



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones

**Diseño de una red de acceso a internet por
radioenlaces para las instituciones abonadas
obligatorias de las localidades de Yacango y Lloque de
la región Moquegua**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de
Telecomunicaciones

AUTOR

Edisón Martel VENTURA ROBLES

ASESOR

Mg. Carlos Alberto CHIRI HUANCA

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ventura, E. (2024). *Diseño de una red de acceso a internet por radioenlaces para las instituciones abonadas obligatorias de las localidades de Yacango y Lloque de la región Moquegua*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

| Datos de autor | |
|----------------------------------|---|
| Nombres y apellidos | Edisón Martel Ventura Robles |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 46634291 |
| URL de ORCID | No Aplica |
| Datos de asesor | |
| Nombres y apellidos | Carlos Alberto Chiri Huanca |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 09293427 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-1203-2005 |
| Datos del jurado | |
| Presidente del jurado | |
| Nombres y apellidos | Williams Fernando Acosta Solorzano |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 06434186 |
| Miembro del jurado 1 | |
| Nombres y apellidos | Jose Carlos Hurtado Rantes |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 08558088 |
| Miembro del jurado 2 | |
| Nombres y apellidos | Jesús Otto Villanueva Napuri |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 25726864 |
| Datos de investigación | |
| Línea de investigación | C.0.3.5 Comunicaciones inalámbricas |
| Grupo de investigación | No Aplica |
| Agencia de financiamiento | No Aplica |

| | |
|--|--|
| Ubicación geográfica de la investigación | País: Perú Departamento: Moquegua Provincia: General Sánchez Cerro Distrito: Lloque Latitud: -16.3239 Longitud: -70.7381 Provincia: Mariscal Nieto Distrito: Torata Centro Poblado: Yacango Latitud: -17.09404 Longitud: -70.86487 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Marzo 2023 – Noviembre 2023 |
| URL de disciplinas OCDE | Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05 |



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



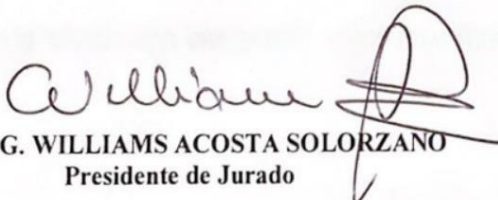
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ACTA N°001/FIEE-CTGT/2024

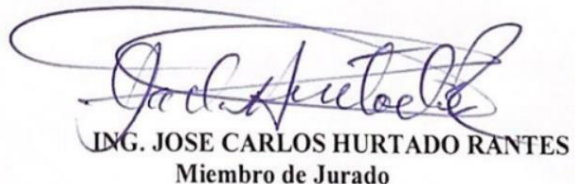
Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 25 de enero del 2024, como presidente de Jurado el **MG. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO**, integrado por el Miembro de Jurado el **ING. JOSE CARLOS HURTADO RANTES**, el Miembro de Jurado **MG. JESÚS OTTO VILLANUEVA NAPURÍ** y Miembro Asesor el **MG. CARLOS ALBERTO CHIRI HUANCA**.

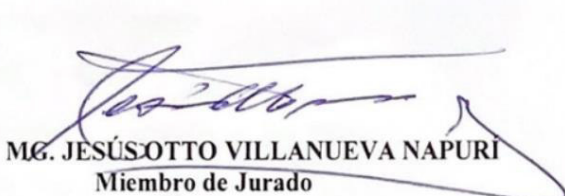
Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del Bach. **EDISÓN MARTEL VENTURA ROBLES** con código N° **11190076** que para optar el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado “**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO A INTERNET POR RADIOENLACES PARA LAS INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS DE LAS LOCALIDADES DE YACANGO Y LLOQUE DE LA REGION MOQUEGUA**”.

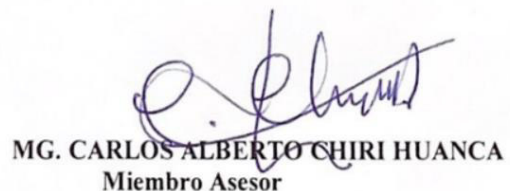
El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de **14 (catorce)**

Ciudad Universitaria, 25 de enero del 2024


MG. WILLIAMS ACOSTA SOLORZANO
Presidente de Jurado


ING. JOSE CARLOS HURTADO RANTES
Miembro de Jurado


MG. JESÚS OTTO VILLANUEVA NAPURÍ
Miembro de Jurado


MG. CARLOS ALBERTO CHIRI HUANCA
Miembro Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Carlos Alberto Chiri Huanca en mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación de trabajo de Suficiencia Profesional N°001/FIEE-CTGT/2024 del trabajo de suficiencia profesional cuyo título es: DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO A INTERNET POR RADIO ENLACES PARA LAS INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS DE LAS LOCALIDADES DE YACANGO Y LLOQUE DE LA REGION MOQUEGUA, presentado por el bachiller Edisón Martel Ventura Robles, para optar al título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 17% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**. Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 0979377

Nombres y apellidos del asesor:

Mg. Carlos Alberto Chiri Huanca



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia quienes me han apoyado en todo este camino, me han formado para poder avanzar y mejorar, a mis amistades que aportaron conocimiento de distintas maneras y me ayudaron a crecer y avanzar.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a PRONATEL por permitirme formar parte de esa gran familia y nutrirme de tantos conocimientos, a mi asesor Carlos Huanca Chiri por su orientación y apoyo para poder culminar con el presente trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo describir el diseño de una red de acceso a internet del proyecto PRONATEL llamado “INSTALACION DE BANDA ANCHA PARA LA CONECTIVIDAD INTEGRAL Y DESARROLLO SOCIAL DE LA REGION MOQUEGUA – TACNA”, para esto se tomarán como objetos de estudio a las localidades de YACANGO y LLOQUE con el fin de poder brindar un acceso a internet.

El diseño estará regido por la tecnología de microondas para establecer la conexión entre las instituciones abonadas obligatorias (IAOs) y el nodo principal para lo cual se evaluarán las herramientas a utilizar, las dimensiones y potencia del equipamiento activo a utilizar, así como las torres a utilizar, su ubicación y las políticas por las cuales se rige la institución para el correcto desarrollo del proyecto.

Palabras clave: microondas, red de acceso, radioenlace, iao's, comunicación inalámbrica.

ABSTRACT

The objective of this paper is to describe the design of an internet access network of the PRONATEL project called "INSTALLATION OF BROADBAND FOR INTEGRAL CONNECTIVITY AND SOCIAL DEVELOPMENT OF THE MOQUEGUA REGION - TACNA", for this the objects of study will be taken as towns of YACANGO and LLOQUE in order to be able to provide internet access.

The design will be governed by microwave technology to establish the connection between the obligatory subscribing institutions (IAOs) and the main node, for which the tools to be used, the dimensions and power of the active equipment to be used, as well as the towers to be used, will be evaluated. use, its location and the policies by which the institution is governed for the correct development of the project.

Keywords: Microwaves, access network, radio link, iao's, wireless communication.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-------------|
| RESUMEN..... | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| TABLA DE CONTENIDO..... | vi |
| LISTA DE FIGURAS..... | viii |
| LISTA DE TABLAS..... | x |
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD..... | 2 |
| 2.1 Institución – Actividad que desarrolla..... | 2 |
| 2.2 Periodo de duración de la actividad..... | 2 |
| 2.3 Finalidad y objetivos de la entidad..... | 2 |
| 2.4 Razón social..... | 3 |
| 2.5 Dirección postal..... | 3 |
| 2.6 Correo electrónico del profesional a cargo..... | 3 |
| CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD..... | 4 |
| 3.1 Organización de la actividad..... | 4 |
| 3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad..... | 4 |
| 3.2.1 Finalidad..... | 4 |
| 3.2.2 Objetivos. Objetivo general y específico..... | 4 |
| 3.3 Problemática..... | 5 |
| 3.3.1 Problema General..... | 5 |
| 3.3.2 Problemas Específicos..... | 5 |
| 3.3.3 Justificación e importancia de la investigación..... | 6 |
| 3.4 Metodología..... | 6 |
| 3.4.1 Bases teóricas..... | 6 |
| 3.4.2 Marco conceptual..... | 8 |
| 3.4.2.1 Espectro Radioeléctrico..... | 8 |

| | |
|--|--|
| | vii |
| 3.4.2.2 | Onda Electromagnética..... 12 |
| 3.4.2.3 | Zona de Fresnel..... 12 |
| 3.4.2.4 | Perdidas en espacio libre (FSPL)..... 14 |
| 3.4.2.5 | Radioenlace..... 15 |
| 3.4.2.6 | Línea de mira..... 16 |
| 3.5 | Procedimiento..... 18 |
| 3.5.1 | Planificación..... 18 |
| 3.5.1.1 | Selección de frecuencias..... 18 |
| 3.5.1.2 | Software de simulación..... 19 |
| 3.5.1.3 | Parámetros técnicos según bases..... 20 |
| 3.5.1.4 | Parámetros técnicos referenciales..... 21 |
| 3.5.2 | Ejecución..... 22 |
| 3.5.2.1 | Diseño del Punto de presencia (POP)..... 22 |
| 3.5.2.2 | Diseño de los módulos Subscriptores..... 23 |
| 3.5.2.3 | Simulación de enlaces Punto Multipunto..... 25 |
| 3.5.2.4 | Simulación de cobertura LOS y RSSI..... 42 |
| 3.6 | Resultado de la actividad..... 52 |
| CAPITULO IV: CONCLUSIONES..... 53 | |
| 4.1 | Justificación..... 53 |
| 4.1.1 | Evaluación económica..... 54 |
| 4.2 | Descripción de la implementación..... 54 |
| 4.3 | Conclusiones..... 55 |
| CAPITULO V: RECOMENDACIONES..... 56 | |
| CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA..... 57 | |
| CAPITULO VII: ANEXOS..... 59 | |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Ondas electromagnéticas con diferente longitud y amplitud..... | 12 |
| Figura 2 Representación de la zona de Fresnel..... | 13 |
| Figura 3 Variables en la zona de Fresnel..... | 14 |
| Figura 4 Cálculo de la pérdida en espacio libre..... | 15 |
| Figura 5 Representación de un radioenlace..... | 16 |
| Figura 6 Línea de Vista..... | 17 |
| Figura 7 Línea de Vista con obstaculización parcial..... | 17 |
| Figura 8 Línea de Vista con obstaculización total..... | 18 |
| Figura 9 Simulador Linkplanner..... | 20 |
| Figura 10 Antena 450i AP para los POP..... | 22 |
| Figura 11 Antena 450b SM para las instituciones beneficiarias..... | 24 |
| Figura 12 Ubicación del POP en la localidad de Yacango..... | 26 |
| Figura 13 Ubicación del centro de salud de Yacango..... | 26 |
| Figura 14 Ubicación de sites en la localidad de Yacango..... | 27 |
| Figura 15 Parámetros entre el POP y SM_YACANGO_CS01..... | 28 |
| Figura 16 Línea de vista entre el POP y SM_YACANGO_CS01..... | 28 |
| Figura 17 Componentes a utilizar en el enlace obtenido..... | 30 |
| Figura 18 Parámetros de antena para SM_YACANGO_CS01..... | 30 |
| Figura 19 Parámetros de radio para SM_YACANGO_CS01..... | 31 |
| Figura 20 Performance del POP Yacango..... | 31 |
| Figura 21 Performance de SM_YACANGO_CS01..... | 31 |
| Figura 22 Coordenadas del POP en la localidad de Lloque..... | 32 |
| Figura 23 Coordenadas del centro de salud de Lloque..... | 32 |
| Figura 24 Coordenadas de la institución educativa de Lloque..... | 33 |
| Figura 25 Ubicación de sites en la localidad de Lloque..... | 33 |
| Figura 26 Parámetros entre el POP y SM_LLOQUE_CS01..... | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 27 Línea de vista entre el POP y SM_LLOQUE_CS01..... | 35 |
| Figura 28 Componentes a utilizar en el enlace obtenido..... | 36 |
| Figura 29 Parámetros de antena para SM_LLOQUE_CS01..... | 37 |
| Figura 30 Parámetros de radio para SM_LLOQUE_CS01..... | 37 |
| Figura 31 Performance del POP Lloque..... | 38 |
| Figura 32 Performance SM_LLOQUE_CS01..... | 38 |
| Figura 33 Parámetros entre el POP y SM_LLOQUE_IE01..... | 39 |
| Figura 34 Línea de vista entre el POP y SM_LLOQUE_IE01..... | 39 |
| Figura 35 Componentes a utilizar en el enlace obtenido..... | 41 |
| Figura 36 Parámetros de antena para SM_LLOQUE_IE01..... | 41 |
| Figura 37 Parámetros de radio para SM_LLOQUE_IE01..... | 42 |
| Figura 38 Performance del POP Lloque..... | 42 |
| Figura 39 Performance de SM_LLOQUE_IE01..... | 42 |
| Figura 40 Niveles de potencia asociados a un color en la herramienta Pathloss | 43 |
| Figura 41 Potencia de recepción esperada en la institución beneficiaria SM_YACANGO_CS01..... | 44 |
| Figura 42 Ubicación del POP y el centro de salud en la localidad de Yacango | 45 |
| Figura 43 Huella de intensidad de señal del POP_YACANGO hacia SM_YACANGO_CS01..... | 46 |
| Figura 44 Potencia de recepción esperada en la institución beneficiaria SM_LLOQUE_CS01..... | 47 |
| Figura 45 Ubicación del POP y el centro de salud en la localidad de Lloque | 48 |
| Figura 46 Huella de intensidad de señal del POP_Lloque hacia SM_LLOQUE_CS01..... | 49 |
| Figura 47 Potencia de recepción esperada en la institución beneficiaria SM_LLOQUE_IE01..... | 50 |
| Figura 48 Ubicación del POP y la institución educativa en la localidad de Lloque..... | 50 |
| Figura 49 Huella de intensidad de señal del POP_Lloque hacia SM_LLOQUE_IE01..... | 51 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Estado de las bandas de espectro radioeléctrico..... | 9 |
| Tabla 2 División del espectro radioeléctrico..... | 18 |
| Tabla 3 Coordenadas del POP e institución beneficiaria en la localidad de Yacango..... | 25 |
| Tabla 4 Coordenadas del POP e instituciones beneficiarias en la localidad de Lloque..... | 32 |



CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Durante la pandemia se vio reflejada la necesidad del desarrollo de las telecomunicaciones en nuestro país debido a que gran parte quedo aislado y sin posibilidad de comunicación, de la misma manera poder evitar el contacto físico y así mitigar la expansión del virus COVID-19.

El trabajo de suficiencia profesional desarrollado en el presente documento tiene como finalidad atender la necesidad de poder brindar acceso a internet de banda ancha a las zonas más alejadas de nuestro país y poder acortar la brecha digital y comunicarnos con todas las zonas de nuestro país.

Ante esta problemática se tienen diversas soluciones, para la cual se eligió el diseño de una red Punto Multipunto de acceso a internet de banda ancha mediante enlaces microondas.

Se procedió a realizar un estudio de campo para verificar las características del terreno y las posibles ubicaciones, así como determinar las características del equipamiento a utilizar.

Con la información obtenida del estudio de campo, se determinó que la solución adecuada sería una red de microondas, posteriormente se procedió con el diseño de los enlaces, lo cual determino el equipamiento a utilizar y los parámetros técnicos adecuados, así como la viabilidad del proyecto.

CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 INSTITUCION – ACTIVIDAD QUE DESARROLLA

PRONATEL es el encargado de promover el desarrollo de las telecomunicaciones en todo el territorio nacional, su compromiso es disminuir progresivamente la brecha digital que se encuentra presenta en los sectores más alejados de nuestro país, con esto lograr una integración y desarrollo social mediante las telecomunicaciones.

2.2 Periodo de duración de la actividad

El periodo de duración de 4 años comprende desde la etapa de instalación que inicio el 09/05/2018 hasta el inicio de operaciones de la Red de Acceso en febrero del 2022.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

Tiene por objetivo el acceso y uso a los servicios de telecomunicaciones para los poblados rurales y de preferente interés social.

2.4 Razón social

PROGRAMA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES – PRONATEL

2.5 Dirección postal

Av. Paseo de la Republica Nro. 1645.

2.6 Correo electrónico del profesional a cargo

Claudia Beatriz Exebio Cespedez claudia.exebio@gmail.com

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

Mediante el presente trabajo se busca la implementación de una Red de Acceso Punto Multi Punto (PMP) mediante tecnología microondas para brindar acceso a internet y así contribuir a reducir la brecha digital que se tiene en todo el país.

El trabajo constará de 4 etapas; la primera etapa comprende establecer la necesidad del proyecto, la segunda etapa comprende ubicar la zona de estudio donde se diseñará esta red, la tercera etapa permitirá establecer los parámetros técnicos necesarios para brindar el correcto acceso a los servicios de internet y la cuarta etapa será el diseño de la Red de Acceso.

3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad

3.2.1 Finalidad

Permitir el acceso a internet de los centros de salud e institución educativa pertenecientes a las localidades de Lloque y Yacango en la Región Moquegua en razón de reducir la brecha digital presente en estas localidades.

3.2.2 Objetivos

3.2.2.1 Objetivo general.

Diseñar una Red de Acceso Punto Multi Punto (PMP) mediante tecnología microondas para brindar acceso a internet.

3.2.2.2 Objetivo específico.

- Definir la topología de la red.
- Determinar el tipo de tecnología a usar.
- Definir los parámetros técnicos necesarios para brindar el acceso a internet.

3.3 Problemática

La problemática a superar será establecer los parámetros técnicos adecuados para brindar el acceso a internet de las instituciones, teniendo en cuenta el tipo del terreno y las limitaciones y ventajas que el mismo ofrezca.

3.3.1 Problema General

¿Como diseñar una Red de Acceso Punto Multi Punto (PMP) para poder ofrecer acceso a internet en los centros de salud e institución educativa de las localidades de Lloque y Yacango?

3.3.2 Problemas Específicos

- ¿Qué topología de red usaremos?
- ¿Qué tipo de tecnología se usará?

- ¿Cuáles serán los parámetros técnicos adecuados?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

Nuestro país tiene una gran variedad de asentamientos humanos de, diversa clasificación, esparcidos a lo largo y ancho del territorio, muchos de los cuales al día de hoy se encuentran incomunicados o con un desarrollo e implementación incipiente en materia de telecomunicaciones.

El presente trabajo se desarrollará en torno a las localidades de Lloque y Yacango con la finalidad de poder brindar una conexión a internet en las instituciones tales como centros de salud e instituciones educativas así poder acortar un poco la brecha digital que predomina en las localidades más lejanas de nuestra capital.

Así mismo este proyecto podrá nutrir de mayor conocimiento, desarrollo socio económico y tecnológico a las localidades, permitiendo que la misma población acceda a información global, pudiendo adquirir nuevas habilidades y conocimientos, al brindar una solución a la problemática planteada, podemos mencionar que el presente proyecto tiene una justificación práctica.

3.4 Metodología

La metodología es el conjunto de métodos que el estudiante empleará para abordar la solución del problema, involucrando la recopilación de datos mediante diversas técnicas. Posteriormente, se lleva a cabo la interpretación de estos datos, y se extraen conclusiones antes de proceder a la resolución definitiva del problema.

3.4.1 Bases teóricas

- a. Juan Mauricio López Giraldo y Daniel Arturo Rey Barbosa en su trabajo de investigación del año 2017 titulado “PROYECTO RADIO ENLACE VEREDA LA”, en el cual tratan la necesidad de implementar una red de banda ancha debido a la importancia que esta tiene en el desarrollo económico y social de la comunidad, esta que se sostiene principalmente por el ecoturismo solo cuenta con una red de telefonía celular, lo cual limita sus posibilidades de crecimiento y desarrollo. Se plantea esta solución luego de haber tenido en consideración las características geográficas del terreno y la viabilidad económica que el proyecto representa.

- b. Pablo Andrés Vela Remache en su trabajo de investigación del año 2015 titulado “ESTUDIO Y DISEÑO DE UN RADIO ENLACE PARA TRANSMISIONM DE DATOS, E INTERNET EN FRECUENCIA LIBRE PARA LA COOPERATIVA INDIGENA ALFA Y OMEGA UTILIZANDO EQUIPOS AIRMAX DE UBIQUITI” En su trabajo de investigación del año 2015, Pablo Andrés Vela Remache presenta una propuesta destinada a la implementación de un servicio de acceso a internet para la comunidad indígena de ALFA Y OMEGA. En esta propuesta, se aborda la optimización de recursos mediante el aprovechamiento de una infraestructura de microondas preexistente. La idea central es utilizar esta infraestructura ya establecida para reducir costos y, al mismo tiempo, mejorar la eficacia en la implementación del servicio, todo esto apoyándose con herramientas de software de código abierto como Radio Mobile y Google Earth.

- c. Joel Peña Minga en su trabajo de investigación del año 2021 titulado “DISÑO DE UINA RED DE BANDA ANCHA INALAMBRICA PARA LOS ANEXOS DEL DISTRITO DE PUQUINA DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA” en el cual

propone un diseño basado en tecnología de microondas con el propósito de proporcionar acceso a servicios de telecomunicaciones a las diversas instituciones públicas del distrito de Puquina. Este planteamiento se lleva a cabo mediante la simulación de radioenlaces de microondas utilizando la herramienta gratuita Link Planner.

- d. Freddy Fernando Apaza Cutipa y Javier Ramos Cuayla en su trabajo de investigación del año 2022 titulado ““DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACES DIGITALES DE BANDA ANCHA PARA MEJORAR EL ACCESO A LOS INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES DEL DISTRITO DE TORATA, PROVINCIA MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA” Freddy Fernando Apaza Cutipa y Javier Ramos Cuayla presentan un enfoque centrado en el diseño de un sistema de radioenlaces digitales con el propósito de mejorar el acceso a los servicios de teleeducación en los centros educativos del distrito de Torata. Este diseño se realiza utilizando la herramienta RadioMobile.

3.4.2 Marco conceptual

3.4.2.1 Espectro Radioeléctrico. En nuestro país, el espectro radioeléctrico se considera un recurso natural y es considerado patrimonio nacional, siendo administrado por el Estado. Este recurso es esencial para que los operadores puedan ofrecer servicios inalámbricos, como telefonía móvil e Internet móvil.

Dada la constante evolución tecnológica, especialmente en los últimos años, es crucial que las políticas de gestión del espectro se actualicen para facilitar la adopción y la expansión de estos avances. Esto es especialmente relevante en relación con las últimas innovaciones en tecnologías móviles, con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de velocidad y capacidad por parte de los

usuarios.

En este contexto, la cantidad de espectro (medida en Hertz) tiene una relación directa con las prestaciones y atributos de los servicios ofrecidos por las redes móviles. Por lo tanto, es necesario que las políticas de gestión del espectro se ajusten para garantizar el aprovechamiento óptimo de este recurso, como se menciona en el informe de OSIPTEL en 2019.

A continuación, se presenta un cuadro elaborado por la Subgerencia de Análisis Regulatorio-GPRC-OSIPTEL, que refleja el estado actual de la atribución, asignación y canalización de las principales bandas de espectro radioeléctrico. Estas bandas están establecidas para la prestación de Servicios Públicos de Telecomunicaciones en el país.

Tabla 1: Estado de las bandas de espectro radioeléctrico.

| Rango de Frecuencias | Área de Asignación | Ancho de Banda | Tecnologías Implementadas |
|---------------------------------------|---|-----------------|---------------------------|
| 385 - 386 MHz y 395 - 396 MHz | Prov. de Lima, Callao, y algunas provincias del país. | 0.5+0.5 MHz | ND |
| | Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país. | 0.25+0.25 MHz | ND |
| 411,675-416,675 MHz y 421,675-426,675 | Banda no canalizada ni asignada | 3.325+3.325 MHz | ND |
| 416,675-420 MHz y 426,675-430 MHz | Dpto. de La Libertad | 50 + 50 KHz | ND |
| | Dpto. de Lima y algunas provincias del país | 250 + 250 KHz | ND |
| | Algunas provincias del país | 50+50 KHz | ND |
| 450-452.5 MHz y 460-462.5 MHz | Algunas provincias del país | 2.5+2.5 MHz | CDMA 450 |
| | Algunas provincias del país | 2.5+2.5 MHz | ND |
| 452.5-457.5 MHz | Prov. de Lima y Callao y | 5+5 MHz | ND |

| Rango de Frecuencias | Área de Asignación | Ancho de Banda | Tecnologías Implementadas |
|-------------------------------|--|---|--|
| y 462.5-467.5 MHz | algunas provincias del país | | |
| | Algunas provincias del país | 5+5 MHz | ND |
| 698 - 806 MHz | A nivel nacional | 15+15 MHz | LTE y evoluciones |
| | A nivel nacional | 15+15 MHz | |
| | A nivel nacional | 15+15 MHz | |
| 806 - 821 MHz y 851 - 866 MHz | Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país | 328 canales de 25KHz c/u en Lima y Callao | iDEN* |
| 821 - 824 MHz y 866 - 869 MHz | Prov. de Lima y Callao | 3+3 MHz | iDEN* |
| 824-849 MHz y | A nivel nacional | 12.5+12.5 MHz | GSM y evoluciones |
| | | | HSPA y evoluciones |
| 869-894 MHz | A nivel nacional | 12.5+12.5 MHz | GSM y evoluciones HSPA y evoluciones |
| 894-899 MHz y 939-944 MHz | Prov. de Lima y Callao | 5+5 MHz | ND |
| 894-902 MHz y 939 - 947 MHz | Resto del País | 8+8 MHz | ND |
| 899-915 MHz y 944-960 MHz | Prov. de Lima y Callao | 16+16 MHz | LTE |
| 902-915 MHz y 947 - 960 MHz | Resto del País | 13+13 MHz | LTE |
| 1850-1910 MHz y 1930-1990 MHz | A nivel nacional | 17.5+17.5 MHz | GSM y evoluciones HSPA y evoluciones LTE y Evoluciones |
| | A nivel nacional | 17.5+17.5 MHz | GSM y evoluciones HSPA y evoluciones |
| | | 12.5+12.5 MHz | GSM y evoluciones |

| Rango de Frecuencias | Área de Asignación | Ancho de Banda | Tecnologías Implementadas |
|-------------------------------------|---|----------------|---|
| | A nivel nacional | MHz | HSPA y evoluciones |
| | A nivel nacional | 12.5+12.5 MHz | HSPA y evoluciones LTE y Evoluciones |
| 1910-1930 MHz | -- | 20 MHz | -- |
| 1710-1780 MHz y 2110-2180 MHz | A nivel nacional | 20+20 MHz | LTE y Evoluciones |
| | A nivel nacional | 20+20 MHz | LTE y Evoluciones |
| 2300-2400 MHz | Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país | 30 MHz | LTE y Evoluciones |
| | Prov. de Yauli | 30 MHz | ND |
| 2500-2692 MHz | Prov. de Lima y Callao | 30 + 30 MHz | LTE CA* |
| | | 20 MHz | ND |
| | Prov. de Lima y Callao y algunas provincias | 20 + 20 MHz | LTE |
| | A nivel nacional excepto Lima y Callao | 30 + 30 MHz | LTE CA* |
| | | 20 MHz | ND |
| | Algunas Provincias | 20 + 20 MHz | ND |
| | Algunas Provincias | 20 MHz | ND |
| 3300-3400 | - | - | - |
| 3400-3600 MHz | Prov. De Lima, Callao, y algunas provincias del país. | 25+25 MHz | ND |
| | A nivel nacional | 25+25 MHz | ND |
| | Prov. De Lima, Callao, y algunas provincias del país. | 25+25 MHz | ND |
| | Prov. De Lima, Callao, y algunas provincias del país. | 25+25 MHz | ND |
| | Prov de Pasco y Daniel Alcides Carrión (Dpto. Pasco) | 5+5 MHz | ND |
| 3600-3800 | - | - | - |

Nota. Fuente:

https://serviciosweb.osiptel.gob.pe/VIC/assets/pdf/2021/Competencia/Producto_12/3_POI_Documento_VIC_espectro_2020.pdf

3.4.2.2 Onda electromagnética. La radiación electromagnética se origina debido a la vibración de electrones u otras partículas con carga eléctrica. La energía generada por esta vibración se propaga en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas se distinguen por su longitud de onda (λ), que representa la distancia entre los picos consecutivos, y se mide en unidades de longitud. Asimismo, se caracterizan por su intensidad o amplitud, que se refiere a la altura de cada uno de estos picos.

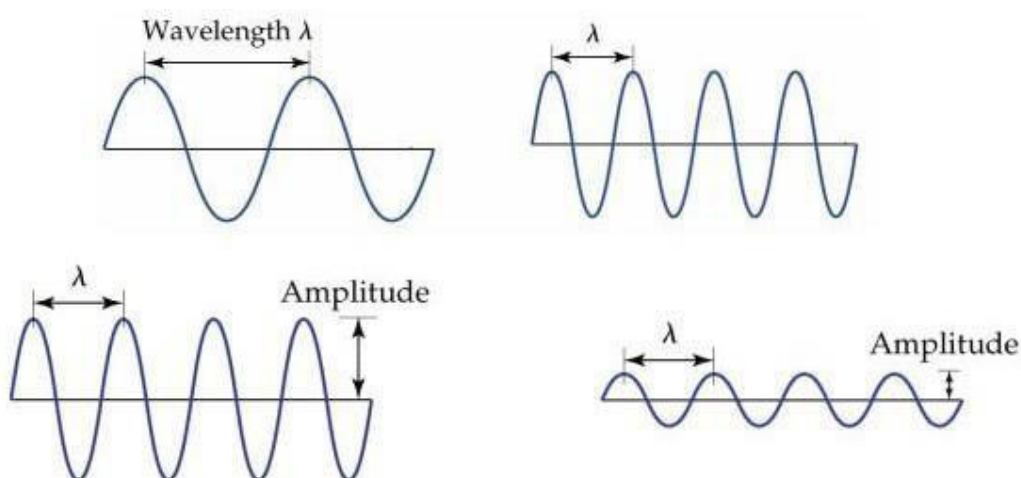


Figura 1: Ondas electromagnéticas con diferente longitud y amplitud.

Fuente:

https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/artificial-light/es/glosario/mno/onda-electromagnetica.htm

3.4.2.3 Zona de Fresnel. Una zona de Fresnel se refiere a una serie de regiones elipsoidales concéntricas, con un diámetro polar extenso, que rodean el espacio entre una antena transmisora y un sistema de antena receptora. Este concepto es fundamental para comprender y

calcular la propagación de las ondas entre un emisor y un receptor.

En esta descripción, la primera región corresponde al espacio elipsoidal por el cual la señal viaja en línea de vista directa entre el transmisor y el receptor. La segunda región rodea la primera, pero no la incluye. En esta región, la onda capturada por el receptor experimentará un desfase de más de 90° pero menos de 270° .

La tercera región rodea la segunda y las ondas desviadas capturadas por el receptor generarán un efecto similar al de una onda en la primera región. En este caso, la onda sinusoidal tendrá un desfase mayor a 270° pero menor a 450° , con la condición ideal de alcanzar un desfase de 360° .

Estas zonas de Fresnel son esenciales para garantizar una comunicación efectiva entre un transmisor y un receptor al considerar la interferencia y la posible obstrucción del espacio entre ellos. Un análisis adecuado de la zona de Fresnel es crucial para optimizar la calidad de la transmisión de ondas electromagnéticas.

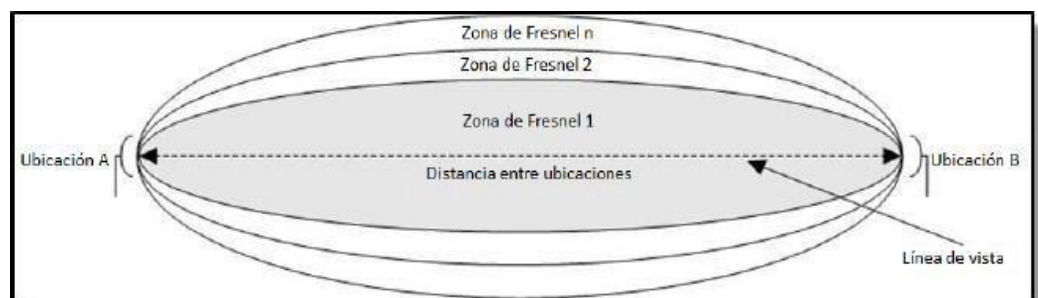


Figura 2: Representación de la zona de Fresnel. Fuente:

<https://soporte.syscom.mx/es/articulos/1455193-que-es-la-zona-de-fresnel>

En la siguiente figura se puede apreciar la zona de Fresnel, considerando las variables que lo constituyen lo que permite realizar el cálculo de la Zona de Fresnel.

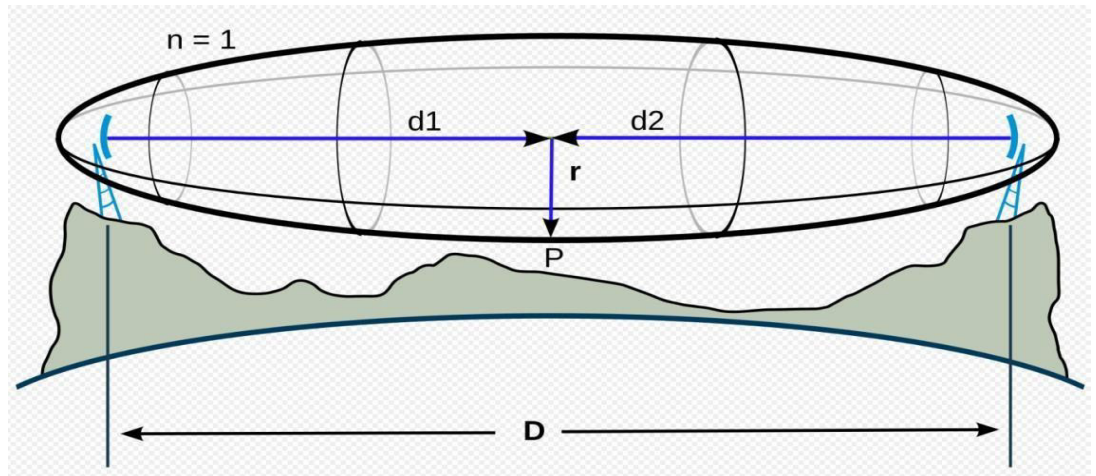


Figura 3: Variables en la zona de Fresnel. Fuente:

<https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>

Los radios de la zona de Fresnel son calculados por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{n * \lambda * d1 * d2}}{1 + 2}$$

Donde:

- r = Radio de la "n" Zona de Fresnel.
- n= Numero de la zona de Fresnel.
- λ = Longitud de onda en metros.
- d1=distancia desde el transmisor hasta la obstrucción en metros.
- d2= distancia desde la obstrucción hasta el receptor en metros.

Por cuestiones prácticas para la primera zona asumimos que $d1=d2$, por lo que la distancia desde la ubicación A hasta la ubicación B es $D=2d1$ y $n=1$.

3.4.2.4 Perdidas en espacio libre (FSPL). Las pérdidas en espacio libre se refieren a la disminución de la potencia de la señal a medida que se

propaga a través del espacio sin obstáculos significativos, como obstrucciones físicas o interferencia en la zona de Fresnel, estas se calculan mediante la fórmula.

$$= 32.45 + 20 \log f + 20 \log d$$

Donde

- f: frecuencia (Mhz).
- d: distancia (Km).

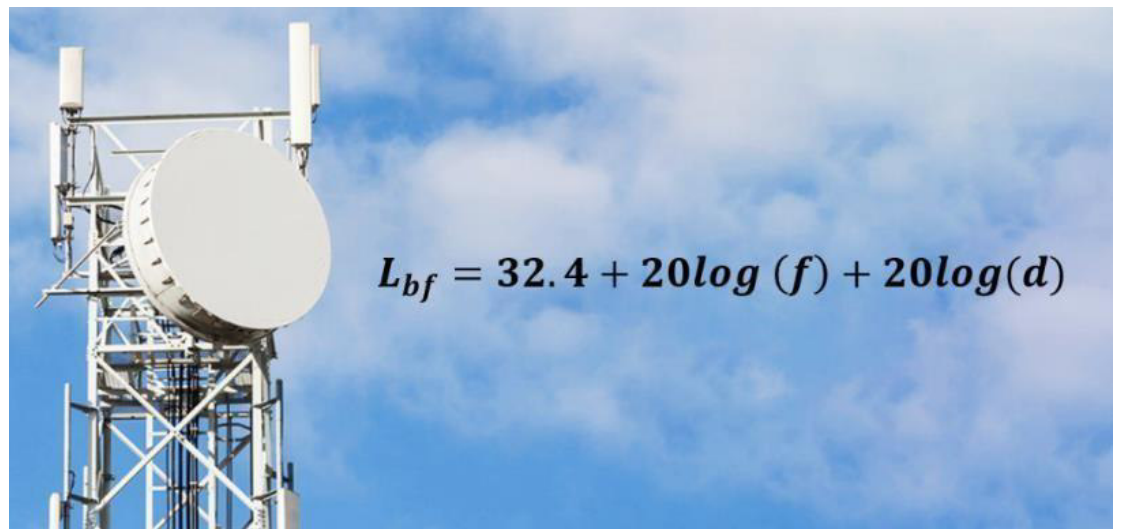


Figura 4: Cálculo de la pérdida en espacio libre. Fuente:

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-SI!PDF-E.pdf

3.4.2.5 Radioenlace. Un radioenlace se define como un sistema electrónico de comunicación inalámbrica que utiliza ondas de radio para facilitar la transferencia de información entre dos o más puntos. Existen diversos tipos y funciones de radioenlaces, entre ellos, la radio comercial que todos conocemos, considerada como un tipo de radioenlace multipunto. También se encuentran los enlaces de larga distancia por satélite y las conexiones digitales terrestres, ambos clasificados como radioenlaces punto a punto.

Dentro de la categoría de radioenlaces digitales terrestres, son

familiares términos como "Internet por radio", "Internet por Wi-Fi" y "Internet por WiMAX". Estas conexiones se basan en la comunicación inalámbrica mediante el uso de radioenlaces. Cada uno de estos sistemas tiene sus propias características y aplicaciones específicas, pero comparten la esencia de utilizar ondas de radio para establecer la conexión y permitir la transmisión de datos entre dispositivos o puntos de comunicación

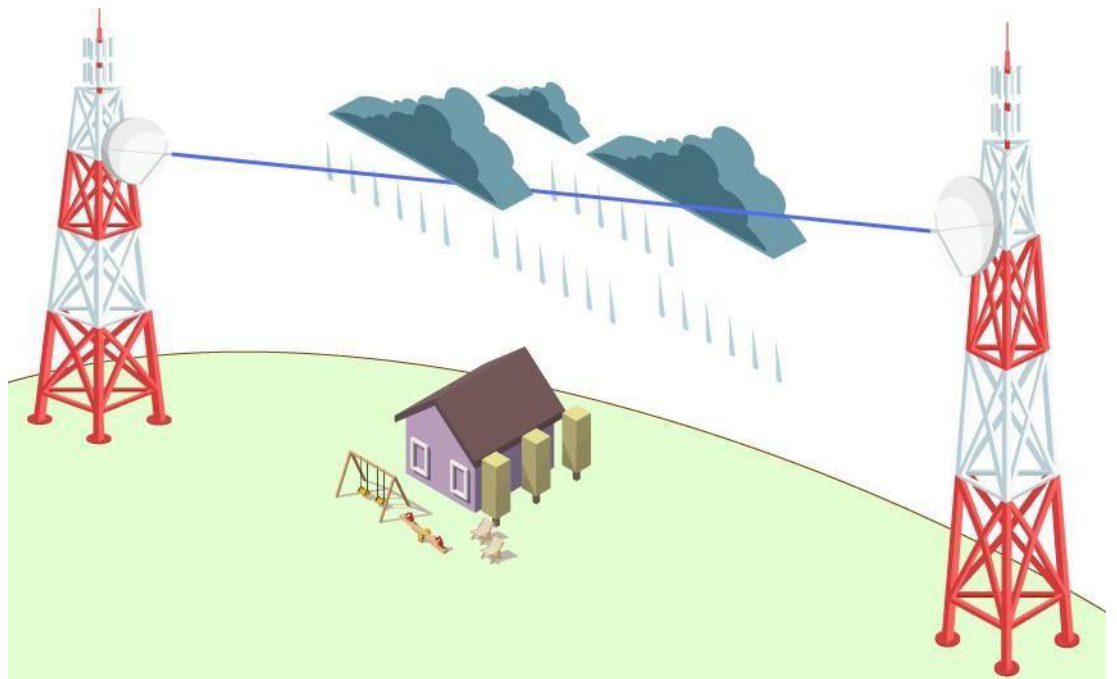


Figura 5: Representación de un radioenlace. Fuente:

<https://www.prored.es/que-es-un-radioenlace/>

3.4.2.6 Línea de mira. La ruta que puede seguir una onda electromagnética entre dos antenas se conoce como la línea de visión (LoS). La zona de Fresnel es un concepto importante en la planificación de enlaces de comunicación inalámbrica. Como mencionaste, es un fenómeno electromagnético en el cual las señales de radio pueden difractarse o doblarse alrededor de objetos sólidos cercanos a la trayectoria de la señal. La interferencia en la zona de Fresnel puede afectar la calidad de la señal y, por lo tanto, es esencial considerarla al diseñar y planificar la instalación de radioenlaces. Mantener

esta zona libre de obstáculos ayuda a minimizar las pérdidas de señal y garantiza una comunicación más confiable.

Línea de visión (LoS): No se tiene obstáculos entre el transmisor y el receptor, se establece un enlace óptimo.

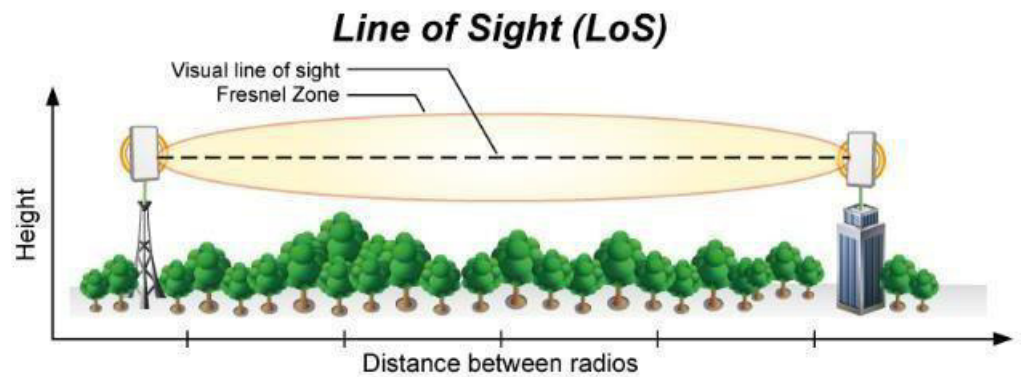


Figura 6: Línea de Vista. Fuente:

<https://soporte.syscom.mx/es/articles/3616425-rutas-de-lineas-de-vista-en-un-radio-enlace>

Near Line of Sight (nLoS): Se tienen obstrucciones que pueden afectar la calidad del enlace y su estabilidad.

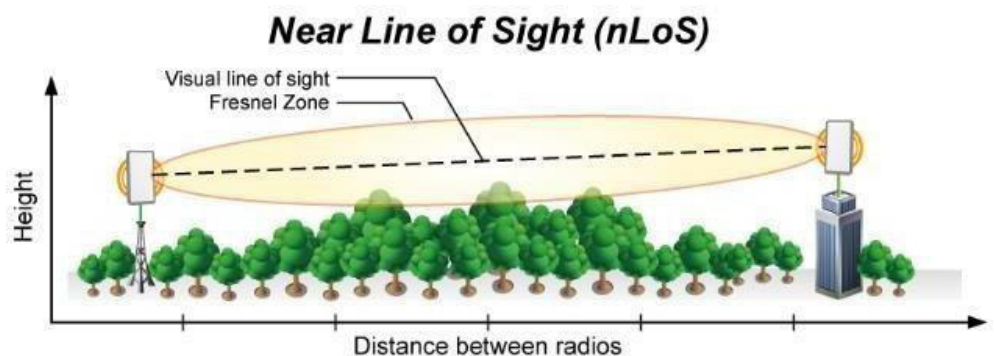


Figura 7: Línea de Vista con obstrucción parcial.

Fuente: <https://soporte.syscom.mx/es/articles/3616425-rutas-de-lineas-de-vista-en-un-radio-enlace>

Sin línea de visión (NLoS): Aquí se tiene una total obstrucción entre el transmisor y el receptor, es muy poco probable que se establezca el enlace.

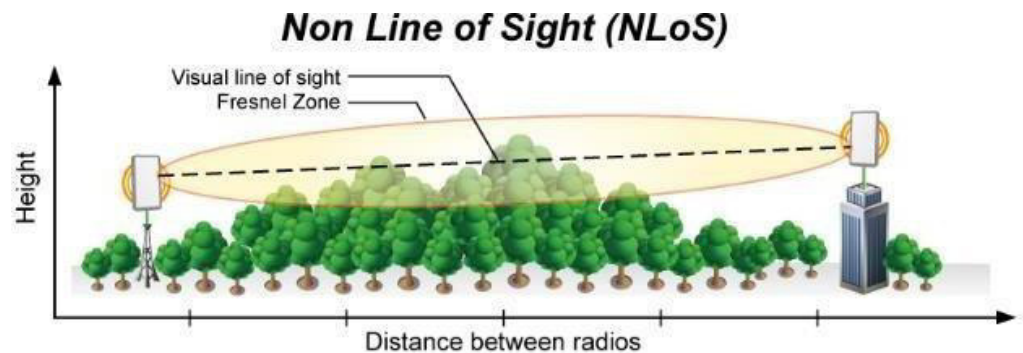


Figura 8: Línea de Vista con obstaculización total.

Fuente: <https://soporte.syscom.mx/es/articles/3616425-rutas-de-lineas-de-vista-en-un-radio-enlace>

3.5 Procedimiento

El proyecto comprende de diferentes etapas para lograr objetivos independientes de cada parte del proyecto y luego obtener el objetivo final que sería el diseño funcional de la red.

3.5.1 Planificación

3.5.1.1 Selección de frecuencias. Las frecuencias a utilizar en el diseño de los enlaces se harán siguiendo lo establecido en el Plan Nacional de Atribución de frecuencias, según el cual el espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencias, estas subdivisiones están asignadas con números enteros de menor a mayor según el cuadro siguiente:

Tabla 2: División del espectro radioeléctrico.

| Número de la banda | Símbolos | Rango de frecuencias | Subdivisión métrica correspondiente | Abreviaturas para las bandas |
|--------------------|----------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 4 | VLF | 3 a 30 kHz | Ondas miriamétricas | B. Mam |
| 5 | LF | 30 a 300 kHz | Ondas kilométricas | B. km |
| 6 | MF | 300 a 3 000 kHz | Ondas hectométricas | B. hm |
| 7 | HF | 3 a 30 MHz | Ondas decamétricas | B. dam |
| 8 | VHF | 30 a 300 MHz | Ondas métricas | B. m |
| 9 | UHF | 300 a 3 000 MHz | Onda decimétricas | B. dm |
| 10 | SHF | 3 a 30 GHz | Ondas centimétricas | B. cm |
| 11 | EHF | 30 a 300 GHz | Ondas milimétricas | B. mm |
| 12 | -- | 300 a 3 000 GHz | Ondas decimilimétricas | -- |
| | | | | |

Nota: Fuente:

https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf

3.5.1.2 Software de Simulación. El software a considerar para el diseño de esta Red de Acceso Punto Multi Punto (PMP) ha sido el software Linkplanner, ya que tiene como punto fuerte el planeamiento de redes Punto a Punto y Punto a Multipunto siendo esta ultima la red que se está planteando como diseño.

De la misma manera esta herramienta puede determinar los niveles de potencia y LOS, para determinar si se obstrucciones en el recorrido de la onda desde el nodo POP hasta la institución beneficiaria.



Figura 9: Simulador Linkplanner.

Fuente: https://www.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2020/05/Cambium_Networks_data_sheet_LINKPlanner.pdf

3.5.1.3 Parámetros técnicos según bases. Los parámetros técnicos propuestos según las bases del proyecto, estos serán utilizados como referencia para la elaboración de la simulación del enlace Punto Multipunto, estos parámetros se pueden encontrar en el Anexo 06 y Anexo 08 del proyecto “INSTALACION DE BANDA ANCHA PARA LA CONECTIVIDAD INTEGRAL Y ELDESARROLLO SOCIAL DE LA REGION MOQUEGIA”

(http://www.pronatel.gob.pe/sproyectos/proy_regional_moquegua.html), esta información es de conocimiento público, por lo que no constituye confidencialidad y pueden ser usados y descargados con total libertad.

- La distancia máxima de los enlaces en PMP para IAO serán < 2km acorde a la limitación de bases para las Instituciones Abonadas Obligatorias.
- Velocidad garantizada 40% del MIR según Bases del Proyecto

- La potencia de transmisión en el SECTOR es 24 dBm y en el SUBSCRIPTOR es automática según las bases.
- RSSI en IA0 2-70 dBm.
- En otros puntos dentro del área de cobertura a la localidad beneficiaria según bases se tendrá un nivel de recepción \geq -80 dBm.
- La altura para los nodos POP que se conectaran a las instituciones beneficiarias no será menos a 15 metros según las bases.

3.5.1.4 Parámetros técnicos referenciales. Los siguientes parámetros son referenciados por la herramienta Linkplanner o se basan en parámetros constantes como lo es el factor K para la zona de Fresnel.

- Se usará la banda libre de 5Ghz y se asignarán canales en 5.8GHz en escenarios de baja interferencia y 5.4 GHz en zonas de alta interferencia.
- Se simulará una disponibilidad del 99% buscando tener el mejor desempeño posible.
- La herramienta Linkplanner simula un ancho de canal de 40MHz de manera automática, pero se probará con anchos de banda menores buscando los requerimientos necesarios para el enlace.
- Se diseñarán los enlaces PmP para que trabajen en la siguiente modulación:
16QAM - MIMO B
- Las ganancias de las antenas para PmP son:
 - PMP 450i: 17dBi
 - PMP 450b: 17dBi

- Se garantizará línea de vista bajo la siguiente consideración:
Factor $K= 1.33$; Primera Zona de Fresnel (F1) = 100%.
- Las capacidades de enlaces PMP para diseño son $CIR= 40\%MIR$
- Cartografía utilizada SRTM 1 Arco segundo (NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Versión 3.0).

3.5.2 Ejecución

3.5.2.1 Diseño del Punto de Presencia (POP). Los puntos de presencia (POP) son los equipos o nodos capaces de dotar con enlaces de última milla, esto mediante la ubicación del POP en un punto estratégico con una línea de vista libre y con los parámetros adecuados que permitan brindar una intensidad de señal adecuada. La información de la línea de vista ha sido recopilada en campo considerando si se tiene alguna obstrucción en el terreno.



Figura 10: Antena 450i AP para los POP. Fuente:

https://brandcentral.cambiumnetworks.com/m/3c0fbd807de544e/original/Cambium_Networks_data_sheet_PMP_450i_AP.pdf

Las antenas utilizadas serán unas sectoriales Cambium Networks PMP 450i Acces Point en un rango de frecuencia de 5GHz considerando el Plan Nacional de Asignación de Frecuencias, para las localidades beneficiaras se requiere solo un sector para cubrir esta demanda por lo que trabajaremos por defecto con un sector, omitiendo los dos sectores restantes.

La construcción física y materiales de la antena está respaldada por los estándares IP67 e IP66 los cuales la dotan de una alta resistencia a los factores climáticos hostiles ya que estas antenas serán usadas en exteriores adicionalmente a estas características, las antenas pertenecen a la solución CAMBIUM y están integradas en la herramienta Linkplanner por lo que permite cálculos más precisos al ser equipamiento nativo de la herramienta de simulación de enlaces.

Se instalarán antenas con una apertura sectorial de 120° en razón de cubrir el área donde se encuentren las instituciones beneficiaras, adicionalmente según las del proyecto, las instituciones beneficiarias no se pueden ubicar a más de 2Km del nodo POP, para lo cual las antenas PMP 450i cuentan con una ganancia de 17dBi y una modulación adaptativa de 4 niveles lo que nos permitirá una mayor flexibilidad para poder obtener los parámetros adecuados en nuestro diseño de enlace Punto Multipunto.

La orientación de las antenas sectoriales estará definida por las localidades beneficiarias en orden de que estas se encuentren lo más cerca posible a lóbulo principal de radiación.

La información más detallada respecto a las características y performance del equipo utilizado, puede ser revisado en el Anexo A del presente documento.

3.5.2.2 Diseño de los Módulos Subscriptores. Los módulos subscriptores son las antenas que se colocaran en las instituciones beneficiarias, las antenas utilizadas para las instituciones beneficiarias serán Cambium Networks PMP 450b Subscriber Module, estas serán las

encargadas de recibir la señal de los POP para obtener el acceso a la red de internet.



Figura 11: Antena 450b SM para las instituciones beneficiarias.

Fuente:

https://brandcentral.cambiumnetworks.com/m/7187480fe1f9265b/original/Cambium_Networks_data_sheet_5GHz_450b.pdf

Estas antenas tienen un rango de frecuencia desde los 4900-5925 MHz lo que nos permitirá hacer uso de la banda libre según el Plan Nacional de Asignación de Frecuencias, adicionalmente la antena posee dos niveles de ganancia los cuales son MID-GAIN con 17dBi y High-Gain con 24dBi lo que nos permite flexibilidad durante el diseño de nuestro enlace Punto Multipunto.

La construcción física y materiales de la antena está respaldada por los

estándares IP67 e IP55 los cuales la dotan de una alta resistencia a los factores climáticos hostiles ya que estas antenas serán usadas en exteriores adicionalmente a estas características, las antenas pertenecen a la solución CAMBIUM y están integradas en la herramienta Linkplanner por lo que permite cálculos más precisos al ser equipamiento nativo de la herramienta de simulación de enlaces. La información más detallada respecto a las características y performance del equipo utilizado, puede ser revisado en el Anexo B del presente documento.

3.5.2.3 Simulación de enlaces Punto Multipunto. En este apartado se realizará la simulación de los enlaces Punto Multipunto (PMP) entre los nodos POP y las instituciones beneficiarias haciendo uso de la herramienta Linkplanner que es provista con los equipos Cambium, esta herramienta es la ideal teniendo en cuenta su fiabilidad respecto a la simulación y elaboración de enlaces PTP o PMP ya que cuenta con parámetros técnicos y permite cargar mapas altamente precisos, permitiendo elaborar un diseño con gran precisión y parámetros técnicos adecuados respecto a las necesidades establecidas.

A. Localidad Yacango

Mediante la herramienta Linkplanner realizaremos la ubicación del POP Yacango, así como la localidad beneficiaria (Centro de salud) SM_YACANGO_CS01.

Tabla 3: Coordenadas del POP institución beneficiaria en la localidad de Yacango.

| TIPO | ID SITE | LATITUD | LONGITUD |
|--------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| PUNTO DE PRESENCIA | POP_YACANGO | 17.09435S | 070.8644W |
| INSTITUCION BENEFICIARIA | SM_YACANGO_CS01 | 17.09433S | 070.86673W |

A dialog box with a light gray background. It contains several input fields and buttons. At the top, there are two rows of fields: 'Name: POP_YACANGO' and 'Maximum Height: 35 meters'. Below these are 'Latitude: 17.09435S' and 'Longitude: 070.8644W'. A large empty text area labeled 'Description:' is below the coordinates. At the bottom right, there are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

Figura 12: Ubicación del POP en la localidad de Yacango.

Fuente: Simulador Linkplanner.

A dialog box with a light gray background, similar to the one in Figure 12. It contains several input fields and buttons. At the top, there are two rows of fields: 'Name: SM_YACANGO_CS01' and 'Maximum Height: 9 meters'. Below these are 'Latitude: 17.09433S' and 'Longitude: 070.86673W'. A large empty text area labeled 'Description:' is below the coordinates. At the bottom right, there are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

Figura 13: Coordenadas del centro de salud de Yacango.

Fuente: Simulador Linkplanner.

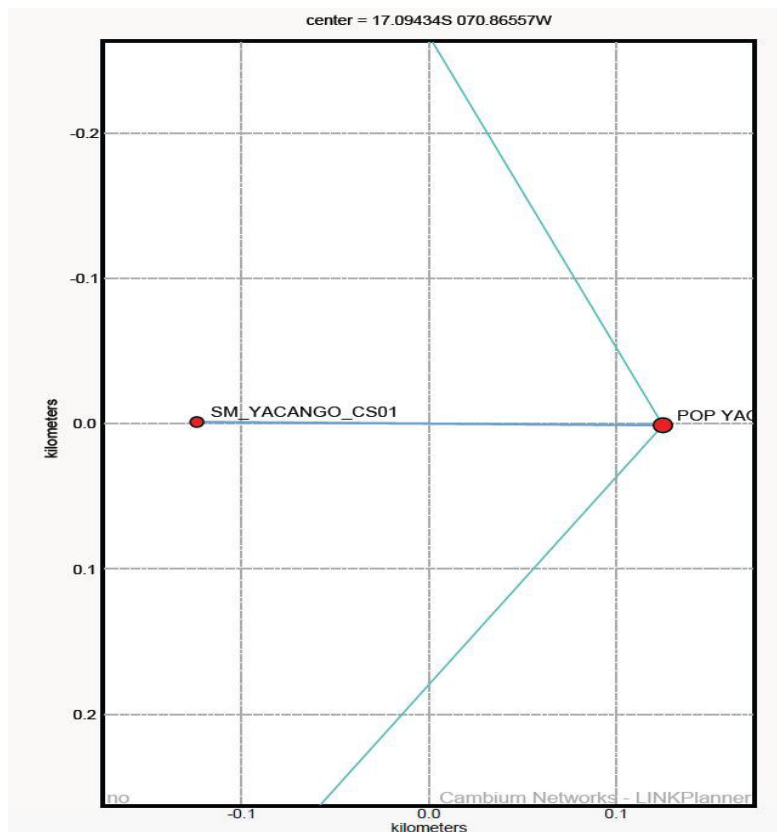


Figura 14: Ubicación de sites en la localidad de Yacango.

Fuente: Simulador Linkplanner.

Luego de colocar las alturas y coordenadas del POP y la institución beneficiaria, la herramienta Linkplanner realiza el cálculo de los parámetros adecuados para brindar el servicio de acceso a internet a la institución SM_YACANGO_CS01 que es un centro de salud.

A continuación, se muestran los parámetros calculados por la herramienta Linkplanner según las coordenadas y alturas de torre ingresadas.

| Summary | |
|----------------------|--|
| AP Name | POP YACANGO |
| Group Name | |
| Hub Name | POP YACANGO |
| SM Name | SM_YACANGO_CS01 |
| Link Type | Line-of-Sight |
| AP Equipment Type | PMP450i (running Release 21.1) |
| SM Equipment Type | PMP 450b Mid-gain (running Release 21.1) |
| Maximum Obstruction | 0 meters |
| Link Distance | 0.248 kilometers |
| Free Space Path Loss | 95.51 dB |
| Excess Path Loss | 0.00 dB |
| RF Frequency Band | 5.8 GHz (5725 to 5925 MHz) |
| RF Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Downlink Data | 65 % |

Figura 15: Parámetros entre el POP y SM_YACANGO_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

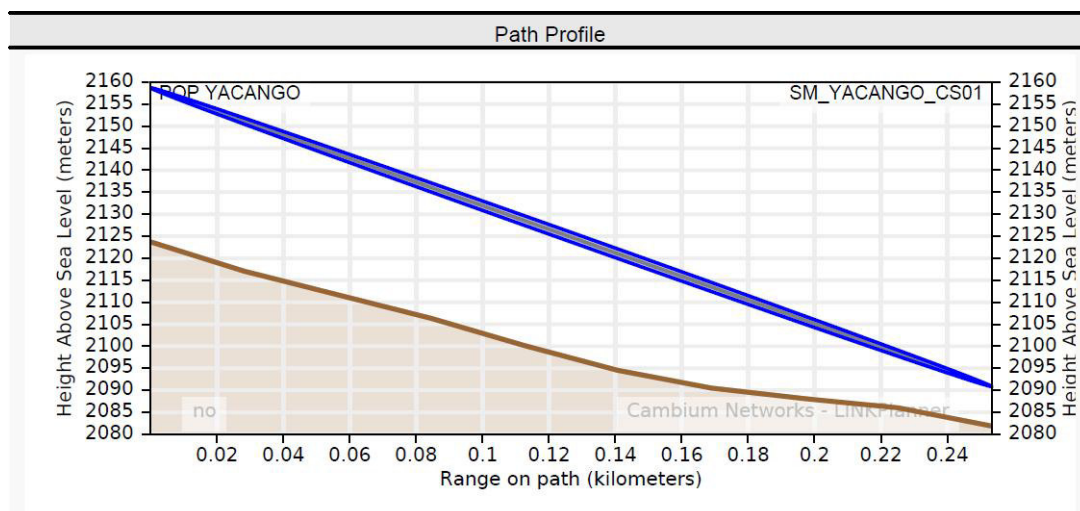


Figura 16: Línea de vista entre el POP y SM_YACANGO_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

Cálculo de la zona de Fresnel

De la figura anterior, procederemos a calcular el valor de la zona de Fresnel teniendo en cuenta que la herramienta nos arrojó un perfil sin obstrucciones y para la cual calculo una máxima obstrucción de 7 metros.

El cálculo de la zona de Fresnel esta dado por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{n * \lambda * d1 * d2}}{1 + 2}$$

Debido a que la simulación de línea vista no presenta obstrucciones, para efectos prácticos consideraremos $d1=d2=248/2=124\text{m}$, de la formula anterior obtenemos:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{d1+d2}}$$

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{124 * 124}{5735*(270)}}$$

$$= 1.8 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas en espacio libre

De la misma manera procederemos a calcular las pérdidas en espacio libre, las cuales se refieren a las pérdidas de energía que presenta una onda durante su propagación, el cálculo esta dado por la siguiente formula, Donde:

- f: frecuencia (Mhz).
- d: distancia (Km).

$$\begin{aligned} &= 32.45 + 20 \log \quad + 20 \log \\ &= 32.45 + 20 \log (5735) + 20 \log (0.248) \\ &= 95.5 \text{ dB.} \end{aligned}$$

De lo anterior podemos confirmar que el valor es muy cercano al obtenido mediante la herramienta Linkplanner, por lo que confirmamos que los valores obtenidos mediante la herramienta y mediante los

cálculos realizados, son los correctos.

| Bill of Materials | | |
|-------------------|-----|--|
| Part Number | Qty | Description |
| (no part number) | 1 | Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options) |
| C000000L065 | 1 | Gigabit Surge Suppressor (30V) |
| C050045B031 | 1 | 5 GHz 450b - Mid-Gain - ROW |
| EW-E2PT450B-WW | 1 | PTP 450b Extended Warranty, 2 additional years (per END) |
| N000900L001 | 1 | PoE, 15W, 30V, 2.5GbE DC Injector, Indoor, 0C to 40C, C5 connector |

Figura 17: Componentes a utilizar en el enlace obtenido.

Fuente: Simulador Linkplanner.

| Physical Installation Notes for SM SM_YACANGO_CS01 | |
|--|--|
| Link Name | POP YACANGO to SM_YACANGO_CS01 |
| Access Point | POP YACANGO |
| Group Name | |
| Hub Name | POP YACANGO |
| Latitude | 17.09433S |
| Longitude | 070.86673W |
| Site Elevation | 2091 meters AMSL |
| Platform Variant | 5.7 GHz PMP 450b Mid-gain |
| Antenna Type | Cambium Networks 15° Mid-Gain Integrated |
| Antenna Beamwidth | 15.0° |
| Antenna Gain | 16.7 dBi |
| Antenna Height | 9.0 meters AGL |
| Antenna Tilt Angle | 15.0° (uptilt) |
| Antenna Azimuth | 90.51° from True North 97.21° from Magnetic North |
| Magnetic Declination | 6.70° W \pm 0.34° changing by 0.22° W per year |

Figura 18: Parámetros de antena para SM_YACANGO_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

| Radio Commissioning Notes for SM SM_YACANGO_CS01 | |
|--|-----------------------------------|
| AP Output Power | 24.0 dBm |
| AP Antenna Gain (towards SM) | 6.4 dBi |
| Region | Other |
| Country | Other |
| Latitude | 17.09433S |
| Longitude | 070.86673W |
| Height | 9.0 m (30 ft) |
| Number of Data Channels | 1 |
| Frequency Carrier | 5735.0 MHz |
| Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Color Code | 1 |
| MIMO Rate Adapt Algorithm | Enabled |
| DL Maximum Mod Mode | x4 |
| UL Maximum Mod Mode | x8 |
| External Gain | 16.7 dBi |
| Operational Transmit Power | 16 dBm |
| Predicted Receive Power | -48 dBm \pm 5 dB while aligning |

Figura 19: Parámetros de radio para SM_YACANGO_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

| Performance to AP POP YACANGO * | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Predicted Receive Power | -56 dBm \pm 5 dB while aligning |
| Min Mod Mode Required | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Min Availability Required | 99.9900 % |
| Max Usable Mode | x6 (64QAM MIMO-B) |
| Predicted Availability | 99.9995 % |

Figura 20: Performance del POP Yacango. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Performance to SM SM_YACANGO_CS01 * | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Predicted Receive Power | -48 dBm \pm 5 dB while aligning |
| Min Mod Mode Required | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Min Availability Required | 99.9900 % |
| Max Usable Mode | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Predicted Availability | 99.9995 % |

Figura 21: Performance de SM_YACANGO_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

B. Localidad Lloque

Mediante la herramienta Linkplanner realizaremos la ubicación del POP Lloque, así como las localidades beneficiarias (Centro de salud e institución educativa) SM_LLOQUE_CS01 y SM_LLOQUE_IE01.

Tabla 4: Coordenadas del POP e instituciones beneficiarias.

| TIPO | ID SITE | LATITUD | LONGITUD |
|--------------------------|----------------|-----------|------------|
| PUNTO DE PRESENCIA | POP_LLOQUE | 16.32606S | 070.73784W |
| INSTITUCION BENEFICIARIA | SM_LLOQUE_CS01 | 16.32382S | 070.73869W |
| INSTITUCION BENEFICIARIA | SM_LLOQUE_IE01 | 16.32431S | 070.73929W |

Name: POP_LLOQUE Maximum Height: 35 meters
 Latitude: 16.32606S Longitude: 070.73784W
 Description:
 OK Cancel

Figura 22: Coordenadas del POP en la localidad de Lloque.

Fuente: Simulador Linkplanner.

Name: SM_LLOQUE_CS01 Maximum Height: 9 meters
 Latitude: 16.32382S Longitude: 070.73869W
 Description:
 OK Cancel

Figura 23: Coordenadas del centro de salud de Lloque.

Fuente: Simulador Linkplanner.

| | | | |
|---|----------------|-----------------|------------|
| Name: | SM_LLOQUE_IE01 | Maximum Height: | 6 meters |
| Latitude: | 16.32431S | Longitude: | 070.73929W |
| Description: | | | |
| <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> | | | |

Figura 24: Coordenadas de la institución educativa de Lloque.

Fuente: Simulador Linkplanner.

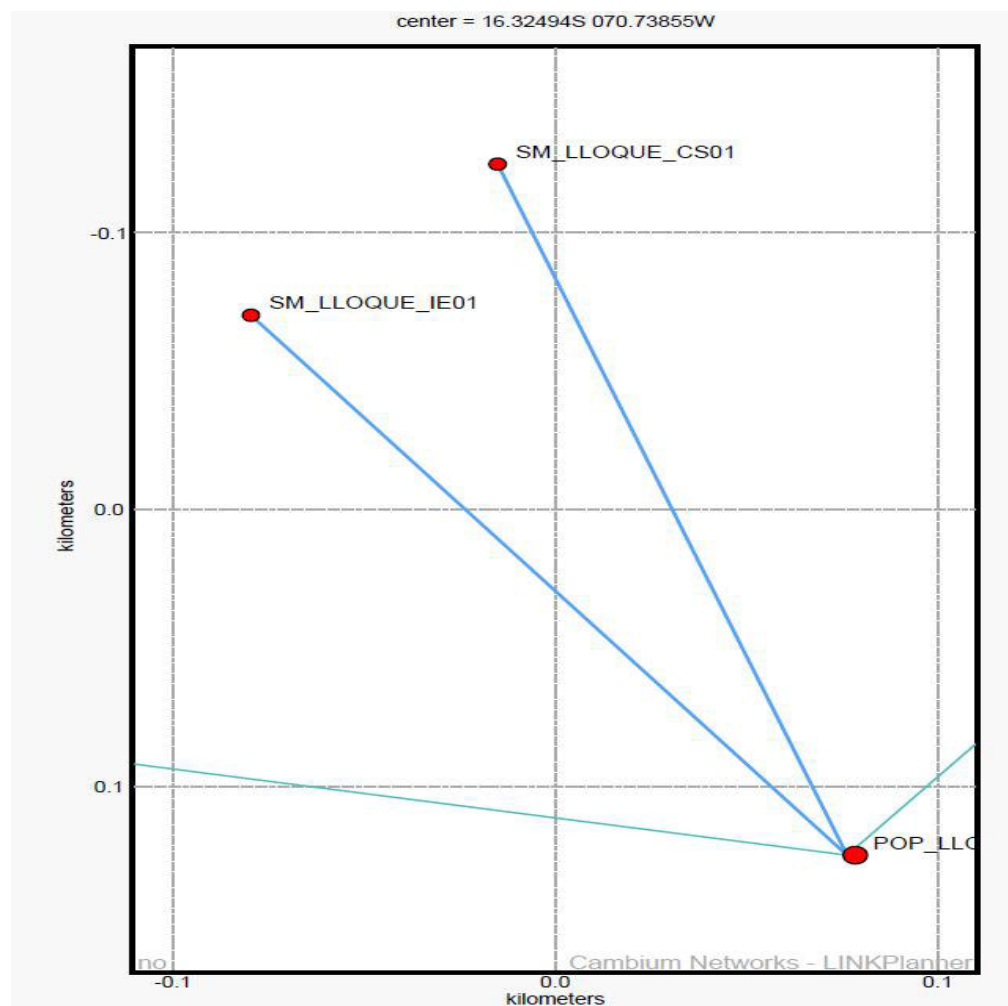


Figura 25: Ubicación de sites en la localidad de Lloque.

Fuente: Simulador Linkplanner.

Luego de colocar las alturas y coordenadas del POP y las instituciones beneficiarias, la herramienta Linkplanner realiza el cálculo de los parámetros adecuados para brindar el servicio de acceso a internet para cada uno de los enlaces entre las instituciones beneficiarias y el POP, para esta localidad las instituciones beneficiarias serán SM_LLOQUE_CS01 y SM_LLOQUE_IE01 que son un centro de salud e institución educativa respectivamente.

A continuación, se muestran los parámetros calculados por la herramienta Linkplanner según las coordenadas y alturas de torre ingresadas para el enlace POP_LLOQUE hacia SM_LLOQUE_CS01.

| Summary | |
|----------------------|--|
| AP Name | POP_LLOQUE |
| Group Name | |
| Hub Name | POP_LLOQUE |
| SM Name | SM_LLOQUE_CS01 |
| Link Type | Line-of-Sight |
| AP Equipment Type | PMP450i (running Release 21.1) |
| SM Equipment Type | PMP 450b Mid-gain (running Release 21.1) |
| Maximum Obstruction | 0 meters |
| Link Distance | 0.264 kilometers |
| Free Space Path Loss | 96.05 dB |
| Excess Path Loss | 0.00 dB |
| RF Frequency Band | 5.8 GHz (5725 to 5925 MHz) |
| RF Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Downlink Data | 65 % |

Figura 26: Parámetros entre el POP y el SM_LLOQUE_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

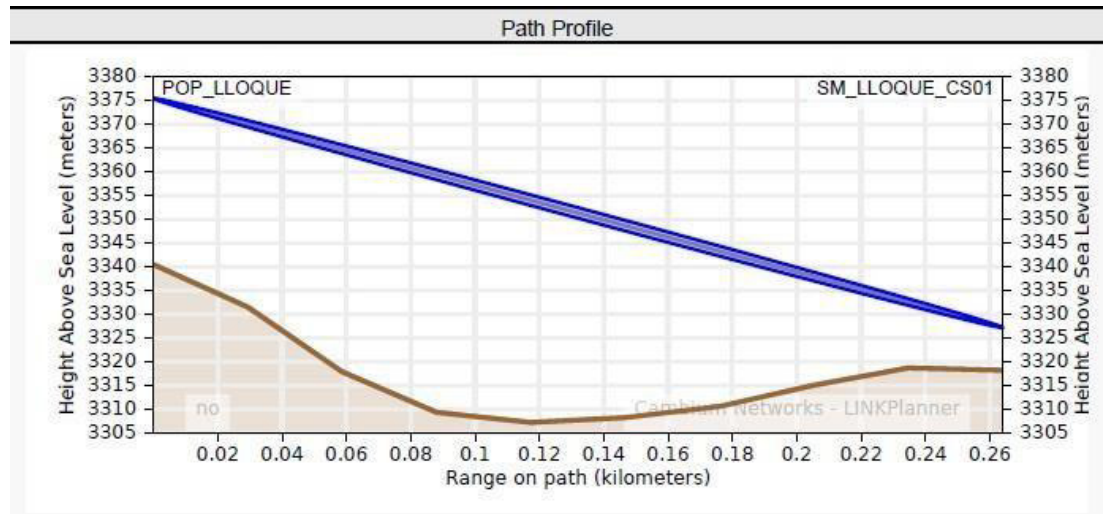


Figura 27: Línea de vista entre el POP y el SM_LLOQUE_CS01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

Cálculo de la zona de Fresnel

De la figura anterior, se procede a calcular el valor de la zona de Fresnel teniendo en cuenta que la herramienta nos arrojó un perfil sin obstrucciones y para la cual calculo una máxima obstrucción de 6 metros.

El cálculo esta dado por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{n * \lambda * d1 * d2}}{1 + 2}$$

Debido a que la simulación de línea vista no presenta obstrucciones, para efectos prácticos consideraremos $d1=d2=264/2=132m$, de la formula anterior obtenemos:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{d1+d2}}$$

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{132*132}{5735*(264)}}$$

$$= 1.86 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas en espacio libre

De la misma manera procederemos a calcular las pérdidas en espacio libre, las cuales se refieren a las pérdidas de energía que presenta una onda durante su propagación, el cálculo esta dado por la siguiente formula, Donde:

- f: frecuencia (Mhz).
- d: distancia (Km).

$$\begin{aligned}
 &= 32.45 + 20 \log \quad + 20 \log \\
 &= 32.45 + 20 \log (5735) + 20 \log (0.264) \\
 &= 96.05 \text{ dB.}
 \end{aligned}$$

De lo anterior podemos confirmar que el valor es igual al obtenido mediante la herramienta Linkplanner, por lo que confirmamos que los valores obtenidos mediante la herramienta y mediante los cálculos realizados, son los correctos.

| Bill of Materials | | |
|-------------------|-----|--|
| Part Number | Qty | Description |
| (no part number) | 1 | Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options) |
| C000000L065 | 1 | Gigabit Surge Suppressor (30V) |
| C050045B031 | 1 | 5 GHz 450b - Mid-Gain - ROW |
| EW-E2PT450B-WW | 1 | PTP 450b Extended Warranty, 2 additional years (per END) |
| N000900L001 | 1 | PoE, 15W, 30V, 2.5GbE DC Injector, Indoor, 0C to 40C, C5 connector |

Figura 28: Componentes a utilizar en el enlace obtenido. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Physical Installation Notes for SM SM_LLOQUE_CS01 | |
|---|--|
| Link Name | POP_LLOQUE to SM_LLOQUE_CS01 |
| Access Point | POP_LLOQUE |
| Group Name | |
| Hub Name | POP_LLOQUE |
| Latitude | 16.32382S |
| Longitude | 070.73869W |
| Site Elevation | 3327 meters AMSL |
| Platform Variant | 5.7 GHz PMP 450b Mid-gain |
| Antenna Type | Cambium Networks 15° Mid-Gain Integrated |
| Antenna Beamwidth | 15.0° |
| Antenna Gain | 16.7 dBi |
| Antenna Height | 9.0 meters AGL |
| Antenna Tilt Angle | 10.4° (uptilt) |
| Antenna Azimuth | 159.88° from True North 166.92° from Magnetic North |
| Magnetic Declination | 7.04° W ±0.34° changing by 0.22° W per year |

Figura 29: Parámetros de antena para SM_LLOQUE_CS01. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Radio Commissioning Notes for SM SM_LLOQUE_CS01 | |
|---|-------------------------------|
| AP Output Power | 24.0 dBm |
| AP Antenna Gain (towards SM) | 11.1 dBi |
| Region | Other |
| Country | Other |
| Latitude | 16.32382S |
| Longitude | 070.73869W |
| Height | 9.0 m (30 ft) |
| Number of Data Channels | 1 |
| Frequency Carrier | 5735.0 MHz |
| Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Color Code | 1 |
| MIMO Rate Adapt Algorithm | Enabled |
| DL Maximum Mod Mode | x4 |
| UL Maximum Mod Mode | x8 |
| External Gain | 16.7 dBi |
| Operational Transmit Power | 12 dBm |
| Predicted Receive Power | -44 dBm ± 5 dB while aligning |

Figura 30: Parámetros de radio para SM_LLOQUE_CS01. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Performance to AP POP_LLOQUE * | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Predicted Receive Power | -56 dBm ± 5 dB while aligning |
| Min Mod Mode Required | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Min Availability Required | 99.9900 % |
| Max Usable Mode | x6 (64QAM MIMO-B) |
| Predicted Availability | 99.9995 % |

Figura 31: Performance del POP Lloque. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Performance to SM SM_LLOQUE_CS01 * | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Predicted Receive Power | -44 dBm ± 5 dB while aligning |
| Min Mod Mode Required | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Min Availability Required | 99.9900 % |
| Max Usable Mode | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Predicted Availability | 99.9995 % |

Figura 32: Performance de SM_LLOQUE_CS01. Fuente: Simulador Linkplanner.

A continuación, se muestran los parámetros calculados por la herramienta Linkplanner según las coordenadas y alturas de torre ingresadas para el enlace POP_LLOQUE hacia SM_LLOQUE_IE01.

| Summary | |
|----------------------|--|
| AP Name | POP_LLOQUE |
| Group Name | |
| Hub Name | POP_LLOQUE |
| SM Name | SM_LLOQUE_IE01 |
| Link Type | Line-of-Sight |
| AP Equipment Type | PMP450i (running Release 21.1) |
| SM Equipment Type | PMP 450b Mid-gain (running Release 21.1) |
| Maximum Obstruction | 0 meters |
| Link Distance | 0.248 kilometers |
| Free Space Path Loss | 95.51 dB |
| Excess Path Loss | 0.00 dB |
| RF Frequency Band | 5.8 GHz (5725 to 5925 MHz) |
| RF Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Downlink Data | 65 % |

Figura 33: Parámetros entre el POP y SM_LLOQUE_IE01. Fuente: Simulador Linkplanner.

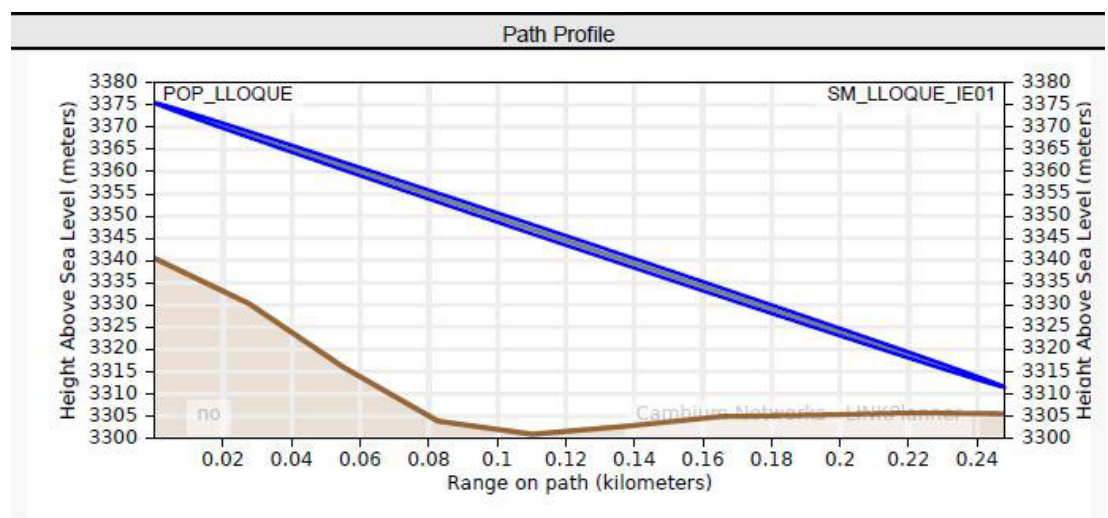


Figura 34: Línea de vista entre el POP y SM_LLOQUE_IE01.

Fuente: Simulador Linkplanner.

Cálculo de la zona de Fresnel

De la figura anterior, procederemos a calcular el valor de la zona de Fresnel teniendo en cuenta que la herramienta nos arrojó un perfil sin obstrucciones y para la cual calculo una máxima obstrucción de 6 metros.

El cálculo de la zona de Fresnel esta dado por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{n * \lambda * d1 * d2}}{1 + 2}$$

Debido a que la simulación de línea vista no presenta obstrucciones, para efectos prácticos consideraremos $d1=d2=248/2=124\text{m}$, de la formula anterior obtenemos:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{d1+d2}}$$

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{124 * 124}{5735*(248)}}$$

$$= 1.8 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas en espacio libre

De la misma manera procederemos a calcular las pérdidas en espacio libre, las cuales se refieren a las pérdidas de energía que presenta una onda durante su propagación, el cálculo esta dado por la siguiente formula, Donde:

- f: frecuencia (Mhz).
- d: distancia (Km).

$$= 32.45 + 20 \log f + 20 \log d$$

$$= 32.45 + 20 \log (5735) + 20 \log (0.248)$$

$$= 95.51 \text{ dB.}$$

De lo anterior podemos confirmar que el valor es igual al obtenido mediante la herramienta Linkplanner, por lo que confirmamos que los valores obtenidos mediante la herramienta y mediante los cálculos realizados, son los correctos.

| Bill of Materials | | |
|-------------------|-----|--|
| Part Number | Qty | Description |
| (no part number) | 1 | Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options) |
| C000000L065 | 1 | Gigabit Surge Suppressor (30V) |
| C050045B031 | 1 | 5 GHz 450b - Mid-Gain - ROW |
| EW-E2PT450B-WW | 1 | PTP 450b Extended Warranty, 2 additional years (per END) |
| N000900L001 | 1 | PoE, 15W, 30V, 2.5GbE DC Injector, Indoor, 0C to 40C, C5 connector |

Figura 35: Componentes a utilizar en el enlace obtenido. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Physical Installation Notes for SM SM_LLOQUE_IE01 | |
|---|--|
| Link Name | POP_LLOQUE to SM_LLOQUE_IE01 |
| Access Point | POP_LLOQUE |
| Group Name | |
| Hub Name | POP_LLOQUE |
| Latitude | 16.32431S |
| Longitude | 070.73929W |
| Site Elevation | 3311 meters AMSL |
| Platform Variant | 5.7 GHz PMP 450b Mid-gain |
| Antenna Type | Cambium Networks 15° Mid-Gain Integrated |
| Antenna Beamwidth | 15.0° |
| Antenna Gain | 16.7 dBi |
| Antenna Height | 6.0 meters AGL |
| Antenna Tilt Angle | 14.5° (uptilt) |
| Antenna Azimuth | 141.34° from True North 148.38° from Magnetic North |
| Magnetic Declination | 7.04° W ±0.34° changing by 0.22° W per year |

Figura 36: Parámetros de antena para SM_LLOQUE_IE01. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Radio Commissioning Notes for SM SM_LLOQUE_IE01 | |
|---|-----------------------------------|
| AP Output Power | 24.0 dBm |
| AP Antenna Gain (towards SM) | 6.0 dBi |
| Region | Other |
| Country | Other |
| Latitude | 16.32431S |
| Longitude | 070.73929W |
| Height | 6.0 m (20 ft) |
| Number of Data Channels | 1 |
| Frequency Carrier | 5735.0 MHz |
| Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Color Code | 1 |
| MIMO Rate Adapt Algorithm | Enabled |
| DL Maximum Mod Mode | x4 |
| UL Maximum Mod Mode | x8 |
| External Gain | 16.7 dBi |
| Operational Transmit Power | 16 dBm |
| Predicted Receive Power | -49 dBm \pm 5 dB while aligning |

Figura 37: Parámetros de radio para SM_LLOQUE_IE01. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Performance to AP POP_LLOQUE * | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Predicted Receive Power | -57 dBm \pm 5 dB while aligning |
| Min Mod Mode Required | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Min Availability Required | 99.9900 % |
| Max Usable Mode | x6 (64QAM MIMO-B) |
| Predicted Availability | 99.9995 % |

Figura 38: Performance del POP Lloque. Fuente: Simulador Linkplanner.

| Performance to SM SM_LLOQUE_IE01 * | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Predicted Receive Power | -49 dBm \pm 5 dB while aligning |
| Min Mod Mode Required | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Min Availability Required | 99.9900 % |
| Max Usable Mode | x4 (16QAM MIMO-B) |
| Predicted Availability | 99.9995 % |

Figura 39: Performance de SM_LLOQUE_IE01. Fuente: Simulador Linkplanner.

3.5.2.4 Simulación de Cobertura LOS y RSSI

Mediante el uso del software Pathloss y apoyados del diseño de enlacePMP obtenido

con la herramienta Linkplanner, se realizará la verificación de los niveles de potencia a utilizar entre el nodo POP y las instituciones beneficiarias teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Cartografía SRMT 1.00"
- Algoritmo de Propagación Pathloss
- Radio efectivo de la tierra $K=1.33$
- Región Climática: Temperatura continental
- Frecuencia Central 5800 MHz
- Características técnicas de los equipos PMP descritos anteriormente.

La herramienta PathLoss asocia valores de potencia a colores con los cuales se puede obtener la huella de cobertura y podemos visualizar sobre el terreno la potencia que está recibiendo cada zona.

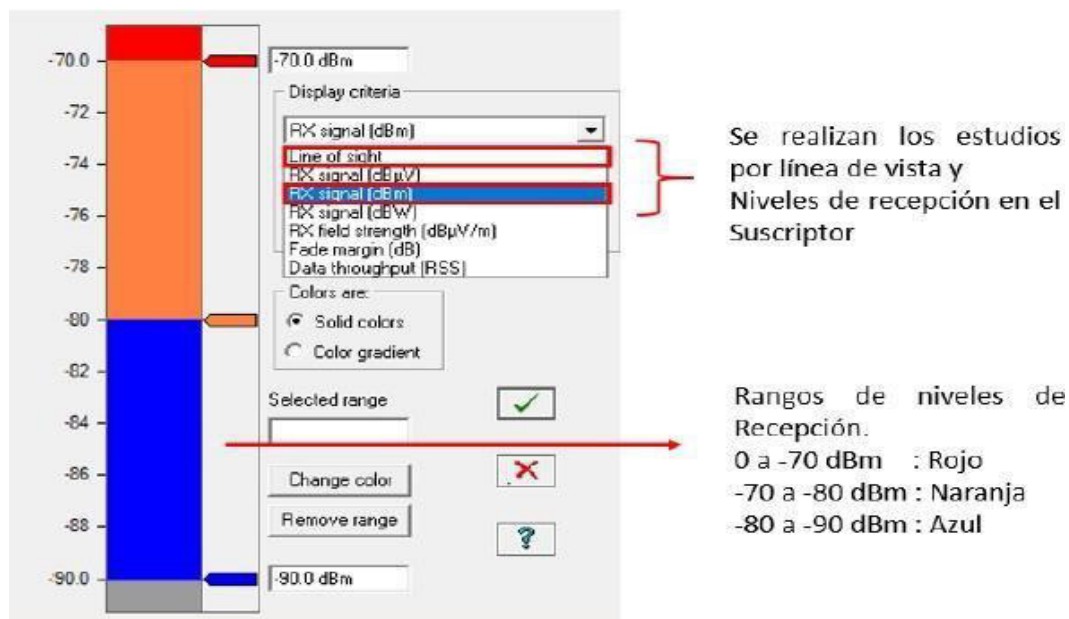


Figura 40: Niveles de potencia asociados a color en la herramienta Pathloss. Fuente: Simulador PathLoss.

A. Simulación para la Localidad de Yacango

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la herramienta Linkplanner estos serán importados a la herramienta PathLoss el cual nos permitirá simular y verificar los niveles de potencia mediante una huella de colores sobre el terreno a su vez estos patrones serán mostrados en la herramienta Google EARTH.

En la siguiente imagen podemos observar que la potencia de recepción esperada para la institución beneficiaria SM_YACANGO CS_01 según la herramienta Linkplanner es $-48\text{dBm} \pm 5\text{dB}$.

| Radio Commissioning Notes for SM SM_YACANGO_CS01 | |
|--|---|
| AP Output Power | 24.0 dBm |
| AP Antenna Gain (towards SM) | 6.5 dBi |
| Region | Other |
| Country | Other |
| Latitude | 17.09433S |
| Longitude | 070.86673W |
| Height | 9.0 m (30 ft) |
| Number of Data Channels | 1 |
| Frequency Carrier | 5735.0 MHz |
| Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Color Code | 1 |
| MIMO Rate Adapt Algorithm | Enabled |
| DL Maximum Mod Mode | x4 |
| UL Maximum Mod Mode | x8 |
| External Gain | 16.7 dBi |
| Operational Transmit Power | 16 dBm |
| Predicted Receive Power | $-48\text{ dBm} \pm 5\text{ dB while aligning}$ |

Figura 41: Potencia de recepción esperada en la institución beneficiaria SM_YACANGO_CS01. Fuente: Simulador Linkplanner.

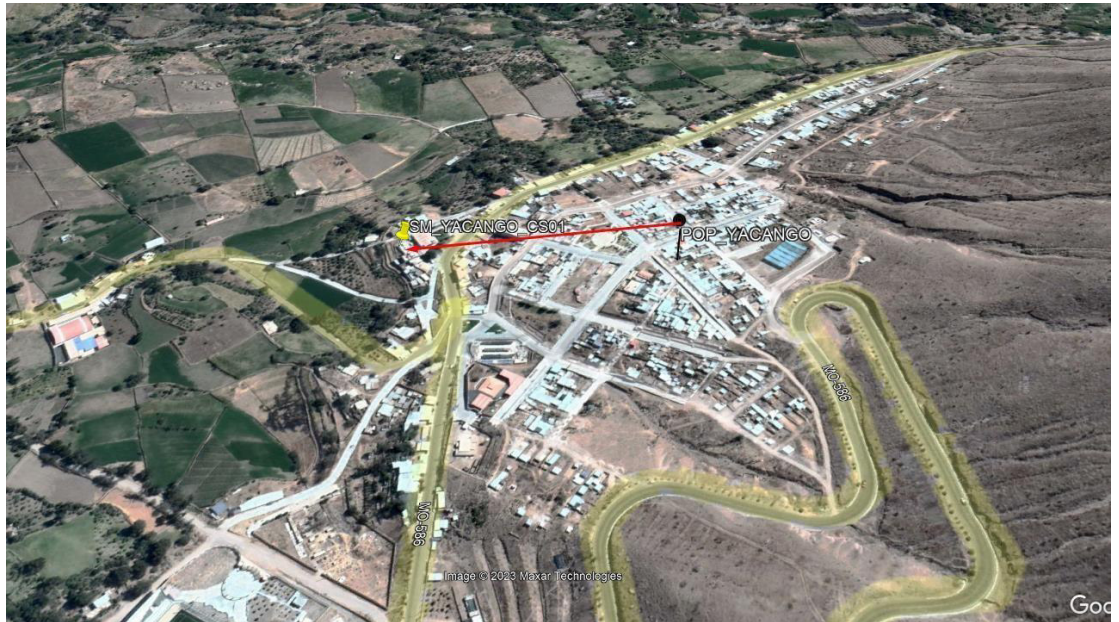


Figura 42: Ubicación del POP y el centro de salud en la localidad de Yacango. Fuente: Google Earth.

En la siguiente imagen se tiene la huella de intensidad de señal del POP_YACANGO donde podemos observar que se tiene una intensidad mayor a -70dBm lo cual según las bases requeridas para el proyecto, en el numeral 3.5.3, la intensidad de señal mínima será de $\geq -80\text{ dBm}$, adicionalmente a esto según lo calculado por la herramienta Linkplanner, la intensidad de recepción esperada es de $-49\text{dBm} \pm 5\text{dB}$ lo que confirma que el diseño para el enlace PMP entre el POP_YACANGO y la institución beneficiaria SM_YACANGO_CS01 sería la adecuada, cumpliendo con los requisitos establecidos.

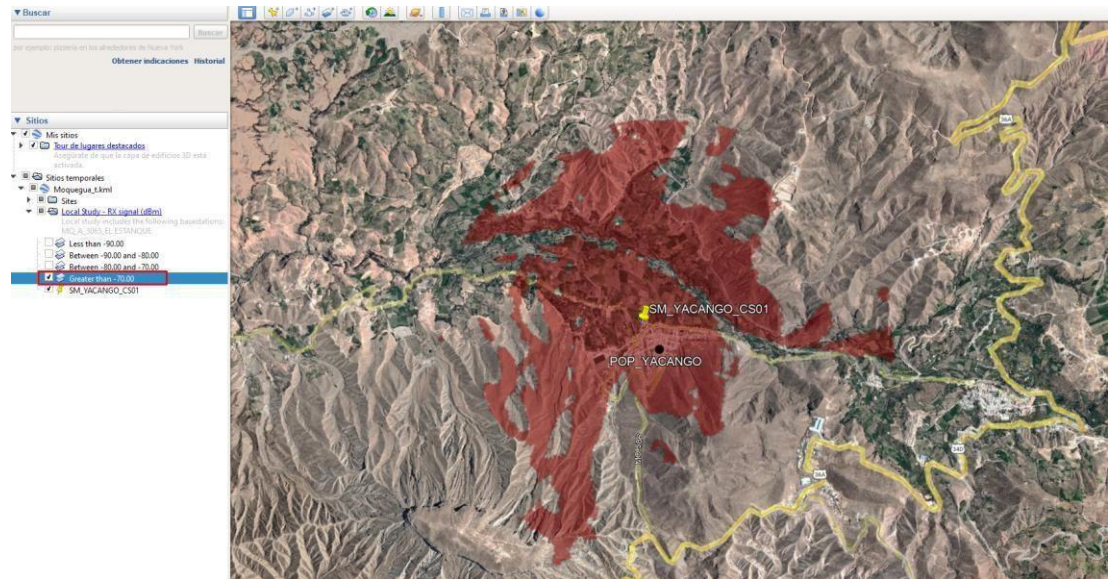


Figura 43: Huella de intensidad de señal del POP_YACANGO hacia SM_YACANGO_CS01. Fuente: Simulador PathLoss.

En conclusión, según la simulación en la herramienta Linkplanner y PathLoss se tiene que el diseño del enlace PMP para el POP_YACANGO hacia la institución beneficiaria SM_YACANGO_CS01 tiene línea de vista libre de obstáculos, así mismo cuenta con la intensidad de señal adecuada para un acceso a datos adecuado.

B. Simulación para la Localidad de Lloque

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la herramienta Linkplanner estos serán importados a la herramienta PathLoss el cual nos permitirá simular y verificar los niveles de potencia mediante una huella de colores sobre el terreno a su vez estos patrones serán mostrados en la herramienta Google EARTH.

Simulación institución beneficiaria SM_LLOQUE_CS01

En la siguiente imagen podemos observar que la potencia de recepción esperada para la institución beneficiaria SM_LLOQUE CS_01 según la

herramienta Linkplanner es $-44\text{dBm} \pm 5\text{dB}$.

| Radio Commissioning Notes for SM SM_LLOQUE_CS01 | |
|---|---|
| AP Output Power | 24.0 dBm |
| AP Antenna Gain (towards SM) | 11.1 dBi |
| Region | Other |
| Country | Other |
| Latitude | 16.32382S |
| Longitude | 070.73869W |
| Height | 9.0 m (30 ft) |
| Number of Data Channels | 1 |
| Frequency Carrier | 5735.0 MHz |
| Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Color Code | 1 |
| MIMO Rate Adapt Algorithm | Enabled |
| DL Maximum Mod Mode | x4 |
| UL Maximum Mod Mode | x8 |
| External Gain | 16.7 dBi |
| Operational Transmit Power | 12 dBm |
| Predicted Receive Power | $-44\text{ dBm} \pm 5\text{ dB while aligning}$ |

Figura 44: Potencia de recepción esperada en la institución beneficiaria SM_LLOQUE_CS01. Fuente: Simulador Linkplanner.

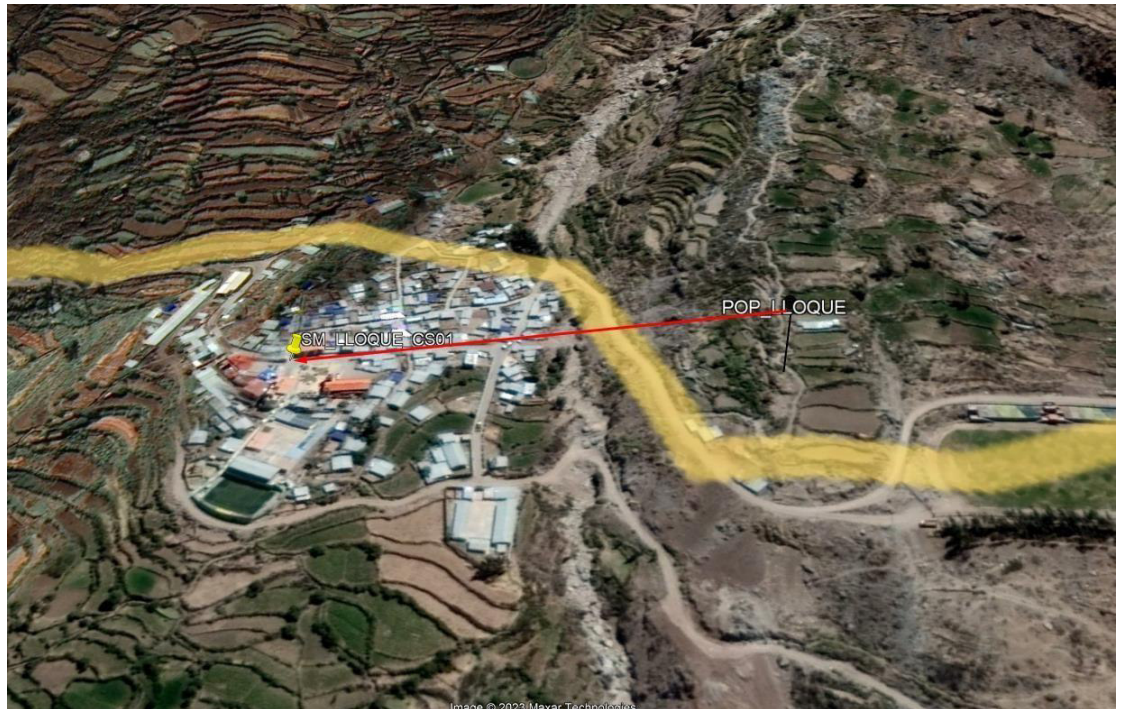


Figura 45: Ubicación del POP y el centro de salud en la localidad de Lloque.
Fuente: Google Earth.

En la siguiente imagen se tiene la huella de intensidad de señal del POP_LLOQUE donde podemos observar que se tiene una intensidad mayor a -70dBm lo cual según las bases requeridas para el proyecto, en el numeral 3.5.3, la intensidad de señal mínima será de $\geq -80\text{ dBm}$, adicionalmente a esto según lo calculado por la herramienta Linkplanner, la intensidad de recepción esperada es de $-44\text{dBm} \pm 5\text{dB}$ lo que confirma que el diseño para el enlace PMP entre el POP_LLOQUE y la institución beneficiaria SM_LLOQUE_CS01 sería la adecuada, cumpliendo con los requisitos establecidos.

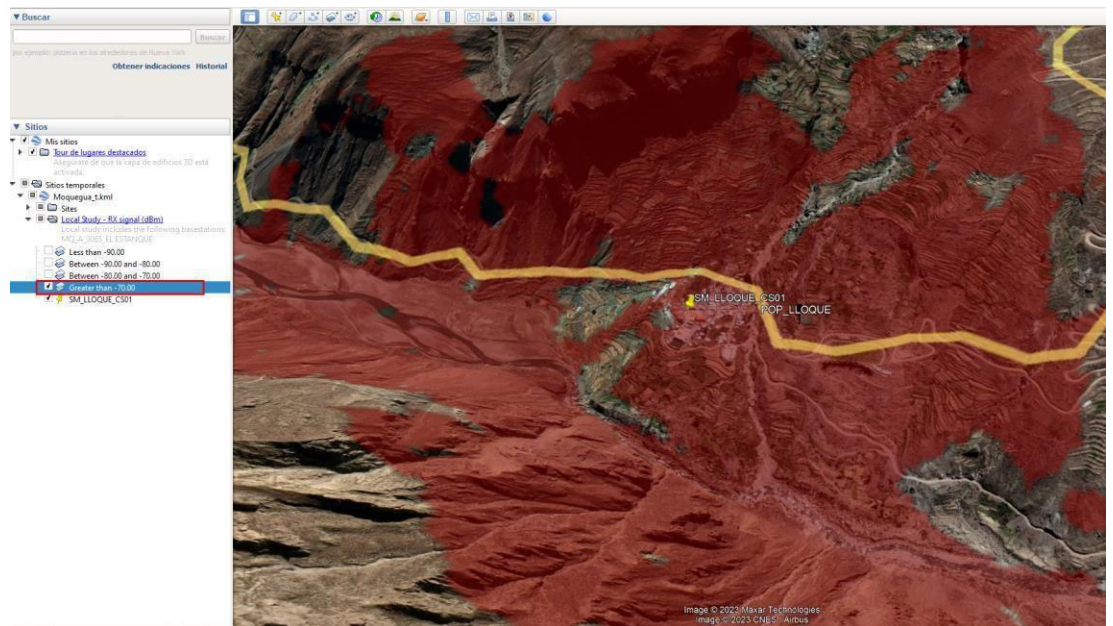


Figura 46: Huella de intensidad de señal del POP_LLOQUE hacia SM_LLOQUE_CS01. Fuente: Simulador PathLoss.

En conclusión, según la simulación en la herramienta Linkplanner y PathLoss se tiene que el diseño del enlace PMP para el POP_LLOQUE hacia la institución beneficiaria SM_LLOQUE_CS01 tiene línea de vista libre de obstáculos, así mismo cuenta con la intensidad de señal adecuada para un acceso a datos adecuado.

Simulación institución beneficiaria SM_LLOQUE_IE01

En la siguiente imagen podemos observar que la potencia de recepción esperada para la institución beneficiaria SM_LLOQUE IE_01 según la herramienta Linkplanner es $-49\text{dBm} \pm 5\text{dB}$.

| Radio Commissioning Notes for SM SM_LLOQUE_IE01 | |
|---|-----------------------------------|
| AP Output Power | 24.0 dBm |
| AP Antenna Gain (towards SM) | 6.0 dBi |
| Region | Other |
| Country | Other |
| Latitude | 16.32431S |
| Longitude | 070.73929W |
| Height | 6.0 m (20 ft) |
| Number of Data Channels | 1 |
| Frequency Carrier | 5735.0 MHz |
| Channel Bandwidth | 20 MHz |
| Color Code | 1 |
| MIMO Rate Adapt Algorithm | Enabled |
| DL Maximum Mod Mode | x4 |
| UL Maximum Mod Mode | x8 |
| External Gain | 16.7 dBi |
| Operational Transmit Power | 16 dBm |
| Predicted Receive Power | -49 dBm \pm 5 dB while aligning |

Figura 47: Potencia de recepción esperada en la institución beneficiaria SM_LLOQUE_IE01. Fuente: Simulador Linkplanner.



Figura 48: Ubicación del POP y la institución educativa en la localidad de Lloque. Fuente: Google Earth.

En la siguiente imagen se tiene la huella de intensidad de señal del POP_LLOQUE donde podemos observar que se tiene una intensidad mayor a -70dBm lo cual según las bases requeridas para el proyecto, en el numeral 3.5.3, la intensidad de señal mínima será de $\geq -80\text{ dBm}$, adicionalmente a esto según lo calculado por la herramienta Linkplanner, la intensidad de recepción esperada es de $-49\text{dBm} \pm 5\text{dB}$ lo que confirma que el diseño para el enlace PMP entre el POP_LLOQUE y la institución beneficiaria SM_LLOQUE_IE01 sería la adecuada, cumpliendo con los requisitos establecidos.

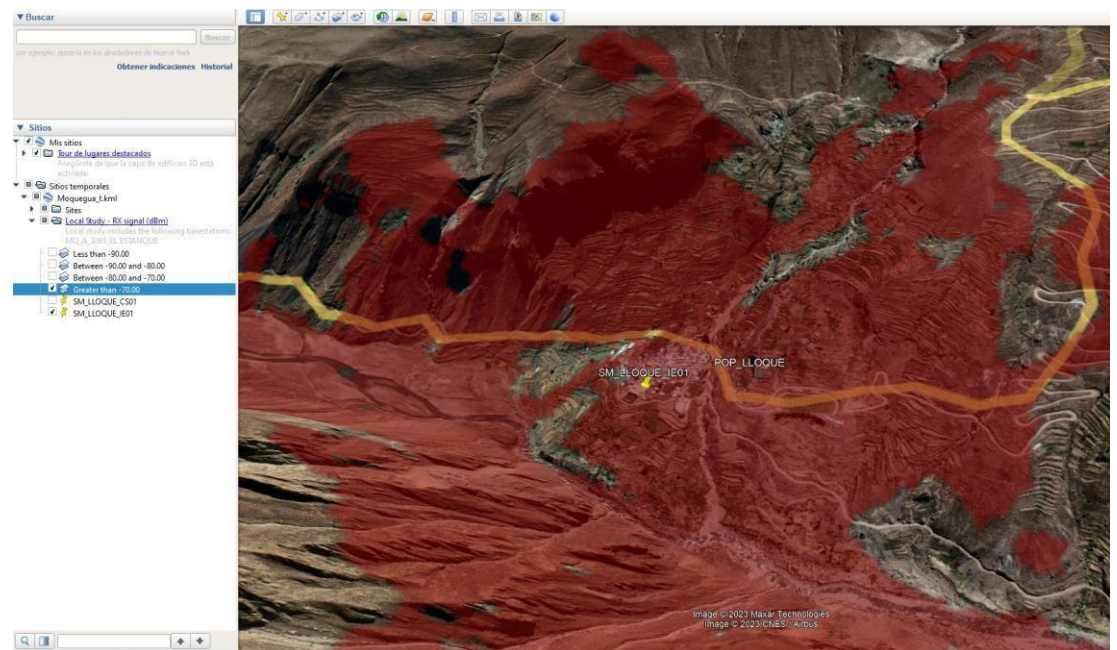


Figura 49: Huella de intensidad de señal del POP_LLOQUE hacia SM_LLOQUE_IE01. Fuente: Simulador PathLoss.

En conclusión, según la simulación en la herramienta LinkPlanner y PathLoss se tiene que el diseño del enlace PMP para el POP_LLOQUE hacia la institución beneficiaria SM_LLOQUE_IE01 tiene línea de vista sin obstáculos, así mismo cuenta con la intensidad de señal adecuada para un acceso a datos adecuado.

3.6 Resultado de la actividad

En el presente informe se ha propuesto el diseño de una red Punto Multipunto de Acceso de última milla mediante enlace microondas para beneficiar con acceso de internet de banda ancha a instituciones tales como colegios y centros de salud, así como permitir el desarrollo social y económico de las localidades.

Los criterios para el diseño de la red fueron tomados de manera general de las bases establecidas por el PRONATEL y así como las instituciones beneficiarias fueron de la misma manera por la mencionada entidad, esta información es de carácter público y se puede encontrar en la documentación del proyecto.

El diseño de la red Punto Multipunto se realizó considerando dos herramientas de simulación como lo son la herramienta LinkPlanner de la empresa Cambium Networks, esta herramienta es de uso libre y está especializada en diseños de enlaces de última milla.

Para los cálculos de huella de señal se usó la herramienta PathLoss la cual requiere de una licencia, se optó usar esta herramienta por su alta exactitud al simular el terreno y calcular los niveles de potencia que se reciben en toda el área de cobertura.

El diseño de la red Punto a Multipunto fue contrastada con las visitas en campo, para determinar que la línea de vista no cuente con interferencias y validar que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de todo obstáculo.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES

4.1 Justificación

El presente proyecto se fue propuesto como parte de una solución integral para las regiones de Tacna y Moquegua, con la intención de acortar la brecha digital presente en el país y poder facilitar la comunicación y el acceso a la información a localidades y zonas alejadas.

El proyecto provee de un acceso a internet de banda ancha, mediante enlaces de microondas, a las instituciones beneficiarias tales como colegios y centros de salud de las localidades de Yacango y Lloque en la región de Moquegua, esta tecnología permite reducir el costo del proyecto al usar las bandas libres de radiofrecuencias y usar líneas de vista en puestos estratégicos, reduciendo la pérdida de señal y garantizando un correcto flujo de datos.

Este proyecto presenta un beneficio directo para la población ya que permitirá abrir sus puertas a nuevas oportunidades de trabajo, conocimiento en información actualizada, los centros de salud así como los colegios podrán realizar consultas en sus diversos portales, colocar en la nube información valiosa sobre sus pacientes, consultar información sobre la salud y obtener la información más actual, podrán aprender nuevas técnicas de pedagogía y mejorar la llegada de la información hacia la población.

4.1.1 Evaluación económica

Este proyecto ha sido propuesto por el estado peruano como una obra de interés social por lo que no contempla un retorno de inversión de parte de las instituciones beneficiarias, por otro lado, brindaremos datos de costos incurridos por el estado en esta obra, así como costos de equipamiento de manera general, esto debido a que esta información posee un carácter de confidencialidad.

El PRONATEL destino un monto de US\$ 28,542.980.68 como monto de financiamiento para el proyecto en toda la región de Moquegua este costo incluye el Monto de Periodo de Inversión que es S/80,536,826.

Tomando en cuenta la información anterior y sabiendo que la región de Moquegua consta de 66 localidades que contienen a 107 instituciones beneficiarias (centros educativos, centros de salud y comisarias) así como 66 plazas que cuentan con servicio de Wifi.

4.2 Descripción de la implementación

Mediante el estudio de campo se pudo determinar las locaciones, coordenadas geográficas y líneas de vista desde el nodo POP hasta las instituciones beneficiarias.

Luego de determinar las locaciones, se procedió a simular los enlaces Punto a Multipunto en la herramienta Linkplanner lo cual nos arrojó parámetros del equipamiento a utilizar, como las torres, los equipos de radiofrecuencia, potencias, inclinación, azimut, dirección, cantidad de sectores por antena POP, etc.

Con los datos obtenidos en la herramienta Linkplanner se procedió a simular la cobertura de la antena POP para validar que nuestras instituciones beneficiarias se encuentran dentro del rango de potencia establecido en las bases del proyecto.

Contrastando los datos obtenidos en el estudio de campo y con las simulaciones obtenidas en la herramienta Linkplanner y Pathloss se verifica que el diseño del enlace Punto a Multipunto mediante microondas para brindar el acceso a internet de banda ancha en las localidades de Yacango y Lloque ha sido satisfactorio y cumple con lo establecido en las bases del contrato emitidos por el PRONATEL.

4.3 Conclusiones

El diseño de la Red de Acceso Punto Multi Punto se logró usando las herramientas de simulación Linkplanner y RadioMobile, las cuales permitieron diseñar y emular los enlaces mediante software, teniendo en cuenta que previamente se realizó un estudio de campo para determinar las características del terreno y entorno.

La topología de la red se pudo determinar de acuerdo a las características del terreno, así como los requerimientos de acceso para las instituciones beneficiarias.

La tecnología a usar pudo ser determinada por el estudio de campo que se realizó previamente, por lo que la tecnología microondas cubría los requerimientos establecidos para el diseño de la red.

Los parámetros técnicos fueron establecidos de manera general en el contrato, partiendo de estos, mediante el estudio de campo y la simulación derivada de las herramientas Linkplanner y Radiomobile, se pudieron establecer parámetros técnicos adecuados dentro de los requerimientos para poder brindar el servicio de manera correcta.

CAPITULO V: RECOMENDACIONES

Se debe considerar que las torres se encuentren correctamente ancladas a la base y con las uniones correctamente ajustadas para evitar eventualidades.

Las antenas al trabajar a la intemperie deben cumplir con requisitos mínimos respecto a los factores ambientales que pueden influir sobre su correcto funcionamiento.

La capacidad a utilizar debe ser mayor a la necesaria lo cual nos permite la escalabilidad en la red, con el fin de poder cubrir una mayor demanda de tráfico de ser requerido.

Se deben brindar charlas de información y concientización sobre los beneficios del proyecto y la responsabilidad de la población con el mismo.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA

Calculation of free-space attenuation. (2016).

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-S!!PDF-E.pdf

Cambium Networks. (2022). *PMP 450i Fixed Wireless Access Point*.

https://brandcentral.cambiumnetworks.com/m/3c0fbdc807de544e/original/Cambium_Networks_data_sheet_PMP_450i_AP.pdf

Cambium Networks. (2021). *5 GHz 450b Subscriber and Backhaul*.

https://brandcentral.cambiumnetworks.com/m/7187480fe1f9265b/original/Cambium_Networks_data_sheet_5GHz_450b.pdf

Cambium Networks. (2020). *Linkplanner Easy and Accurate Link Planning Tool*, CAMBIUM NETWORKS.

https://www.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2020/05/Cambium_Networks_data_sheet_LINKPlanner.pdf

Cobarrubias, N. (s.f). *¿Que es la zona de Fresnel?*, SYSCOM.

<https://www.syscom.mx/soporte/>

Espinoza, R. (2020). *Documento VIC: Estado del espectro radioeléctrico en el Perú, acciones de la gestión de espectro en el año 2020 y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías,* OSIPTEL.

<https://serviciosweb.osiptel.gob.pe/VIC/assets/pdf/2021/Compe>

[tencia/Producto_12/3_POI_Documento_VIC_espectro_2020.pdf](#)

Jung, T., Matsson, M., and Bridges, J. (2008). *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks*.
https://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_019.pdf

Martínez, J.L. (2018). *¿Qué es un radioenlace?*
<https://www.prored.es/que-es-un-radioenlace/>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *PLAN NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS*.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/469789/pnaf_act_feb08.pdf?v=1577473554

Mundo Telecomunicaciones. (2014). *Zona de Fresnel*.
<https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>

PRONATEL. (2017). *ANEXO N°8 DEL CONTRATO DE FINANCIAMIENTO CIRCUALRES, PRONATEL*.
https://www.pronatel.gob.pe/sproyectos/proy_regional_moquegua.html

Tarango, V. (s/f). *Rutas de líneas de vista en un Radio Enlace*.
<https://soporte.syscom.mx/es/articles/3616425-rutas-de-lineas-de-vista-en-un-radio-enlace>

CAPITULO VII: ANEXOS

Anexo A: Antena seleccionada para instalar en el nodo POP.



DATA SHEET

PMP 450i Fixed Wireless Access Point

QUICK LOOK:

Cambium Networks industry-leading 450 platform includes the all new PMP 450i and PTP 450i radios. The 450i product platform is the most scalable industrial-grade wireless broadband solution available.

- **Ultra-wide band radios:**
5 GHz or 3 GHz
- **Rugged metal enclosure**
- **2x2 OFDM MIMO radio capable of up to 300 Mbps per sector**



Ultra-wide band radios

Supports the entire band, whether in 5 GHz or 3 GHz. Advanced radio design improves transmit power and increases receive sensitivity.

Rugged metal enclosure

Designed to meet IP-66 and IP-67 standards to withstand harsh environments. Optional ATEX/HAZLOC certified models available for hazardous deployments.

Dynamic Interference Filtering

Provides industry-leading noise isolation for improved performance.

Updated FPGA and SoC architecture

Triplies the processing power compared to PMP 450.

Multifunction AUX Port

Allows for greater flexibility for deployment by adding a camera or other PoE directly.

Options for Integrated 90°/120° sector antenna

optimized for frequency re-use (>35 dB F/B), high gain, null fill and predictable performance, or Integrated 10° sector antenna for highly directional sectors.

Increase Throughput

Now capable of up to 300 Mbps per sector in a 40 MHz channel.

PMP 450i Fixed Wireless Access Point

| Product | | RoW | US | ISED | EU | No Encryption |
|----------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 5 GHz Model Numbers | Connectorized | C050045A001B | C050045A002B | C050045A015B | C050045A003B | C050045A004B |
| | Connectorized - Lite* | C050045AL01B | C050045AL02B | C050045AL15B | C050045AL03B | C050045AL04B |
| | Integrated 90° sector | C050045A046B | C050045A047B | C050045A048B | C050045A049B | C050045A050B |
| | Integrated 90° sector | C050045A005C | C050045A006C | C050045A016C | C050045A007C | C050045A008C |
| | Integrated 90° sector - Lite* | C050045AL05C | C050045AL06C | C050045AL16C | C050045AL07C | C050045AL08C |
| 3 GHz Model Numbers | Connectorized | C030045A001A | C030045A001A | C030045A001A | C030045A001A | C030045A003A |
| | Connectorized - Lite* | C030045AL01A | C030045AL01A | C030045AL01A | C030045AL01A | C030045AL03A |
| | Integrated 90° sector | C030045A002A | C030045A002A | C030045A002A | C030045A002A | C030045A004A |
| | Integrated 90° sector - Lite* | C030045AL02A | C030045AL02A | C030045AL02A | C030045AL02A | C030045AL04A |

*Lite models limited to 20 Subscribers

Spectrum

| | | |
|------------------------|--|---|
| Channel Spacing | Configurable on 2.5 MHz increments, 3 GHz customizable to 50 KHz | |
| Frequency Range | 3 GHz: 3300–3900 MHz | 5 GHz: 4900–5925 MHz |
| Channel Width | 5 MHz, 7 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 30 MHz or 40 MHz | 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 30 MHz or 40 MHz |



PMP 450i Fixed Wireless Access Point

Specifications

| Interface | |
|---|---|
| MAC (Media Access Control) Layer | Cambium Networks proprietary |
| Physical Layer | 2x2 MIMO OFDM |
| Ethernet Interface | 100/1000BaseT, full duplex, rate auto negotiated (802.3 compliant) |
| Protocols Used | IPv4, IPv6, UDP, TCP/IP, ICMP, Telnet, SNMP, HTTP, FTP |
| Network Management | IPv4/IPv6 (dual stack), HTTP, HTTPS, Telnet, FTP, SNMPv2c and v3, Cambium Networks cnMaestro™ |
| MTU | 1700 bytes |
| VLAN | 802.1ad (DVLAN Q-inQ), 802.1Q with 802.1p priority, dynamic port VID |

| Performance | |
|-------------------------------------|---|
| Subscriber Per Sector | Up to 238 - *Lite models limited to 20 Subscribers, License Key (C000045K010A) available to remove this limit |
| ARQ | Yes |
| Modulation Levels (Adaptive) | MCS Signal to Noise Required (SNR, in dB) |
| 2x | QPSK 10 |
| 4x | 16QAM 17 |
| 6x | 64QAM 24 |
| 8x | 256QAM 32 |
| Maximum Deployment Range | Up to 40 miles (64 km) |
| Latency | 3 - 5 ms, typical |
| GPS Synchronization | Yes, via Autosync (CMM5 or UGPS) |
| Quality of Service | Diffserv QoS |

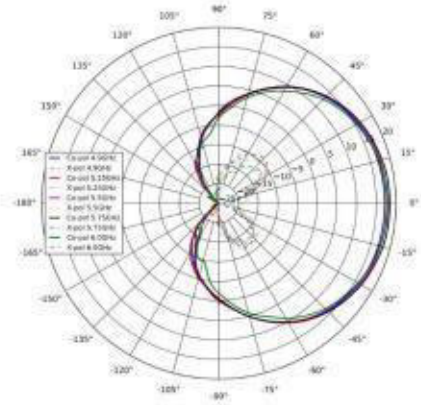
| Link Budget | |
|----------------------------------|---|
| Integrated Sector Antenna | 90° Azimuth (3dB rolloff), 120° Azimuth (6dB rolloff) 8° Elevation (3dB rolloff), 2° Electrical Downtilt, Dual polarity, or 10° Azimuth, 10° Elevation (3dB rolloff), Dual polarity |
| Antenna Gain | 17 dBi ± 1 dBi integrated 90/120° sector, 23 dBi ± 1 dBi integrated 10° sector |
| Maximum Transmit Power | +28 dBm (MIMO, Combined H+V) (+25 dBm for 3 GHz) (may be limited by regulations) |
| Maximum EIRP | +43 dBm combined output (may be limited by regulations) |
| VSWR | 1.5, Reflection Coefficient 0.2, Reflected Power 4%, Return Loss 14 dB |
| Power Control | ATPC (Automatic Transmit Power Control) at system level, all Subscribers implement ATPC |

PMP 450i Fixed Wireless Access Point

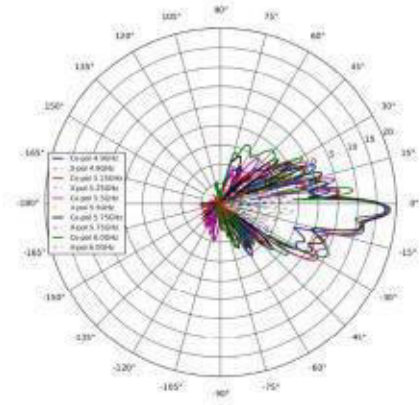
| Physical | | | |
|---|----------------|--|---|
| | | 3 GHz | 5 GHz |
| Antenna Connection | | 50 ohm, N-Type (Connectorized version only) | |
| Surge Suppression (LPU fitted) | | EN61000-4-5: 1.2us/50us, 500V voltage waveform Recommended external surge suppressor: Cambium Networks Model # C000000L033A | |
| Mean Time Between Failure | | >40 Years | |
| Dust and Water Ingress Protection Rating | | IP67, IP66 | |
| Temperature / Humidity | | -40°C to +75°C (-40°F to +167°F), 0-100% condensing | |
| Weight | Connectorized | Approx. 2.0 kg (4.5 lbs) | Approx. 2.0 kg (4.5 lbs) |
| | Integrated | Approx. 7 kg (15.5 lbs) | Approx. 6.3 kg (14 lbs) |
| Wind Survival | | 322 km/h (200 mi/h) | |
| Vibration | | NEMA TS2 Section 2.1.9 and Section 2.2.3 | |
| Shock | | NEMA TS2 Section 2.1.10 and Section 2.2.4 | |
| External Icing | | NEMA 250-2003 Section 5.6 | |
| Dimensions (H x W x D) | Connectorized | 26.0 x 13.4 x 6.4 cm (10.3" x 5.3" x 3.3") | 26.0 x 13.4 x 6.4 cm (10.3" x 5.3" x 3.3") |
| | 90° Integrated | 73.2 x 19.7 x 15 cm (28.8" x 7.8" x 5.9") | 59.1 x 23.3 x 15.8 cm (23.3" x 6.2" x 5.8") |
| | 10° Integrated | — | 31.0 x 31.0 x 6.4 cm (12" x 12" x 2.5") |
| Power Consumption | | 15W typical, 18W max, Using Aux port PoE for another device will increase power draw | |
| Input Voltage | | 48-59V DC, 802.3at compatible | |
| Security | | | |
| Encryption | | FIPS-197 128-bit AES, 256-bit AES (Requires Optional License) | |
| Certifications | | | |
| | | 3 GHz | 5 GHz |
| ISED Canada | | 109W-0028 | 109AO-50450I |
| FCC ID | | Z8H89FT0028 | QWP-50450I |
| CE | | EN 302 326-2 v1.2.2 | EN 301 893 v2.1.1 |
| | | | EN 302 502 v2.1.1 |

PMP 450i Fixed Wireless Access Point

5 GHz Antenna Pattern for 90°/120° Integrated Sector

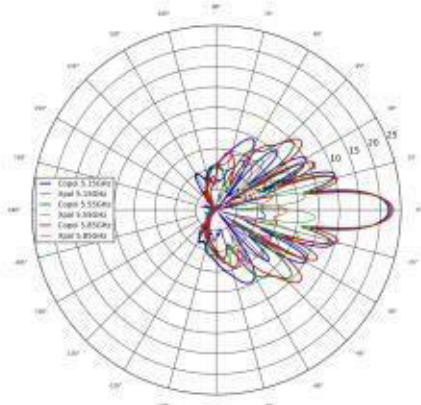


5 GHz Azimuth

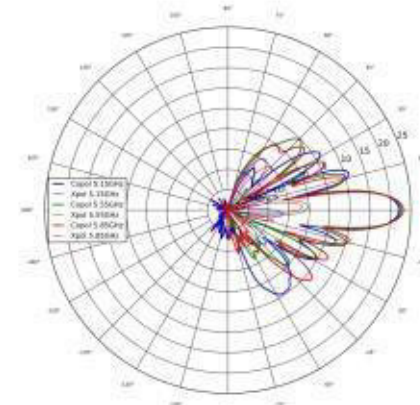


5 GHz Elevation

5 GHz Antenna Pattern for 10° Integrated Sector



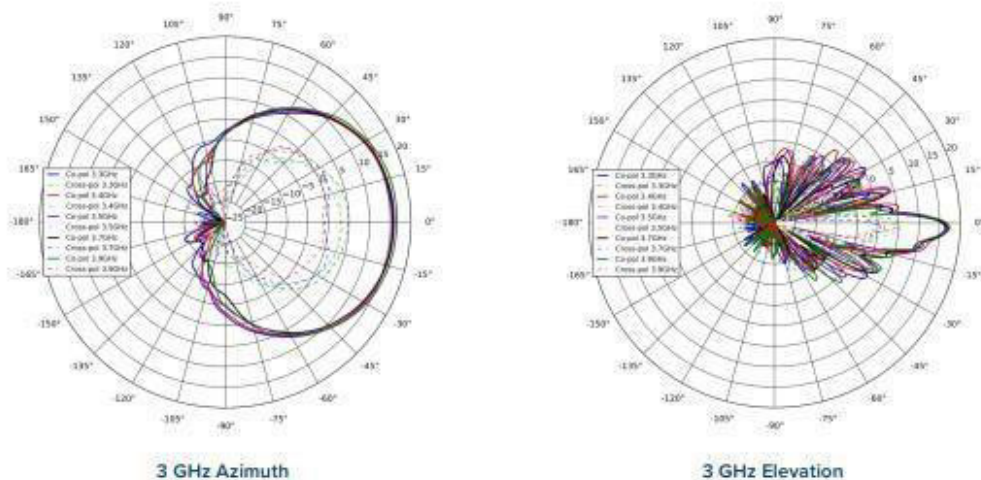
5 GHz Azimuth



5 GHz Elevation

PMP 450i Fixed Wireless Access Point

3 GHz Antenna Pattern for 90°/120° Integrated Sector



About Cambium Networks

Cambium Networks empowers millions of people with wireless connectivity worldwide. Its wireless portfolio is used by commercial and government network operators as well as broadband service providers to connect people, places and things. With a single network architecture spanning fixed wireless and Wi-Fi, Cambium Networks enables operators to achieve maximum performance with minimal spectrum. End-to-end cloud management transforms networks into dynamic environments that evolve to meet changing needs with minimal physical human intervention. Cambium Networks empowers a growing ecosystem of partners who design and deliver gigabit wireless solutions that just work.

5 GHz 450b

Subscriber and Backhaul

QUICK LOOK:

Cambium Networks 450 platform increases performance with the addition of the 5 GHz 450b Subscriber and Backhaul Module.

- **Ultra-wide band radios:**
4.9 GHz to 5.9 GHz
- **Capable of up to 300 Mbps aggregate in a 40 MHz channel**
- **Can function as a Point-to-Point (PTP) link or as a Subscriber Module (SM)**



KEY FEATURES

- Gigabit Ethernet Interface provides the maximum transfer rates to the device
- Available in Mid-Gain (17 dBi), High-Gain (24 dBi) and Connectorized versions
- 3.5 mm audio jack allows direct connection of headphones for alignment without any adapters
- New System on a Chip (SoC) enhances Packet Processing Power more than 4x that of the 450 SM
- "No Encryption" models only required for countries with export control license requirements



5 GHz 450b Subscriber and Backhaul

| Model Numbers | | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | Global* | ROW | FCC | ISED | EU | No Encryption |
| Conectorized | — | C050045B041A | C050045B042A | C050045B043A | C050045B044A | C050045B045A |
| Mid-Gain (17 dBi) | C050045C011A | C050045B031A | C050045B032A | C050045B033A | C050045B034A | C050045B035A |
| High Gain (Radio Only) | C050045C012A | C050045B021A | C050045B022A | C050045B023A | C050045B024A | C050045B025A |
| 4-Pack High Gain Assembly | N050045D002A | N050045D002A | N050045D002A | N050045D002A | N050045D002A | N050045D002A |

*Global models are restricted to SM-only operation, and cannot function as PTP or Backhaul

Specifications

| Spectrum | |
|-----------------|---|
| Channel Spacing | Configurable on 2.5 MHz increments |
| Frequency Range | 4900 - 5925 MHz |
| Channel Width | 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 30 MHz or 40 MHz |

| Interface | |
|----------------------------------|---|
| MAC (Media Access Control) Layer | Cambium Networks proprietary |
| Physical Layer | 2x2 MIMO OFDM |
| Ethernet Interface | 100/1000 BaseT, full duplex, rate auto negotiated, 802.3 compliant |
| Protocols Used | IPv4, IPv6, UDP, TCP/IP, ICMP, Telnet, SNMP, HTTP, FTP |
| Network Management | IPv4/IPv6 (dual stack), HTTP, HTTPS, Telnet, FTP, SNMPv2c and v3, Cambium Networks cnMaestro™ |
| MTU | 1700 bytes |
| VLAN | 802.1ad (DVLAN Q-inQ), 802.1Q with 802.1p priority, dynamic port VID |

| Security | |
|------------|--|
| Encryption | FIPS-197 128-bit AES, 256-bit AES (Requires Optional License for attached Access Point) |

5 GHz 450b Subscriber and Backhaul

| Performance | | | |
|---|--|--|---|
| PPS | 50,000 | | |
| ARQ | Yes | | |
| Modulation Levels (Adaptive) | MCS | Signal to Noise Required (SNR, in dB) | |
| 2x | QPSK | 10 | |
| 4x | 16QAM | 17 | |
| 6x | 64QAM | 24 | |
| 8x | 256QAM | 32 | |
| Ultimate Sensitivity | -94 dBm | | |
| Maximum Deployment Range | Up to 64 km (40 miles) in PMP mode, up to 200 km (124 miles) in PTP mode | | |
| Latency | 3 - 5 ms, typical | | |
| GPS Synchronization | Yes, synchronized by Access Point or via 3.5mm port using cnPulse (for PTP mode) | | |
| Quality of Service | Diffserve QoS | | |
| Antenna | | | |
| | Mid-Gain (17 dBi) | High-Gain (24 dBi) | |
| Integrated Antenna Peak Gain | 17 dBi | 24 dBi | |
| 3 dB Beamwidth - Azimuth | 15° | 7° | |
| 3 dB Beamwidth - Elevation | 30° | 7° | |
| Polarization | Dual linear, H + V | Dual linear, H + V | |
| Front-To-Back Isolation | > 20 dB | > 25 dB | |
| Cross Polarization | 15 dB | 15 dB | |
| Physical | | | |
| | Connectorized | Mid-Gain (17 dBi) | High-Gain (24 dBi) |
| Antenna Accessories | n/a | n/a | Optional Radome: N000900L021A |
| Surge Suppression | EN 61000-4-5: 10x700 μs, 4 kV, EN 61000-4-2: ESD 30 kV contact / 30 kV air | | |
| Mean Time Between Failure | > 40 Years | > 40 Years | > 40 Years |
| Environmental | IP67 | IP55 | IP55, Optional glands to enhance to IP67 (Part number N000000L135A) |
| Wind Survival | 200 kph (124 mph) | 200 kph (124 mph) | 200 kph (124 mph) |
| Temperature / Humidity | -40°C to 60°C (-40°F to 140°F), 0-100% non-condensing | | |
| Weight | 0.9 kg (2 lbs.) including mounting bracket | 0.6 kg (1.4 lb) including mounting bracket | 3.1 kg (7 lb) including mounting bracket |
| Dimensions (HxWxD) | 24 x 4 x 9 cm (9.5 x 1.5 x 3.5 in) | 12.5 x 24.8 x 12 cm (4.9 x 9.8 x 4.7 in) | Diameter 45 cm x 28 cm (17.8 in x 11.2 in) |
| Pole Diameter Range (w/ included mount) | 2.5 cm to 7.6 cm (1 in to 3 in) | 2.5 cm to 7.6 cm (1 in to 3 in) ± 20 degrees mechanical tilt | 2.5 cm to 7.6 cm (1 in to 3 in) ± 20 degrees mechanical tilt |
| Power Consumption | 9 W typical, 12 W peak | 9 W typical, 12 W peak | 9 W typical, 12 W peak |
| Input Voltage | 20-32 VDC | 20-32 VDC | 20-32 VDC |

5 GHz 450b Subscriber and Backhaul

| Link Budget | |
|-------------------------------|---|
| Transmit Power Range | 54 dB dynamic range (to EIRP limit by region) (1 dB step) |
| Maximum Transmit Power | +27 dBm (MIMO, combined V+H) |
| Power Control | ATPC (Automatic Transmit Power Control) at system level, all Subscribers implement ATPC |

| Certifications | | | |
|--------------------|--|--|--|
| | Connectorized | Mid-Gain (17 dBi) | High-Gain (24 dBi) |
| ISED Canada | 109W-0032 | 109W-0032 | 109W-0042 |
| FCC ID | ZBH89FT0032 | ZBH89FT0032 | ZBH89FT0042 |
| ETSI | EN 301 893 v2.1.1 EN 302 502 v2.1.1 | EN 301 893 v2.1.1 EN 302 502 v2.1.1 | EN 301 893 v2.1.1 EN 302 502 v2.1.1 |



Connectorized



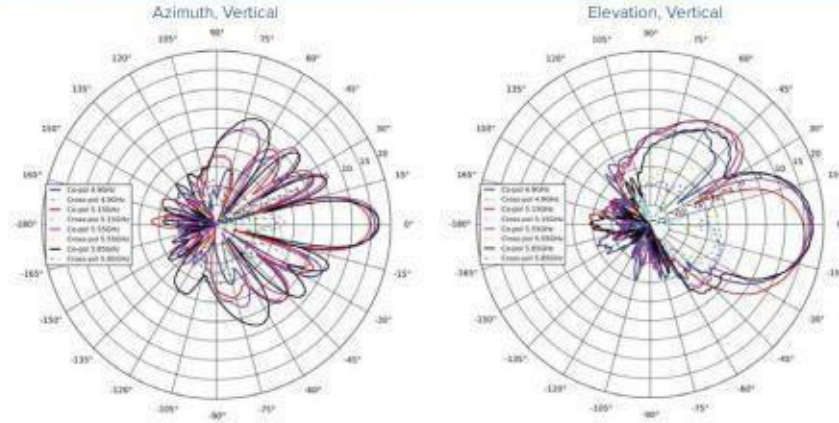
Mid-Gain 17 dBi



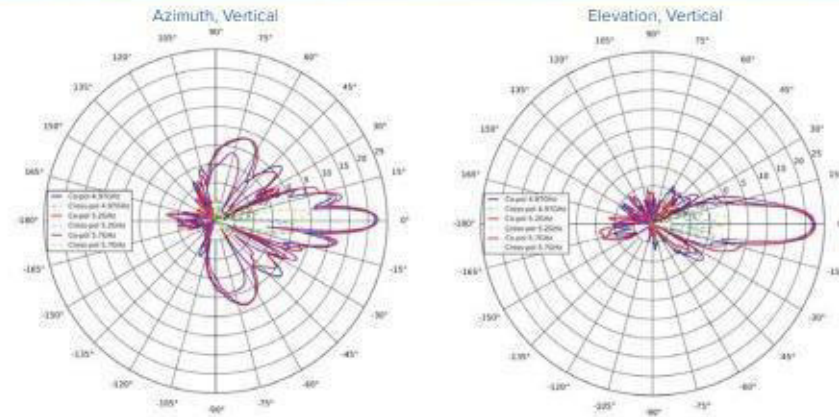
High-Gain 24 dBi

5 GHz 450b Subscriber and Backhaul

5 GHz 450b Mid-Gain Antenna Patterns



5 GHz 450b High-Gain Antenna Patterns



ABOUT CAMBIUM NETWORKS

Cambium Networks empowers millions of people with wireless connectivity worldwide. Its wireless portfolio is used by commercial and government network operators as well as broadband service providers to connect people, places and things. With a single network architecture spanning fixed wireless and Wi-Fi, Cambium Networks enables operators to achieve maximum performance with minimal spectrum. End-to-end cloud management transforms networks into dynamic environments that evolve to meet changing needs with minimal physical human intervention. Cambium Networks empowers a growing ecosystem of partners who design and deliver gigabit wireless solutions that just work.