avanzar hacia una recuperación transformadora con igualdad y sostenibilidad en la región,» Argentina, 2021.
- [8] R. A. González, «Sistema piloto de información en línea para instituciones rurales,» 2013.

- [9] A. C. Teribia, «“Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural”,» p. 48, 2013.
- [10] K. Etemad y L. Ming-Yee, *WiMAX technology and network evolution.*, John Wiley & Sons, 2011.
- [11] A. Tanenbaum y D. Wetherall, *Redes de Computadoras (5ta edición)*, Pearson Educación, 2013.
- [12] J. Celis, E. Hernández y D. Valencia, «Enlaces inalámbricos punto a punto y punto a multipunto,» Mexico, 2017.
- [13] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press., 2020.
- [14] L. Nuaymi, *WiMAX: technology for broadband wireless access.*, John Wiley & Sons, 2012.
- [15] C. R. Moreno, I. P. Egido y F. J. S. Reigadas, «Las redes de telecomunicación basadas en WiMAX (IEEE 802.16),» *Tecnologías de la información y las comunicaciones para zonas rurales*, vol. 1, nº 1, pp. 135-149, 2011.
- [16] C. I. d. Telecomunicaciones, «Comision interamericana de Telecomunicaciones,» INFO@CITEL, 9 2009. [En línea]. Available: [https://www.oas.org/en/citel/infocitel/2009/septiembre/wimax_e.asp#:~:text=El%20est%C3%](https://www.oas.org/en/citel/infocitel/2009/septiembre/wimax_e.asp#:~:text=El%20est%C3%99). [Último acceso: 16 11 2024].
- [17] A. Artés y F. Pérez, *Comunicación Digital*, 2012.
- [18] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Pearson Education, 2024.

- [19 Z. Y. Tumbaco Reyes, «Análisis y medición vectorial de las características de transmisión de un enlace punto a multipunto basado en el estándar IEEE 802.16 en el rango de las súper altas frecuencias proporcionando conectividad a las estaciones suscriptoras,» Santa Elena, 2023.
- [20 C. C. K. Javier, «Estudio e instalación de enlaces microonda en banda libre entre Quito y la tacunga para transmisión de datos e internet para la empresa ecuaonline s.a.,» Quito, 2010.
- [21 N. P. Guloso y E. C. Rodelo, «Estudio de los estándares para redes inalámbricas WIMAX,» Cartagena de Indias, 2008.
- [22 M. Jorge, «Redes de Comunicaciones,» Alfaomega-Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- [23 Á. E. Yáñez Castellanos, «Diseño de una red WIMAX (IEEE 802.16e) que brinde servicios de voz y datos en el sector de Sangolquí,» ESPE, SANGOLQUÍ, 2008.
- [24 A. d. R. y. C. d. I. T. (ARCOTEL), «Plan Nacional de Frecuencias y uso del Espectro Radioeléctrico,» [En línea]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec>. [Último acceso: 19 11 2024].
- [25 C. N. d. T. (CONATEL), «Reglamento de Radiocomunicaciones,» [En línea]. Available: <https://www.lexis.com.ec>. [Último acceso: 19 11 2024].
- [26 U. I. d. T. (UIT), «Recomendaciones sobre el uso del Espectro Radioeléctrico,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int>. [Último acceso: 19 11 2024].
- [27 S. Simeón, «Diseño y despliegue de una red WiMAX para entornos rurales en núcleos de población dispersos en el interior de la Comunidad Valenciana.,» Valencia, 2022.
- [28 L. A. Pijo Pérez, «"Diseño de una red WiMAX para el valle de Churín-Lima.",» 2013.

- [29 B. A. David y D. I. T. E. María, «"Evaluación financiera para la implementación del sistema WiMAX en conjuntos y/o urbanizaciones de la provincia de Pichincha por parte de CNT S.A.",» 2012.
- [30 S. Ruiz, G. Cornejo, A. Atiencia y J. Escalante, «Estudio y diseño de una red inalámbrica (WIMAX), para un operador de comunicación de la ciudad de Guayaquil,» 2008.
- [31 D. T. Campbell y J. C. Stanley, Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social, amorrortu editores: buenos aires, 2002.
- [32 C. A. Ramos-Galarza, «Los Alcances de una investigación,» *CienciAmérica*, vol. 9, n° 3, 2020.
- [33 R. H. Sampieri, Metodología de la investigación, Ciudad de México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A, 2014.
- [34 S. Pita Fernández y S. Pértegas Díaz, «Investigación cuantitativa y cualitativa,» *Cadaten primaria*, vol. 9, n° 1, pp. 76-78, 2002.

ANEXO 1

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Fabricante	Airspan Technologies
Proveedor	Winncom Technologies
País de origen	Estados Unidos
Frecuencia	3300-3800 MHz
Ganancia	18 dBi
Tipo de antena	Quad Sector
Grados	65°
Dimensiones	1,200 x 300 x 120 mm
Peso	12 kg
Certificaciones	CE, RoHS
Desviación de fase	0-180°
Patrón de radiación	Direccional, optimizado para cobertura de largo alcance
Ancho de banda	100 MHz

Tilt	Si
Tamaño de reflector	1.4 m x 0.6 m
Eficiencia de recepción	80% a -95 dBm
Aislamiento de puerto	>30 dB
Perdida de inserción	<0.5 dB
Impedancia	50 Ω
Límite de potencia	30 W
Perdida de reflexión	< -14 dB
Usuarios	200
Costo	\$350

Tabla 5 Características antena

ANEXO 2

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Fabricante	Ubiquiti Networks
Proveedor	Ubiquiti Networks
País de origen	Estados Unidos
Frecuencia	5 GHz
Ganancia	Hasta 25 dBi con AirFiber
Tipo de antena	Antena direccional parabólica
Grados	60° - 90°
Dimensiones	335 x 226 x 51 mm
Peso	1.5 kg
Certificaciones	FCC, CE, IC, UL
Patrón de radiación	Direccional
Ancho de banda	200 MHz
Tilt	Si

Tamaño de reflector	700 mm
Eficiencia de recepción	80% a -95 dBm
Aislamiento de puerto	>35 dB
Perdida de inserción	<1.5 dB
Impedancia	50 Ω
Límite de potencia	30 W
Perdida de reflexión	< -20 dB
Usuarios	200
Costo	\$497

Tabla 6 Características repetidora

ANEXO 3

Modelo	Frecuencia	Entorno	Altura de antena base (m)	Distancia Máxima (km)	Uso común
Erceg-Greenstein (SUI)	2 GHz - 11 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Urbano • Suburbano • Rural 	10 - 40	10 - 50	<ul style="list-style-type: none"> • WiMAX • 3G / 4G
Cost-Hata	30 MHz - 2 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Suburbano • Rural 	30 - 200	1 - 20	<ul style="list-style-type: none"> • 2G / 3G
ITU-R P.1546	30 MHz - 3 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Llanuras • Áreas libres 	10 - 100	20 - 100	<ul style="list-style-type: none"> • AM/FM
Longley-Rice	20 MHz - 40 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Variable 	>50	10 - 500	<ul style="list-style-type: none"> • RADIO • TV

Tabla 7 Comparativa Modelos de Propagación

ANEXO 4

Localidad	Coordenadas	Altura
Aguadita	80°36'28.66" O 2°8'5.58" S	154 m
Ayangue	80°44'32.14" O 2°0'2.08" S	74m
Bambil Collao - Desecho	80°39'4.55" O 1°57'23.22" S	119m
Colonche – Febres Cordero	80°40'13" O 2°0'57.79" S	72m
Calicanto	80°35'6.22" O 2°12'0.34" S	199m
Cerezal Bellavista	80°33'15.22" O 2°0'46.43" S	202m
Jambelí – Monteverde	80°43'43.45" O 2°2'41.75" S	40m

Loma Alta	80°39'5.67" O 1°54'19.95" S	92m
Rio Seco	80°37'47.99" O 1°57'41.73" S	126m
Rep_1	80°35'53.41" O 2°1'14.52" S	62m
Rep_2	80°38'54.37" O 1°55'57.14" S	101m
Rep_Ayangue-Palmar	80°44'32.14" O 1°58'31" S	74m
Rep_Bajadita_de_Colonche	80°40'47.75" O 2°3'37.71" S	58m
Rep_Barbascal	80°37'16.14" O 2°0'51.95" S	57m
Rep_El Suspiro	80°37'27.3" O 1°53'39.13" S	142m
Rep_Febres_Cordero	80°37'23.43" O 1°56'49.87" S	74m

Rep_La_Ponga	80°39'42.45" O 1°53'25.2" S	109m
Rep_Las_Balsas	80°27'19.13" O 2°1'52.28" S	120m
Rep_Manantial_de_Guangala	80°35'13.5" O 1°59'48.58" S	74m
Rep_Manantial_de_Colonche	80°40'45.91" O 1°59'4.53" S	108m
Rep_Palmar	80°43'25.6" O 2°1'36" S	104m
Rep_Salanguillo	80°34'9.29" O 1°58'4.84" S	105m
Rep_San_Marcos	80°38'52.14" O 2°0'26.54" S	67m

Tabla 8 Coordenadas de Antenas

ANEXO 5

Transmisor	Antena	Azimuth	Mechanical Downtilt (°)	Feeder Equipment	Transmission Feeder Length	Reception Feeder Length	Transmission losses	Reception losses	Frecuency Band
<i>Aguadita_1</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
<i>Ayangue_1</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>280</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
<i>Ayangue_2</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>100</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
<i>Ayangue_3</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>190</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Bambil Collao_1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Bambil Collao_2	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>120</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>

Calicanto_1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Cerezal Bellavista_1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>344</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Cerezal Bellavista_2	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>72</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Cerezal Bellavista_3	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>240</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Colonche/F ebres cordero_1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>311</i>	<i>3</i>	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>

Colonche/F ebres cordero_2	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	80	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Colonche/F ebres cordero_3	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	173	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Jambelí/M onteverde_ 1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	0	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Jambelí/M onteverde_ 2	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	100	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Jambelí/M onteverde_ 3	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	240	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	<i>0.5</i>	<i>-2.22</i>	<i>3.3GHz -20MHz</i>

Loma Alta_1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	58	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	0.5	-2.22	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Loma Alta_2	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	176	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	0.5	-2.22	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Loma Alta_3	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	316	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	0.5	-2.22	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Rio Seco_1	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	0	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	0.5	-2.22	<i>3.3GHz -20MHz</i>
Rio Seco_2	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	120	3	<i>1-5/8" at 3300 MHz</i>	<i>10 m</i>	<i>5m</i>	0.5	-2.22	<i>3.3GHz -20MHz</i>

ANEXO 6

Site	Donor	Link Tipe	Link Losses	Total Gain	Model Antena	Mechanical downtilt	Electrical downtilt	Propagation model	Radius
Rep_1	<i>Colonche-Febres Cordero_2</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_2	<i>Loma Alta_2</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Ayangué- Palmar	<i>Ayangué_3</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Bajadita de Colonche	<i>Colonche-Febres Cordero_3</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Barbascal	<i>Cerezal Bellavista_3</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_El Suspiro	<i>Loma Alta_1</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>

Rep_Fecbres Cordero	<i>Rio Seco_1</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_La Ponga	<i>Loma Alta_3</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Las Balsas	<i>Cerezal Bellavista_2</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Manantial de Colonche	<i>Colonche-Febres Cordero_1</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Manantial de Guangala	<i>Cerezal Bellavista_1</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Palmar	<i>Jambelí-Monteverde_1</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_Salanguillo	<i>Rio Seco_2</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>
Rep_San Marcos	<i>Colonche-Febres Cordero_2</i>	<i>Microwave link</i>	<i>120 dB</i>	<i>20 dB</i>	<i>65deg 18dBi 4Tilt</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Erceg-Greenstein</i>	<i>6000</i>