



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico con
Mención en Telecomunicaciones**

Red de telepsiquiatría para interconectar centros de salud
mental comunitario mediante enlaces microondas en la Región
Cajamarca

PRESENTADO POR

Cuba Alarcon, Edgardo

ASESOR

Rupaylla Arestegui, Jaime Andres

Los Olivos, 2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres por su constante apoyo a lo largo de mi vida y en especial a mi esposa Nadesha, con quien vengo compartiendo estos últimos siete años de mi vida y, que gracias a su apoyo me permitió terminar la carrera satisfactoriamente.

AGRADECIMIENTO

Agradecer especialmente al ingeniero Jaime Rupaylla Arestegui por su constante guía en la realización de la presente tesis, así como también, agradecer a mis compañeros de trabajo del Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins por su dedicado apoyo a lo largo de estos años, en especial al licenciado Pedro Remotti Osso.

Resumen

Más de un tercio de las discapacidades que se presentan en la región de las Américas tienen su origen en los problemas de salud mental. Para Perú en 2018, el 20.7% de la población mayor de 12 años tenía algún tipo de trastorno mental siendo las más frecuentes: esquizofrenia, trastornos bipolares, episodio depresivo, trastorno de ansiedad, autoagresión y suicidio; mostrando este último, mayor tendencia producto de la pandemia por COVID-19.

En la región Cajamarca existe una brecha de acceso a los servicios de salud mental, reportándose una morbilidad mental sentida del 91.4% y de acuerdo al registro de personal del Ministerio de Salud del Perú en 2017, existe un médico psiquiatra y cinco psicólogos especializados para atender a una población de 1'341,012 habitantes.

Los Centros de Salud Mental Comunitario son centros especializados en el diagnóstico, tratamiento, seguimiento y control de pacientes con problemas de salud mental. Para la región Cajamarca en el año 2020, existían cinco centros ubicados en las provincias de Morro Solar, Cutervo, Chota, Tulpuna y Cajabamba.

Este proyecto plantea el diseño de una red de telepsiquiatría que conecte los cinco Centros de Salud Mental Comunitario con el Hospital Regional Docente de Cajamarca utilizando enlaces en la banda de microondas, utilizando para ello, transceptores que trabajen en dicha banda y soportados en estaciones terminales y estaciones repetidoras.

Se espera que esta tesis brinde una alternativa de solución para reducir la brecha de acceso a los servicios de salud mental especializado en la región Cajamarca, brindando mayores oportunidades a su población de una salud digna y dentro del enfoque de inclusión social.

Palabras clave: telepsiquiatría, salud mental, enlaces microondas, transceptores, antenas, Radio Mobile.

Summary

More than one third of the disabilities that occur in the region of the Americas have their origin in mental health problems. For Peru in 2018, 20.7% of the population over 12 years of age had some type of mental disorder being the most frequent: schizophrenia, bipolar disorders, depressive episode, anxiety disorder, self-harm and suicide; showing the latter, greater tendency product of the pandemic by COVID-19.

In the Cajamarca region there is a gap in access to mental health services, reporting a felt mental morbidity of 91.4% and according to the personnel registry of the Peruvian Ministry of Health in 2017, there is one psychiatrist doctor and five specialized psychologists to serve a population of 1'341,012 inhabitants.

Community Mental Health Centers are centers specialized in the diagnosis, treatment, follow-up and control of patients with mental health problems. For the Cajamarca region in 2020, there were five centers located in the provinces of Morro Solar, Cutervo, Chota, Tulpuna and Cajabamba.

This project proposes the design of a telepsychiatry network that connects the five Community Mental Health Centers with the Regional Teaching Hospital of Cajamarca using microwave band links, using transceivers that work in this band and supported by terminal stations and repeater stations.

It is expected that this thesis provides an alternative solution to reduce the gap in access to specialized mental health services in the Cajamarca region, providing greater opportunities to its population for a decent health and within the approach of social inclusion.

Key words: telepsychiatry, mental health, microwave links, transceivers, antennas, Radio Mobile.

Contenido

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Resumen	iv
Lista de figuras	x
Listas de tablas	xi
Introducción	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1.1. Planteamiento y descripción del problema	4
1.1.2. Formulación del problema general.....	6
1.1.3. Formulación de los problemas específicos.....	6
1.2. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	7
1.3.1. Justificación económica	7
1.3.2. Justificación social	8
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	8
1.4.1. Alcances	8
1.4.2. Limitaciones	9
CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES	11
2.1.1. Internacionales.....	11
2.1.2. Nacionales	12
2.2. MARCO TEÓRICO	14
MARCO TEÓRICO EN SALUD	14
2.2.1. Salud mental.....	14
2.2.2. Problemas de salud mental.....	15
2.2.3. Discapacidad debida a trastornos específicos	15
2.2.4. Telemedicina	16
2.2.5. Política sobre salud mental y plan de salud mental.....	16
MARCO TEÓRICO EN TELECOMUNICACIONES	17

2.2.6. Consideraciones sobre la propagación de las ondas en el espacio.	17
A. Fenómenos de las ondas electromagnéticas	18
2.2.7. Radioenlace	19
2.2.8. Línea de vista (Line Of Sight) - LOS	20
2.2.9. Factor de corrección	20
2.2.10. Zona de Fresnel	20
2.2.11. Onda reflejada	21
2.2.12. Perdidas	22
A. Perdida por espacio libre	22
B. Perdida por hidrometeoros	22
C. Perdida por gases atmosféricos	22
D. Perdida por lluvias	23
2.2.13. Transceptor o radio	23
2.2.14. Desvanecimiento	24
2.2.16. Antenas	24
2.2.17. Ganancia	26
2.2.18. Ancho de banda	26
2.2.19. Polarización de la antena	26
2.2.20. Guía de onda	26
2.2.21. Bit Error Rate	26
2.2.22. Disponibilidad	27
2.2.23. Modulación PSK de ocho fases	27
2.2.24. Software de diseño y simulación	27
A. Google Earth Pro	27
B. Radio Mobile	27
C. RadioSim	28
D. Xirio-Online	28
2.2.25. Normativa sobre radioenlace en el Perú y a nivel mundial.	28
2.3. MARCO METODOLÓGICO	29
2.3.1 Tipo de investigación	29
2.3.2. Metodología de la investigación	29
2.4. MARCO LEGAL	30
2.4.1. Constitución Política del Perú	30
2.4.2. Leyes, normas, resoluciones, derechos	30

2.5. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	31
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA APLICACION.....	33
3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROBLEMAS DE SALUD MENTAL EN LA REGIÓN CAJAMARCA	34
3.1.1. Situación de los problemas de salud mental en la región Cajamarca.....	34
3.1.2. Centros de salud y profesionales de salud especializados en salud mental. 37	
3.1.3. Describir el acceso a los servicios de salud mental y cobertura en el Departamento de Cajamarca.....	40
3.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL ENLACE MICROONDAS	43
3.2.1. Ancho de banda del enlace	43
3.2.2. Bit Error Rate (BER).....	46
3.2.3. Disponibilidad del enlace	47
3.2.4. Frecuencia	48
3.3. DISEÑO DEL ESQUEMA DE RED DE LOS ENLACES MICROONDAS 50	
3.3.1. Línea de vista entre las estaciones	50
3.4.5. Desvanecimiento y confiabilidad.....	82
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO	89
4.1. ANÁLISIS DE COSTOS	90
4.2. RENTABILIDAD SOCIAL	93
REFERENCIAS	99
GLOSARIO	103
ANEXOS.....	104
ANEXO A: DIAGRAMA DE GANTT.....	105
ANEXO B: Matriz de consistencia	106
ANEXO C: Texto único de procedimientos administrativos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (TUPA – MTC).....	107
ANEXO D: Guía básica de información al usuario	108
ANEXO D: Diagrama de los 11 perfiles de todas las estaciones terminales repetidoras. y	109
ANEXO E: Mapa mundial de rebasamiento de la atenuación de lluvia anual de 0.01%.....	120
ANEXO F: Diagramas de los 11 perfiles donde se analiza las ondas reflejadas	121

ANEXO G: Datasheet del transceptor PTP 820C HP	126
ANEXO H: Datasheet de las antenas HX6-7W y HX 12-7W-6GF.....	127
ANEXO I: Datasheet de la guía de onda	128
ANEXO J: Hoja resumen de varios cálculos realizados para esta red de telepsiquiatría.....	129
Continuación del ANEXO J	130
Continuación de ANEXO J	131
ANEXO K: Simulación de los perfiles de las estaciones terminales y repetidoras.....	132

Lista de figuras

Figura 1: Zona de Fresnel y valores de K.....	21
Figura 2: Patrón de radiación de una antena direccional en 3D y plano vertical	25
Figura 3. Diagrama de la red de telepsiquiatría.....	32
Figura 4. Población de Cajamarca que cuenta con algún tipo de seguro..	36
Figura 5. Prevalencia anual del episodio depresivo en Costa, Sierra, Selva y Trapecio Andino.....	37
Figura 6. Centros de Salud Mental Comunitario del Perú	38
Figura 7. Número de psicólogos por 100 000 habitantes en establecimientos de salud del MINSA, 2016.....	40
Figura 8. Establecimientos de salud del primer nivel de atención a nivel nacional	41
Figura 9. Centralización del personal especializado en salud mental	42
Figura 10. Enlaces microondas de la red de telepsiquiatría	51
Figura 11. Diagrama de la Red de Telepsiquiatría	54
Figura 12. Altura y distancia entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa.....	56
Figura 13. Altura y distancia entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa considerando la altura de sus respectivas antenas.	59
Figura 14. Margen de claridad de los 11 perfiles que componen la red de telepsiquiatría	60
Figura 15. Continuación del margen de claridad de los 11 perfiles que componen la red de telepsiquiatría.	60
Figura 16. Diagrama de torres de la Red de telepsiquiatría	63
Figura 17. Pérdida por lluvia al 99.95%.....	67
Figura 18. Continuación de las pérdidas por lluvia al 99.95%.....	67
Figura 19. Resultados de los cálculos por pérdida por gases	69
Figura 20. Continuación de resultados de los cálculos por pérdida por gases	70
Figura 21. Onda reflejada entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa	71
Figura 22. Relación BER vs C/N(dB).....	80
Figura 23. Parámetros utilizados en la configuración	87
Figura 24. Patrón de antena	87
Figura 25. Simulación del Perfil Cerro Pedregal - Cerro Llipa.....	88
Figura 26. Diagrama de Gantt de la Red de Telepsiquiatría.....	96

Listas de tablas

Tabla 1. Población afectada por problemas severos de salud mental en el Perú, 2018.	34
Tabla 2. Distribución de Psiquiatras según regiones. MINSA, 2016.	39
Tabla 3. Funcionalidades según velocidades de descarga de banda ancha.	44
Tabla 4. Velocidades referenciales para algunos servicios de telesalud .	45
Tabla 5. Calidad de los sistemas de transmisión digital	46
Tabla 6. Disponibilidad y tiempo de interrupción	47
Tabla 7. Ubicación de los Centros de Salud Mental Comunitario y el Hospital Regional Docente de Cajamarca de la región Cajamarca	52
Tabla 8. Ubicación de las estaciones repetidoras con sus respectivos nombres y coordenadas geográficas de la Región Cajamarca	53
Tabla 9. Atenuación por espacio libre de los 11 perfiles del enlace	62
Tabla 10. Resumen de onda refleja de todos los perfiles	74
Tabla 11. Parámetros del transceptor PTP 820C High Power	75
Tabla 12. Parámetros de la antena HX12-7W-6GF ValuLinea® High Performance.	76
Tabla 13. Características de la guía de onda.	77
Tabla 14. Resumen de las ganancias y pérdidas para calcular el nivel de recepción	79
Tabla 15. Resumen de los cálculos de nivel de recepción y margen de desvanecimiento.	81
Tabla 16. Resumen de resultados de tiempo de interrupción por desvanecimiento y tiempo sin servicio por desvanecimiento.	85
Tabla 17. Parámetros ingresados a Radio Mobile	86
Tabla 18. Cuadro de costos de diseño	90
Tabla 19. Costos de estudio de campo	90
Tabla 20. Cuadro de suministros de equipo	91
Tabla 21. Costos de instalación	92
Tabla 22. Costo total del proyecto	92
Tabla 23. Población estimada por provincia donde se encuentra los CSMC	93
Tabla 24. Estimación de pacientes atendidos en cada CSMC anualmente.	94
Tabla 25. Estimación de gastos de las personas que acuden a un hospital	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 26. Gastos anuales por cada año	95

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (Organización Mundial de la Salud, 2018), afirma: “La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”. La salud es un derecho universal y es deber del estado garantizarla a todos sus habitantes y, en ese sentido, es necesario entender que la salud mental va más allá que la ausencia de trastornos o discapacidades mentales. Es por ello que, gozar de buena salud mental hace posible que una persona tenga un mayor grado de resiliencia; es decir, superen el estrés normal de la vida, se sientan bien consigo misma y colaboren con su comunidad.

En 2015, más de un tercio de las discapacidades que se presentaron en la región de las Américas tuvo su origen en los problemas de salud mental. El indicador años de vida ajustados en función de la discapacidad (AVAD) atribuida a esta enfermedad, represento para esta región el 19% de las enfermedades no transmisibles, de los cuales el 3.4% correspondían a trastornos mentales, neurológicos y debidos al consumo de sustancias, y por suicidio (TMNS). (Organización Panamericana de la Salud, 2018)

Para Perú, anualmente el 20.7% de su población mayor de 12 años tiene algún tipo de trastorno mental. Dentro de las principales razones por la cual las personas no acceden a los servicios de salud mental tenemos: los hospitales y servicios de redes de salud son escasos, están alejados de donde viven, centralización e insuficiente personal de salud especializado, inversión per cápita por debajo del promedio de países de bajos ingreso y tratamiento tardío de problemas de salud mental. (Ministerio de Salud, 2018)

Es por ello, que el Ministerio de Salud (MINSa) elaboró el documento técnico “Plan Nacional de Fortalecimiento de Servicios de Salud Mental Comunitario 2018 – 2021” con el objetivo que estas instituciones sean las encargadas de brindar servicios de salud mental especializada en el área urbana y rural de todo el Perú. (Ministerio de Salud [MINSa], 2018)

La región Cajamarca presenta una brecha de acceso a los servicios de salud por morbilidad sentida de 91.4% y de acuerdo a los datos del Registro Nacional del Personal de la Salud 2016 cuenta con un médico psiquiatra y cinco psicólogos especializados para atender a una población de 1'341,012 habitantes. (Ministerio de Salud [MINSAL]. (12 de mayo de 2016). A esto se suma que, a mayo del 2020, cuentan solo con cinco Centros de Salud Mental Comunitarios, ubicados en las provincias de Jaén, Cajamarca, Chota, Cutervo y Cajabamba. (Ministerio de Salud, 2020)

Una forma de brindar atención en salud a las personas que se encuentran en diferentes espacios físicos, separada por barreras geográficas, e involucrando los diversos tipos de tecnologías de la información y comunicación (TIC) es la telemedicina. En efecto, un tipo de telemedicina es la telepsiquiatría y, de acuerdo con Reinhardt (2019) una consulta tele psiquiátrica en los servicios de emergencia representa una disminución en el tiempo de atención e ingreso a los hospitales, mayor satisfacción del personal y pacientes y, mayor gestión en los costos.

A modo de ejemplo, los estudios de Jiménez (2018) y Galarza (2011) elaboraron el diseño de una red de telemedicina que conecten hospitales, centros de salud utilizando tecnologías de las telecomunicaciones como son las ondas microondas para brindar servicios de salud remota.

De esta manera, se plantea el diseño de una red de telepsiquiatría que conecte los cinco Centros de Salud Mental Comunitario y el Hospital Regional Docente de Cajamarca mediante enlaces microondas; de manera tal, que estos centros resuelvan los casos que no necesiten hospitalización ni ser derivados a otros hospitales de mayor complejidad. A través de esta red, podrán hacer interconsultas entre los Centros de Salud Mental Comunitarios y el Hospital Regional Docente de Cajamarca sin la necesidad de desplazarse hacia ellos. Además, en el contexto actual del COVID-19, la telepsiquiatría evitaría el contacto físico entre paciente y personal de salud evitando la infección por este virus. Para el diseño de esta red se plantea el uso de transceptores en la banda de microondas, con la cual se alcanzará el ancho de banda necesario para garantizar los servicios de audio, voz y video de alta calidad.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento y descripción del problema

A nivel mundial, en 2015 el 60% de años de vida ajustados en función de la discapacidad (AVAD) se debieron a enfermedades no transmisibles, dentro del cual el 12% se debió a trastornos mentales, neurológicos y debidos al consumo de sustancias, y por suicidio (TMNS). Para la región de las Américas, la proporción del AVAD fue de 78%, con una fracción de los TMNS de 19%. Otro parámetro de medición importante es, años perdidos por discapacidad (APD) donde el 34% corresponde a los TMNS, que representa más de un tercio de la discapacidad total en la región. (Organización Panamericana de la Salud, 2018).

Para el Perú, en 2015 el parámetro APD para los trastornos mentales, neurológicos y debidos al consumo de sustancias, y por suicidio fue de 35.6%, uno de los más años de la región. EL APD de discapacidad por depresión y discapacidad por trastornos de ansiedad fue de 8.6% y 5.3% respectivamente. (Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (19 de octubre de 2018). Según el diario Gestión de 2018 el 80% de los peruanos con problemas de salud mental no son atendidos.

La pandemia del COVID-19 ha generado un impacto en la salud mental de las personas. De acuerdo a los primeros estudios reportados en la ciudad de Wuhan – China, hubo un incremento de emociones negativas como ansiedad, depresión e indignación, caracterizada por una disminución de felicidad y satisfacción. Por un lado, el aislamiento social obligatorio es posible que incremente los problemas psicológicos y mentales, y por el otro, el aislamiento social reduce la asistencia a consultas y tratamientos psicoterapéuticos de rutina. (Huarcaya, 2020). Hay que mencionar además que otro de los resultados de estos estudios arrojo que la ansiedad femenina fue mayor a los varones, 25.67% a 11.63%

respectivamente y el puntaje de estrés del personal de salud femenino fue más alto que los varones, 44.30% a 36.91% respectivamente. (Gao et al., 2020)

La región Cajamarca de acuerdo al registro nacional de personal de salud cuenta con un médico psiquiatra y cinco psicólogos para atender a una población de aproximadamente 1'341,012 habitantes. (Ministerio de Salud, 2016). Como consecuencia, ha generado una brecha de acceso a los servicios de salud mental especializado del 85% para una región que posee una prevalencia anual de algún trastorno mental de 19.1%. (Ministerio de Salud, 2018).

La falta de personal especializado y centros de salud mental, han ocasionado que las personas acudan a hospitales o centros de salud que no cuentan con personal cualificado, por lo tanto, el diagnóstico y tratamiento no resultan ser oportunos. Además, muchas de las personas con trastorno mental que acuden a estos centros, sufren de discriminación, estigma y son sensibles a sufrir violaciones de sus derechos humanos; a esto se suma la asociación con factores determinantes como estrés, ansiedad, problemas cardiacos, desempleo que aumentan la morbilidad y mortalidad prematura; así mismo, la pobreza económica y el nivel educativo son factores que convergen para una pobre salud mental. (Ministerio de Salud, 2018)

Por lo anteriormente expuesto, la telepsiquiatría muestra evidencias que ayuda a cerrar las brechas de acceso a los servicios de salud mental especializado y, es por ello, que se busca brindar mayor conectividad a los centros de salud mental para reducir la falta de atenciones médicas en la región Cajamarca.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Cómo brindar conectividad de datos a los centros de salud para atender los problemas de salud mental de la región Cajamarca?

1.1.3. Formulación de los problemas específicos

P.E.1: ¿Cuál es la situación actual de la salud mental en la población de la región Cajamarca?

P.E.2: ¿Cuáles son los parámetros técnicos de calidad que requiere la red de telepsiquiatría?

P.E.3: ¿Cuál es el esquema de red apropiado para la red de telepsiquiatría?

P.E.4: ¿Qué equipos de transmisión en la banda de microondas se deben emplear en el radioenlace?

P.E.5: ¿Cómo se verificará el funcionamiento de la red de telepsiquiatría?

1.2. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Objetivo general

Diseñar y simular una red de telepsiquiatría mediante enlaces en la banda de microondas para interconectar los Centros de Salud Mental Comunitario de la región Cajamarca con el Hospital Regional Docente de Cajamarca.

1.2.2. Objetivos específicos

O.E.1: Describir la situación actual de los problemas de salud mental de la población en la región Cajamarca.

O.E.2: Describir los parámetros técnicos de calidad para los enlaces de microondas de la red de telepsiquiatría.

O.E.3: Diseñar el esquema de red apropiado de los enlaces de microondas que interconecten los Centros de Salud Mental Comunitario de la región Cajamarca con el Hospital Regional Docente de Cajamarca.

O.E.4: Describir los requerimientos técnicos de los equipos de transmisión en la banda de microondas que satisfagan los requisitos de calidad establecidos.

O.E.5: Simular el enlace microondas entre los Centros de Salud Mental Comunitario de la región Cajamarca con el Hospital Regional Docente de Cajamarca utilizando un software de acceso libre.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación económica

Los usuarios beneficiarios de esta red de telepsiquiatría accederán a un diagnóstico y tratamiento especializado en salud mental. Esta red al interconectar los CSMC con el Hospital Regional Docente de Cajamarca (HRDC), evitará que la población se desplace a otras provincias o regiones generando un ahorro de tiempo y dinero y, sin abandonar sus funciones como integrantes de una familia. Para el Ministerio de Salud, los costos generados por la implementación de esta red de telepsiquiatría por enlaces microondas son menores en comparación de los enlaces por fibra óptica o enlaces satelitales.

1.3.2. Justificación social

En 2018, la región de Cajamarca registro un nivel de pobreza monetaria de aproximadamente 42%, siendo la más alta del Perú y diez veces superior a las regiones de Ica y Madre de Dios. (GESTIÓN, 2019). La pobreza monetaria, la desconfianza en sus autoridades y los conflictos sociales han conseguido que la región Cajamarca tenga uno de los indicadores más altos en salud mental. Es por eso que esta tesis plantea el diseño de una red de telepsiquiatría que permita a la población cajamarquina, en especial a los de escasos recursos económicos, tener un mayor acceso a servicios de salud mental especializada, a través de una interconexión entre los CSMC con hospitales de la misma región o de Lima.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.4.1. Alcances

- Esta tesis llegará a la fase de diseño y simulación.
- Los Centros de Salud Mental Comunitario podrán interconectarse con otros centros de salud mental de la región Cajamarca.
- El diseño de esta red puede usarse también para el control y monitoreo de pacientes con diagnóstico de COVID – 19.
- Mejorar el acceso a los servicios de salud mental a la población de Cajamarca.
- El diseño elaborado en esta tesis puede ser utilizada como complemento de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica y así, brindar una mayor cobertura de la salud a través de la telemedicina.
- Los resultados de esta tesis serán presentados ante el Ministerio de Salud (MINSA) y el Gobierno Regional de Cajamarca para la evaluación y futura implementación.

1.4.2. Limitaciones

- El tiempo requerido para el diseño, simulación y elección de los equipos necesarios para el radio enlace.
- Esta tesis considera el desarrollo de la ingeniería de las redes de telecomunicaciones, sin embargo, no considera el diseño del sistema de energía y tampoco el diseño del sistema de infraestructura de la torre y saneamiento.
- El coste económico para la implementación de este trabajo es alto y no se cuenta con el presupuesto.

CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

En su estudio Collantes (2016), evaluó los parámetros más importantes en el diseño de un enlace microondas de emergencia, que conecte el Centro de Coordinación de Emergencias situado en Eliana, Valencia y la Estación Central de Bomberos de Valencia. Para la simulación del enlace microondas el autor utilizó el software RadioSim, donde observó que no existía línea de vista entre ambas estaciones, por lo cual decidió utilizar dos repetidoras en su diseño, garantizando de esta manera el 60% de la zona de Fresnel. Al ser un enlace microondas de emergencia se calculó un ancho de banda en 140 Mbps para garantizar el audio, voz y video, además de trabajar en la frecuencia de 11GHz. Después de evaluar diferentes equipos de radioenlace y antenas se optó por los equipos Fiber Air IP-20C de la marca Ceragón que tienen un ancho de banda de 722 Mbps. De este trabajo se puede rescatar el uso de repetidoras en el diseño del enlace microondas, además, del uso del programa RadioSim para la simulación.

La investigación de Ladino y Parra (2018), tuvo como objetivo diseñar una antena para conectar por enlace microondas la Universidad Católica de Colombia y la Universidad de los Andes aplicados al contexto de su legislación nacional. El equipo de radioenlace elegido fue NaNoStation loco M5 MCS5 con una potencia de transmisión de 20 dBm y una sensibilidad de recepción de -83 dBm. Se utilizó el programa Radio Mobile para la simulación y se determinó que era necesario colocar torres de 7 metros de altura encima de ambas universidades para alcanzar una altura de 36 metros en total y garantizar la línea de vista. Con respecto a la antena, se eligió diseñar una antena direccional Yagi-UDA que trabaje en la frecuencia de 5.8 GHz. Los resultados de la implementación de la antena fue una antena altamente direccional y con una ganancia de 17dB para un plato de 20 cm y de 19dB de ganancia para un

plato de 30 cm. Los autores concluyen que el enlace microondas con los resultados de la antena obtenida son viables. Puedo rescatar de este estudio, la revisión profunda de la teoría y práctica del diseño e implementación de una antena directiva Yagi-UDA.

En su estudio Jara (2014), simuló un enlace microondas entre la ciudad de Xeresa y Torrent utilizando el programa Radio Mobile para brindar Televisión Digital Terrestre (TDT) y radio FM a ambas ciudades. En primer lugar, para conseguir línea de vista en la simulación necesito agregar un repetidor en la ciudad de Cullera y, para brindar TDT en esta ciudad, colocó seis receptores en sus alrededores. La ubicación y parámetros de estos receptores fueron ingresados al programa Radio Mobile de modo que luego de la simulación se verificó niveles de señales aceptables entre ellos. En segundo lugar, simuló un sistema de radiodifusión FM de una radio comercial para dar cobertura a la población de Cullera, colocando siete receptores a los alrededores. En la simulación obtuvo niveles de señales aceptables. Por otra parte, el autor utilizó otro programa de simulación: Xirio-Online y la herramienta PLANNINGTOOL, para replicar los enlaces realizados en el Programa Radio Mobile, concluyendo que ambos programas son adecuados para la simulación de enlaces microondas, sin embargo, al ser Xirio-Online un programa de pago tiene limitaciones en su uso libre. Esta tesis aporta abundante información en la configuración del programa Radio Mobile y en el diseño de la red, asimismo la fusión de imágenes con el programa Google Earth que serán de utilidad para el presente trabajo.

2.1.2. Nacionales

Del resumen de Díaz (2016), el objetivo de su estudio fue conectar mediante enlaces microondas la Isla San Lorenzo ubicada en la costa de la provincia Constitucional del Callao y el Instituto de Radioastronomía (INRAS) ubicada en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). En el diseño utilizó enlace

punto – punto al contar con línea de vista y para la simulación utilizo el programa Radio Mobile. El equipo de radio transmisor utilizado fue de la marca Mikrotik modelo BaseBox5-RouterBoard 912 UAG y la antena Hyperlink, modelo MIMO HG195DP-34D trabajando en la frecuencia de 5.8 GHz. Al contar con el equipo facilitado por la PUCP este proyecto llego a la fase de implementación, de la misma manera se incluyó en el diseño una topología de red para garantizar la independencia en el en el flujo de datos de transmisión entre el Campus PUCP y la Isla San Lorenzo. También, se diseñó dos VLANs: VLAN Magnetómetro y VLAN INRAS unidas a través de una VLAN Trunk. De las pruebas de la implementación se obtuvo una tasa de transmisión de 2.235 Mbps con una desviación estándar de 1.249 Mbps. De este trabajo puedo rescatar la implementación del radio enlace entre estos dos puntos y las diferentes pruebas que hicieron para evaluar el ancho de banda, potencia y margen del sistema. El autor menciona la confiabilidad del programa Radio Mobile en la simulación que resultó ser superior a los propios de los equipos utilizados.

En su estudio Galarza (2011), identificó necesidades de salud sin resolver en la población del Distrito de Sicaya ubicada en la provincia de Huancayo, región Junín; a causa de a una inadecuada accesibilidad a los servicios de salud debido a la lejanía, pobreza y falta de presencia del gobierno regional y nacional en la que se encuentra este distrito. Al mismo tiempo, agrega la falta de equipos y medicinas que traen como consecuencia un tratamiento inadecuado a los pobladores. Como solución planteó el diseño de una red de telemedicina que conecte mediante enlace microondas el Centro de Salud de Sicaya y el Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión ubicada en la ciudad de Huancayo. El diseño de esta red de telemedicina contemplo el uso de telefonía VoIP, videoconferencias, equipos de telemedicina y una red LAN dentro del centro de salud. Trabajó en la banda no licenciada de 5 GHz con el equipo WinLink 1000 y para la simulación utilizó el programa

Radio Mobile. De esta tesis puedo rescatar el desarrollo del diseño de redes VoIP, videoconferencias, equipos de telemedicina y redes LAN dentro de los establecimientos de salud.

De la tesis titulada "Diseño y dimensionamiento de un sistema de telecomunicaciones optimizado para el nuevo hospital de la provincia de Espinar en Cusco" realizada por Jiménez (2018), la autora encontró una cantidad limitada de médicos especialistas en el Hospital de Espinar para el número de pacientes que se atienden. Además, las imágenes médicas eran archivadas de forma insegura y aglomerada en un cuarto de archivos. Planteo el diseño y simulación de un sistema integrado de telecomunicaciones que optimizará los recursos con los que contaba el hospital, brindando telepresencia de manera que permita una comunicación entre médicos especialistas de diferentes hospitales del Perú. El diseño incluyó el almacenamiento de las imágenes médicas en el sistema Picture Archive Communication System (PACS), seguridad del hospital con cámaras de video vigilancia en zonas críticas del hospital, comunicaciones de voz y optimización de telefonía. De la tesis puedo rescatar el diseño de un sistema integrado de telecomunicaciones para el nuevo hospital Espinar del Cusco cuya información que será útil para el presente trabajo.

2.2. MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO EN SALUD

2.2.1. Salud mental

La Organización Mundial de la Salud (2018) describe la salud mental como “un estado de bienestar en el cual el individuo se da cuenta de sus propias aptitudes, puede afrontar las presiones normales de la vida, puede trabajar productiva y fructíferamente y es capaz de hacer una contribución a su comunidad”. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

De esta manera, la relación entre la salud física, mental y social permite que una persona pueda relacionarse consigo misma y en el entorno de su comunidad.

2.2.2. Problemas de salud mental

Los problemas de salud mental están determinados por múltiples factores, donde la pobreza es una constante que se repite en todas las sociedades y se asocia por un lado a problemas de salud como la depresión, ansiedad, problemas cardiacos, y por el otro, al consumo de sustancias y violencia y maltrato familiar. Afrontar estas situaciones en condiciones de falta de empleo, educación limitada, discriminación, estrés laboral, estilo de vida no saludable y exclusión social resultan muy difícil. (Organización Mundial de la Salud, 2004)

2.2.3. Discapacidad debida a trastornos específicos

- De acuerdo al documento “La carga de trastornos mentales en la Región de las Américas, 2018” (Organización Panamericana de la Salud, 2018) podemos clasificar las discapacidades de la siguiente manera:
- Trastornos mentales comunes.
- Trastornos mentales graves.
- Trastornos debidos al consumo de sustancias psicotropas y trastornos de la conducta alimentaria.
- Trastornos de comienzo habitual de la infancia y adolescencia.
- Trastornos neurológicos.

De esta clasificación, los trastornos depresivos, dependencia de alcohol y abuso de alcohol, demencias, esquizofrenias, violencia y adicciones a las drogas son las que más causan años de vida perdida. (Ministerio de Salud, 2018)

2.2.4. Telemedicina

La Organización Panamericana de la Salud (2016) define la telemedicina de esta manera:

La provisión de servicios de salud a distancia en los componentes de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, por profesionales de la salud que utilizan tecnologías de la información y la comunicación, que les permiten intercambiar datos con el propósito de facilitar el acceso y la oportunidad en la prestación de servicios a la población que presenta limitaciones de oferta, de acceso a los servicios o de ambos en su área geográfica. Lo anterior no exime a los prestadores de servicios de salud y a las entidades responsables del pago de tales servicios de su responsabilidad de priorizar la prestación personalizada de servicios de salud, en el marco del Sistema General de Seguridad Social en Salud. (p. 9)

De esta manera, ante la falta de oferta de servicios de salud en determinadas áreas geográficas, la telemedicina resulta una herramienta que brinda servicios de salud a distancia.

2.2.5. Política sobre salud mental y plan de salud mental

En junio 2012 se promulgó la Ley N° 29889 que modifica el artículo 11 de la Ley General de Salud (Ley N° 26842) y describe:

Ley general de salud y garantiza los derechos de las personas con problemas de salud mental al acceso universal y equitativo, a las intervenciones de promoción y protección

de la salud, prevención, tratamiento, recuperación y rehabilitación psicosocial, y establece al Modelo Comunitario como el nuevo paradigma de atención en salud mental en el Perú, en línea con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y las evidencias científicas. (Decreto supremo N° 033-2015-SA (6 de octubre de 2015)

Es así que en octubre 2015 se crean los Centros de Salud Mental Comunitarios, Unidades de Hospitalización en Salud Mental y Adicciones en establecimientos de Salud desde el nivel II-2, Centros de Rehabilitación Psicosocial y Laboral y Hogares y residencias protegidas; incorporándose a los centros de salud existentes del MINSA. (Ministerio de Salud [MINSA]. (10 de setiembre de 2017) (Ministerio de Salud [MINSA]. (5 de noviembre de 2018)

MARCO TEÓRICO EN TELECOMUNICACIONES

2.2.6. Consideraciones sobre la propagación de las ondas en el espacio.

Los humanos somos seres sociales por naturaleza y la comunicación ha sido la principal capacidad que hemos desarrollado para evolucionar. Como consecuencia y producto de la investigación hemos desarrollado tecnologías que nos permiten comunicarnos aun estando en diferentes espacios.

Las ondas microondas forman parte del espectro electromagnético y están comprendidas entre los 300MHz y 300 GHz propagándose en línea recta con velocidades de 300,000,000 m/s en espacio libre.(Díaz Morcillo et al., 2015)

A. Fenómenos de las ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas propagadas entre el transmisor y receptor lo hacen a través de un entorno geográfico y atmosférico, los cuales influyen en la transmisión de la señal y causan pérdidas (Tomasi, 2003)

- **Dispersión**

Al viajar la señal en la atmósfera terrestre, interactúa con moléculas gaseosas, partículas sólidas y líquidas, ocasionando que el haz principal de la señal disminuya y aumente la radiación dispersa en la atmósfera. (Ordóñez & Huidobro, 2014)

- **Reflexión**

Cuando una onda electromagnética incide sobre un medio diferente ocurre un cambio de dirección en su haz original, donde una parte de la onda incidente es reflejada al medio inicial, otras son absorbidas y las demás se transmiten por el nuevo medio. (Ordóñez & Huidobro, 2014)

- **Difracción**

Este fenómeno ocurre cuando la señal que se transmite choca con algún objeto antes de llegar al receptor, interponiéndose en la línea de vista, causando que se curve alrededor del objeto. A este objeto, se le denomina objeto difractor y puede ser cualquier superficie irregular y para su caracterización se asume que tiene forma de cuña. (Gómez Rojas et al., 2019)

- **Desvanecimientos**

El desvanecimiento o fading es un fenómeno debido a las variaciones en el despejamiento o a variaciones atmosféricas

como la lluvia, y consiste en una disminución súbita del nivel de señal en el tiempo y espacio. (Ordóñez & Huidobro, 2014)

- **Climatología**

La calidad de las ondas electromagnéticas es atenuada por factores atmosféricos como la lluvia, la nieve, neblina, temperatura, humedad o presión. (Tomasi, 2003)

- **Atenuación**

La atenuación de la onda es la disminución de la densidad de la potencia del frente de onda con relación a la distancia de la fuente. La ley del cuadrado inverso de la radiación nos describe que el frente de onda al alejarse de la fuente se dispersa, ocasionando una menor cantidad de ondas por unidad. (Bava, 2013)

- **Absorción**

En el caso más real, en un medio no homogéneo como el de la atmosfera terrestre, su composición presenta sustancias gaseosas, sólidas y líquidas, lo que ocasiona absorción de las ondas electromagnéticas. De esta manera, condiciones atmosféricas como la lluvia, neblina densa absorben más energía. (Bava, 2013)

2.2.7. Radioenlace

Un radioenlace es un medio de telecomunicaciones entre dos puntos por medio de ondas microondas. Entre sus clasificaciones posibles tenemos:

- Punto a punto, punto a zona, multipunto.
- Unidireccionales o bidireccionales.
- Terrenal o espacial.
- Ascendente (tierra-espacio) o descendente (espacio-tierra).

- Radioenlace de servicio fijo, radioenlace de servicio móvil, etc.

2.2.8. Línea de vista (Line Of Sight) - LOS

Para la propagación de las ondas electromagnéticas en la banda de microondas es necesario que entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx) este libre obstáculo que afecten su visibilidad, lo cual limitaría el horizonte de radio para su propagación. En la línea de vista (LOS) están incluidas elementos como el Factor de Corrección (FC), Reflexión de Fresnel (RF) y altura de la trayectoria. (Tomasi, 2003)

2.2.9. Factor de corrección

Para evitar trabajar con la curvatura de la tierra se utiliza la tierra ficticia de radio KR_0 , donde R_0 es el radio de la tierra, de manera tal, que el factor de gradiente del índice de refracción (K) corresponde al radio eficaz de la tierra. Entonces, el factor de corrección se expresa como la distancia entre la línea recta y la curvatura ficticia de la tierra. Existe una variedad de valores que puede tomar este factor K, pero existe un estándar que tiene el valor de $4/3$, que es el valor más frecuente durante el día y se emplea en los primeros 1000 metros de altura. (Gómez Rojas et al., 2019)

2.2.10. Zona de Fresnel

La zona de Fresnel o también llamado elipsoide de Fresnel es el espacio comprendido entre el emisor y receptor donde existe línea de vista; esta zona, puede tener varios anillos contenedores siendo la primera zona de Fresnel la que contiene la mayor energía del enlace y, por lo tanto, se debe garantizar que el 60% de esta zona este despejada para la viabilidad al sistema de radio. (Dengia et al., 2017)

Para las radiocomunicaciones, un factor importante a considerar es el factor K que representa la curvatura de la tierra. Para un valor de $K=4/3$ se garantiza un 100% de la zona de Fresnel despejada, y para un valor de $K=2/3$ la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 60%. (Gómez Rojas et al., 2019)

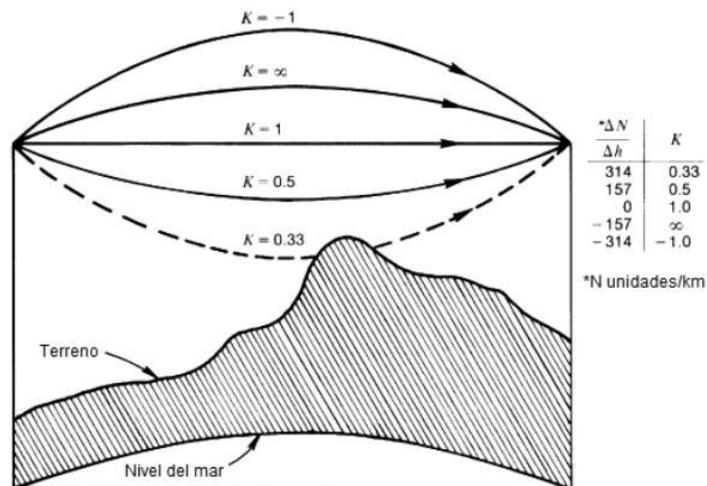


Figura 1: Zona de Fresnel y valores de K

Fuente: Radiocomunicaciones: teoría y principios, (2019)

En la figura 1 se observa la línea de vista de un enlace punto – punto, la zona de Fresnel y los valores del factor K. Cuando K es igual a 1, se considera un haz direccional, sin embargo, para fines prácticos, se considera el valor de $K=4/3$, que representa la curvatura de la tierra.

2.2.11. Onda reflejada

La onda reflejada se da entre dos antenas de radio de un sistema microondas donde existe línea de vista, esta onda se refleja en la tierra e incide en la antena receptora, llegando después que la onda directa. Existen muchas ondas reflejadas, pero solo una es la que incide en el receptor. (Díaz Morcillo et al., 2015)

2.2.12. Perdidas

A. Perdida por espacio libre

La pérdida en espacio libre de una onda electromagnética se da por la propagación de esta onda en el espacio libre en línea recta. Esta pérdida va a depender de la frecuencia y aumentan cuando mayor es la distancia. Para su análisis se pueden usar diversas fórmulas como la que establece la UIT en los enlaces punto a punto en función de su frecuencia:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

Siendo:

f = frecuencia de trabajo

L_{bf} = pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

d = distancia entre estaciones repetidoras (Km)

B. Perdida por hidrometeoros

La lluvia, la nieve, el granizo y la niebla se consideran dentro de esta clasificación y pueden causar atenuación de las ondas electromagnéticas mediante la absorción y dispersión que provocan. Esta atenuación puede verse aumentada en zonas en altitudes elevadas y con mayor presencia de nieve.

C. Perdida por gases atmosféricos

Los gases como el oxígeno y el vapor de agua absorben la energía de las ondas electromagnéticas, observándose que para frecuencias menores a 10 GHz la absorción es pequeña y, por el contrario, aumenta para frecuencias mayores. Además, factores geográficos como ubicación, la altura, concentración de vapor de agua afectan a las ondas electromagnéticas.

D. Perdida por lluvias

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) recomienda utilizar la intensidad de la lluvia R (mm/h) mediante la siguiente ley exponencial:

$$Y_R = kR^\alpha$$

Donde k y α representan coeficientes que están en función de la frecuencia y medida en GHz. Otro factor a considerar, es la probabilidad de distribución p (%) que expresa el tiempo durante el cual la intensidad de la lluvia (R) tiene porcentajes superiores de tiempo en un año medio.

De acuerdo a la recomendación UIT-R P.530-17 para frecuencias mayores de 5 GHz, se menciona que es necesario incluir en el cálculo las atenuaciones debidas a lluvias. (International Telecommunication Union, 2017b)

2.2.13. Transceptor o radio

El transceptor es un equipo transmisor de señales y código y, a su vez, es un equipo receptor que brinda comunicación en ambos sentidos. Tiene como características principales: ganancia del sistema y sensibilidad de recepción o umbral.

A. Ganancia del sistema

Es la diferencia entre la potencia nominal de salida del transmisor y la potencia de entrada mínima requerida por el receptor o, dicho de otra manera, expresa la pérdida de un sistema de radio. La ganancia del sistema debe ser mayor o igual que la suma de las ganancias totales menos las pérdidas de la señal al propagarse de un transmisor a un receptor. (Gómez Rojas et al., 2019)

B. Sensibilidad de recepción o umbral

La relación portadora a ruido (C/N) es uno de los parámetros más importantes a considerar para evaluar el funcionamiento de un sistema de comunicaciones en la banda de microondas. Umbral o sensibilidad de un receptor van a depender de la banda ancha en la entrada del receptor, el ruido generado dentro del receptor y la sensibilidad del detector de banda base al ruido. (Tomasi, 2003)

2.2.14. Desvanecimiento

El desvanecimiento es la reducción de la intensidad de la señal cuando llega al receptor, afectando los cambios en la pérdida de su trayectoria entre las estaciones transmisoras y receptoras. Dentro de los factores que influyen en el desvanecimiento tenemos a las densas nieblas y aire muy frío en un terreno cálido. (Tomasi, 2003)

2.2.15. Margen de desvanecimiento

Es un margen ficticio que se utiliza más como un indicador para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas electromagnéticas. Este margen de desvanecimiento está sujeto a condiciones atmosféricas temporales y anormales que afectan en general la eficiencia del sistema. (Tomasi, 2003)

2.2.16. Antenas

Una antena es un dispositivo que se encarga de convertir energía eléctrica en ondas electromagnéticas, propagándolas hacia el espacio libre y recibéndolas del espacio libre para convertirlas en energía eléctrica. Las antenas presentan una serie de parámetros importantes como: ancho de banda, directividad, ganancia, rendimiento de antena, impedancia, anchura de haz y polarización. (Jarry & Beneat, 2016)

Una de las principales características de las antenas en microondas son su direccionalidad, irradiando principalmente la señal en su lóbulo principal y en menor medida en sus lóbulos laterales y posteriores. Estas antenas presentan tres características importantes: eficiencia direccional, acoplamiento lado a lado y acoplamiento espalda con espalda. El tipo más común de antena microondas es el reflector parabólico y su funcionamiento se centra en la reflexión de las ondas electromagnéticas que inciden en el eje principal de forma paralela. (Ordóñez & Huidobro, 2014)

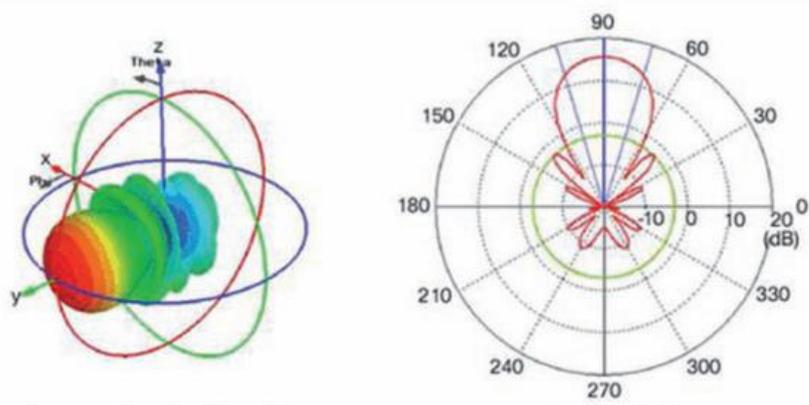


Figura 2: Patrón de radiación de una antena direccional en 3D y plano vertical

Fuente: Ordóñez y Huidobro, (2014)

En la figura 2 se observa el patrón de radiación de una antena direccional en 3D y su representación vertical con sus los lóbulos principal, lateral y posterior de la antena.

2.2.17. Ganancia

La ganancia de una antena se expresa mediante la relación entre la densidad de potencia irradiada en una dirección y la densidad de potencia irradiada a ese mismo punto por otra antena de referencia, asumiendo que ambas antenas irradian a la misma potencia. La ganancia de la antena se expresa en decibelios. (Gómez Rojas et al., 2019)

2.2.18. Ancho de banda

El ancho de banda de una antena está conformado por el rango de frecuencias para la cual la antena fue diseñada. Es común expresar el ancho de banda como un porcentaje de la frecuencia óptima de operación de la antena. (Gómez Rojas et al., 2019)

2.2.19. Polarización de la antena

La polarización de la antena se define como la orientación del campo eléctrico que se irradia en ella. Las antenas pueden tener una polarización lineal (representada por polarización horizontal o vertical cuando la antena está en el plano horizontal o vertical), elíptica o circular. (Tomasi, 2003)

2.2.20. Guía de onda

Una guía de onda es un tubo conductor hueco que puede presentarse en cortes transversal, circular o elíptico. Estas guías confinan la energía de las ondas electromagnéticas en su interior y reflejan y rebotan la energía electromagnética en su interior en forma de zigzag. (Tomasi, 2003)

2.2.21. Bit Error Rate

Según la International Telecommunication Union (ITU) el parámetro Bit Error Rate (BER) es clave para evaluar los sistemas que transmiten de un punto a otro y aplica a sistemas que transmiten datos sobre una red, donde el ruido e interferencias

podrían provocar una degradación de la señal. Este parámetro evalúa el sistema incluyendo al transmisor, receptor y espacio entre ambos, de manera que permite realizar un testeo para evaluar el performance del sistema en operación real, simulando una situación real, esperando que se comporte igual como cuando encuentre en el lugar de la instalación (International Telecommunication Union, 2017b).

2.2.22. Disponibilidad

La disponibilidad o también llamada confiabilidad de un enlace se representa mediante un porcentaje de tiempo que el enlace está operativo y, se recomienda que tenga valores superiores a 99.95%.(Tomasi, 2003)

2.2.23. Modulación PSK de ocho fases

También llamada 8-PSK, es una técnica de modulación M-aria donde $M = 8$, por lo que, esta modulación tiene ocho fases posibles de salida. Es necesario considerar los tribits ($2^3 = 8$) para poder codificar estas ocho fases distintas.

2.2.24. Software de diseño y simulación

A. Google Earth Pro

Google Earth Pro es un programa de versión gratuita perteneciente a la compañía estadounidense Google LLC, que permite recorrer toda la tierra a través de imágenes satelitales, fotografías aéreas, modelos creados por computadora e información geográfica obtenidas de los sistemas de información geográfica de todo el mundo. (Google LLC (19 de julio de 2020), 2020)

B. Radio Mobile

Radio Mobile es un programa de planificación de distribución libre para el cálculo de radio enlaces en largas distancias y

terrenos irregulares. Entre sus principales funcionalidades tenemos el Radio Link que se usa para el cálculo de radioenlaces y el Radio Coverage utilizado para el cálculo de coberturas. Utiliza perfiles geográficos, datos del entorno y características técnicas de los equipos (transceptores) para la simulación de la propagación de las ondas de radio conocido como “Irregular Terrain Model”, basados en el algoritmo de Longley-Rice que están integrados en el propio programa. De esta manera, se puede determinar el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones. (Coudé, 2020)

C. RadioSim

El programa Matlab tiene una herramienta de llamada RadioSim diseñada para simulación de radioenlaces a través de su interfaz de usuario GUIDE. Para la obtención de los perfiles geográficos, este software los extrae de la página web www.heywhatsthat.com/profiler.html obtenidas de la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).(Collantes, 2016)

D. Xirio-Online

Xirio-Online es un programa basado en navegador web, es decir, no requiere instalar el programa para su uso. A través de esta herramienta se puede realizar simulaciones de cobertura radioeléctrica en diferentes partes del mundo utilizando cartografías de alta definición. (Xirio Online. (10 de agosto de 2020), 2020)

2.2.25. Normativa sobre radioenlace en el Perú y a nivel mundial.

El espectro electromagnético está conformado por ondas electromagnéticas con frecuencias que van desde los 1HZ hasta 10 (20) Hz y hacen uso de la interfaz aire como medio o canal para su propagación. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) adscrito a la Organización de Naciones Unidas (ONU) es el

ente regulador en los países que la conforman de estandarizar las recomendaciones entre sus firmantes. La ITU ha creado una división denominada ITU-R (Radiocommunication Sector of the ITU) encargada únicamente para las radiocomunicaciones. (Gómez Rojas et al., 2019)

Para el Perú, el ente encargado de la supervisión y regulación de las telecomunicaciones está a cargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

2.3. MARCO METODOLÓGICO

2.3.1 Tipo de investigación

La presente tesis es una investigación aplicada tecnológica, donde se utilizará los conocimientos adquiridos sobre antenas, transceptores, guías de transmisión, etc., que pertenecen a las telecomunicaciones y que permitirán el desarrollo del diseño y simulación del trabajo de investigación. Esta tesis brinda una alternativa de acceso a la salud mental de la población de Cajamarca a través de una red de telepsiquiatría.

2.3.2. Metodología de la investigación

Esta tesis se desarrollará en la región Cajamarca, específicamente en las provincias que a mayo del 2020 dispongan de Centros de Salud Mental Comunitario. Estas provincias son: Cutervo, Jaén, Chota, Cajabamba y Cajamarca; y, además, se interconectarán también con el Hospital Regional Docente de Cajamarca ubicada en la provincia de Cajamarca.

Los CSMC son instituciones de salud pertenecientes al MINSA donde la población atendida es principalmente afiliada al Seguro Integral de Salud (SIS).

Para el diseño de esta red de telepsiquiatría se dispuso que cada CSMC y el HRDC cuente con una estación terminal conformada

por un transceptor con su respectiva antena transmisora para garantizar el enlace microondas. En los casos donde no exista línea de vista entre las estaciones terminales se colocará estaciones repetidoras para conseguir los saltos.

Se realizó una búsqueda en página web del MINSA sobre los CSMC que a mayo 2020 existan en la región Cajamarca. Una vez identificadas y junto con la ubicación del Hospital Regional Docente de Cajamarca, se procederá a obtener su altitud, latitud y longitud utilizando el software Google Earth Pro. Con la ayuda de este software se constató en un primer momento si existe línea de vista entre los centros de salud y, en caso de no existiese, nos ayudará a buscar los posibles lugares donde que pueden colocar las estaciones repetidoras de manera que garantice la línea de vista.

Una vez identificado la ubicación de estos centros de salud con sus respectivas coordenadas y, además elegido el transceptor y antena, se procedió a hacer los cálculos matemáticos de acuerdo a los requerimientos que la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), y para simular estos enlaces, se utilizó el programa Radio Mobile para verificar la conectividad.

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Constitución Política del Perú

El artículo 7 de la Constitución Política del Perú señala lo siguiente: Todos tiene derecho a la protección de su salud, la del medio familiar y la de la comunidad, así como el deber de contribuir a su promoción y defensa. (Constitución Política del Perú, 1993)

2.4.2. Leyes, normas, resoluciones, derechos

Ley N° 26842, Ley general de salud y sus modificatorias: La presente ley con sus modificatorias garantiza el derecho a la salud y su modificación: la Ley N° 26842, garantiza el derecho de las

personas con problemas de salud mental. (Decreto supremo N° 033-2015-SA (6 de octubre de 2015)

Ley N° 30421, Ley Marco de Telesalud y su modificatoria; esta ley tiene el objetivo de establecer los lineamientos generales para la implementación y desarrollo de la Telesalud como una estrategia de prestación de servicios de salud a fin de mejorar su eficiencia y calidad. (Ley N° 30421, 2016

Resolución Ministerial N°356-2018/MINSA, que aprueba el Documento Técnico “Plan Nacional de Fortalecimiento de servicios de Salud Mental Comunitaria 2018-2021”. Esta resolución enmarca la labor de los Centros de Salud Mental Comunitario como primera línea de atención en las áreas rurales y urbanas. (Ministerio de Salud, 2018)

En el contexto del COVID-19 el MINSA aprobó el reglamento de la ley N° 30421 que fortalece los alcances de la telesalud. A través del decreto supremo N° 005-2021-SA se fortalece los servicios de telemedicina en el Perú. (Ministerio de Salud, 2020)

2.5. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para el diseño de esta red de telepsiquiatría, se colocará las estaciones terminales en cada uno de los cinco Centros de Salud Mental Comunitario y el Hospital Regional Docente de Cajamarca. Como se observa en la figura 3, para que exista línea de vista entre estos centros en algunos casos será necesario colocar estaciones repetidoras en lugares estratégicos y, además, considerar los factores que afectan la propagación de las ondas microondas como la lluvia, arboles, humedad, etc. Esta red de telepsiquiatría por enlace microondas debe garantizar un ancho de banda para transmitir audio, voz y video.

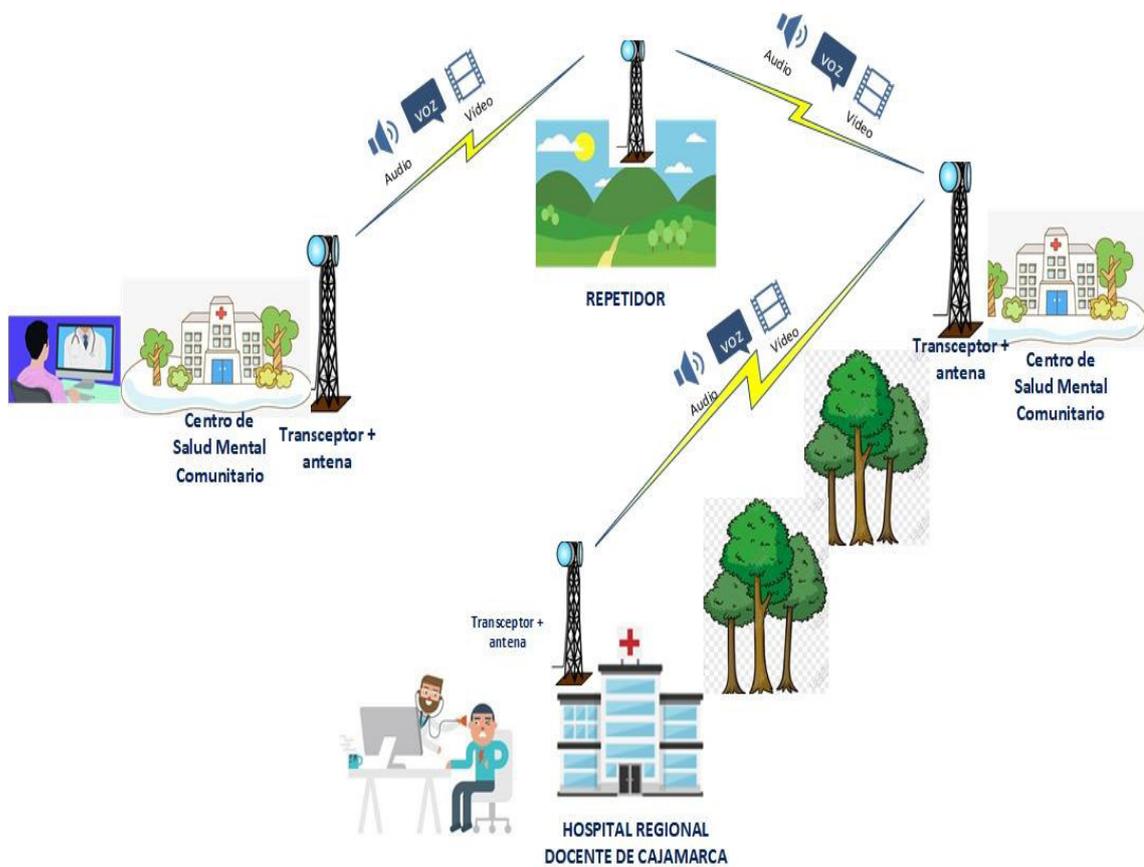


Figura 3. Diagrama de la red de telepsiquiatría

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra la estructura de la red de telepsiquiatría propuesta, donde se observa las estaciones terminales y repetidoras con sus respectivos transceptores y antenas en los centros de salud, así como, en los cerros para conseguir la línea de vista.

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA APLICACION

3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROBLEMAS DE SALUD MENTAL EN LA REGIÓN CAJAMARCA

3.1.1. Situación de los problemas de salud mental en la región Cajamarca.

En 2019, el Perú estimó que la población con problemas de salud mental bajo la cobertura del Seguro Integral de Salud o sin ningún tipo de seguro fue de 4 661 056. Asimismo, anualmente se estima que el 20.7% de la población por encima de los 12 años de edad tiene algún tipo de trastorno mental, siendo las enfermedades como la depresión unipolar, la dependencia de alcohol, demencias, esquizofrenias y adicción a drogas las que más pérdidas de vida saludable (AVISAS) ocasionan. En la tabla 1 se puede observar los problemas de salud mental que más afectan a la población peruana (Ministerio de Salud [MINSAL]. (6 de junio de 2018), n.d.). Es por ello que la Organización Mundial de la Salud considera a la depresión como el trastorno mental que más discapacidad causa a nivel mundial y, si no recibe un tratamiento oportuno puede llevar al suicidio (World Health Organization, 2020)

Tabla 1. Población afectada por problemas severos de salud mental en el Perú, 2018.

Valor	Unidad de medida por tipo de problema
8 669 497	Personas con al menos un trastorno mental alguna vez en su vida.
5 239 169	Personas de 12 años o mayor con al menos algún trastorno mental durante el último año.
1 923 560	Personas de 12 años o mayor con problemas depresivo en el último año.
253 100	Personas de 12 años o mayor con trastorno psicótico.
1 120 980	Personas de 12 años o mayor con consumo perjudicial de alcohol
996 455	Personas de 12 años o mayor con dependencia de alcohol

Los problemas de salud mental aquejan cada año a más personas en el mundo. En la tabla 1 se muestra que más de 8 millones de personas tendrá al menos un trastorno mental alguna vez en su vida, siendo los episodios depresivos los más frecuentes, según MINSAL.

El departamento de Cajamarca está constituido por 13 provincias, 127 distritos y 6 513 centros poblados y para el 2020 se proyecta una población total de 1.453.711 habitantes donde el 35.4% reside en el área urbana y el 65.6% en el área rural. (Ministerio de Salud, 2020)

En 2017, el 8.5% de la población censada del departamento de Cajamarca manifestó tener alguna dificultad o limitación permanente, entendiéndose este último como alguna dificultad permanente física o mental que afecta sus actividades fundamentales diarias. (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (25 de setiembre de 2017)). Así también, INEI nos detalla la distribución de la población que cuenta con algún tipo de seguro de salud: 81.39% al Seguro Integral de Salud, 14.2% a EsSalud, 0.94% al Seguro de las fuerzas armadas y policiales, 1.92% a otro seguro y 1.55% no tiene ningún seguro como podemos observar en la figura 4. Es notorio que la mayor parte de la población cuenta con el seguro brindado por el estado peruano, es decir; el Seguro Integral de Salud (Ministerio de Salud, 2020)

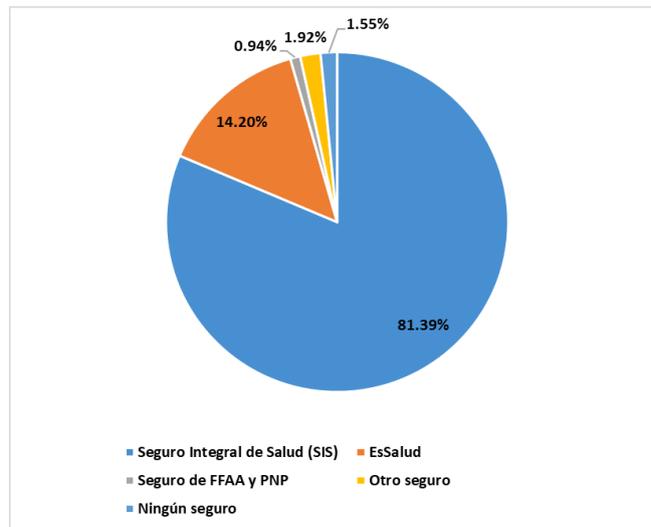


Figura 4. Población de Cajamarca que cuenta con algún tipo de seguro

Fuente: Elaboración propia

El 81.39% de la población de Cajamarca recibe servicios de salud por parte del Seguro Integral de Salud (SIS) brindado por el estado peruano.

Cajamarca tiene una prevalencia anual con algún trastorno mental de 19.1% y 8.2% de prevalencia anual de episodio depresivo como se observa en la figura 7, siendo así la segunda región del Perú con los mayores valores y por encima del promedio nacional (7.6%). De acuerdo a estimaciones en 2017, más de las 580 259 personas bajo responsabilidad del MINSa y gobiernos regionales presentaron problemas de salud mental. (Ministerio de Salud 2018)

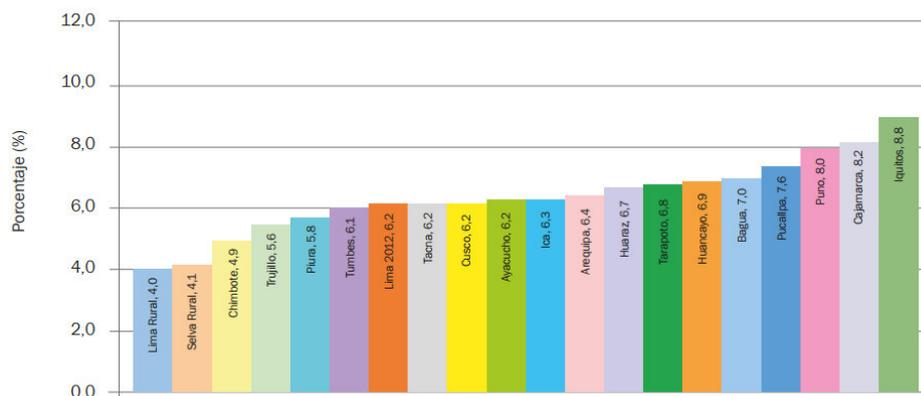


Figura 5. Prevalencia anual del episodio depresivo en Costa, Sierra, Selva y Trapecio Andino

Fuente: MINSA

La ciudad de Cajamarca es la segunda ciudad con más alta prevalencia de episodios depresivos del Perú solo superada por la ciudad de Iquitos.

3.1.2. Centros de salud y profesionales de salud especializados en salud mental.

En mayo 2015, se pone en funcionamiento los Centros de Salud Mental Comunitaria como parte del modelo de atención en salud mental comunitaria que resalta la importancia de trabajar en conjunto entre los niveles de atención en salud. Estos Centros de Salud Mental Comunitario son establecimientos de salud especializados en atender personas con trastornos mentales o problemas psicosociales de forma ambulatoria y además brindar soporte a las redes de salud dentro de su jurisdicción. A septiembre del 2020 existen 154 CSMC distribuidas en todas las regiones del Perú, sin embargo, se estima que se necesita 281 CSMC para atender adecuadamente a la población. El departamento de Cajamarca a septiembre del 2020 tiene cinco Centros de Salud Mental Comunitario ubicado en las siguientes provincias: Cutervo, Jaén, Chota, Cajamarca y Cajabamba como se observa en la figura 6 (Ministerio de Salud, 2018).

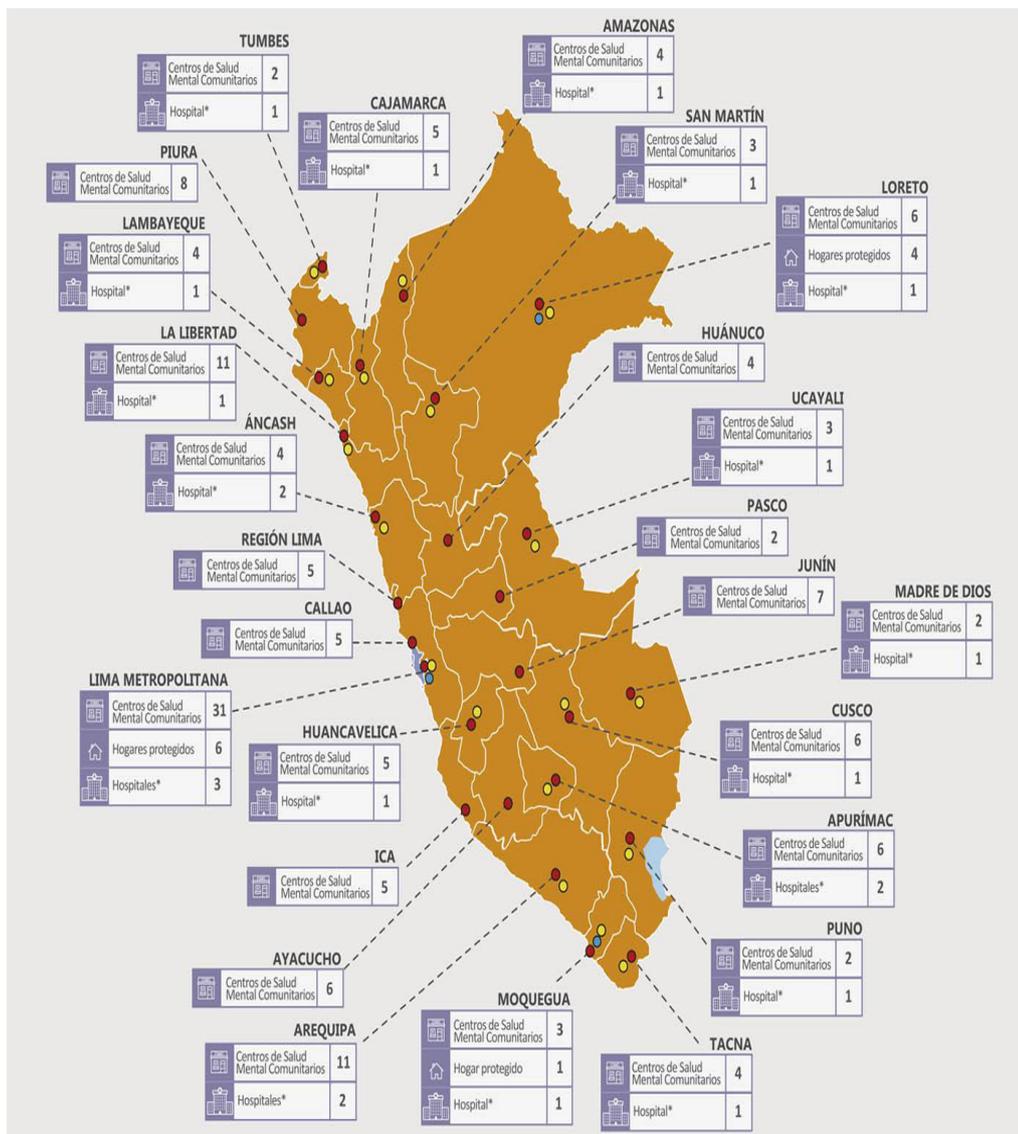


Figura 6. Centros de Salud Mental Comunitario del Perú

Fuente: Ministerio de Salud

De acuerdo a la Dirección General de Personal de la Salud del MINSA, para agosto del 2020 el departamento de Cajamarca cuenta con 953 médicos, 1991 enfermeras, 100 psicólogos y 13 trabajadoras sociales que son parte del equipo interdisciplinario de salud para tratar problemas de salud mental. Sin embargo, es necesario resaltar que todos los profesionales mencionados no necesariamente están capacitados para atender problemas de salud mental (Ministerio de Salud [MINSA]. (11 de julio de 2020)). Según datos del Registro Nacional Personal de la Salud 2016 se contaba con solo un médico psiquiatra y seis psicólogos por 100 000 habitantes a cargo del MINSA para esta región (Ministerio de Salud, 2016)

Tabla 2. Distribución de Psiquiatras según regiones. MINSA, 2016.

DIRESA	Número	DIRESA	Número
Total, general	264		
Amazonas	1	Lambayeque	1
Ancash	2	Lima Región	3
Apurímac	2	Lima Ciudad	137
Arequipa	16	Lima Este	48
Ayacucho	3	Lima Sur	6
Cajamarca	1	Loreto	2
Callao	12	Madre De Dios	1
Cusco	2	MINSA Central	3
Huancavelica	1	Moquegua	2
Huánuco	2	Pasco	1
Ica	4	Puno	1
Junín	4	San Martín	2
La Libertad	6	Tacna	2

Para 2016, había solo un médico psiquiatra en la región Cajamarca. Este valor contrasta con los 137 médicos psiquiatras que tiene Lima Ciudad.

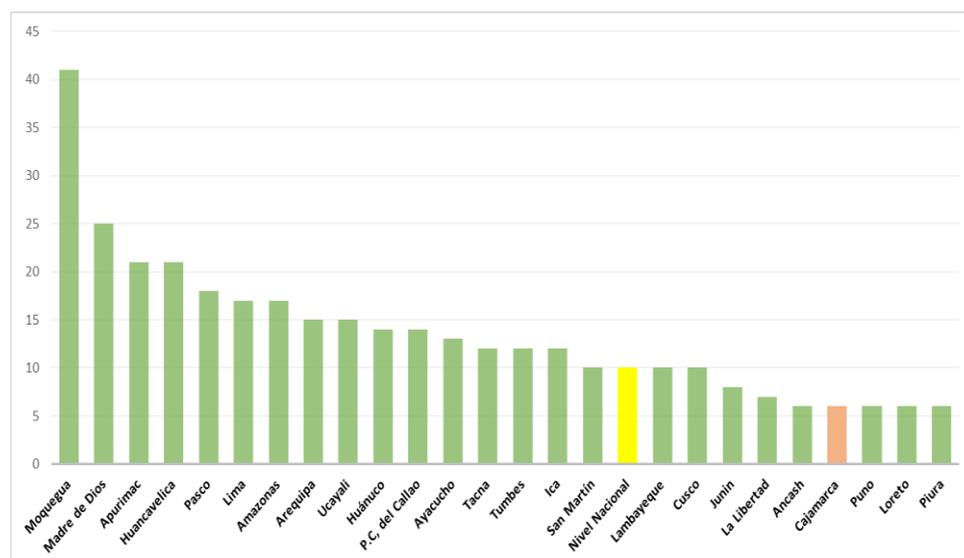


Figura 7. Número de psicólogos por 100 000 habitantes en establecimientos de salud del MINSA, 2016

Fuente: Elaboración propia

Para 2016, había seis psicólogos por 100 000 habitantes en la región Cajamarca, estando por debajo del nivel nacional que es diez psicólogos. La región Moquegua es la que más psicólogos tiene (41) a nivel nacional.

3.1.3. Describir el acceso a los servicios de salud mental y cobertura en el Departamento de Cajamarca

Para entender el acceso a los servicios de salud mental se debe considerar las siguientes dimensiones que permiten a la población para acceder a los servicios de salud:

A. Escasa disponibilidad de servicios de salud mental en las redes de servicios y en los hospitales

La detección de los problemas de salud mental debe iniciarse en los establecimientos del primer nivel de atención y referirse a los casos más complejos a establecimientos de mayor nivel como los Centros de Salud Mental Comunitario. De ser necesario que sean hospitalizados se les referencia a hospitales regionales que para el departamento de Cajamarca es el Hospital Regional Docente de Cajamarca. Cabe resaltar que el MINSA cuenta con

7 848 establecimientos del primer nivel de atención a nivel nacional y solo 1 104 cuentan con servicios de psicología (Ministerio de Salud, 2018)

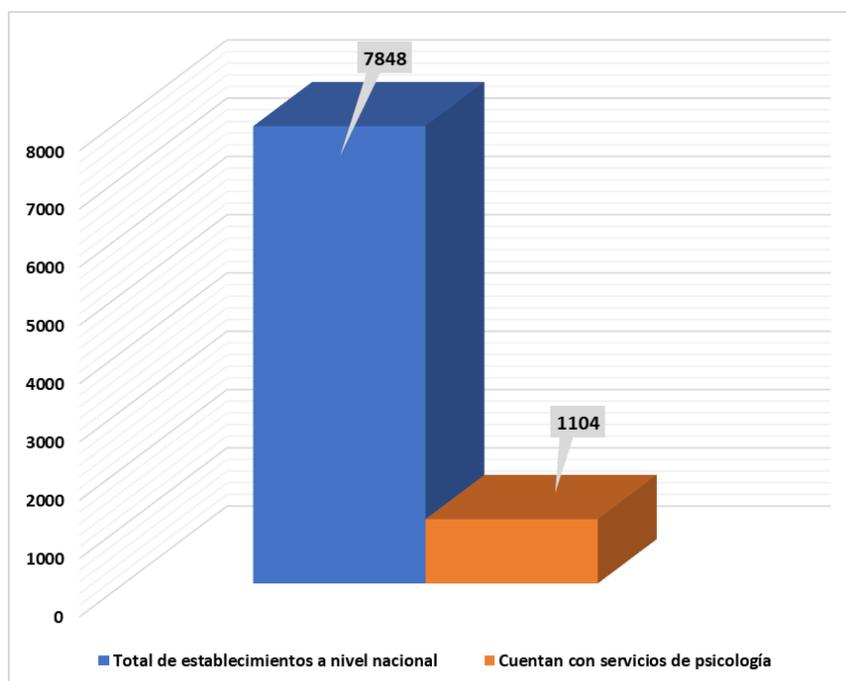


Figura 8. Establecimientos de salud del primer nivel de atención a nivel nacional

Fuente: Elaboración propia

De los 7 848 establecimientos de primer nivel que tiene el Ministerio de Salud solo 1 104 cuenta con servicios de psicología, lo que limita la disponibilidad de servicios de salud mental.

B. Centralización del personal de salud especializado en salud mental

De los 294 médicos psiquiatras que laboran en el MINSA, DIRESAS/GERESAS, el 72,3% se encuentran en hospitales psiquiátricos del Lima Metropolitana y se estima que existen 1,4 médicos psiquiatras por 100 000 habitantes. Una realidad similar ocurre con los profesionales de psicología que trabajan en establecimientos de salud públicos; existen 10 psicólogos por

100 000 habitantes mientras que para el departamento de Cajamarca la relación es de 7 por 100 000 habitantes.

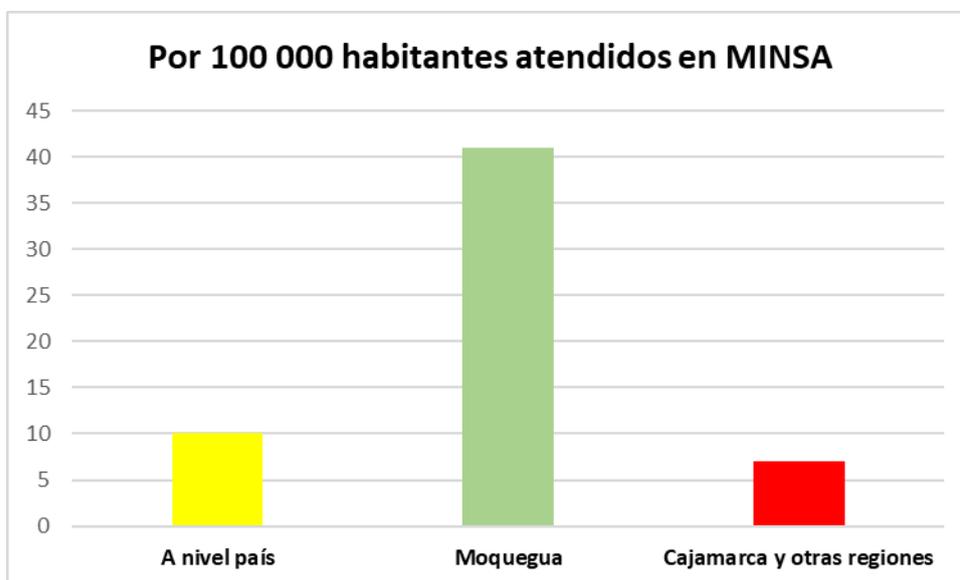


Figura 9. Centralización del personal especializado en salud mental

Fuente: Elaboración propia

La concentración del personal de salud mental especializado en algunas regiones ha ocasionado una reducción en sus brechas de atención, sin embargo, las regiones que cuentan con personal limitado, las brechas de atención aumentan ocasionando que no se satisfagan los servicios de salud mental.

3.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL ENLACE MICROONDAS

Para el desarrollo del segundo objetivo se hará un análisis de los parámetros técnicos del enlace microondas necesarios para garantizar un enlace de calidad. Se incluye el ancho de banda del enlace, la tasa de error de bits determinada por el (BER) y, por último, la disponibilidad del enlace.

3.2.1. Ancho de banda del enlace

Según el Informe Especial N° 7 de COVID-19 elaborado por CEPAL – 2020, tener una velocidad de descarga inferior a 5,5 Mbps solo permiten realizar actividades básicas y no se puede acceder a teletrabajo o educación en línea. Con 18,5 Mbps de velocidad de descarga se puede desarrollar dos actividades básicas simultáneamente como utilizar correo electrónico y una actividad de alta demanda como realizar una videoconferencia. En cambio, tener una velocidad de descarga de 25 Mbps permite realizar simultáneamente funciones básicas y de alta demanda (Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 2020).

Tabla 3. Funcionalidades según velocidades de descarga de banda ancha.

Baja		Media		Alta	
5,5 Mbps		18,5 Mbps		Mayor a 25 Mbps	
Permite utilizar funciones como correo, video básico y transmisión directa de audio y video a través de internet (streaming)		Permite realizar simultáneamente dos funciones básicas y una actividad en línea de alta demanda.		Permite realizar simultáneamente funciones básicas y funciones de alta demanda.	
No permite el teletrabajo ni la educación en línea.		Permite el teletrabajo y la educación en línea de manera no simultánea.		Permite el teletrabajo y la educación en línea de manera simultánea.	

En la tabla se describen las funcionalidades velocidades de descarga de banda ancha. Se observa que una alta velocidad mayor a 25 Mbps permite realizar funciones de alta demanda como teletrabajo y educación en línea, CEPAL, 2020.

De acuerdo a la Resolución Ministerial N° 117-2020-MINSA aprobada en marzo del 2020 por el Ministerio de Salud, se aprueba la directiva administrativa N° 285 – MINSA/2020/DIGTEL titulada: “Directiva para la implementación y desarrollo de los servicios de telemedicina síncrona y asíncrona” y que tiene como objetivo establecer los criterios para el desarrollo e implementación de servicios de telemedicina en las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPRESS) (Resolución Ministerial N° 117-2020-MINSA, 2020)

Esta directiva de aplicación nacional para todas las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPRESS), Gerencia Regional de Salud (GERESA), Dirección de Redes Integradas de Salud (DIRIS) y en lo que corresponda ser aceptada por instituciones públicas, privadas y mixtas; plantea velocidades referenciales para algunos servicios de telesalud como se puede observar en la tabla

Tabla 4. Velocidades referenciales para algunos servicios de telesalud

SERVICIOS	<ul style="list-style-type: none"> ✓Telemedicina ✓Telecapacitación ✓Tele gestión ✓Tele-IEC 	<ul style="list-style-type: none"> ✓Tele apoyo al diagnóstico ✓Teleecografía ✓Tele radiografía ✓Tele mamografía ✓Tele dermatología 	<ul style="list-style-type: none"> ✓Tele apoyo al diagnóstico ✓Tele tomografía ✓Tele resonancia magnética
VELOCIDAD DE INTERNET	2 Mbps (40% garantizado)	6 Mbps (40% garantizado)	8 Mbps (40% garantizado)

El Ministerio de Salud en 2020 emitió la resolución ministerial N° 117-2020-MINSA que trata sobre la directiva para la implementación y desarrollo de servicios de telemedicina síncrona y asíncrona. En este documento hace referencia a los valores referenciales de ancho de banda necesaria para brindar adecuadamente servicios de telesalud en el Perú, MINSA, 2020.

De acuerdo a CEPAL se necesita 25 Mbps para poder realizar actividades de teletrabajo y educación en línea, y de acuerdo al MINSA, se necesita 8 Mbps para realizar tele apoyo al diagnóstico. Considerando que cada centro de salud contara con audio y video con una resolución mínima de 640 × 480 a 30 fotogramas por segundo para todas las aplicaciones de videoconferencia, se decide que cada centro tenga un ancho de banda de 10 Mbps.

Por lo tanto, al existir en total 6 instituciones de salud y a su vez cada uno contar con un ancho de banda de 10 Mbps y, además, considerando el crecimiento de tráfico en los próximos 3 años en un 30%, se obtiene que el ancho de banda necesario para este enlace de telepsiquiatría debe ser de 80 Mbps.

3.2.2. Bit Error Rate (BER)

En la tabla 5 podemos observar valores de BER en relación a la calidad de los sistemas de transmisión digital y se aprecia que para que un sistema transmita datos muy buenos debe tener valores de BER comprendidos entre los 1×10^{-9} a 1×10^{-10} .

Por otro lado, la ITU describe que la probabilidad de interrupción de transmisión se elabora definiendo la interrupción de la transmisión como una BER superior a un determinado valor, como por ejemplo 1×10^{-3} . De esta manera, la probabilidad de interrupción de la transmisión se dará cuando la BER sobrepase un determinado umbral definido, por lo cual, alcanzar una tasa de errores (BER) de 1×10^{-3} es una condición de corte.

Tabla 5. Calidad de los sistemas de transmisión digital

Calidad de los sistemas de transmisión digital	BER
Sistemas muy buenos	1×10^{-9} a 1×10^{-10}
Sistemas buenos	1×10^{-6}
Sistemas degradados	1×10^{-3} a 1×10^{-6}
Sistemas dañados	$> 1 \times 10^{-3}$

Para que un enlace tenga una muy buena calidad de sistema de transmisión digital debe tener valores de BER comprendido entre 1×10^{-9} a 1×10^{-10} . Por lo contrario, si tiene valores superiores a 1×10^{-3} quiere decir que es una condición de corte del enlace. Elaboración propia.

De lo anterior, se puede concluir que el BER necesario para esta red de telepsiquiatría debe tener un valor de 1×10^{-9} .

3.2.3. Disponibilidad del enlace

De acuerdo a la Recomendación ITU-R F. 557-5, para obtener una adecuada disponibilidad para un Trayecto Digital Ficticio de Referencia (TDFR) de 2500 km, se debe considerar un valor del 99.7% del tiempo. Este valor resulta estadísticamente válido en un periodo de tiempo largo, por lo general mayor a un año. La recomendación también señala que en la práctica este valor es relativo y se puede elegir dentro del rango de 99.5% y 99.9% (International Telecommunication Union, 2014).

Tabla 6. Disponibilidad y tiempo de interrupción

Disponibilidad (%)	Tiempo de interrupción (%)	Año (horas)	Tiempo de interrupción por mes (horas)	Día (horas)
	100	8760	720	24
50	50	4380	360	12
80	20	1752	144	4.8
90	10	876	72	2.4
95	5	438	36	1.2
98	2	175	14	29 minutos
99	1	88	7	14.4 minutos
99.9	0.1	8.8	43 minutos	1.44 minutos
99.99	0.01	53 minutos	4.3 minutos	8.6 segundos
99.999	0.001	5.3 minutos	26 segundos	0.86 segundos
99.9999	0.0001	32 segundos	2.6 segundos	0.086 segundos

Cuando la disponibilidad del enlace se acerca al 100% el tiempo de interrupción disminuye y esto se traduce como menor tiempo de interrupción por día, mes y año, por Tomasi, 2003.

La geografía por donde recorre este enlace de telepsiquiatría tienen una topografía muy heterogénea y, por ende, un clima muy variado. Estas zonas están conformadas por colinas bajas, colinas altas, montaña alta y acantilado y, las pérdidas generadas en el enlace (1 dB) han sido consideradas en el cálculo final.

Considerando lo anteriormente mencionado, se concluye que en el enlace de telepsiquiatría debe tener una disponibilidad de 99.95% (tiempo de interrupción equivalente a 4.38 horas al año) para que garantice menor tiempo de interrupción.

3.2.4. Frecuencia

Para el diseño del enlace microondas se decidió utilizar la banda de frecuencia de 8 GHz, pues en esta banda se presenta menores pérdidas que en bandas altas y a su vez, garantiza el ancho de banda requerido planteado en el diseño. En la recomendación de la UIT – R F.386-9, se describe la disposición de radiocanales para los sistemas inalámbricos fijos y sus frecuencias fluctúan entre los 7.7 GHz y 8.5 GHz. (International Telecommunication Union, 2013)

La disposición de los radiocanales se obtiene con f_0 como frecuencia en el centro de la banda:

$$f_0 = 8000 \text{ MHz}$$

Basados en anchura de banda de múltiplos de 2.5 MHz y para sistemas con anchura de banda de canal de 20 MHz, se procedió a calcular la mitad inferior y superior de la banda:

$$f_n = f_0 - 285 + 20n \text{ MHz}$$

$$f'_n = f_0 + 15 + 20n \text{ MHz}$$

Siendo $n = 1, 2, 3, \dots, 12$.

Se eligió trabajar con el valor de $n = 12$ debido a que no se dispone de información acerca de las frecuencias que se utilizan en la zona; luego del estudio de campo se podrá revisar y modificar este valor. Se procedió a reemplazar estos valores:

$$f_n = 8000 - 285 + 20(12) \text{ MHz}$$

$$f_n = 7955 \text{ MHz}$$

$$f'_n = 8000 + 15 + 20(12) \text{ MHz}$$

$$f'_n = 8255 \text{ MHz}$$

Calculando el promedio entre f_n y f'_n se obtiene el valor de:

$$f_n \text{ promedio} = 8105 \text{ MHz}$$

Por lo cual, se concluye que la frecuencia elegida para el enlace de telepsiquiatría es de 8.1 GHz.

De acuerdo al Plan Nacional de Atribuciones de Frecuencias (PNAF) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), las frecuencias son un recurso natural y deben ser atribuidas a los diferentes servicios de telecomunicaciones dentro del territorio nacional. Esta tesis plantea dentro de su diseño el uso de la banda licenciada de 8.1 GHz, por lo cual, es necesario solicitar la autorización al Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Según en MTC estos son los pasos a seguir para tener la autorización:

- A) El primer paso para solicitar la autorización, es verificar la disponibilidad de frecuencias en la localidad donde se requiere brindar el servicio. En la siguiente página web: <https://rnf.mtc.gob.pe/> se puede realizar este punto.
- B) Segundo paso, se debe verificar que el solicitante cumpla con los requisitos técnicos y legales, para lo cual debe llenar los formularios que se encuentran en la siguiente página web: https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/solicitud.html. Estos requisitos están conformados por requisitos legales, técnicos y económicos. En el anexo C y D se puede observar documentos solicitados. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021)
- C) Como tercer paso, debe presentar la solicitud dirigida a la Dirección General de Autorizaciones en Telecomunicaciones (DGAT), adjuntando

los formularios y la documentación correspondiente, a través de la Mesa de Partes Virtual (<https://mpv.mtc.gob.pe/>) o a través del TUPA Digital del TMC (<https://tupadigital.mtc.gob.pe/app/login.html>).

- D) Por último, luego de verificar que cumpla con los requisitos, el Viceministerio de Comunicaciones emitirá la resolución que otorga la autorización.

Las gestiones para solicitar esta autorización deben ser realizadas por el Gobierno Regional de Cajamarca o por el Ministerio de Salud.

3.3. DISEÑO DEL ESQUEMA DE RED DE LOS ENLACES MICROONDAS

Para conseguir un apropiado diseño de la red de enlaces microondas que interconecte a los Centros de Salud Mental Comunitaria de la región Cajamarca con el Hospital Regional Docente de Cajamarca, se procedió a dividirla en las siguientes etapas:

- 1) La primera, donde se analiza la línea de vista entre las estaciones terminales y las estaciones repetidoras, lo cual, se explicará en el ítem 3.3.1.
- 2) La segunda, pérdidas por espacio libre, lluvias, gases y otros, lo cual, se explicará en el ítem 3.3.2.
- 3) Tercera, atenuación por degradación, lo cual, se explicará en el ítem 3.3.3.
- 4) Cuarta, análisis de la onda reflejada, lo cual, se explicará en el ítem 3.3.4.
- 5) Quinta, nivel de recepción, lo cual, se explicará en el ítem 3.4.4.
- 6) Y, por último, los cálculos de desvanecimiento y confiabilidad, lo cual, se explicará en el ítem 3.4.5.

3.3.1. Línea de vista entre las estaciones

La red de telepsiquiatría contará en su diseño con 11 enlaces de radio en la banda de microondas de manera que interconecten los 5 CSMC y el HRDC. En la figura 10 se puede observar la red troncal

de telepsiquiatría con la ubicación de las estaciones terminales (CSMC y HNRDC) y las estaciones repetidoras.

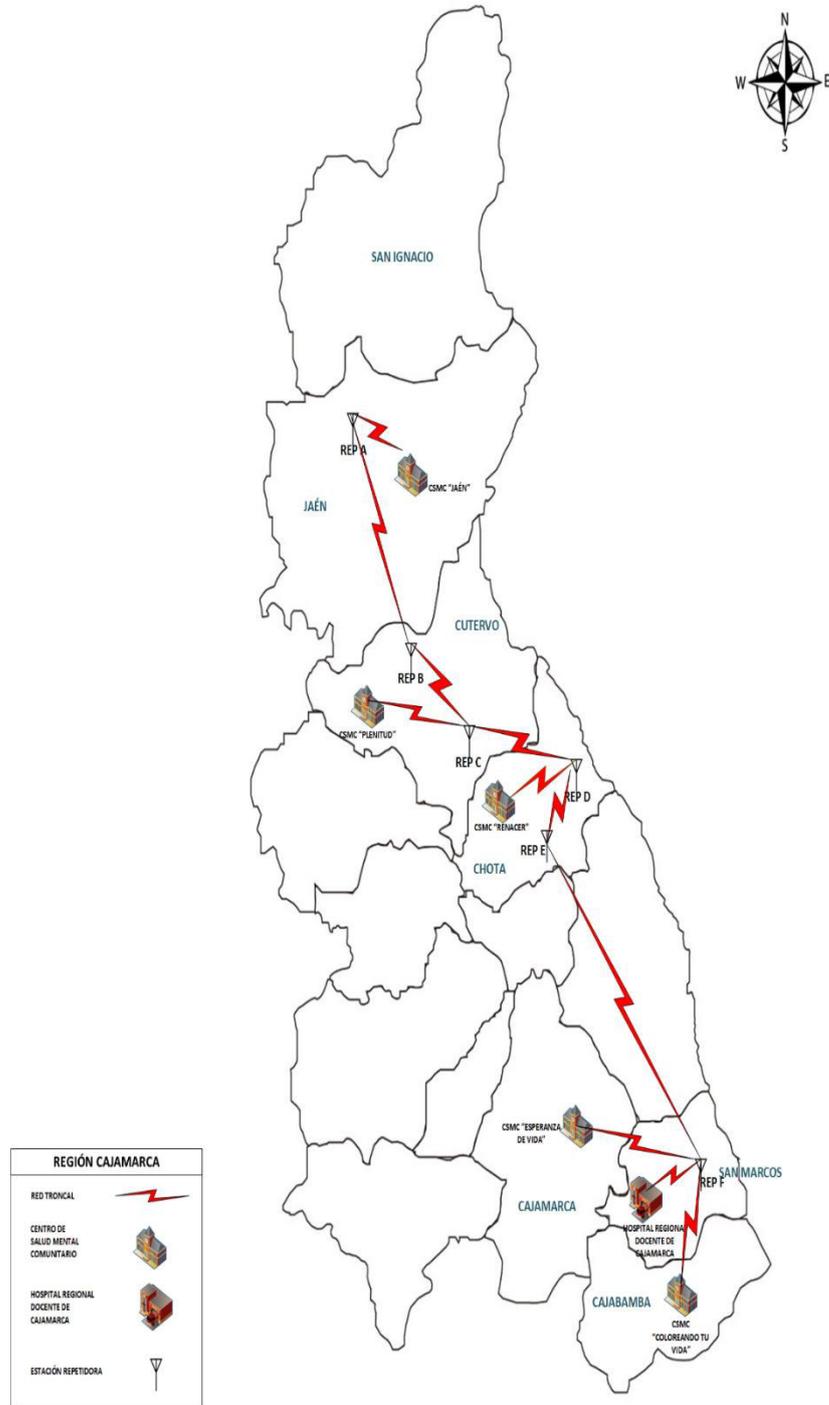


Figura 10. Enlaces microondas de la red de telepsiquiatría

Fuente: Elaboración propia

Ubicación de las estaciones terminales y repetidoras a lo largo de la región Cajamarca donde se puede observar su distribución a nivel macro.

En la tabla 8 se puede observar los distritos donde se encuentran los centros de salud mental y el hospital de Cajamarca con sus respectivos nombres y coordenadas geográficas. La dirección de cada centro de salud se obtuvo de la página web oficial del MINSA y con ayuda del software libre Google Earth Pro se pudo obtener las coordenadas geográficas de cada punto (Ministerio de Salud, 2020) (Google LLC (19 de julio de 2020))

Tabla 7. Ubicación de los Centros de Salud Mental Comunitario y el Hospital Regional Docente de Cajamarca de la región Cajamarca

DISTRITO	CSMC	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
Jaén	CSMC "Jaén"	5°42'50.12"S	78°48'25.84"O	733
Cutervo	CSMC "Plenitud"	6°22'39.62"S	78°49'24.39"O	2638
Chota	CSMC "Renacer"	6°33'33.68"S	78°39'14.03"O	2363
Cajamarca	CSMC "Esperanza de vida"	7°10'34.38" S	78°30'32.09" O	2731
Cajabamba	CSMC "Coloreando tu vida"	7°37'14.54" S	78°02'43.97" O	2672
San Marcos	Hospital Regional Docente de Cajamarca	7°11'0.26"S	78°29'16.07"O	2729

En la tabla se demuestra el nombre y ubicación de los Centros de Salud Mental Comunitario por distrito, describiendo sus coordenadas geográficas. Elaboración propia.

Para ubicar las coordenadas geográficas de las estaciones terminales y repetidoras se usó el software libre Google Earth Pro y, para conocer el nombre de los respectivos lugares se usaron seis Cartas Nacionales del Perú en formato shapefile, que corresponde a las distintas provincias donde se encuentran cada centro de salud de la región Cajamarca. Se cargó las cartas nacionales en el software Google Earth Pro y se procedió a buscar los nombres de acuerdo a sus coordenadas. (GEO GPS PERÚ, 2013)

En la tabla 9 se puede observar el nombre de los lugares donde se encuentra cada estación repetidora con sus respectivas coordenadas geográficas.

Tabla 8. Ubicación de las estaciones repetidoras con sus respectivos nombres y coordenadas geográficas de la Región Cajamarca

Nombre	Repetidores	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
Cerro Pedregal	Repetidor A	5°39'34.89" S	78°48'49.39" O	1275
Cerro Llipa	Repetidor B	6°17'43.48"S	78°47'47.78"O	3173
Cerro las Dos Cruces	Repetidor C	6°28'06.29" S	78°44'19.89" O	3311
Cerro Lucmacucho	Repetidor D	6°35'46.22" S	78°33'47.53" O	3701
Cerro San Cirilo	Repetidor E	6°52'42.96" S	78°35'38.18" O	4123
Cerro Agopiú	Repetidor F	7°20'29.52" S	78°20'14.62" O	3959

Se observa en la tabla la ubicación de las 6 estaciones repetidoras indicando sus coordenadas geográficas. Cada estación repetidora llevara por nombre el lugar donde se ubica. Elaboración propia.

En la figura 11 se observa el diagrama de red que tiene la red de telepsiquiatría, donde se aprecia mayor información de las estaciones terminales y estaciones repetidoras que van desde el distrito de Jaén hasta el distrito de Cajabamba.

Como demostración a continuación se presentará los cálculos que se realizaron para el perfil entre la estación repetidora Cerro Pedregal con la estación repetidora Cerro LLipa, ya que este es el enlace más largo (74 Km) y con mayor dificultad.

DIAGRAMA DE LA RED DE TELEPSIQUIATRÍA

RUTA JAEN – CAJABAMBA, REGIÓN CAJAMARCA

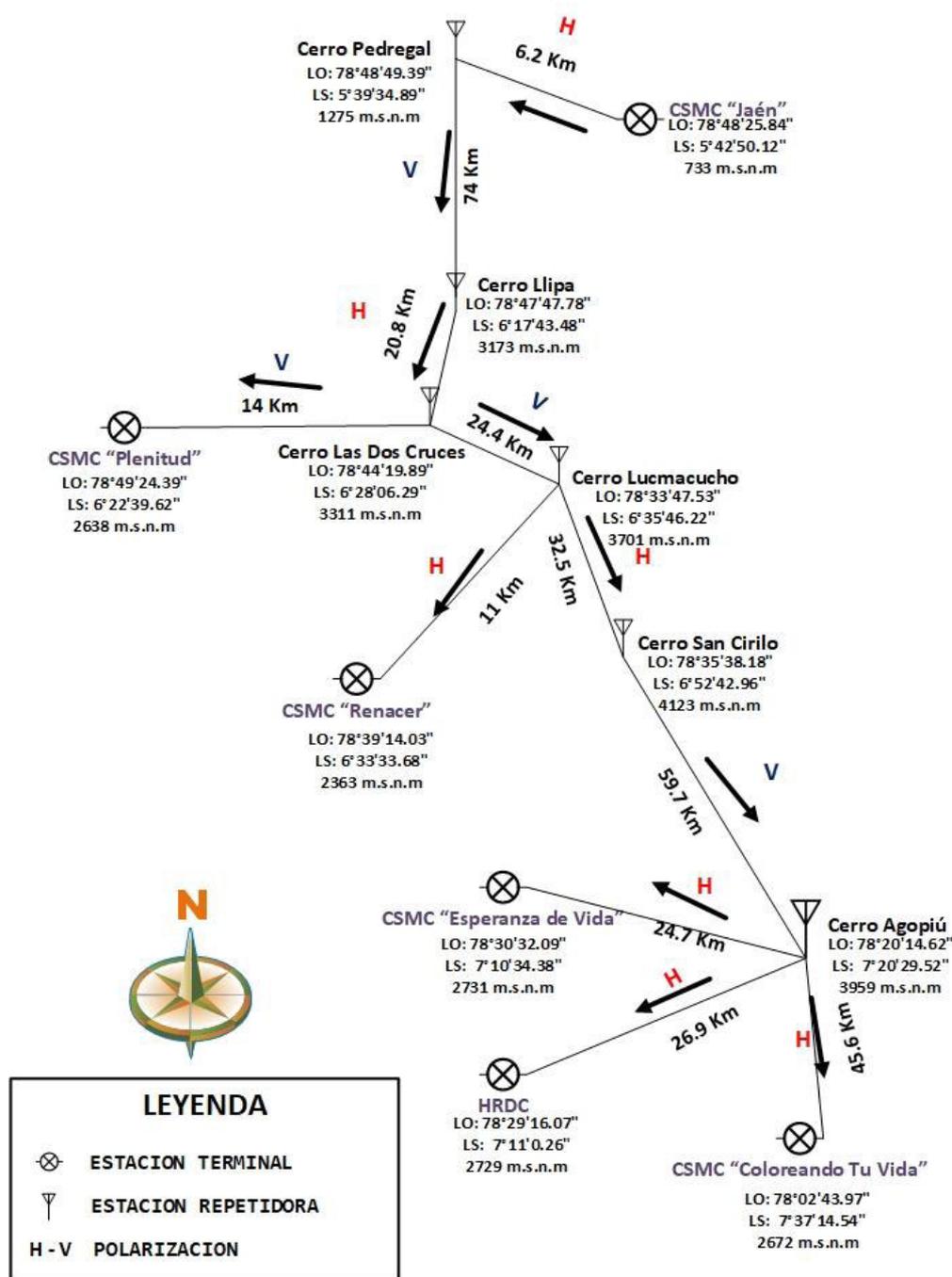


Figura 11. Diagrama de la Red de Telepsiquiatría

Fuente: elaboración propia

En la figura 11 se observa el diagrama de la Red de Telepsiquiatría donde se detalla las estaciones terminales y repetidoras, indicando la dirección del enlace, la polarización, distancia entre salto y salto y sus coordenadas geográficas.

En el Diagrama de la Red de Telepsiquiatría se observa que el enlace empieza en la estación terminal CSMC “Jaén” y la elección de la polarización se basó en el cálculo de la atenuación por lluvia del segundo perfil (más largo y mayor dificultad), donde se observa que en polarización horizontal la atenuación por lluvia es de 18.31 dB, mientras que en la polarización vertical la atenuación por lluvia es de 14.66 dB. Estos valores sirvieron como criterio para elegir el orden de la polarización de las ondas microondas.

Los cálculos matemáticos utilizados para determinar la existencia de línea de vista entre ambas estaciones son: Factor de corrección (FC), radio de la primera zona de Fresnel (R1), altura de la trayectoria (h) y margen de claridad (mc).

Para considerar la altura de las antenas que debe colocarse entre las diferentes estaciones, se realizó los cálculos mencionados anteriormente sin considerar altura alguna de la antena. Es decir, los siguientes cálculos se realizaron sin considerar la altura de las antenas.

A. Cálculo del Factor de Corrección (FC)

De la figura 12 podemos obtener las distancia y altura entre las estaciones repetidores de Cerro Pedregal y Cerro Llipa y el punto donde se considera un posible obstáculo.

d_1 ; distancia estación Cerro Pedregal y punto de obstáculo.

d_2 ; distancia entre punto de obstáculo y Cerro Llipa.

d_{total} ; distancia entre Cerro Pedregal y Cerro Llipa.

$d_1 = 69.79 \text{ Km}$ y $d_2 = 4.21 \text{ Km}$;

y lo reemplazamos en la siguiente formula:

$$FC = \frac{d_1 * d_2}{17}$$

$$FC = \frac{69.79 \text{ km} * 4.21 \text{ km}}{17} = 17.28$$

El Factor de Corrección es 17.28 metros



Figura 12. Altura y distancia entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa.

Fuente: elaboración propia

En la figura 12 se observa el nombre de las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa donde se indica sus respectivas alturas sobre el nivel del mar y la distancia entre ellas.

B. Cálculo de la primera zona de Fresnel

La frecuencia de operación es de 8.1 GHz

Remplazando los valores en la siguiente fórmula para calcular la primera zona de Fresnel:

$$R1 = 17.33 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}}$$

Se obtiene:

$$R1 = 17.33 \sqrt{\frac{69.79 \times 4.21}{8.1 \times 74}}$$

$$R1 = 12.33 \text{ m}$$

La primera zona de Fresnel es de 12.33 m.

C. Cálculo de la altura de la trayectoria (h)

La altura donde se encuentra las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Lipa se muestran a continuación:

h_1 = altura de Cerro Pedregal

h_2 = altura de Cerro Lipa

d_{total} ; distancia entre Cerro Pedregal y Cerro Lipa.

h_{obs} = altura del posible obstáculo

Reemplazamos estos valores en la siguiente formula:

$$h = \frac{d_1 * h_2 + d_2 * h_1}{d_{total}}$$

Se obtiene:

$$h = \frac{69.79 \times 3173 + 4.21 \times 1273}{74}$$

$$h = 3064.91 \text{ m}$$

Entonces, la altura de trayectoria es de 3064.91 metros.

D. Cálculo del margen de claridad (mc)

Con los valores obtenidos del factor de corrección (fc), la primera zona de Fresnel (R1) y la altura de trayectoria (h), se procede a calcular el margen de claridad (mc); cuyo valor nos dirá si existe línea de vista entre ambas estaciones repetidoras.

Reemplazamos en la siguiente formula:

$$mc = h - R1 - h_{obs} - FC$$

$$h_{obs} = 3006 \text{ m}$$

Se obtiene:

$$mc = 3064.91 - 12.33 - 3006 - 17.28$$

$$mc = 29.4 \text{ metros}$$

Al tener un margen de claridad positivo de 29.4 m se puede concluir que si existe línea de vista entre ambas estaciones repetidoras. **Por lo cual, se decide considerar la altura de la antena de Cerro Pedregal a 13 metros y Cerro Llipa a 10 metros, de esta manera, se ahorra costos en la etapa de implementación.** En la figura 13 podemos observar las estaciones repetidoras de Cerro Pedregal y Cerro Llipa con sus respectivas torres.

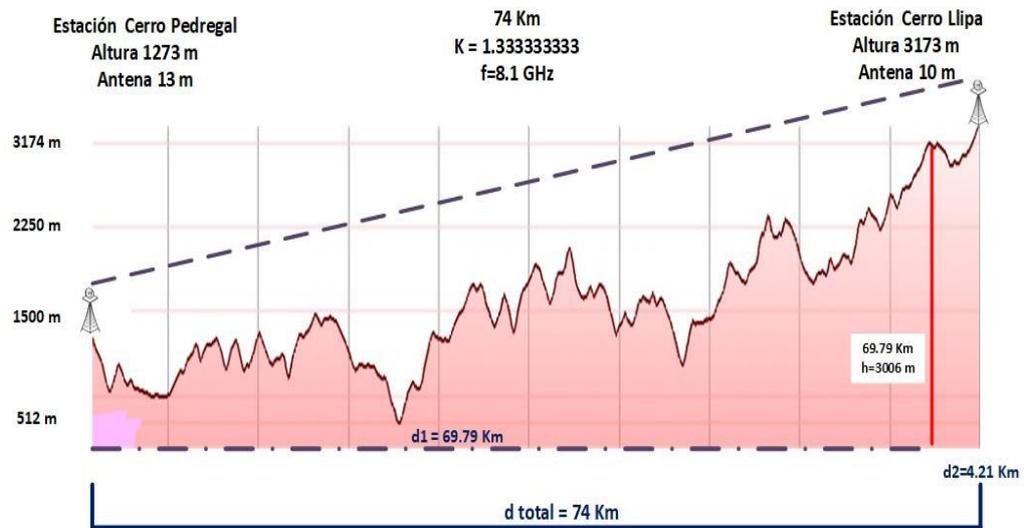


Figura 13. Altura y distancia entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa considerando la altura de sus respectivas antenas.

Fuente: Elaboración propia

En esta figura se consideró la altura de 10 metros de cada una de las torres ubicadas en las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa. Considerando las alturas de las torres se calculó en nuevo margen de claridad.

Considerando la altura de las torres se obtiene que el nuevo margen de claridad es de 39.29 metros.

En el anexo E, se analiza los diez perfiles restantes entre las diferentes estaciones, y en las figuras 14 y 15 se presenta los resultados de los cálculos en formato Excel.

		De CSMC "Jaen" a Cerro Pedregal	De Cerro Pedregal a Cerro Llipa	De Cerro Llipa a Cerro Las Dos Cruces	De Cerro Las Dos Cruces a CSMC "Plenitud"	De Cerro Las Dos Cruces a Cerro Lucmacucho
Frecuencia de operación (f)	GHz	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia 1 (d ₁)	Km	6.08	69.79	0.3	10.2	23.78
Distancia 2 (d ₂)	Km	0.12	4.21	20.5	3.8	0.62
Distancia del tramo (dtotal)	Km	6.20	74	20.8	14	24.4
Altura estación A	m	733	1273	3173	3311	3311
Altura estación B	m	1273	3173	3311	2639	3700
Altura del obstáculo (hobs)	m	1265	3006	3120	2759	3633
Factor de corrección (fc), K=4/3	m	0.04	17.28	0.36	2.28	0.87
1ra Zona de Fresnel (R1)	m	2.09	12.13	3.31	10.13	4.73
Altura de antena en torre A	m	20.00	13.00	13.00	15.00	13.00
Altura de antena en torre B	m	10.00	10.00	10.00	20.00	10.00
Altura de la trayectoria (h)	m	1272.74	3075.08	3187.95	2840.04	3700.19
Margen de claridad (mc)	m	5.61	39.66	64.27	68.63	61.59

Figura 14. Margen de claridad de los 11 perfiles que componen la red de telepsiquiatría

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se puede observar los resultados de los cálculos realizados para todos los 11 perfiles y así determinar si existe línea de vista entre ellos.

	De Cerro Lucmacucho a CSMC "Renacer"	De Cerro Lucmacucho a Cerro San Cirilo	De Cerro San Cirilo a Cerro Agopiú	De Cerro Agopiú a CSMC "Esperanza de Vida"	De Cerro Agopiú a HRDC	De Cerro Agopiú a CSMC "Coloreando tu Vida"
Frecuencia de operación (f)	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia 1 (d ₁)	0.6	26.89	1.9	0.42	0.4	8.2
Distancia 2 (d ₂)	10.4	5.61	57.8	26.48	24.3	37.4
Distancia del tramo (dtotal)	11	32.5	59.7	26.9	24.7	45.6
Altura estación A	3700	3700	4123	3952	3952	3952
Altura estación B	2365	4123	3952	2731	2680	2675
Altura del obstáculo (hobs)	3592	3953	4021	3916	3907	3445
Factor de corrección (fc), K=4/3	0.37	8.87	6.46	0.65	0.57	18.04
1ra Zona de Fresnel (R1)	4.59	13.12	8.26	3.92	3.82	15.79
Altura de antena en torre A	15.00	13	13	17	15	13
Altura de antena en torre B	20.00	10	10	20	30	20
Altura de la trayectoria (h)	3642.45	4060.50	4130.46	3949.98	3946.64	3736.62
Margen de claridad (mc)	45.50	85.51	94.74	29.41	35.25	257.79

Figura 15. Continuación del margen de claridad de los 11 perfiles que componen la red de telepsiquiatría.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 es la continuación de la figura 14 que completa los cálculos de los 11 perfiles para determinar la existencia de línea de vista.

3.3.2. Atenuaciones del enlace

A. Atenuación en el espacio libre

La recomendación de la UIT-R P.525-4 describe hacer el cálculo para esta atenuación con la siguiente fórmula. En la tabla 9 se aprecia la atenuación por espacio libre de los demás perfiles. (International Telecommunication Union, 2019)

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

Siendo:

$$f = \text{frecuencia de trabajo} = 8100 \text{ MHz}$$

$$L_{bf} = \text{pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)}$$

$$d = \text{distancia entre estaciones repetidoras (Km)}$$

Reemplazando estos valores se obtuvo:

$$L_{bf} = 32.5 + 20 \log(8100) + 20 \log(74)$$

$$L_{bf} = 148.05 \text{ dB}$$

La atenuación en el espacio libre para este perfil es de 148.05 dB.

Tabla 9. Atenuación por espacio libre de los 11 perfiles del enlace

	Frecuencia de operación (f)	Distancia del tramo	Pérdida por espacio libre L_{bf}
	MHz	Km	dB
De CSMC "Jaén" a Cerro Pedregal	8100	6.2	126.52
De Cerro Pedregal a Cerro Llipa	8100	74	148.05
De Cerro Llipa a Cerro Las Dos Cruces	8100	20.8	137.03
De Cerro Las Dos Cruces a CSMC "Plenitud"	8100	14	133.59
De Cerro Las Dos Cruces a Cerro Lucmacucho	8100	24.4	138.42
De Cerro Lucmacucho a CSMC "Renacer"	8100	11	131.50
De Cerro Lucmacucho a Cerro San Cirilo	8100	32.5	140.91
De Cerro San Cirilo a Cerro Agopiú	8100	59.7	146.19
De Cerro Agopiú a CSMC "Esperanza de Vida"	8100	26.9	139.26
De Cerro Agopiú a HRDC	8100	24.7	138.52
De Cerro Agopiú a CSMC "Coloreando tu Vida"	8100	45.6	143.85

En la tabla 9 se puede ver los resultados de los cálculos de la atenuación por espacio libre de todos los perfiles del enlace, donde se observa que el perfil entre Cerro Pedregal y Cerro Llipa es la que más atenuación presenta.

DIAGRAMA DE TORRES DE LA RED DE TELEPSIQUIATRIA

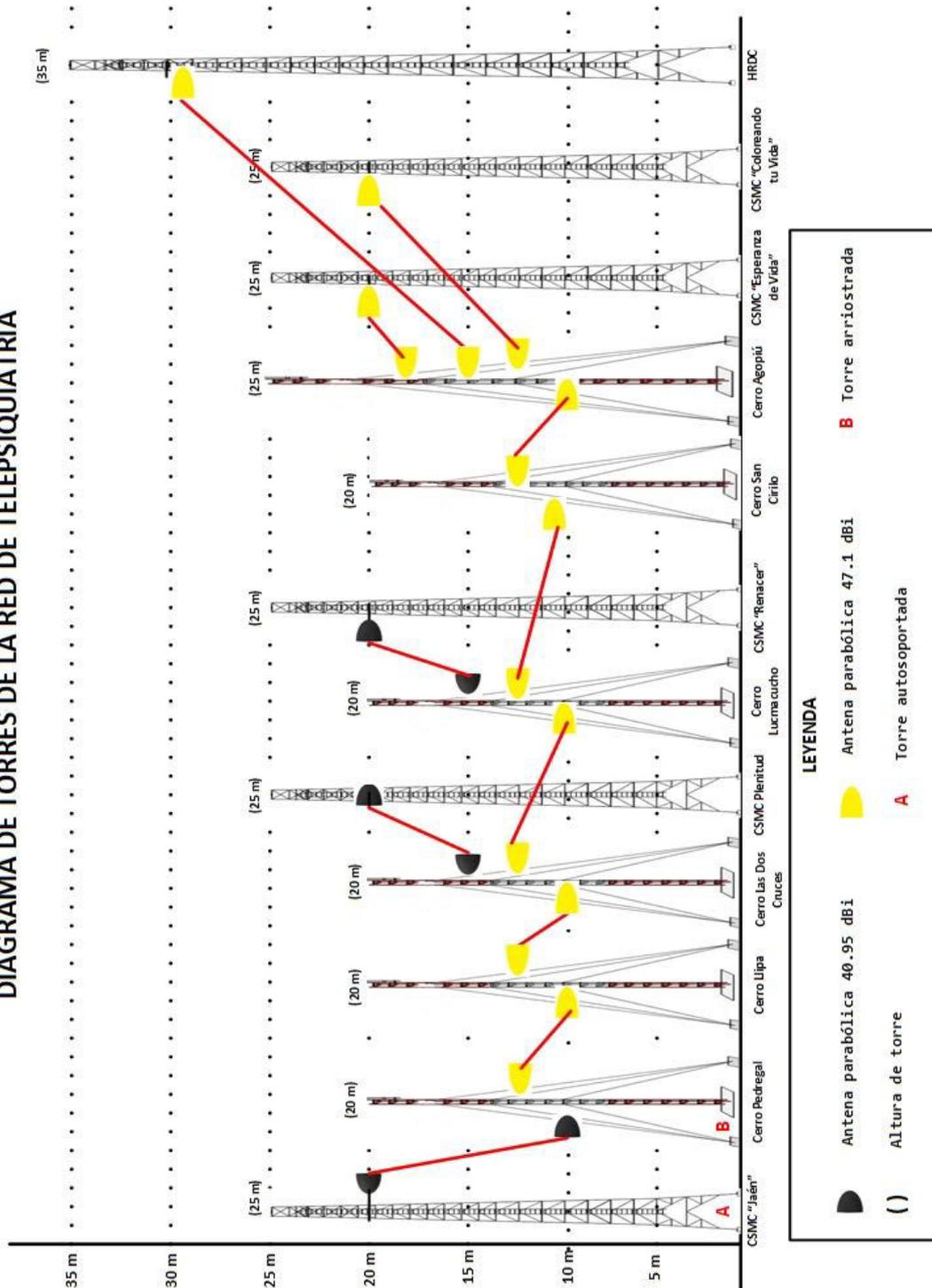


Figura 16. Diagrama de torres de la Red de telepsiquiatría

Fuente: elaboración propia

En la figura 14 se puede observar la altura de las torres en cada estación, la altura de sus respectivas antenas y como el enlace se distribuye. También se puede apreciar que existen dos antenas de diferente ganancia.

B. Atenuación por lluvia

Para el cálculo inicial se trabajará con una disponibilidad de 99.99% y luego mediante formula se convertirá a 99.95% que es el valor que se planteó en el diseño.

El modelo de la atenuación especifica debida a lluvia dada por la recomendación UIT-R P.838-3 recomienda utilizar el siguiente procedimiento. (International Telecommunication Union, 2005)

Para el cálculo se consideran las siguientes variables:

- At_{lluvia} = atenuación por lluvia en dB
- γR = atenuación específica en dB/Km
- $L_{trayefec}$ = longitud efectiva del trayecto donde llueve
- k, α = dependen de la frecuencia, polarización y temperatura de la lluvia.
- R = Intensidad de lluvia en mm/h
- $d_0 = 35e^{-0.015R}$

Los valores de k y α lo obtenemos de las tablas contenidas en la recomendación UIT-R P.838-3, sin embargo, al trabajar en la frecuencia de 8.1 GHz es necesario calcular los nuevos valores de k y α . El valor de R se obtuvo del Mapa mundial de rebasamiento de la atenuación de lluvia anual de 0.01% para un año promedio, presentado en la recomendación UIT-R P.837-7. Ver anexo E. (International Telecommunication Union, 2017a)

Se procede a realizar los cálculos para este perfil elegido:

Frecuencia de operación = 8.1 GHz

$R = 95$ mm/h

Distancia entre estaciones repetidoras (d) = 74 Km

a) Calculando d_0 ; donde R está al 0.01%

$$d_0 = 35e^{-0.015R} \text{ Km}$$

$$d_0 = 8.42 \text{ Km}$$

b) Calculando longitud efectiva del trayecto donde llueve

$$L_{trayefec} = \frac{74}{1 + \frac{74}{8.42}}$$

$$L_{trayefec} = 7.56 \text{ Km}$$

c) Calculando coeficiente de regresión k_v y α_v

De la tabla de la recomendación 838-3 de la UIT se obtiene los valores del coeficiente k_v a las frecuencias de 8 GHz y 9 GHz, estos datos nos permitirán encontrar los valores de k_v y α_v a la frecuencia de operación que es 8.1 GHz.

A 8 GHz su valor k_v es 0.003450 y a 9 GHz su valor k_v es 0.006691.

Reemplazando tenemos:

$$k_v = 0.003450 + \frac{(0.006691 - 0.003450)(8.1 - 8)}{(9 - 8)}$$

$$k_v = 0.0037741$$

d) Calculando el coeficiente de regresión α_v

De la tabla de la recomendación 838-3 de la UIT se obtiene los valores del coeficiente α_v a las frecuencias de 8 GHz y 9 GHz.

A 8 GHz su valor α_v es 1.3797 y a 9 GHz su valor α_v es 1.2895

Reemplazando tenemos:

$$\alpha_v = 1.3797 + \frac{(1.2895 - 1.3797)(8.1 - 8)}{(9 - 8)}$$

$$\alpha_v = 1.37068$$

e) Calculando la atenuación en dB/Km

$$yR = 0.0037741 * 95^{1.37068}$$

$$yR = 1.9392$$

f) Calculando la atenuación por lluvia en dB

$$At_{lluvia} = 1.9392 \times 7.56$$

$$At_{lluvia} = 14.66 \text{ dB}$$

La atenuación por lluvia entre las Estaciones Cerro Pedregal y Cerro Lipa es de 14.66 dB al 99.99% (lo cual implica que $p = 0.01\%$). Sin embargo, de acuerdo al diseño planteado es necesario trabajar con una disponibilidad del 99.95 %, por lo que, se calcula la atenuación de la lluvia para el complemento de confiabilidad, es decir; cuando $p = 0.05\%$.

Para ello, utilizamos la siguiente formula considerando que la región Cajamarca tiene una latitud menor de 30° .

$$A_{p\%} = 0.07 \times A(0.01\%) p^{-0.855 - 0.139 \times \log_{10} p}$$

Donde “p” es el complemento de la confiabilidad y para este caso es de 0.05%. Reemplazando los valores obtenemos lo siguiente:

$$A_{0.05\%} = 0.07 \times (14.66) 0.05^{-0.855 - 0.139 \times \log_{10} 0.05}$$

$$A_{0.05\%} = 7.73 \text{ dB}$$

Por lo tanto, la atenuación por lluvia para este perfil al 99.95% es de 7.73 dB.

En las siguientes figuras se muestran las pérdidas por lluvia de los 11 perfiles.

		De CSMC "Jaen" a Cerro Pedregal	De Cerro Pedregal a Cerro Lipa	De Cerro Lipa a Cerro Las Dos Cruces	De Cerro Las Dos Cruces a CSMC "Plenitud"	De Cerro Las Dos Cruces a Cerro Lucmacucho
Polarización	H/V	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
Frecuencia de operación (f)	GHz	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo (d)	Km	6.20	74	20.8	14	24.4
Intensidad de lluvia (R)	mm/h	95	95	95	95	95
Coefficiente de regresión (k)	H/V	0.004457	0.0037741	0.004457	0.0037741	0.004457
Coefficiente de regresión (α)	H/V	1.383	1.37068	1.383	1.37068	1.383
d_0		8.42	8.42	8.42	8.42	8.42
Longitud efectiva del trayecto	m	3.57	7.56	5.99	5.26	6.26
Atenuación específica	dB/Km	2.422	1.939	2.422	1.939	2.422
Atenuación por lluvia (99.99%)	dB	8.65	14.66	14.52	10.19	15.16
Atenuación por lluvia (99.95%)	dB	4.56	7.73	7.66	5.38	8.00

Figura 17. Pérdida por lluvia al 99.95%

Fuente: elaboración propia

En la figura 17, se observa los resultados de los cálculos realizados de la pérdida por lluvia al 99.95% de los 11 perfiles de la red de telepsiquiatría.

	De Cerro Lucmacucho a CSMC "Renacer"	De Cerro Lucmacucho a Cerro San Cirilo	De Cerro San Cirilo a Cerro Agopiú	De Cerro Agopiú a CSMC "Esperanza de Vida"	De Cerro Agopiú a HRDC	De Cerro Agopiú a CSMC "Coloreando tu Vida"
Polarización	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
Frecuencia de operación (f)	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo (d)	11	32.5	59.7	26.9	24.7	45.6
Intensidad de lluvia (R)	95	95	95	95	95	95
Coefficiente de regresión (k)	0.0037741	0.004457	0.0037741	0.004457	0.0037741	0.004457
Coefficiente de regresión (α)	1.37068	1.383	1.37068	1.383	1.37068	1.383
d_0	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42
Longitud efectiva del trayecto	4.77	6.69	7.38	6.41	6.28	7.11
Atenuación específica	1.939	2.422	1.939	2.422	1.939	2.422
Atenuación por lluvia (99.99%)	9.25	16.20	14.31	15.53	12.18	17.21
Atenuación por lluvia (99.95%)	4.88	8.54	7.55	8.19	6.42	9.08

Figura 18. Continuación de las pérdidas por lluvia al 99.95%

Fuente: elaboración propia

La figura 18, es la continuación de los resultados calculados sobre la pérdida por lluvia al 99.95% de los 11 perfiles de la red de telepsiquiatría.

C. Atenuación por gases

La atenuación específica por oxígeno (Y_{ox}) de acuerdo a la recomendación UIT – R P.676-12 está dada por la siguiente fórmula para frecuencias menores de 57 GHz.

$$Y_{ox} = \left[\frac{7.27}{f^2 + 0.35} + \frac{7.5}{(f - 57)^2 + 2.44} \right] * f^2 * 10^{-3}$$

Reemplazando los valores obtenemos:

$$Y_{ox} = \left[\frac{7.27}{8.1^2 + 0.35} + \frac{7.5}{(8.1 - 57)^2 + 2.44} \right] * 8.1^2 * 10^{-3}$$

$$Y_{ox} = 0,0074 \text{ dB/Km}$$

Para la atenuación específica por vapor de agua (Y_w) la recomendación UIT – R P.676-16 recomienda la siguiente fórmula que aplica para frecuencias menores de 180 GHz.

$$Y_w = \left[3.27 * 10^{-2} + 1.67\rho * 10^{-3} + 7.7 * 10^{-4} * f^{0.5} + \frac{3.79}{(f - 22.23)^2 + 9.81} \right] * f^2 * 10^{-4}\rho$$

Donde:

f = frecuencia en GHz

ρ = densidad de vapor de agua en g/m^3

La densidad de vapor de agua utilizada para esta tesis fue de $7.5 g/m^3$, valor considerado normal para la zona.

$$Y_w = \left[3.27 * 10^{-2} + 1.67(7.5) * 10^{-3} + 7.7 * 10^{-4} * 8.1^{0.5} + \frac{3.79}{(8.1 - 22.23)^2 + 9.81} \right] * 8.1^2 * 10^{-4}(7.5)$$

$$Y_w = 0,0032 \text{ dB/Km}$$

La atenuación en enlaces terrestres es aditiva (*A gases*), es por ello que se suman: vapor de agua + oxígeno.

$$Aten_{gases}(dB) = (Y_{ox} + Y_w) \times L(km)$$

Considerando la distancia más larga de los saltos como el peor de los casos, se procede a reemplazar en la siguiente formula:

$$Aten_{gases}(dB) = (0,0074 + 0,0032) \times 74 (km)$$

$$Aten_{gases}(dB) = 0.7844 dB$$

La atenuación por gases para este perfil entre las Estaciones Cerro Pedregal y Cerro Llipa es de 0.7844 dB.

A continuación, se muestran las figuras 19 y 20 donde se observa las pérdidas por gases de todos los perfiles.

		De CSMC "Jaen" a Cerro Pedregal	De Cerro Pedregal a Cerro Llipa	De Cerro Llipa a Cerro Las Dos Cruces	De Cerro Las Dos Cruces a CSMC "Plenitud"	De Cerro Las Dos Cruces a Cerro Lucmacucho
Frecuencia de operación (f)	GHz	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo (d)	Km	6.20	74	20.8	14	24.4
Atenuación específica por oxígeno (Yox)	dB/km	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074
Atenuación específica por vapor de agua (Yw)	dB/km	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032
Atenuación por gases	dB	0.066	0.784	0.220	0.148	0.259

Figura 19. Resultados de los cálculos por pérdida por gases

Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se puede observar los resultados de los cálculos hechos sobre la pérdida por gases de los 11 perfiles del enlace.

	De Cerro Lucmacucho a CSMC "Renacer"	De Cerro Lucmacucho a Cerro San Cirilo	De Cerro San Cirilo a Cerro Agopiú	De Cerro Agopiú a CSMC "Esperanza de Vida"	De Cerro Agopiú a HRDC	De Cerro Agopiú a CSMC "Coloreando tu Vida"
Frecuencia de operación (f)	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo (d)	11	32.5	59.7	26.9	24.7	45.6
Atenuación específica por oxígeno (Yox)	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074
Atenuación específica por vapor de agua (Yw)	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032
Atenuación por gases	0.117	0.345	0.633	0.285	0.262	0.483

Figura 20. Continuación de resultados de los cálculos por pérdida por gases

Fuente: Elaboración propia

La figura 20 es la continuación de la figura 19, donde se observan los demás resultados de las pérdidas por gases.

3.3.3. Atenuación por degradación

Se incluyen las variaciones por temperatura, variaciones por altitud, envejecimiento de los componentes, y para ese perfil se asume un valor de 4 dB. (Ordóñez & Huidobro, 2014)

3.3.4. Onda reflejada

Según la Recomendación de la ITU-R P.530-17 para el análisis de la onda reflejada se realiza de la siguiente manera. (International Telecommunication Union, 2017b)

De la imagen podemos obtener los siguientes datos:

$h_1 = 1273 \text{ m}$; altura de la estación sobre el nivel del mar.

$h_{t1} = 13 \text{ m}$; altura de la antena sobre el nivel del suelo.

$h_2 = 3173 \text{ m}$; altura de la estación sobre el nivel del mar.

$h_{t2} = 10 \text{ m}$; altura de la antena sobre el nivel del suelo.

$d_{total} = 74 \text{ Km}$; distancia del tramo entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa.



Figura 21. Onda reflejada entre las estaciones repetidoras Cerro Pedregal y Cerro Llipa

Fuente: elaboración propia

La onda reflejada se encuentra a 8 Km de la estación repetidora Cerro Pedregal. De acuerdo a la imagen se puede observar que entre la onda reflejada y la estación Cerro Llipa existe obstáculos, por lo que la onda no causaría desfases en la señal.

Para el cálculo se asume que el punto de reflexión se encuentra a 8 Km de la estación repetidora Cerro Pedregal.

$$d_1 = 8 \text{ Km}$$

$$d_2 = 66 \text{ Km}$$

$$h_r = 1051 \text{ m}; \text{ altura del punto de reflexión sobre el nivel del mar}$$

Paso 1: Cálculo del h_{10} y h_{20}

$$h_{10} = (1273 + 13) - 1051 = 235 \text{ m}$$

$$h_{20} = (3173 + 10) - 1051 = 2132 \text{ m}$$

Paso 2: cálculo del factor C

$$c = \frac{232 - 2132}{232 + 2132} = -0.80$$

Paso 3: cálculo del factor m

$$m = \frac{74000^2}{4 * \frac{4}{3} * 6378000(232 + 2132)} = 0.068$$

Paso 4: cálculo del factor b

De acuerdo a la recomendación de la ITU-R P.530-17 podemos calcular este valor de la siguiente manera:

$$b = -2 \sqrt{\frac{0.054 + 1}{0.054}} \cos \left\{ -120^\circ + \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(3x \frac{0.64}{2} \sqrt{\frac{3 \times 0.054}{(0.054 + 1)^3}} \right) \right\}$$

$$b = 0.78$$

Paso 5: cálculo de d_1 y d_2

$$d_1 = \frac{74(1 + 0.78)}{2} = 66 \text{ km}$$

$$d_2 = 74 - 66 = 8 \text{ km}$$

Al salir el factor c negativo los valores de d_1 y d_2 se invierten quedando de la siguiente manera:

$$d_1 = 8 \text{ km} \quad y \quad d_2 = 66 \text{ km}$$

De esta manera, al ser igual la distancia asumida del punto de reflexión con la distancia calculada, **podemos concluir que el punto de la onda reflejada es a 8 Km de la estación repetidora Cerro Pedregal.**

Paso 6: cálculo de los ángulos

Para esta operación las distancias utilizadas son las calculadas directamente del paso 5 (sin invertir los valores).

Hallando θ_{1rad}

$$\theta_{1rad} = \frac{235}{8000} - \frac{235 - 2132}{74000} - \frac{66000}{2 * \frac{4}{3} * 6378000}$$

$$\theta_{1rad} = 0.03 \pi \text{ rad}$$

Convirtiendo este valor a grados sexagesimales

$$0.03 \pi \text{ rad} \left(\frac{180}{\pi} \right) = 1.65^\circ$$

Hallando θ_{2rad}

$$\theta_{2rad} = \frac{2132}{66000} - \frac{2132 - 235}{74000} - \frac{8000}{2 * \frac{4}{3} * 6378000}$$

$$\theta_{2rad} = 0.23\pi \text{ rad}$$

Convirtiendo este valor a grados sexagesimales

$$\theta_2 = 0.23 \pi \text{ rad} \left(\frac{180}{\pi} \right) = 13.36^\circ$$

Al ser el factor c negativo, los valores de θ_1 y θ_2 se invierten quedando los ángulos corregidos de la siguiente manera:

$$\theta_1 = 1.65$$

$$\theta_2 = 13.36$$

Analizando el perfil, se observa que el punto de reflexión cae en un punto donde es imposible que exista onda refleja, porque, existen

muchos cerros que impiden que esta se refleje a la antena receptora. **Por lo que, se concluye para este perfil no existe onda reflejada.**

En la tabla 10 se puede observar un cuadro resumen de los resultados de las ondas reflejadas de todos los perfiles.

Tabla 10. Resumen de onda refleja de todos los perfiles

Perfil	Onda reflejada
Estación CSMC "Jaén" - Estación Cerro Pedregal	Sí existe, pero al caer en una ciudad la atenuación al ser mayor a 10 dB no se considera.
Estación Cerro Pedregal – Cerro Llipa	No existe onda reflejada porque hay un cerro ubicado a 1 km que obstruye a la línea de vista.
Estación Cerro Llipa – Estación Cerro Las Dos Cruces	No existe onda reflejada porque hay un cerro ubicado a 4 km que obstruye a la línea de vista.
Estación Cerro Las Dos Cruces – Estación CSMC "Plenitud"	No existe onda reflejada porque hay un cerro ubicado a 1 km que obstruye a la línea de vista.
Estación Cerro Las Dos Cruces – Estación Lucmacucho	Sí existe, pero al caer en una ciudad la atenuación al ser mayor a 10 dB no se considera.
Estación Lucmacucho – Estación CSMC "Renacer"	Sí existe, pero al caer en una ciudad la atenuación al ser mayor a 10 dB no se considera.
Estación Lucmacucho – Estación Cerro San Cirilo	No existe onda reflejada porque hay un cerro ubicado a 1 km que obstruye a la línea de vista.
Estación Cerro San Cirilo – Estación Cerro Agopiú	No existe onda reflejada porque hay un cerro ubicado a 8 km que obstruye a la línea de vista.
Estación Cerro Agopiú – Estación CSMC "Esperanza de Vida"	Sí existe, pero al caer en una ciudad la atenuación al ser mayor a 10 dB no se considera.
Estación Cerro Agopiú – Estación HRDC	Sí existe, pero al caer en una ciudad la atenuación al ser mayor a 10 dB no se considera.
Estación Cerro Agopiú – Estación CSMC "Coloreando Tu Vida"	No existe onda reflejada porque hay un cerro ubicado a 12 km que obstruye a la línea de vista.

La tabla 10 sintetiza los resultados obtenidos de los análisis matemáticos de las ondas reflejadas.

En el anexo F se puede observar los perfiles donde se hace el análisis de las ondas reflejadas con mayor amplitud.

3.4. EQUIPOS DE TRANSMISIÓN DE MICROONDAS

Los equipos de radio microondas, antenas y guías de onda deben garantizar la sensibilidad del enlace microondas para que brinde en ancho de banda planteado en el diseño.

3.4.1. Parámetros de los transceptores

Para el diseño de esta red, se utilizó el transceptor PTP 820C High Power Licensed Microwave Radio de la marca Cambium Networks™, que tiene dentro de sus características, rango de frecuencias desde 6 hasta 11 GHz y modulación de frecuencia desde QPSK hasta 2048 QAM. Para esta red se decidió trabajar en modulación 8 PSK para poder cumplir con los parámetros del diseño planteado.

En la tabla 10 se aprecia las principales características de este transceptor obtenidas de su datasheet. Ver anexo G para ver las características del transceptor.

Tabla 11. Parámetros del transceptor PTP 820C High Power

Esquema de modulación	8 PSK
Radio frecuencia	6 a 8 GHz
Anchura de banda de canal	20 MHz
Transmit Power	36 dBm
Sensibilidad de recepción, BER = 10^{-6}	-85.6 dBm
Temperatura de operación	-33C° a 55C°

En la tabla 11 se observa los principales parámetros que tiene el transceptor PTP 820 C High Power que se utilizaran para los cálculos siguientes. Elaboración propia.

De la tabla podemos extraer que el nivel de umbral o sensibilidad del receptor para este equipo es de -85.6 dBm

3.4.2. Parámetros de las antenas

Para este perfil, que es el de mayor distancia se trabajó con la antena del fabricante Commscope modelo HX12-7W-6GF 3.6m|12 ft ValuLinea® High Performance, High XPD Antenna, dual-polarized, 7.125 – 8.500 GHz, porque tiene una mayor ganancia y sus parámetros más importantes se muestran en la tabla 10. Para los enlaces de menor distancia se trabajó con la antena del fabricante Commscope modelo HX6-7W 1.8m|6ft ValuLinea® High Performance, High XPD Antenna, dual-polarized, 7.125 – 8.500 GHz que tiene una menor ganancia. Ver anexo H para los datasheets de las dos antenas.

Tabla 12. Parámetros de la antena HX12-7W-6GF ValuLinea® High Performance.

Diámetro	12 ft ~ 3.6 m
Ganancia	Gain, Low Band = 46 dBi Gain, Mid Band = 46.8 dBi Gain, Top Band = 47.6 dBi
Ancho de haz	1.5°
Relación F/B	75 dB
Discriminación XPD	33 dB

En la tabla 12 se observa las principales características de la antena HX12-7W-6GF 3.6m|12 ft ValuLinea® High Performance, con ganancias que van desde 46 dBi a 47.6 dBi. Elaboración propia.

Dado que la frecuencia de operación para la red de Telepsiquiatría es de 8.1 GHz es necesario interpolar las ganancias de la antena a esta frecuencia mediante la siguiente ecuación:

$$G_{operación} = 46 + \frac{(47.6 - 46)(8.1 - 7.125)}{(8.5 - 7.125)}$$

$$G_{operación} = 47.1 \text{ dBi}$$

Así, esta antena a la frecuencia de operación de 8.1 GHz tiene una ganancia de 47.1 dBi.

3.4.3. Parámetros de línea de transmisión

Como línea de transmisión se eligió la guía de onda EW77 HELIAX® Standard Elliptical Waveguide, 7.125-8.5 GHz del fabricante Commscope. En la siguiente tabla se observan sus principales características. Ver anexo I para datasheet de la guía de onda.

Tabla 13. Características de la guía de onda.

Banda de operación	7.125 a 8.5 GHz
7.93 GHz	5.782 atenuación (dB/100 m)
8.13 GHz	5.701 atenuación (dB/100 m)
Temperatura de operación	- 30°C a +80°C

Se eligió trabajar con guía de onda porque tiene poca atenuación y por su recomendación para trabajar en frecuencias mayores de 3 GHz. Elaboración propia.

Dado que la frecuencia de operación para la red de Telepsiquiatría es de 8.1 GHz es necesario interpolar la atenuación de la guía de onda a esta frecuencia mediante la siguiente ecuación:

$$A_{t_{operación}} = 5.782 + \frac{(5.701 - 5.782)(8.1 - 7.93)}{(8.13 - 7.93)}$$

$$A_{t_{operación}} = 5.71 \frac{dB}{100} m$$

Entonces, a la frecuencia de operación de 8.1 GHz la guía de onda tiene una atenuación de operación de 5.71 dB por 100 metros.

Considerando que los equipos se ubican a una distancia máxima de 5 metros de la base de la torre, esta distancia se debe sumar al valor de la altura de la antena ubicada en cada torre. Para este

perfil la longitud de la guía para la estación Cerro Pedregal es de 18 metros y para la estación Cerro Lipa es de 15 metros. A continuación, se realiza el siguiente cálculo:

$$L_{guiaTx} = 5 + 13 = 18 \text{ m}$$

$$L_{cableTx} = 18 \times \frac{5.71}{100} = 1.03 \text{ dB}$$

$$L_{guiaRx} = 5 + 10 = 15 \text{ m}$$

$$L_{cableRx} = 15 \times \frac{5.71}{100} = 0.86 \text{ dB}$$

Por lo tanto, la pérdida por la guía de onda del transmisor es de 1.03 dB mientras que la pérdida por la guía de receptor es de 0.86 dB.

3.4.4. Nivel de recepción del enlace microondas

Una vez calculado las ganancias y pérdidas para este perfil se calculó el nivel de recepción y umbral.

La siguiente ecuación permite calcular el nivel de recepción (N_{RX})

$$N_{RX} = P_{Tx} - L_{cableTx} + G_{antTx} - (Y_0 + P_{llu} + P_{gas} + P_{var}) + G_{antRx} - L_{cableRx}$$

En la siguiente tabla 13 podemos encontrar el resumen de las ganancias y pérdidas para este perfil.

Tabla 14. Resumen de las ganancias y pérdidas para calcular el nivel de recepción

Ganancias		Pérdidas	
P_{Tx}	= 36 dBm	$L_{cableTx}$	= 1.03 dB
G_{antTx}	= 47.1 dBi	Y_0	= 148.05 dB
G_{antRx}	= 47.1 dBi	$P_{llu(0.05\%)}$	= 7.64 dB
		P_{gas}	= 0.7844 dB
		P_{degra}	= 4 dB
		P_{var}	= 1 dB
		$L_{cableRx}$	= 0.86 dB

De acuerdo a los valores obtenidos de los datasheet del transceptor, antena y guía de onda se elaboró la tabla 14, con cuyos valores se calculó del nivel de recepción del enlace para el segundo perfil. Elaboración propia.

Reemplazando los datos obtenemos:

$$N_{RX} = 36 - 1.03 + 47.1 - (148.05 + 7.64 + 0.784 + 1 + 5) + 47.1 - 0.86$$

$$N_{RX} = -33.25 \text{ dBm}$$

El nivel de recepción para este perfil es de -33.25 dB.

El nivel de umbral del transceptor es de -85.6 dBm.

Comparando ambos valores se observa que el nivel de recepción es superior al nivel de umbral, lo que nos indica que la señal captaría de forma adecuada. El margen entre ambas señales se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Margen} = N_{RX} - N_{umbral}$$

$$\text{Margen} = -33.25 - (-85.6) \text{ dBm}$$

$$\text{Margen} = 52.35 \text{ dBm}$$

Uno de los requisitos que se planteó dentro del diseño del enlace de telepsiquiatría es que debe tener una adecuada calidad, es

decir, un BER igual a 10^{-9} . Para conseguirlo y de acuerdo al datasheet del del transceptor, es necesario considerar que este debe ser modulado a 8 PSK para luego calcular la relación C/N.

De la figura 16 podemos extraer en valor de C/N a la modulación de 8 PSK.

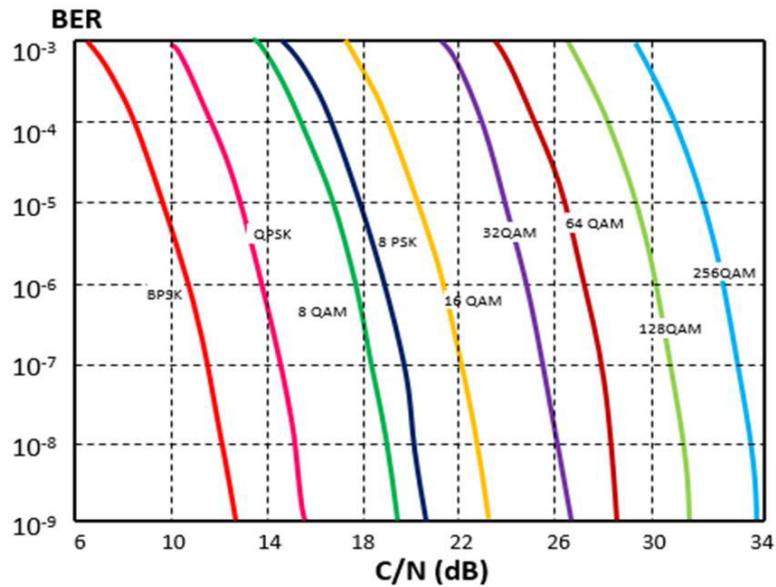


Figura 22. Relación BER vs C/N(dB)

Fuente: Electronic design

Se obtiene de la figura 16 que el valor de C/N es de:

$$\frac{C}{N} = 20$$

Con el valor de C/N se calcula en nuevo valor de nivel de recepción objetivo considerando la modulación 8 PSK:

$$N_{Rxobj} = N_{umb} + \frac{C}{N}$$

$$N_{Rxobj} = -85.6 + 20 = -65.6 \text{ dBm}$$

A continuación, se calcula el margen sobre el nivel de recepción sin desvanecimiento:

$$M_{sindesvanecimiento} = N_{RX} - N_{Rxobj}$$

$$M_{sindesvanecimiento} = -33.25 - (-65.6) = 32.35 \text{ dB}$$

El nivel de recepción es de -33.25 dB y es superior al nivel de recepción objetivo con modulación 8 PSK que es -65.6 dB, por lo que podemos **concluir que los equipos elegidos son adecuados para cumplir el primer objetivo, un BER igual a 10^{-9} .**

En la tabla 15 se hace un resumen de los resultados del nivel de recepción y margen de desvanecimiento.

Tabla 15. Resumen de los cálculos de nivel de recepción y margen de desvanecimiento.

Perfil	Nivel de recepción	Margen sin desvanecimiento
Estación CSMC "Jaén" - Estación Cerro Pedregal	-20.48 dBm	42.13
Estación Cerro Pedregal – Cerro Llipa	-33.25 dBm	32.35
Estación Cerro Llipa – Estación Cerro Las Dos Cruces	-21.50 dBm	41.10
Estación Cerro Las Dos Cruces – Estación CSMC "Plenitud"	-28.72 dBm	33.88
Estación Cerro Las Dos Cruces – Estación Lucmacucho	-23.26 dBm	39.34
Estación Lucmacucho – Estación CSMC "Renacer"	--26.10 dBm	36.50
Estación Lucmacucho – Estación Cerro San Cirilo	-26.38 dBm	39.22
Estación Cerro San Cirilo – Estación Cerro Agopiú	-30.96 dBm	34.64
Estación Cerro Agopiú – Estación CSMC "Esperanza de Vida"	-25.12 dBm	40.48
Estación Cerro Agopiú – Estación HRDC	-23.06 dBm	39.54
Estación Cerro Agopiú – Estación CSMC "Coloreando Tu Vida"	-30.55 dBm	35.05

3.4.5. Desvanecimiento y confiabilidad

Con respecto al desvanecimiento se utilizó en modelo Kazuo Morita para el perfil Cerro Pedregal y Cerro Llipa.

A continuación, se describe los pasos para conseguir su cálculo:

- A. La probabilidad de desvanecimiento tipo Rayleigh depende del tipo de terreno existente en el perfil y para este caso, se asumió el coeficiente de trayecto Q de tipo terreno montañoso.

Se utilizó la siguiente fórmula y se procede a reemplazar los datos del perfil elegido:

$$P_{ray} = \left(\frac{f}{4}\right)^{1.2} \times Q \times d^{3.5}$$

$$P_{ray} = \left(\frac{8.1}{4}\right)^{1.2} \times 2.1 \times 10^{-9} \times 74^{3.5}$$

$$P_{ray} = 0.01707$$

- B. A continuación, se calcula la profundidad de Desvanecimiento probable en dB:

$$Desv_{dB} = 10 \log\left(\frac{0.01707 \times 2500}{74 \times 5 \times 10^{-4}}\right)$$

$$Desv_{dB} = 30.61 \text{ dB}$$

- C. Se calcula la probabilidad de tiempo de interrupción debido a desvanecimientos:

$$T_{desv} = 0.01707 \times 10^{-(31.24)/10}$$

$$T_{desv} = 1.28 \times 10^{-5}$$

D. El tiempo probable de interrupción del servicio a desvanecimientos se calcula de la siguiente manera:

$$T_{servdesv} = 1.28 \times 10^{-5} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$T_{servdesv} = 313.26 \text{ seg/año}$$

E. De acuerdo a la recomendación de la UIT el máximo tiempo de interrupción probable debida a desvanecimientos se calcula de la siguiente manera:

$$T_{desvobj} = 5 \times 10^{-4} \times \frac{74}{2500}$$

$$T_{desvobj} = 1.48 \times 10^{-5}$$

$$T_{desvobj(\frac{seg}{año})} = 1.48 \times 10^{-5} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$T_{desvobj(\frac{seg}{año})} = 466.7328 \text{ seg/año}$$

Se puede concluir al comparar el valor objetivo de desvanecimiento (466.73 seg/año) con el valor obtenido de nuestro diseño (313.26 seg/año) que cumple con la recomendación de la UIT.

Otro de los parámetros planteados como requisito de calidad del enlace es tener una confiabilidad o disponibilidad de 99.95 %. Para verificar si el perfil Cerro Pedregal - Cerro Llipa cumple este requisito, se analiza la indisponibilidad del enlace utilizando método de Barnett-Vignant para enlaces inalámbricos no protegidos y sin diversidad por el periodo de un año.

$$Ind_{\%} = \left(a b x 6 x 10^{-7} x 10^{-\frac{M_{sdesv}}{10}} x f x d^3 \right) x 100\%$$

Donde a y b dependen del tipo de terreno y clima predominante del perfil. Para el diseño se consideró los siguientes valores:

$$a = 1; \text{ tierra promedio}$$

$$b = 0.125; \text{ clima frío, seco o montañoso}$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$Ind_{\%} = \left(1 x 0.125 x 6 x 10^{-7} x 10^{-\frac{31.24}{10}} x 8.1 x 74^3 \right) x 100\%$$

$$Ind_{\%} = 0.0185\%$$

$$Conf_{\%} = 100 - 0.0185 = 99.98\%$$

Para calcular los minutos probables que el enlace estará fuera de servicio en un año de acuerdo al modelo Barnett y Vignant empleamos la siguiente formula:

$$T_{\text{sin servicio}}^{\left(\frac{\text{min}}{\text{año}}\right)} = Ind x 365 x 24 x 60$$

$$T_{\text{sin servicio}}^{\left(\frac{\text{min}}{\text{año}}\right)} = \frac{0.0185}{100} x 365 x 24 x 60$$

$$T_{\text{sin servicio}}^{\left(\frac{\text{seg}}{\text{año}}\right)} = 97.23 \text{ min/año}$$

Comparando el resultado obtenido de la confiabilidad con los planteados en el diseño se puede concluir que los equipos seleccionados supera el valor de confiabilidad, por lo tanto, se cumple con el segundo objetivo, es decir; Confiabilidad mayor al 99.95%.

En el anexo J se observa de forma resumida todos los cálculos mencionados anteriormente.

En la tabla 16 se puede apreciar un resumen de los diferentes cálculos realizados sobre el tiempo de interrupción por desvanecimiento y tiempo sin servicio por desvanecimiento.

Tabla 16. Resumen de resultados de tiempo de interrupción por desvanecimiento y tiempo sin servicio por desvanecimiento.

Perfil	Tiempo de interrupción por desvanecimiento (segundos)	Tiempo sin servicio por desvanecimiento (Recomendación UIT) (segundos)
Estación CSMC "Jaén" - Estación Cerro Pedregal	0.006	39.10
Estación Cerro Pedregal – Cerro Llipa	313.26	466.73
Estación Cerro Llipa – Estación Cerro Las Dos Cruces	0.491	131.18
Estación Cerro Las Dos Cruces – Estación CSMC "Plenitud"	0.648	88.30
Estación Cerro Las Dos Cruces – Estación Lucmacucho	1.290	153.89
Estación Lucmacucho – Estación CSMC "Renacer"	0.152	69.379
Estación Lucmacucho – Estación Cerro San Cirilo	3.613	204.98
Estación Cerro San Cirilo – Estación Cerro Agopiú	87.23	376.53
Estación Cerro Agopiú – Estación CSMC "Esperanza de Vida"	1.395	169.66
Estación Cerro Agopiú – Estación HRDC	1.287	155.78
Estación Cerro Agopiú – Estación CSMC "Coloreando Tu Vida"	30.941	287.60

La tabla 16 sintetiza todos los cálculos realizados de acuerdo a las recomendaciones de la Union Internacional de Telecomunicaciones.

3.5. SIMULACIÓN DE LOS ENLACE MICROONDAS CON RADIO MOBILE

Para verificar que el diseño de la red de telepsiquiatría cumple con los parámetros propuestos en su diseño se usó el programa de uso libre Radio Mobile. Es necesario resaltar que Radio Mobile al ser un software utiliza modelos estadísticos para hacer sus cálculos, por lo que, en muchos casos sus resultados pueden diferir de los valores calculados matemáticamente en esta tesis.

3.5.1. Radio Mobile

Para la simulación del Perfil Estación Cerro Pedregal – Estación Cerro Llipa, se ingresó en el programa Radio Mobile los siguientes parámetros como se observan en la siguiente tabla. Ver anexo K para ver las demás simulaciones en Radio Mobile.

Tabla 17. Parámetros ingresados a Radio Mobile

Potencia de transmisión (dBm)	36
Polarización (H/V)	Vertical
Sensibilidad o umbral (dBm)	-85.6
Ganancia de antena (dBi)	47.1
Altura de antena (m)	13 m 10 m
Pérdida de línea (dB)	1

La tabla 17 nos muestra los principales parámetros con los que se configuro el programa Radio Mobile para este perfil. Elaboración propia.

Parámetros por defecto	Copiar Red	Pegar Red	Cancelar	OK
------------------------	------------	-----------	----------	----

Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
------------	-----------	----------	-----------------	--------

00	▼	Seleccionar desde VHF ... UHF ...	▼
Nombre del sistema: PTP 820C + ANT 47.1 dBi			
Potencia del Transmisor (Watt)	3.981072	(dBm)	36
Umbral del receptor (µV)	11.749	(dBm)	-85.6
Pérdida de la línea (dB)	1	(Cable+cavidades+conectores)	
Tipo de antena	yagi.ant	▼	Ver
Ganancia de antena (dBi)	47.1	(dBd)	44.95
Altura de antena (m)	13	(Sobre el suelo)	
Pérdida adicional cable (dB/m)	1	(Si la altura de la antena difiere)	
Agregar a Radiosys.dat		Remover del Radiosys.dat	

Figura 23. Parámetros utilizados en la configuración

Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se observa los parámetros usados para la configuración del programa Radio Mobile

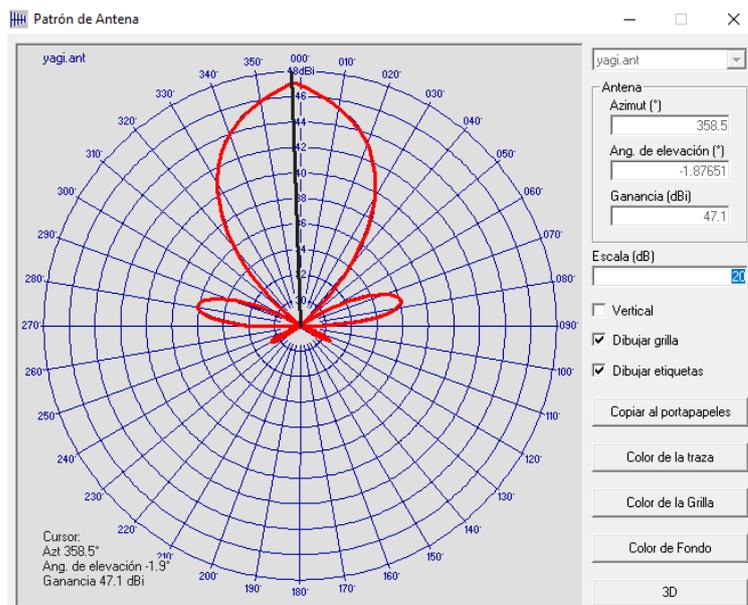


Figura 24. Patrón de antena

Fuente: Elaboración propia

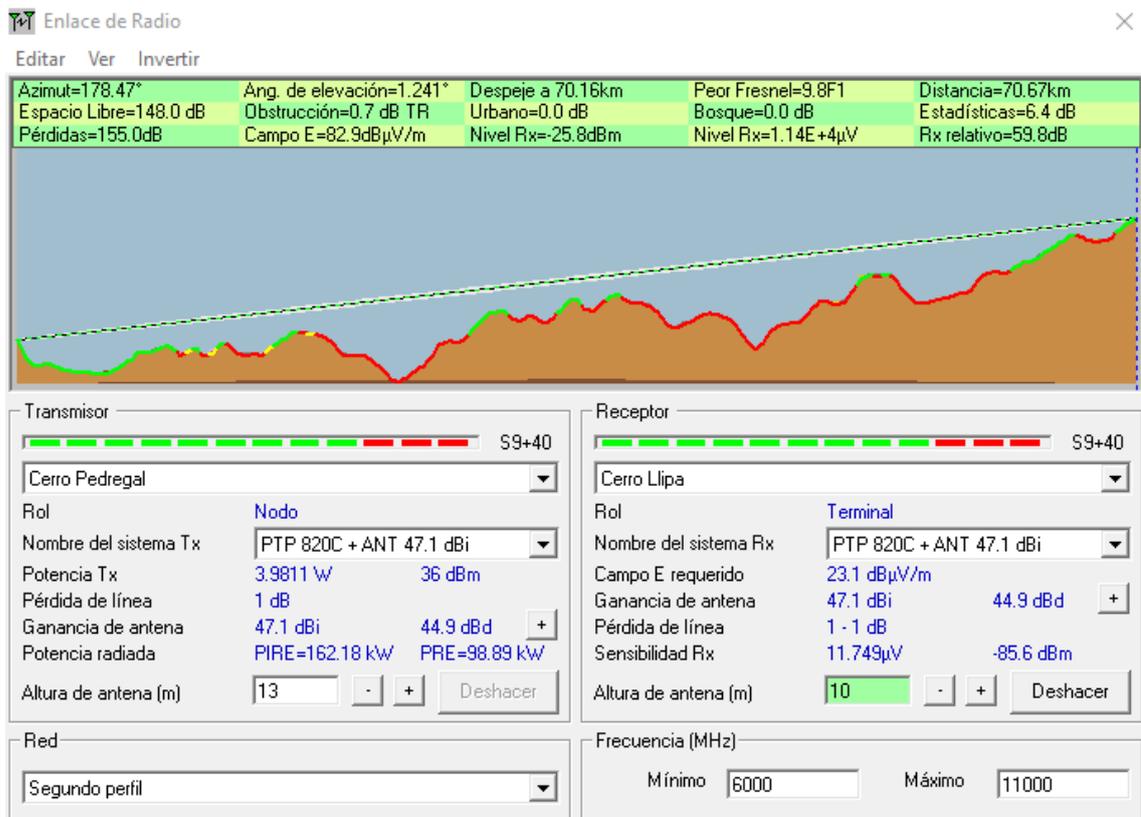


Figura 25. Simulación del Perfil Cerro Pedregal - Cerro Llipa

Fuente: Elaboración propia

La figura 19 nos muestra el resultado de la simulación entre la estación repetidora Cerro Pedregal y la estación repetidora Cerro Llipa.

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO

4.1. ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó una estimación de los costos de la implementación del proyecto basándose en estadísticas de proyectos similares y cotizando a través del mercado local y virtual. Los costos se dividieron de la siguiente manera: costos de diseño, costos de estudio de campo, costos de suministro de equipos y costos de instalación. A continuación, se muestran los costos divididos por cuadros.

4.1.1. Costos de diseño

Para este punto se consideró los ítems que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18. Cuadro de costos de diseño

No	Servicios generales	Precio total (S/.)
1	Elaboración del diseño	30.200,00
2	Elaboración de planos	20.520,00
3	Dos ingenieros electrónicos	20.000,00
Costo total 1		70.720,00

En la tabla 18 se detalla los costos relacionados al diseño del proyecto.

4.1.2. Costos de estudio de campo

Para este punto se consideró los ítems que se muestran en la siguiente tabla 15.

Tabla 19. Costos de estudio de campo

No	Servicios generales	Precio total (S/.)
1	Dos camionetas	50.000,00
2	Alquiler de teodolito	45.000,00
3	Ubicación de repetidoras	30.000,00
4	Ubicación de terminales	15.000,00
5	Dos ingenieros electrónicos	40.000,00
6	Dos técnicos electrónicos	25.000,00
Costo total 2		205.000,00

La tabla 19 nos detalla los precios estimados de cada uno de los ítems descrito.

4.1.3. Suministros de equipos

Para este punto se consideró los ítems que se muestran en la tabla 16, que consta principalmente de los equipos necesarios para el radioenlace y su respectiva infraestructura.

Tabla 20. Cuadro de suministros de equipo

No	Equipos e infraestructura	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Torre auto soportada	6	36.578,00	219.470,00
2	Torre ventada	6	29.230,00	175.382,00
3	Antena de 40.95 dBi	6	5.200,00	31.200,00
4	Antena de 47 dBi	16	5.600,00	896.000,00
5	Transceptor PTP 820C	22	5.700,00	1.254.000,00
6	Guía de onda (metros)	500	29.0	14.500,00
7	Sistema pozo tierra para estación terminal	6	1.666,66	20.000,00
8	Sistema pozo tierra para estación repetidora	6	16.000,00	96.000,00
9	Grupo electrógeno	6	21.312,00	127.872,00
10	Rectificador de 220 V a 48 V	6	18.000,00	108.000,00
11	Paneles solares para las 6 repetidoras	6	14.200,00	85.200,00
Costo total 3			137.515,66	3.039.612,00

La tabla 20 muestra los costos unitarios y totales de cada ítem cotizados en dólares americanos. Elaboración propia.

4.1.4. Instalación

Se estimo el costo de instalación en alrededor del 20% del costo de suministro.

Tabla 21. Costos de instalación

No	Servicios de instalación	Precio total (USD)
1	20% de costo de suministro	607.924,00
Costo total 4		607.924,00

En la tabla 21 se puede apreciar que, para calcular el costo de instalación, se estimó el 20% del costo de suministro. Elaboración propia.

Con los costos estimados obtenidos de los cuadros anteriores, se procedió a hacer el cálculo total de la implementación del proyecto. Para ello, se convirtió a modelas nacional (nuevos soles) y dólares americanos.

Tabla 22. Costo total del proyecto

	Costo total (S/.)	Costo total (USD)
Costo total 1	70.720,00	18.133,33
Costa total 2	205.000,00	52.564,102
Costo total 3	11.854.533,60	3.039.612,00
Costo total 4	2.370.903,60	607.924,00
Costo total	14.501.157,20	3.718.245,00

La tabla 22 nos muestra el costo total estimado del proyecto para su implementación. Elaboración propia.

4.2. RENTABILIDAD SOCIAL

Se espera que esta tesis pueda ser implementada por una institución pública como el Gobierno Regional de Cajamarca o el Ministerio de Salud, para satisfacer una de las necesidades básicas de la población cajamarquina como es la salud mental, contribuyendo de esta manera en su bienestar.

Los beneficiarios directos de esta red de telepsiquiatría serán los residentes de las provincias donde se encuentra los Centros de Salud Mental Comunitario. Sin embargo, al estar estos centros distribuidos a lo largo de la región Cajamarca, resulta ser accesible para toda la población de la región Cajamarca.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), las provincias donde se encuentran los Centros de Salud Mental Comunitario tienen una población estimada de 873 259 personas, distribuidas por provincia como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Población estimada por provincia donde se encuentra los CSMC

Provincia	Distritos	Centros poblados	Población
JAEN	12	861	185 432
CUTERVO	15	635	120 723
CHOTA	19	789	142 984
CAJAMARCA	12	814	348 433
CAJABAMBA	4	366	75 687

Población estimada por cada provincia donde se encuentra los CSMC de acuerdo al INEI 2017, donde se aprecia que la mayor población se encuentra en la provincia de Cajamarca. Elaboración propia.

Las personas que padecen a alguna enfermedad mental tienen que desplazarse a instituciones de salud que cuenten con profesionales especializados, y para ello, muchos tienen que viajar horas para obtener un tratamiento oportuno. Este desplazamiento, genera un gasto, como, por ejemplo: movilidad, comida, hospedaje, entre otros. Sumado a lo anterior, las enfermedades mentales tienen un tratamiento prolongado que puede durar años para su recuperación, lo que se traduce en mayores gastos para las personas y sus familias.

En la siguiente tabla se representa una estimación de posibles pacientes atendidos por cada CSMC y, a partir de ello, se puede calcular el total de pacientes atendidos anualmente. Para el análisis, se consideró el histórico de pacientes atendidos en el servicio de psiquiatría por consulta externa del Hospital Regional Docente de Cajamarca, que para este caso fue de 14 atenciones diarios. (Oficina de Epidemiología y Salud Ambiental, 2020)

Tabla 24. Estimación de pacientes atendidos en cada CSMC anualmente.

PROVINCIA	CUTERVO	JAÉN	CHOTA	CAJAMARCA	CAJABAMBA
Centro de Salud	CSMC "PLENITUD"	CSMC "JAÉN"	CSMC "RENACER"	CSMC "ESPERANZA DE VIDA"	CSMC "COLOREANDO TU VIDA"
Posibles pacientes atendidos por día.	7	9	8	14	6
Días de atención al año.	300	300	300	300	300
Total, de pacientes atendidos al año.	2100	2700	2400	4200	1800

En la tabla 24, se puede apreciar el estimado de pacientes atendidos por día en cada Centro de Salud Mental Comunitario y, a partir de ello, se estima el total de pacientes atendidos anualmente, que para este caso es de 13,200. Elaboración propia.

A continuación, se presenta la tabla 25 que nos esboza los principales gastos que podrían tener las personas que acuden a estos centros de salud mental.

	Nuevos soles	Nuevos soles	Nuevos soles	Nuevos soles	Nuevos soles
Movilidad	20	20	20	20	20
Comida	20	20	20	20	20
Otros	20	20	20	20	20
Gasto del paciente por día	60	60	60	60	60
Gasto del total de pacientes atendidos por años	180000	180000	180000	180000	180000

Se puede observar en la tabla 25 los principales gastos que pueden tener las personas que acuden a un hospital buscando atención en salud mental.

De acuerdo a la tabla 25, se estima un costo total por año de 1 170 000,00 nuevos soles. Ahora, en la tabla 26 se puede observar una estimación de los gastos en los próximos cinco años, considerando una tasa de inflación de 4% anuales.

Tabla 25. Gastos anuales por cada año

Año	2022	2023	2024	2025	2026
	S/.	S/.	S/.	S/.	S/.
Gasto anual	1 170 000	1 216 800	1 265 472	1 316 090	1 368 733

Elaboración propia.

Sumando los gastos de los años 2022 al 2026, las personas que padecen de alguna enfermedad mental ahorrarían un aproximado de 6 337 095 nuevos soles en los gastos mencionados anteriormente. De esta manera, esta tesis aporta una rentabilidad social positiva.



Figura 26. Diagrama de Gantt de la Red de Telepsiquiatría

La figura 26 nos muestra el Diagrama de Gantt en caso el proyecto de la Red de Telepsiquiatría en caso llegué a implementarse.

CONCLUSIONES

- Se concluye que los problemas de salud mental en el Perú son una de las principales patologías que necesitan ser atendidas por profesionales especializados en salud mental. La pandemia de COVID-19, ha develado lo precario que es nuestro sistema de salud y que es imperativo modernizar este sistema, donde la telemedicina y sus derivados tienen que jugar un rol decisivo.
- Se consiguió el apropiado diseño de la red de telepsiquiatría basándose en información de la ubicación de las estaciones terminales y repetidoras, además de, conseguir los equipos necesarios como transceptores, antenas, guías de onda. Con los equipos y accesorios elegidos se obtuvieron los parámetros establecidos (confiabilidad y BER).
- Se concluye que se logró conseguir todos los parámetros del diseño planteado al inicio, garantizando de esta manera el transporte de datos de audio, voz y video.
- La simulación de este proyecto usando el programa Radio Mobile permitieron obtener resultados cercanos a los cálculos matemáticos realizados en base a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Los resultados obtenidos bajo las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones son más confiables.
- En los cálculos se han considerado las pérdidas por lluvia, gases y degradaciones por envejecimiento, altitud y temperatura lo cual nos garantiza la calidad del enlace bajo cualquiera de estas condiciones.
- El costo para la implementación de este proyecto es alto, por lo que, en su instalación no se debe considerar la rentabilidad económica, sino más bien, el beneficio social de la población cajamarquina.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio de campo antes de la instalación de los equipos para verificar la accesibilidad a las estaciones repetidoras y, confirmar y corregir los datos asumidos.
- Si se desea mejorar la confiabilidad o aumentar el tipo de modulación se recomienda emplear sistemas de diversidad de espacio o diversidad de frecuencia.
- Se recomienda realizar un estudio más detallado con respecto al cálculo de los componentes del sistema solar, sistema de protección de tierra, pararrayos y estructura de torres.
- Se recomienda hacer de conocimiento al Ministerio de Salud y Gobierno Regional de Cajamarca los beneficios de esta tesis para su evaluación y futura implementación.
- Se recomienda hacer un análisis más profundo en el marco de los Proyectos de Inversión Públicas (PIP), pues es uno de los principales instrumentos de inversión pública que fomenta el estado peruano.

REFERENCIAS

- Bava, J. A. (2013). *Antenas reflectoras en microondas*.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouchsp/detail.action?docID=4499359>
- Collantes, E. C. (2016). *Diseño y configuración de un radioenlace digital para un servicio de emergencia* [(tesis de grado)].
<https://riunet.upv.es/handle/10251/80439?show=full>
- Congreso de la República del Perú. (1993, August 27). *Constitución Política del Perú 1993*.
http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1996/constitucion/cons_t1.htm
- Coudé, R. (2016, July 19). *Radio Mobile WEB Site*.
<https://www.ve2dbe.com/english1.html>
- Decreto supremo N° 033-2015-SA. (2015). Aprueban el Reglamento de la ley N° 29889, Ley que modifica el artículo 11 de la Ley 26842, Ley General de Salud, y garantiza los derechos de las personas con problemas de salud mental. *Diario Oficial El Peruano*, 563418–563424.
<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-el-reglamento-de-la-ley-n-29889-ley-que-modifica-decreto-supremo-n-033-2015-sa-1296283-1>
- Dengia, G., Jemal, T., & Catolos, S. (2017). *Microwave Link Design between Jimma Main Campus and Agaro Branch*. 6(01), 509–525.
<https://www.ijert.org/microwave-link-design-between-jimma-main-campus-and-agaro-branch>
- Díaz Morcillo, A., Fayos Fernández, J. y Monzó Cabrera, J. (2015). *Microondas: líneas de transmisión, guías de onda y cavidades resonantes*.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouchsp/detail.action?docID=4794900>
- Díaz, R. E. (2016). *Diseño de radioenlace microondas Isla San Lorenzo - Campus PUCP para el proyecto Perú Magneto* [tesis de licenciatura].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/7038>
- Galarza, F. A. (2011). *Diseño de una red de telemedicina para monitoreo de pacientes en el distrito de Sicaya perteneciente a la ciudad de Huancayo* [tesis de licenciatura].
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1322>
- Gao, J., Zheng, P., Jia, Y., Chen, H., Mao, Y., Chen, S., Wang, Y., Fu, H., & Dai, J. (2020). Mental health problems and social media exposure during COVID-19 outbreak. *PloS One*, 15(4), e0231924.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231924>
- GEO GPS PERÚ. (4 de julio de 2013). *GEO GPS PERÚ: descargar cartas nacionales del Perú*. <https://www.geogpsperu.com/2013/09/cuadro-de-empalme-de-la-cartografia.html>

- Gestión. (21 de febrero de 2017). *Cifras y datos de los problemas de salud mental en el Perú*. <https://gestion.pe/tendencias/cifras-datos-problemas-salud-mental-peru-129100-noticia/>
- Gestión. (10 de abril de 2019). Pobreza en Cajamarca es diez veces mayor a la que existe en Ica y Madre de Dios. *Gestión*. <https://gestion.pe/peru/pobreza-cajamarca-diez-veces-mayor-existe-ica-madre-dios-263819-noticia/>
- Gómez Rojas, J., Beltrán Gómez, Y. T. y Camargo Ariza, L. L. (2019). *Radiocomunicaciones: teoría y principios*. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouchsp/detail.action?docID=5809983>
- Google LLC. (19 de julio de 2020). *Google Earth Pro*. <https://www.google.com/earth/>
- Huarcaya, J. (2020). Consideraciones sobre la salud mental en la pandemia de COVID-19. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 1, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.372.5419>
- INEI. (24 de setiembre de 2017). *Resultados Definitivos de los Censos Nacionales 2017*. <http://censo2017.inei.gov.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- International Telecommunication Union. (2005). *RECOMMENDATION ITU-R P.838-3 - Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-!!!PDF-E.pdf
- International Telecommunication Union. (2013). *RECOMMENDATION ITU-R F.386-9 - Radio-frequency channel arrangements for fixed wireless systems operating in the 8 GHz (7 725 to 8 500 MHz) band*. <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- International Telecommunication Union. (2014). *Availability objective for radio-relay systems over a hypothetical reference digital path*, 5. <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- International Telecommunication Union. (2017a). *Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems*. 14. <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- International Telecommunication Union. (2017b). *RECOMMENDATION ITU-R P.837-7 - Characteristics of precipitation for propagation modelling*. <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- International Telecommunication Union. (2019). *Calculation of free-space attenuation P Series Radiowave propagation*. <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- Jara, R. (2014). *Simulación de sistemas de radiodifusión utilizando Radiomobile y otro software libre* [tesis de licenciatura]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47223/Memoria.pdf?sequence=1>
- Jarry, P., & Beneat, J. N. (2016). Synthesis of Microwave Antennas. In *Microwave Amplifier and Active Circuit Design Using the Real Frequency*

- Technique* (pp. 219–227). IEEE.
<https://doi.org/10.1002/9781119073093.ch9>
- Jiménez, E. I. (2018). *Diseño y dimensionamiento de un sistema de telecomunicaciones optimizado para el nuevo hospital de la provincia Espinar en Cusco* [tesis de licenciatura].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/13167>
- Ladino Ordoñez, E. A. y Parra Ortega, B. H. (2018). *Diseño y simulación de una antena en frecuencia de microondas para la proyección de un radioenlace entre la Universidad Católica de Colombia y la Universidad de Los Andes* [tesis de licenciatura].
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16055/1/Trabajo de grado.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16055/1/Trabajo%20de%20grado.pdf)
- Ley N° 30421. Ley marco de Telesalud, 582202 (2016).
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-marco-de-telesalud-ley-n-30421-1363168-1/>
- NU.CEPAL. (2020). *Universalizing access to digital technologies to address the consequences of COVID-19*. <https://www.fcc.gov/reports-research/guides/broadband-speed-guide>.
- Ordóñez, J. L., & Huidobro, J. M. (2014). *Comunicaciones por radio: tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones: el espectro electromagnético*.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouchsp/detail.action?docID=5758922>
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *Promoción de la Salud Mental. Conceptos*Evidencia Emergente*Práctica*.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69830/WHO_IER_CSDH_08.1_spa.pdf;jsessionid=F14506F1EDEB5C5B4FDA1B628E524788?sequence=1
- Organización Mundial de la Salud. (2018, March 30). *Salud mental: fortalecer nuestra respuesta*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs220/es/>
- Organización Panamericana de la salud. (2016). *Definición de indicadores para proyectos de telemedicina como herramienta para la reducción de las inequidades en salud. Documento de análisis y resultados de una comunidad de prácticas*. <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/28563>
- Organización Panamericana de la Salud. (2018). *La carga de los trastornos mentales en la Región de las Américas, 2018*. <https://bit.ly/37341fl>
- Perú. Ministerio de Salud. (2016). *Registro nacional del personal de la salud 2016*. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4041.pdf>
- Perú. Ministerio de Salud. (2017). *Norma técnica de salud. Centros de salud mental comunitarios 2017*.
<https://doi.org/http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4499.pdf>
- Perú. Ministerio de Salud. (2018a). *Lineamientos de política sectorial en salud mental Perú. 2018*. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4629.pdf>
- Perú. Ministerio de Salud. (2018b). *Plan Nacional de Fortalecimiento de Servicios de Salud Mental Comunitaria 2018-2021*.
<http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4422.pdf>

- Perú. Ministerio de Salud. (2020a). *Directiva Administrativa para la Implementación y Desarrollo de los Servicios de Telemedicina Síncrona y Asíncrona*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/462720-117-2020-minsa>
- Perú. Ministerio de Salud. (2020b, August 3). *Ministerio de Salud*. <http://www.minsa.gob.pe/salud-mental/>
- Perú. Ministerio de Salud. (2020c, September 24). *REUNIS. Repositorio Único Nacional de Información en Salud - Ministerio de Salud*. <https://www.minsa.gob.pe/reunis/index.asp?op=5>
- Perú. Ministerio de Salud. (2020d, September 26). *Disponibilidad de Recurso Humano*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZGUwMjhjZDA0YzZhZS00MDBjLWIwYzUtNzBIZmJlOTk1NDk1IiwidCI6ImI3ZDZiMmZkLWU3NjMtNDY5ZS05NjE5LWM5M2I3MmEyYzUwMyJ9>
- Perú. Ministerio de Salud. (2021, January 25). *Minsa aprueba reglamento que fortalece los alcances de la Telesalud*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/326324-minsa-aprueba-reglamento-que-fortalece-los-alcances-de-la-telesalud>
- Reinhardt, I., Gouzoulis-Mayfrank, E., & Zielasek, J. (2019). Use of Telepsychiatry in Emergency and Crisis Intervention: Current Evidence. *Current Psychiatry Reports*, 21(8), 63. <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1054-8>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas* (4th ed.). Pearson Educación.
- World Health Organization. (2020, October 14). *Depression*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression>
- Xirio Online. (2020, July 18). *Xirio Online*. <http://www.xirio-online.com/>

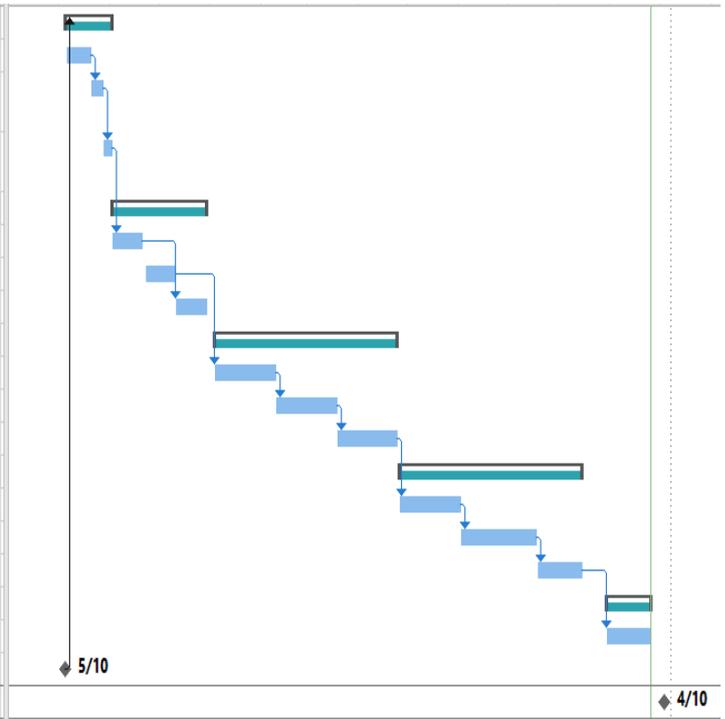
GLOSARIO

- Centros de Salud Mental Comunitario (CSMC): Son centros de salud especializados en atender problemas de salud mental y que se encuentran adscritos al Ministerio de Salud.
- Discapacidades por trastornos mentales: Conjunto de enfermedades que se clasifican en trastornos mentales comunes, trastornos mentales graves, trastornos debidos al consumo de sustancias psicótropas y trastornos de la conducta alimentaria, trastornos de comienzo habitual de la infancia y adolescencia, trastornos neurológicos.
- Enlaces microondas: enlaces en la banda de microondas entre un transmisor y un receptor que cuentan con línea de vista.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT): Institución especializada en regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre los distintos operadores y que es parte de las Organización de las Naciones Unidas.
- Radio Mobile: es un programa de simulación basada en datos estadísticos y que es de distribución libre y, se utiliza para el cálculo de radio enlaces en largas distancias y terrenos irregulares.

ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA DE GANTT

4 Análisis de la situación de la salud mental	30 días	lun 5/10/20	lun 2/11/20
Explicar la situación actual de la salud mental	16 días	lun 5/10/20	mar 20/10/20
Describir el acceso a los servicios de salud mental y cobertura.	7.5 días	mié 21/10/20	mar 27/10/20
Explicar la situación actual de los servicios de telecomunicaciones	6.25 días	mié 28/10/20	lun 2/11/20
4 Describir los parámetros técnicos del enlace	60 días	mar 3/11/20	mar 29/12/20
Determinar el ancho de banda	20 días	mar 3/11/20	vie 20/11/20
Determinar el ancho de banda	20 días	lun 23/11/20	jue 10/12/20
Determinar la confiabilidad del enlace	18.75 días	vie 11/12/20	mar 29/12/20
4 Diseñar la red del enlace microondas	120 días	lun 4/01/21	sáb 24/04/21
Describir el recorrido del enlace microondas	40 días	lun 4/01/21	mar 9/02/21
Describir las atenuaciones del enlace	40 días	mié 10/02/21	jue 18/03/21
Análisis de onda reflejada	40 días	vie 19/03/21	sáb 24/04/21
4 Describir los requerimientos técnicos	120 días	lun 26/04/21	sáb 14/08/21
Describir los equipos de radio microondas	40 días	lun 26/04/21	mar 1/06/21
Comparación de datasheet	50 días	mié 2/06/21	sáb 17/07/21
Describir datasheet de las guías de ondas	30 días	lun 19/07/21	sáb 14/08/21
4 Simulación del enlace de telepsiquiatría	30 días	lun 30/08/21	sáb 25/09/21
Simulación con software libre.	30 días	lun 30/08/21	sáb 25/09/21
Inicio	0 días	lun 5/10/20	lun 5/10/20
Fin	0 días	lun 4/10/21	lun 4/10/21



ANEXO B: Matriz de consistencia

PROBLEMÁTICA	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	PREGS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES	MARCO TEÓRICO	DESARROLLO	EVALUACIÓN	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
<p>En el Perú para el año 2018 el 20.7% de la población mayor de 12 años tiene algún tipo de trastorno mental y con una mayor presencia en sus zonas rurales. El objetivo de los Centros de Salud Mental Comunitario es brindar servicios de promoción, prevención, tratamiento, rehabilitación psicosocial y recuperación de salud mental, integrados a las redes de servicios de salud mental en el primer nivel de atención. A mayo del 2020 existen un total de 152 distribuidos en todo el Perú, sin embargo se estima que se requieren 315 para atender las necesidades de salud mental de la población. La salud mental es considerada por Organización Mundial de la Salud (OMS) como una de las enfermedades que más necesita tratamiento en el mundo. Su tratamiento inadecuado y no oportuno genera mayores índices de depresión, suicidio, ansiedad. La telemedicina ha demostrado ser una herramienta importante en este contexto de la COVID-19 y una de sus razones es que cuando se realiza el diagnóstico de patologías mentales, el personal de salud no necesita estar en contacto con el paciente, lo que permite tener una consulta sin exponerse a este virus y una consulta altamente eficaz. También permitiría formar colas en las clínicas u hospitales que es donde hay mas cantidad de personas. Es por ello que se plantea diseñar una Red de Telepsiquiatría que una los cinco Centros de Salud Mental Comunitario con el Hospital Regional de Cajamarca mediante un enlace microondas, que cumpla con los requisitos necesarios como son Banda Ancha para poder transmitir audio, voz y video, pilares de una red de</p> <p>En la región Cajamarca existen pocos centros de salud que cuenten con profesionales especializados en salud mental que realicen oportunamente un diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades, lo que conlleva a un deterioro de su salud mental, aumento de discapacidades y mortalidad prematura.</p>	<p>¿Cómo brindar acceso a servicios de salud mental a la población del departamento de Cajamarca?</p>	<p>Diseñar una red de telepsiquiatría mediante enlace microondas para conectar Centros de Salud Mental Comunitario de la región Cajamarca con el Hospital Regional de Cajamarca.</p>	<p>¿Cuál es la situación actual de la salud mental en la población de la región Cajamarca?</p>	<p>Describir la situación actual de los problemas de salud mental y servicios de telecomunicaciones en la región Cajamarca.</p>	<p>Explicar la situación actual de la salud mental.</p> <p>Centros de salud y profesionales de salud especializados en salud</p> <p>Describir el acceso a los servicios de salud mental</p>	<p>Salud mental</p> <p>Centros de salud mental</p> <p>Cobertura de los servicios de salud mental en la región Cajamarca</p>	<p>Contexto de la salud mental</p> <p>Salud mental en la región Cajamarca</p> <p>Disponibilidad y personal especializado</p>	<p>La salud mental es un problema de salud pública en el Perú y el mundo. Los escasos centros y personal de salud especializados y sumado a la centralización de estos servicios, ha ocasionado que la Región Cajamarca tenga uno de los indicadores más altos en problemas de salud mental</p> <p>Aproximadamente cerca al 80% de la población peruana sufre de depresión, una cifra alarmante y más aún si lo contextualizamos en la pandemia de COVID-19, donde el confinamiento, la restricción al libre movimiento, ocasiono que no podamos compartir con nuestra familia, amigos que en muchos casos brindan el soporte emocional. Esta tesis pretende buscar reducir las brechas de acceso a los servicios de salud mental especializados, a través de la telepsiquiatría.</p>	<p>Se concluye que los problemas de salud mental en el Perú son una de las principales patologías que necesitan ser atendidas por profesionales especializados en salud mental. La</p> <p>Se consiguió el apropiado diseño de la red de telepsiquiatría basándose en información de la ubicación de las estaciones terminales y repetidoras, además de, conseguir los</p> <p>* Se concluye que se logró conseguir todos los parámetros del diseño planteado al inicio, garantizando de esta manera el transporte de datos de audio, voz y video.</p>	<p>Se recomienda hacer un estudio de campo para verificar la accesibilidad a las estaciones repetidoras.</p> <p>Ante posibles interferencias, se recomienda cambiar la frecuencia del enlace a otra banda licenciada que garantice en ancho de banda del diseño.</p> <p>Se recomienda enviar los resultados de esta tesis al Ministerio de Salud para evaluación y futura implementación.</p> <p>Se recomienda enviar los resultados de la presente tesis al Gobierno Regional de Cajamarca para su evaluación y futura implementación.</p>
			<p>¿Cuáles son los parámetros técnicos de calidad que requiere la red de telepsiquiatría?</p>	<p>Describir los parámetros técnicos de calidad para los enlaces de microondas de la red de telepsiquiatría</p>	<p>Determinar el ancho de banda</p> <p>Determinar la tasa de error por bit</p> <p>Determinar la confiabilidad del enlace</p>	<p>Ancho de banda</p> <p>Bit Error Rate (BER)</p> <p>Confiabilidad</p>	<p>Cálculo del ancho de banda del enlace</p> <p>Calidad de los sistemas de transmisión</p> <p>Disponibilidad del enlace</p>			
			<p>¿Cuál es el esquema de red apropiado para la red de telepsiquiatría?</p>	<p>Diseñar el esquema de red apropiado de los enlaces microondas que interconecten los Centros de Salud Mental Comunitario de la región Cajamarca con el Hospital Regional Docente de Cajamarca.</p>	<p>Describir el recorrido del enlace microondas.</p> <p>Describir las atenuaciones del enlace</p> <p>Análisis de onda reflejada</p>	<p>Línea de vista</p> <p>Perdida por espacio libre, lluvias y gases</p> <p>Onda reflejada</p>	<p>Línea de vista entre las estaciones terminales y repetidoras</p> <p>Atenuaciones de acuerdo a la UIT</p> <p>Desfase de la onda que llega al receptor</p>			
			<p>¿Qué equipos de transmisión en la banda de microondas se deben emplear en el radioenlace?</p>	<p>Describir los requerimientos técnicos de los equipos de transmisión que se utilizarán en el radioenlace.</p>	<p>Describir los equipos de radio microondas</p> <p>Comparar los datasheet de las antenas</p> <p>Describir datasheet de las guías de ondas</p> <p>Análisis del nivel de recepción del tranceptor</p> <p>Análisis del desvanecimiento y confiabilidad</p>	<p>Parámetros de los transeptores</p> <p>Parámetros de las antenas</p> <p>Parámetro de la línea de transmisión</p> <p>Nivel de recepción</p> <p>Desvanecimiento y confiabilidad</p>	<p>Sensibilidad o umbral del tranceptor</p> <p>Ganancia de la antena</p> <p>Pérdida por guía de onda</p> <p>Cálculo del nivel de recepción</p> <p>Probabilidad de desvanecimiento</p>			
			<p>¿Cómo se probará el funcionamiento de la red de telepsiquiatría?</p>	<p>Simular el enlace microondas mediante el uso software libre.</p>	<p>Simulación con software libre.</p>	<p>Radio Mobile</p>	<p>Simulación entre las estaciones terminales y repetidoras</p>			



Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Comunicaciones

Dirección General de Autorizaciones en Telecomunicaciones

GUÍA BÁSICA DE INFORMACIÓN AL USUARIO

1. ¿Qué es un servicio privado?

Son servicios que han sido establecidos por una persona natural o jurídica para satisfacer sus propias necesidades de comunicación dentro del territorio nacional.

2. ¿Cómo se clasifica el servicio privado?

- Se clasifica en:
- Teleseleciones o servicios finales:
 - Fijo: Según su ámbito puede ser terrestre, aeronáutico o por satélite.
 - Móvil: Según su ámbito puede ser terrestre, marítimo, aeronáutico o por satélite.
 - Móvil de canales múltiples de selección automática (truncalizado).
 - Radionavegación: según su ámbito puede ser marítima o aeronáutica.
 - Si bien está en la norma, ya no se presenta en la casística.
 - Radioaficionados: Según su categoría puede ser novicio, intermedio o superior.
 - Espacial: Según su finalidad puede ser investigación espacial, operaciones espaciales o meteorología por satélite.
 - Colectivo familiar.
 - Enlace auxiliar a la radiodifusión: Según su modalidad de operación puede ser fijo o móvil.
 - Emisiones de frecuencia patrón y de señales horarias.
 - Radioastronomía.
 - Ayuda a la meteorología.
 - Radiolocalización.
 - Exploración de la Tierra por satélite.
 - Servicio de difusión:
 - Circuito cerrado de televisión.
 - Servicio de valor añadido.

3. ¿Quiénes pueden prestar el servicio privado?

Cualquier persona, sea natural o persona jurídica.

4. ¿Qué se requiere para prestar el servicio privado?

Para la prestación del servicio privado se requiere contar con una autorización otorgada por resolución del Director General de Autorizaciones en Telecomunicaciones.

5. ¿Qué es una autorización y ante qué autoridad debo pedirla?

Es la facultad que se otorga para prestar un servicio privado. La solicitud se presenta ante la Dirección General de Autorizaciones en Telecomunicaciones. Para tal efecto se pueden hacer uso de los formatos que están disponibles en la página web del MTC (www.mtc.gob.pe).

6. ¿Cuál es el plazo de una autorización?

Las autorizaciones se otorgan por un plazo máximo de cinco (05) años.

7. ¿Qué procedimientos están sujetos al silencio administrativo positivo?

- Son:
- Renovación de autorización.
 - Autorización, permiso y licencia para instalar y operar estaciones del servicio de radioaficionados.
 - Cambio de categoría a la inmediata superior del servicio de radioaficionados.
 - Asignación temporal de espectro radioeléctrico.

8. ¿Qué procedimientos están sujetos al silencio administrativo negativo?

- Son:
- Autorización para la prestación de servicios privados.

- Ampliación de autorización para la prestación de servicios privados.

- Modificación de características técnicas.
- Autorización de un enlace auxiliar al servicio de radiodifusión.

9. ¿Cuáles son las modalidades de otorgamiento de una autorización?

A solicitud de parte.

10. ¿Cuáles son las causales para denegar una autorización?

- Cuando se ponga en peligro la seguridad nacional o vaya en contra del interés público.
- Cuando al solicitante o a alguno de los socios, asociados o representante se le haya sancionado con la cancelación y no haya transcurrido un (1) año desde la fecha en que la resolución que sanciona quedó firme administrativamente.
- Se ponga en peligro el cumplimiento de los fines de las telecomunicaciones como mecanismo de integración, pacificación y desarrollo.
- El solicitante estuviera incurso en alguna de las prohibiciones establecidas en la Ley y el Reglamento.
- El solicitante o sus accionistas, socios, asociados, director o representante legal no hubiera cumplido con los pagos que resulten exigibles relativo a telecomunicaciones (derechos, canon, multas, etc.).
- Al solicitante o a sus accionistas, socios, asociados, director o representante legal, se le hubiera sancionado con multa y ésta resultara exigible, salvo que cuente con fraccionamiento vigente.

11. ¿Qué tipos de requisitos debe acompañarse a una solicitud de otorgamiento de autorización y donde están contenidos?

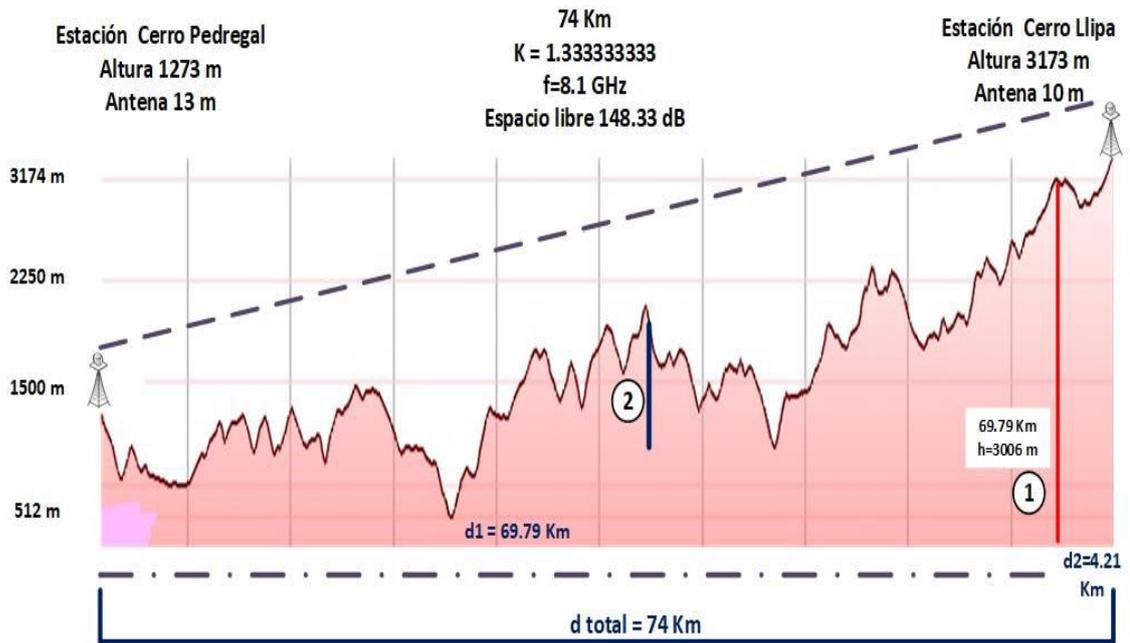
ANEXO D: Diagrama de los 11 perfiles de todas las estaciones terminales y repetidoras.

Perfil estación CSMC “Jaén” - estación Cerro Pedregal.



	Obstáculo 1 (metros)	Obstáculo 2 (metros)
Altura del obstáculo(h)	1265	939
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	0.04	0.53
Primera zona de Fresnel (F1)	2.09	7.36
Margen de claridad (MC)	5.61	134.36

Perfil estación Cerro Pedregal – estación Cerro Llipa.



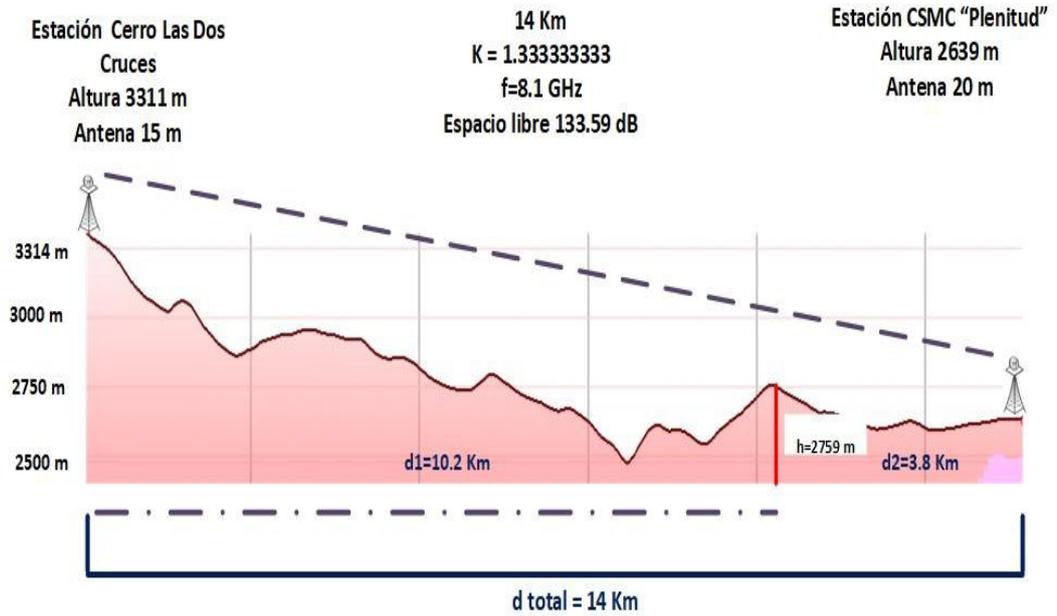
	Obstáculo 1 (metros)	Obstáculo 2 (metros)
Altura del obstáculo(h)	3006	2072
Factor de corrección (FC), K=4/3	17.28	80.07
Primera zona de Fresnel (F1)	12.13	26.12
Margen de claridad (MC)	39.66	128.09

Perfil estación Cerro Llipa – estación Cerro Las Dos Cruces



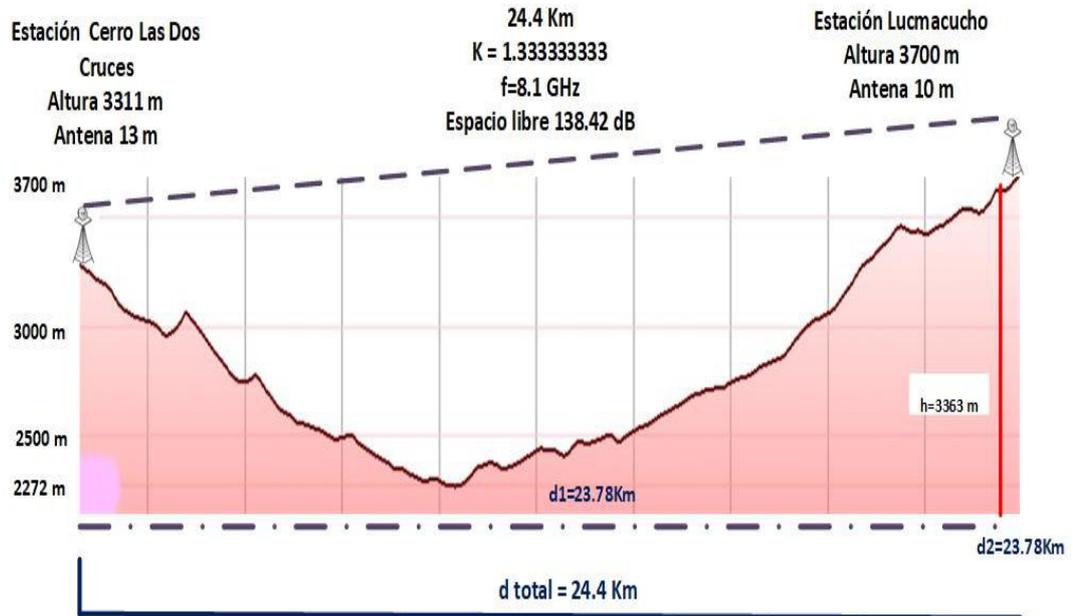
Altura del obstáculo(h)	3120 metros
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	0.36 metros
Primera zona de Fresnel (F1)	3.31 metros
Margen de claridad (MC)	64.27 metros

Perfil estación Cerro Las Dos Cruces – estación CSMC “Plenitud”



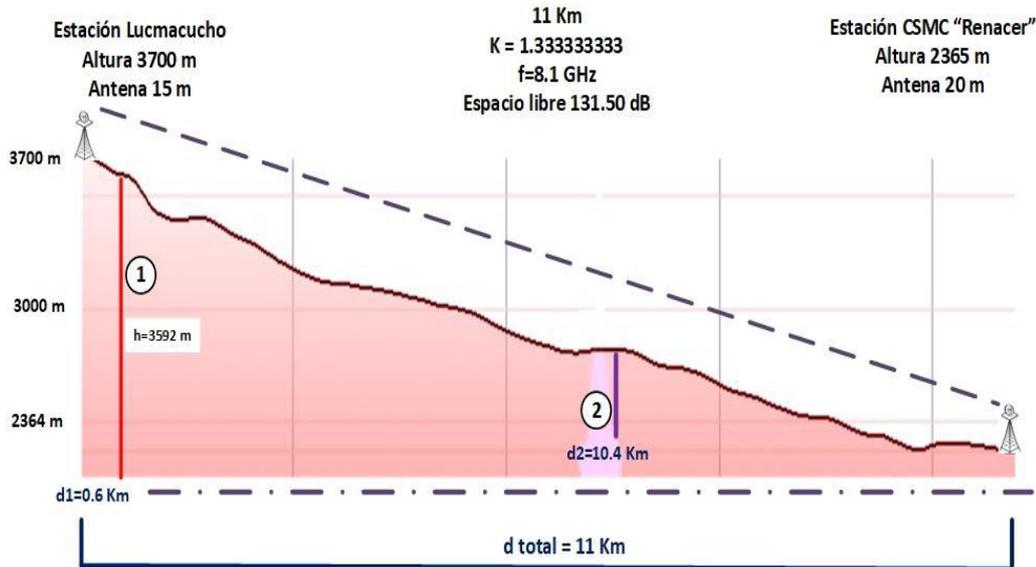
Altura del obstáculo(h)	2759 metros
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	2.28 metros
Primera zona de Fresnel (F1)	10.13 metros
Margen de claridad (MC)	68.63 metros

Perfil estación Cerro Las Dos Cruces – estación Lucmacucho



Altura del obstáculo(h)	3633 metros
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	0.87 metros
Primera zona de Fresnel (F1)	4.73 metros
Margen de claridad (MC)	61.59 metros

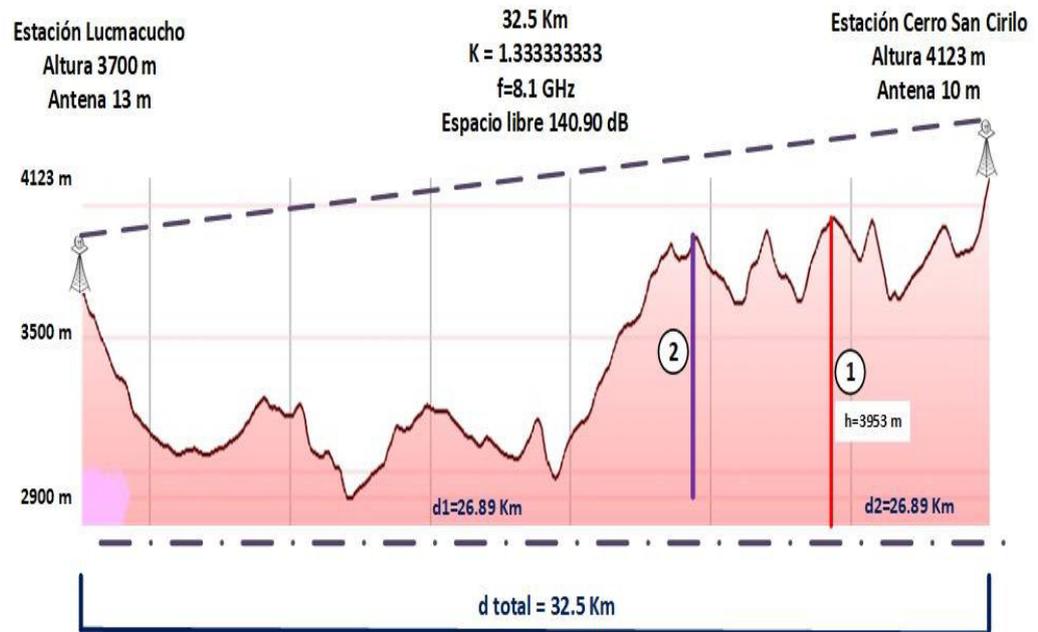
Perfil estación Lucmacucho – estación CSMC “Renacer”



Altura del obstáculo(h)	3592 metros
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	0.37 metros
Primera zona de Fresnel (F1)	4.59 metros
Margen de claridad (MC)	45.50 metros

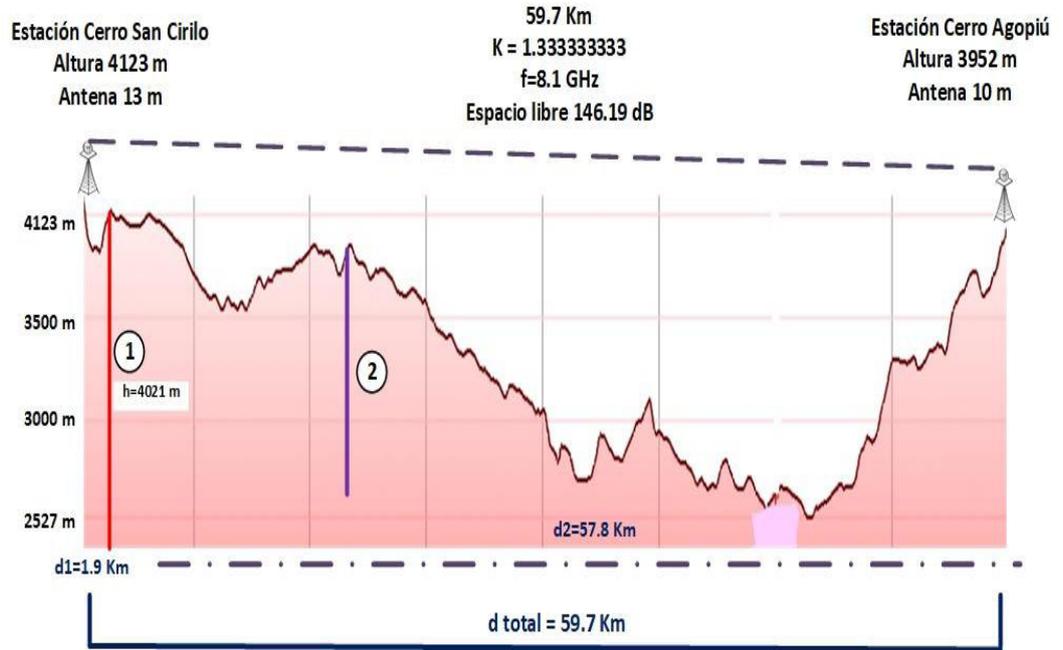
	Obstáculo 1 (metros)	Obstáculo 2 (metros)
Altura del obstáculo(h)	3592	2820
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	0.37	1.74
Primera zona de Fresnel (F1)	4.59	9.98
Margen de claridad (MC)	45.50	116.72

Perfil estación Lucmacucho – estación Cerro San Cirilo



	Obstáculo 1 (metros)	Obstáculo 2 (metros)
Altura del obstáculo(h)	3953	3882
Factor de corrección (FC), K=4/3	8.87	13.59
Primera zona de Fresnel (F1)	13.12	16.23
Margen de claridad (MC)	85.51	85.49

Perfil estación Cerro San Cirilo – estación Cerro Agopiú



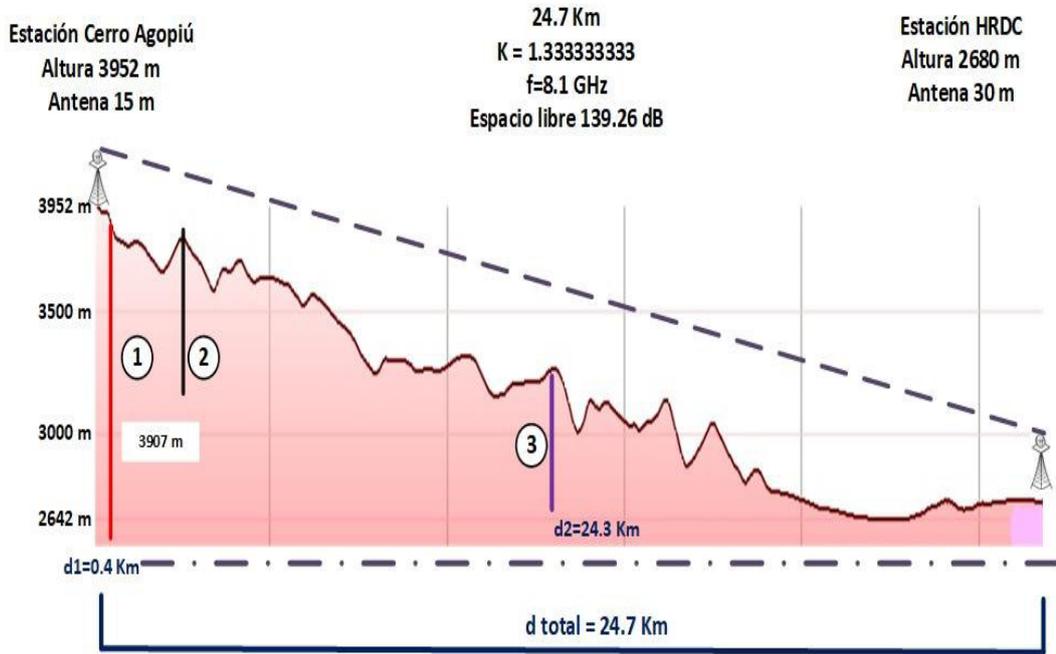
	Obstáculo 1 (metros)	Obstáculo 2 (metros)
Altura del obstáculo(h)	4021	3847
Factor de corrección (FC), $K=4/3$	6.46	43
Primera zona de Fresnel (F1)	8.26	21.31
Margen de claridad (MC)	94.74	174.56

Perfil estación Cerro Agopiú – estación CSMC “Esperanza de Vida”



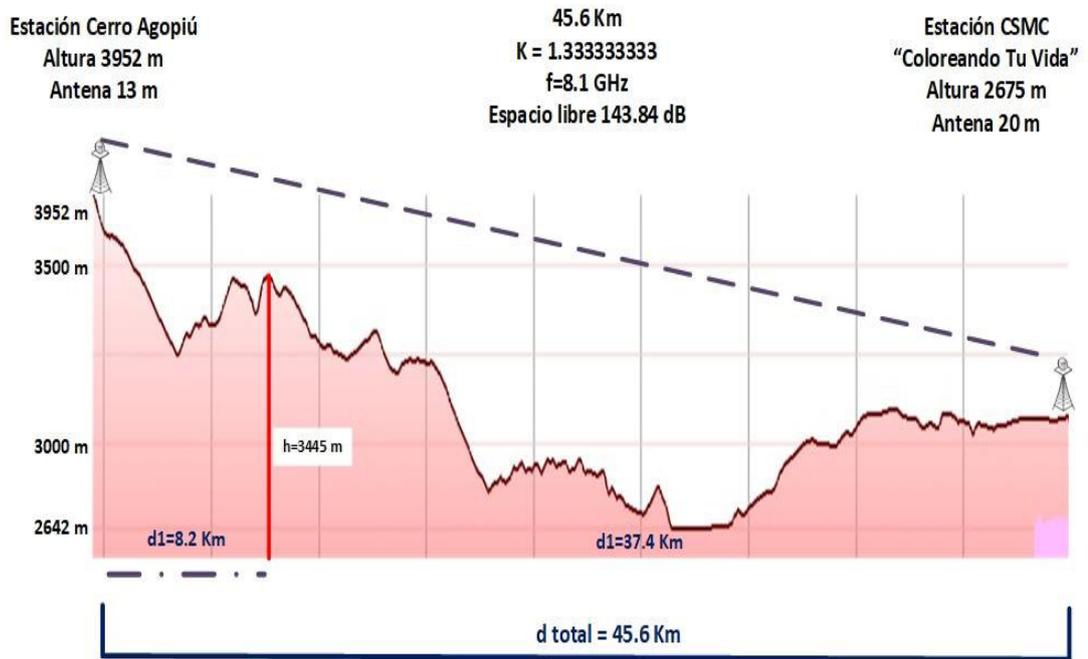
	Obstáculo 1 (metros)	Obstáculo 2 (metros)	Obstáculo 3 (metros)
Altura del obstáculo(h)	3916	3812	3277
Factor de corrección (FC), K=4/3	0.65	3.59	10.63
Primera zona de Fresnel (F1)	3.92	9.17	15.78
Margen de claridad (MC)	29.41	31.05	76.96

Perfil estación Cerro Agopiú – estación HRDC



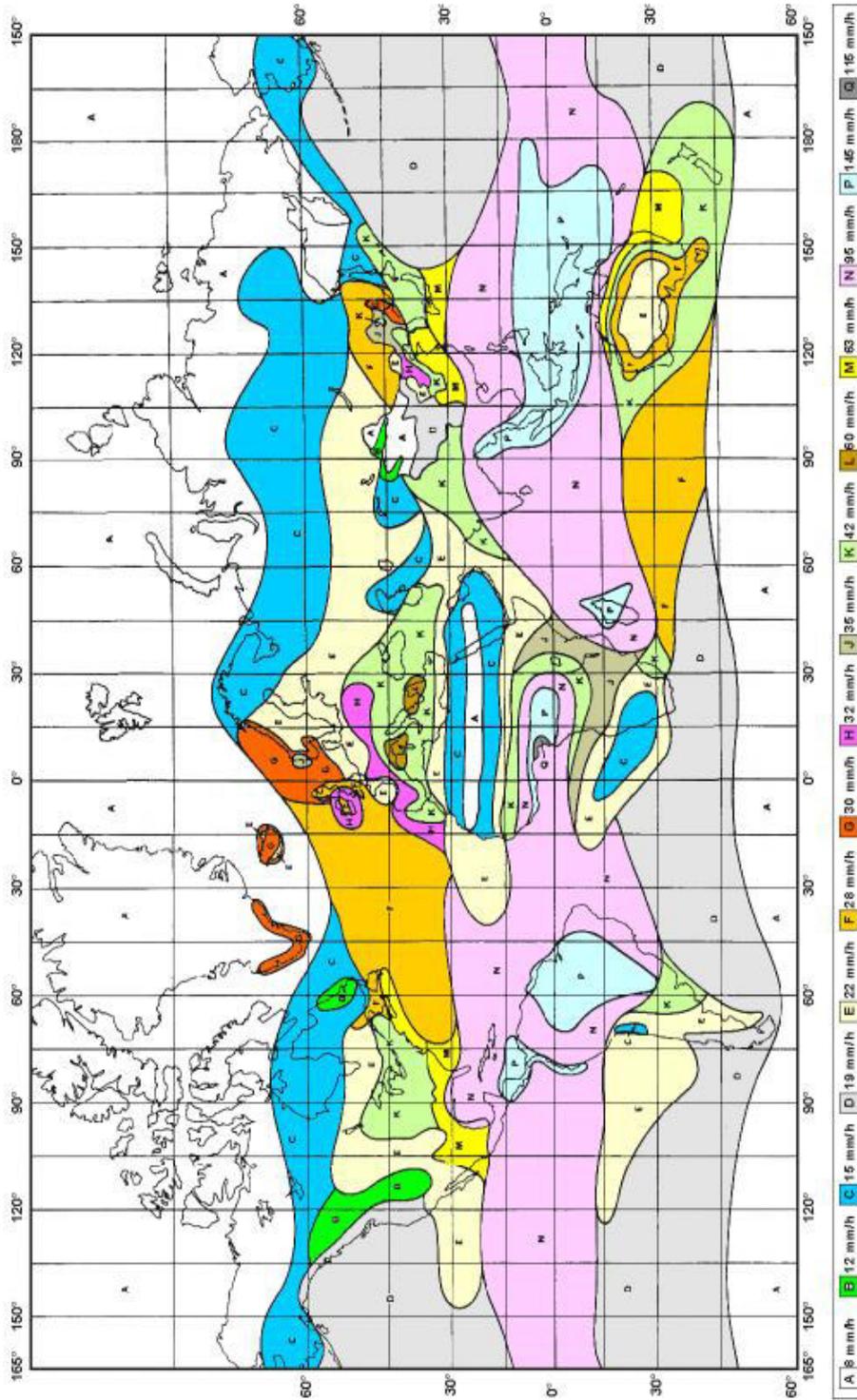
	Obstáculo 1	Obstáculo 2	Obstáculo 3
	(metros)	(metros)	(metros)
Altura del obstáculo(h)	3907	3250	3800
Factor de corrección (FC), K=4/3	0.57	8.95	3.23
Primera zona de Fresnel (F1)	3.82	15.11	9.08
Margen de claridad (MC)	35.25	31.36	28.99

Perfil estación Cerro Agopiú – estación CSMC “Coloreando tu Vida”



Altura del obstáculo(h)	3445 metros
Factor de corrección (FC), K=4/3	18.04 metros
Primera zona de Fresnel (F1)	15.79 metros
Margen de claridad (MC)	257.79 metros

ANEXO E: Mapa mundial de rebasamiento de la atenuación de lluvia anual de 0.01%



ANEXO F: Diagramas de los 11 perfiles donde se analiza las ondas reflejadas

Perfil estación CSMC “Jaén” - Estación Cerro Pedregal.



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
Sí, sin embargo, la pérdida al ser mayor a 10 dB sigue siendo menor a la onda directa.	14 dB	$\theta_1 = 5.1^\circ$ $\theta_2 = 133.29^\circ$

Perfil estación Cerro Llipa – Estación Cerro Las Dos Cruces



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
No	0 dB	No aplica

Perfil estación Cerro Las Dos Cruces – Estación CSMC “Plenitud”



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
No	0 dB	No aplica

Perfil estación Cerro Las Dos Cruces – Estación Lucmacucho



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
SI	14 dB	$\theta_1 = 4.67^\circ$ $\theta_2 = 6.57^\circ$

Perfil Estación Lucmacucho – Estación CSMC “Renacer”



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
Sí, sin embargo, la pérdida al ser mayor a 10 dB sigue siendo menor a la onda directa.	14 dB	$\theta_1 = 0.01^\circ$ $\theta_2 = 13.74^\circ$

Perfil Estación Lucmacucho – Estación Cerro San Cirilo

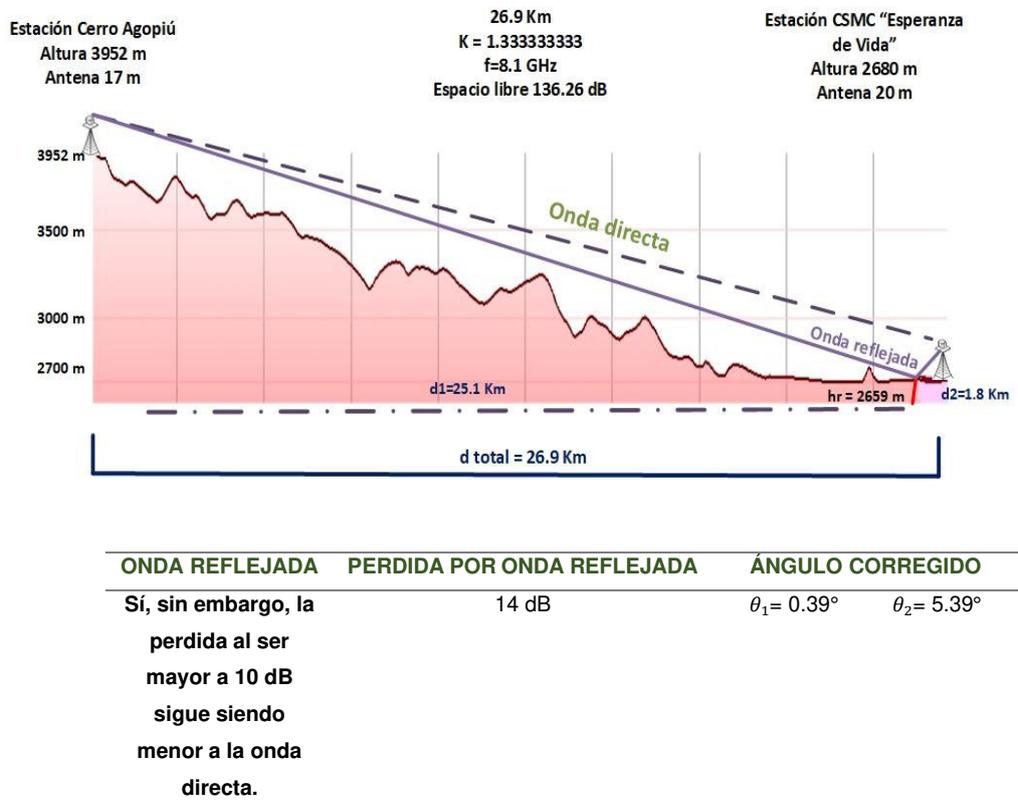


ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
No	0 dB	No aplica

Perfil estación Cerro San Cirilo – Estación Cerro Agopiú



Perfil estación Cerro Agopiú – Estación CSMC “Esperanza de Vida”



Perfil estación Cerro Agopiú – Estación HRDC



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
Sí, sin embargo, la pérdida al ser mayor a 10 dB sigue siendo menor a la onda directa.	14 dB	$\theta_1 = 0.25^\circ$ $\theta_2 = 5.90^\circ$

Perfil estación Cerro Agopiú – Estación CSMC “Coloreando Tu Vida”



ONDA REFLEJADA	PERDIDA POR ONDA REFLEJADA	ÁNGULO CORREGIDO
No	0 dB	No aplica

ANEXO G: Datasheet del transceptor PTP 820C HP



DATA SHEET

PTP 820C High Power Licensed Microwave Radio

QUICK LOOK:

PTP 820C HP, an all Outdoor dual-core high power radio with additional Tx Power.

- Support 6-11 GHz
- Support 1+0, 2+0 XPIC, 1+0 SD, 2 x 1+0 East-West, 2+2 SD/HSB, 2+0 SP/DP, 2 x 2+0 SP/DP, 4x4 MIMO configuration
- Support Multiband (with PTP 850E or PTP 820E)



Radio
6-11 GHz
Channel Bandwidth: 5-80 MHz
Field Changeable Dplxers
1+0, 2+0 XPIC, 1+0 SD, 2 x 1+0 East-West, 2+2 SD/HSB, 2+0 SP/DP, 2 x 2+0 SP/DP, 4x4 MIMO, AFR*
Multiband (with PTP 850E or PTP 820E)
Radio Features
Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (up to 2+0)
Protection: 1+1/2+2 HSB
QPSK to 2048 QAM w/ACM
4x4 LoS MIMO
XPIC
Advanced Space Diversity (ASD)
Advanced Frequency Reuse (AFR)*
Advanced Space Diversity (ASD)*
Dual band (with PTP-850C, PTP-820S, PTP-820C)*
Multiband (with PTP-820E or PTP-850E)*

Ethernet
Ethernet Interfaces
Traffic Interfaces – 1 x 10/100/1000Base-T (RJ-45) and 1x1000base-X (SFP) or 10/100/1000 Base-T (Electrical SFP)
Management Interface - 1 x 10/100 Base-T (RJ-45)
Optical SFP Types - Optical 1000Base-LX (1310 nm) or SX (850nm)
Note: SFP devices must be of industrial grade (-40°C to +85°C)
Ethernet Features
MTU – 9600 Bytes
Quality of Service
Multiple Classification criteria (VLAN ID, p-bit, IPv4, DSCP, IPv6 TC, MPLS EXP)
8 priority queues per port
Deep buffering (configurable up to 64 Mbit per queue)
WRED
P-bit marking/remarking
4K VLANs
VLAN add/remove
Frame Cut Through – controlled latency and PDV for delay sensitive applications
Header De-Duplication – Capacity boosting by eliminating inefficiency in all layers (L2, MPLS, L3, L4, Tunneling – GTP for LTE, GRE)
Y.1731 Ethernet QAM
Y.1731 Ethernet Bandwidth Notification (ETH-BN)
Adaptive Bandwidth Notification (ABN, also known as EQAM)

ANEXO H: Datasheet de las antenas HX6-7W y HX 12-7W-6GF

HX6-7W



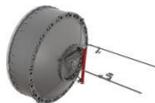
1.8m | 6ft ValuLine® High Performance, High XPD Antenna, dual-polarized, 7.125 – 8.500 GHz

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	7.125 – 8.500 GHz
Gain, Low Band	40.1 dBi
Gain, Mid Band	40.8 dBi
Gain, Top Band	41.3 dBi
Boresite Cross Polarization Discrimination (XPD)	33 dB
Front-to-Back Ratio	72 dB
Beamwidth, Horizontal	1.5 °
Beamwidth, Vertical	1.5 °
Return Loss	26 dB

Datasheet de las antenas HX12-7W-6GF

HX12-7W-6GF



3.6m | 12ft ValuLine® High Performance, High XPD Antenna, dual-polarized, 7.125 – 8.500 GHz, grey, CPR112G flange

Operating Frequency Band	7.125 – 8.500 GHz
Gain, Low Band	46 dBi
Gain, Mid Band	46.8 dBi
Gain, Top Band	47.6 dBi
Boresite Cross Polarization Discrimination (XPD)	33 dB
Front-to-Back Ratio	75 dB
Beamwidth, Horizontal	0.8 °
Beamwidth, Vertical	0.8 °
Return Loss	26 dB

ANEXO I: Datasheet de la guía de onda

35409-22

7.53	5.982	1.823	3.266	77.9
7.73	5.875	1.791	3.326	79.2
7.93	5.782	1.762	3.379	80.4
8.13	5.701	1.738	3.427	81.4
8.33	5.631	1.716	3.47	82.4

35409-22



EW77, HELIAX® Standard Elliptical Waveguide, 7.125–8.5 GHz, black non-halogenated, fire retardant polyolefin jacket

ANEXO J: Hoja resumen de varios cálculos realizados para esta red de telepsiquiatría.

		De CSMC "Jaen" a Cerro Pedregal	De Cerro Pedregal a Cerro Llipa	De Cerro Llipa a Cerro Las Dos Cruces	De Cerro Las Dos Cruces a CSMC "Plenitud"
Frecuencia de operación	GHz	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo	Km	6.20	74	20.8	14
<i>Potencia_{Tx}</i>	dBm	36	36	36	36
Ganancia del sistema		121.6	121.6	121.6	121.6
<i>Long_{GuíaTx}</i>	m	25	18	18	20
<i>Perdida_{GuíaTx}</i>	dB	1.43	1.03	1.03	1.14
<i>Ganancia_{AntTx}</i>	dBi	40.95	47.1	47.1	40.95
<i>Y₀</i>	dB	126.52	148.05	137.03	133.59
<i>Perdida_{lluvia}</i>	dB	4.505	7.64	7.561	5.31
<i>Perdida_{gas}</i>	dB	0.066	0.7844	0.22	0.148
<i>Perdida_{degrada}</i>		4	4	4	4
<i>Perdida_{varias}</i>	dB	1	1	1	1
<i>Ganancia_{AntRx}</i>	dBm	40.95	47.1	47.1	40.95
<i>L_{ongGuíaRx}</i>	m	15	15	15	25
<i>Perdida_{GuíaRx}</i>	dB	0.86	0.86	0.86	1.43
<i>N_{iveLRx}</i>	dBm	-20.48	-33.16	-21.50	-28.72
Sensibilidad o umbral	dBm	-85.6	-85.6	-85.6	-85.6
<i>Margen</i>		65.13	52.44	64.10	56.88
<i>C/N para BER objetivo</i>	dB	23	20	23	23
Nivel de recepción para BER objetivo (tabla objetivo)		-62.6	-65.6	-62.6	-62.6
Margen sin desvanecimiento		42.13	32.44	41.10	33.88
Probabilidad de desvanecimiento		2.90603E-06	0.017070268	0.000200979	5.02779E-05
Coefficiente del trayecto (Q) - Terreno montañoso		2.1E-09	2.1E-09	2.1E-09	2.1E-09
Desvanecimiento probable	dB	3.698785559	30.61978631	16.8405767	12.54219421
Probabilidad de tiempo de interrupción		1.78156E-10	9.72994E-06	1.55841E-08	2.05649E-08
Tiempo de interrupción por desvanecimiento	seg	0.005618325	306.8435183	0.491459356	0.648535957
Recomendación UIT tiempo Max de interrupción	seg/año	0.00000124	0.0000148	0.00000416	0.0000028
Tiempo sin servicio por desvanecimiento	seg	39.10464	466.7328	131.18976	88.3008

Continuación del ANEXO J

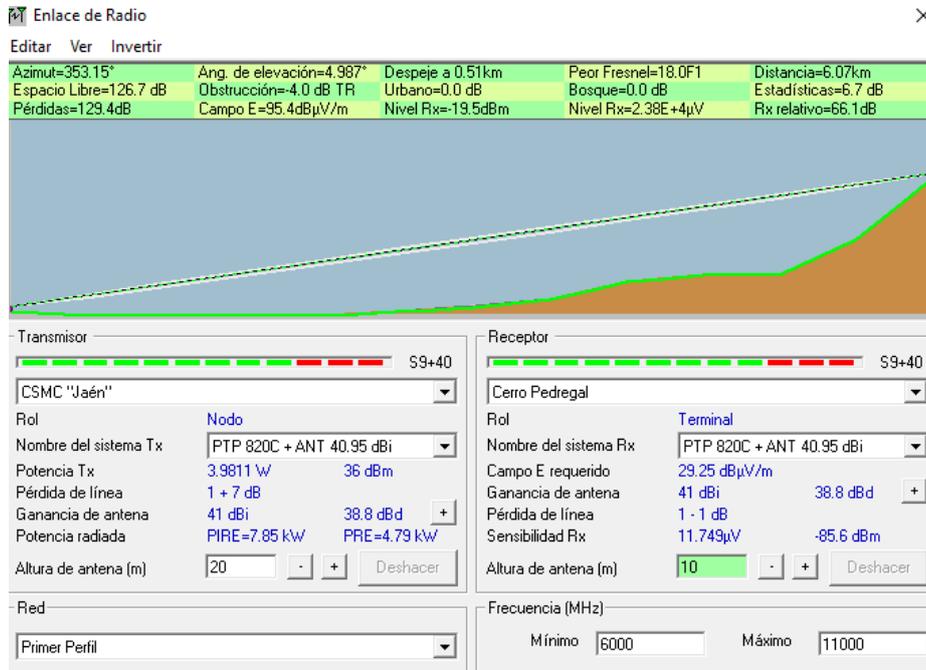
	De Cerro Las Dos Cruces a Cerro Lucmacucho	De Cerro Lucmacucho a CSMC "Renacer"	De Cerro Lucmacucho a Cerro San Cirilo	De Cerro San Cirilo a Cerro Agopiú
Frecuencia de operación	8.1	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo	24.4	11	32.5	59.7
<i>Potencia_{tx}</i>	36	36	36	36
Ganancia del sistema	121.6	121.6	121.6	121.6
<i>Long_{GuiaTx}</i>	18	20	18	18
<i>Perdida_{GuiaTx}</i>	1.03	1.14	1.03	1.03
<i>Ganancia_{AntTx}</i>	47.1	40.95	47.1	47.1
<i>V₀</i>	138.42	131.5	140.91	146.19
<i>Perdida_{lluvia}</i>	7.897	4.817	8.437	7.453
<i>Perdida_{gas}</i>	0.259	0.117	0.345	0.633
<i>Perdida_{degrada}</i>	4	4	4	4
<i>Perdida_{varias}</i>	1	1	1	1
<i>Ganancia_{AntRx}</i>	47.1	40.95	47.1	47.1
<i>L_{ongGuiaRx}</i>	15	25	15	15
<i>Perdida_{GuiaRx}</i>	0.86	1.43	0.86	0.86
<i>NivelRx</i>	-23.26	-26.10	-26.38	-30.96
Sensibilidad o umbral	-85.6	-85.6	-85.6	-85.6
<i>Margen</i>	62.34	59.50	59.22	54.64
<i>C/N para BER objetivo</i>	23	23	20	20
Nivel de recepción para BER objetivo (tabla objetivo)	-62.6	-62.6	-65.6	-65.6
Margen sin desvanecimiento	39.34	36.50	39.22	34.64
Probabilidad de desvanecimiento	0.000351393	2.16174E-05	0.000958343	0.008050808
Coficiente del trayecto (Q) - Terreno montañoso	2.1E-09	2.1E-09	2.1E-09	2.1E-09
Desvanecimiento probable	18.57373898	9.92381045	21.68607735	28.2883516
Probabilidad de tiempo de interrupción	4.09095E-08	4.84344E-09	1.14591E-07	2.7661E-06
Tiempo de interrupción por desvanecimiento	1.290120651	0.152742654	3.613746617	87.232053

Continuación de ANEXO J

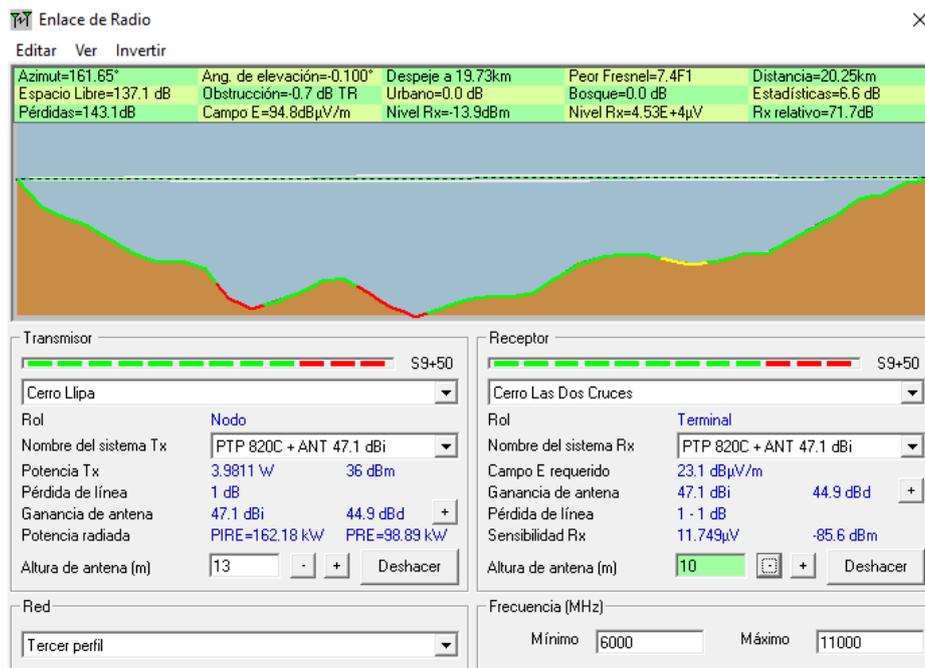
	De Cerro Agopiú CSMC "Esperanza de Vi	De Cerro Agopiú a HRDC	De Cerro Agopiú CSMC "Coloreando tu Vic
Frecuencia de operación	8.1	8.1	8.1
Distancia del tramo	26.9	24.7	45.6
<i>Potencia_{tx}</i>	36	36	36
Ganancia del sistema	121.6	121.6	121.6
<i>Long_{GuiaTx}</i>	22	20	18
<i>Perdida_{GuiaTx}</i>	1.26	1.14	1.03
<i>Ganancia_{AntTx}</i>	47.1	47.1	47.1
<i>Y₀</i>	139.26	138.52	143.85
<i>Perdida_{lluvia}</i>	8.09	6.342	8.966
<i>Perdida_{gas}</i>	0.285	0.262	0.483
<i>Perdida_{degrada}</i>	4	4	4
<i>Perdida_{varias}</i>	1	1	1
<i>Ganancia_{AntRx}</i>	47.1	47.1	47.1
<i>L_{ongGuiaRx}</i>	25	35	25
<i>Perdida_{GuiaRx}</i>	1.43	2.00	1.43
<i>NivelRx</i>	-25.12	-23.06	-30.55
Sensibilidad o umbral	-85.6	-85.6	-85.6
<i>Margen</i>	60.48	62.54	55.05
<i>C/N para BER objetivo</i>	20	23	20
Nivel de recepción para BER objetivo (tabla objetivo)	-65.6	-62.6	-65.6
Margen sin desvanecimiento	40.48	39.54	35.05
Probabilidad de desvanecimiento	0.000494382	0.000366749	0.003135496
Coefficiente del trayecto (Q) - Terreno montañoso	2.1E-09	2.1E-09	2.1E-09
Desvanecimiento probable	19.63280032	18.70641715	25.36311439
Probabilidad de tiempo de interrupción	4.42519E-08	4.08149E-08	9.81152E-07
Tiempo de interrupción por desvanecimiento	1.395529157	1.287138471	30.94160831

ANEXO K: Simulación de los perfiles de las estaciones terminales y repetidoras

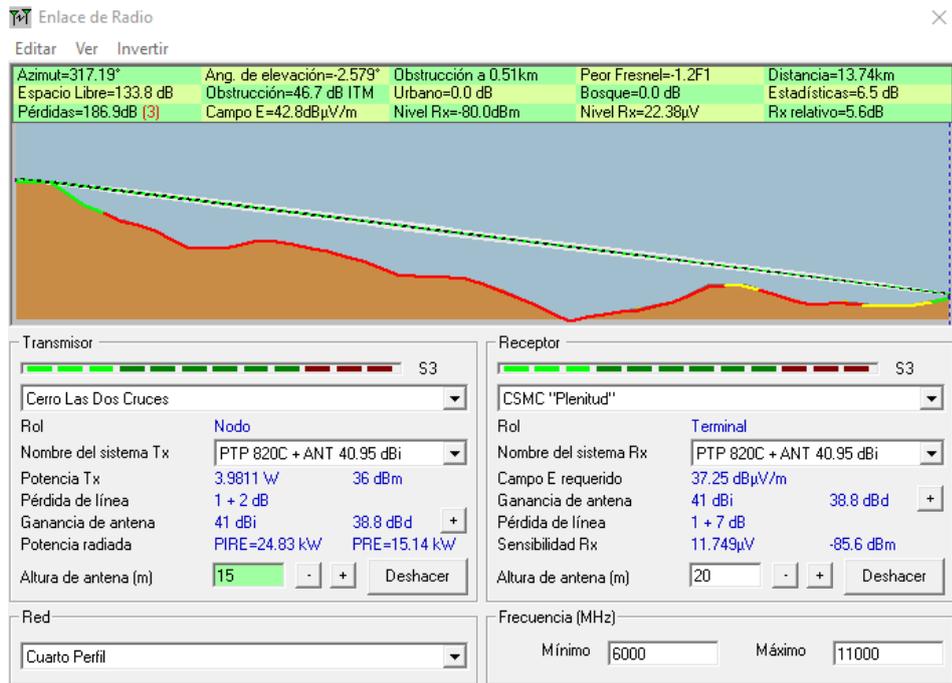
Perfil estación CSMC “Jaén” - Estación Cerro Pedregal



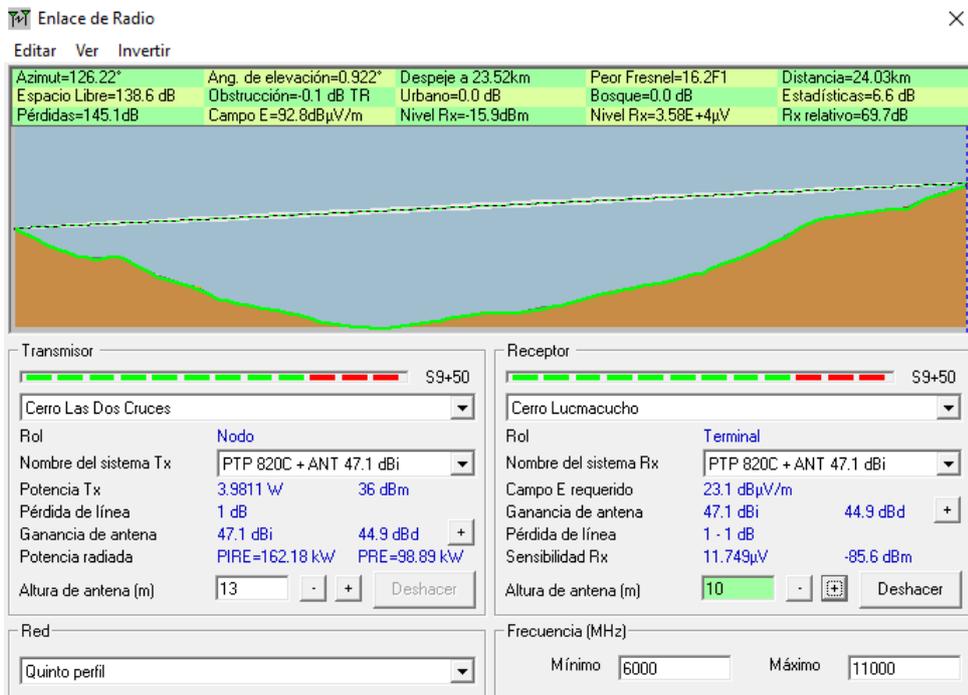
Perfil estación Cerro Llipa – estación Las Dos Cruces



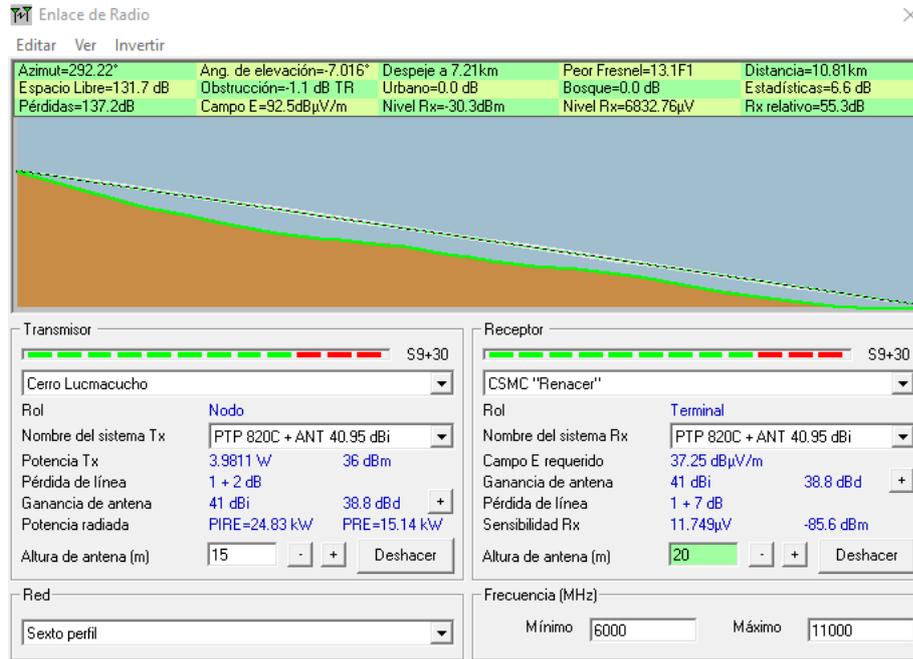
Perfil estación Cerro Las Dos Cruces - Estación CSMC "Plenitud"



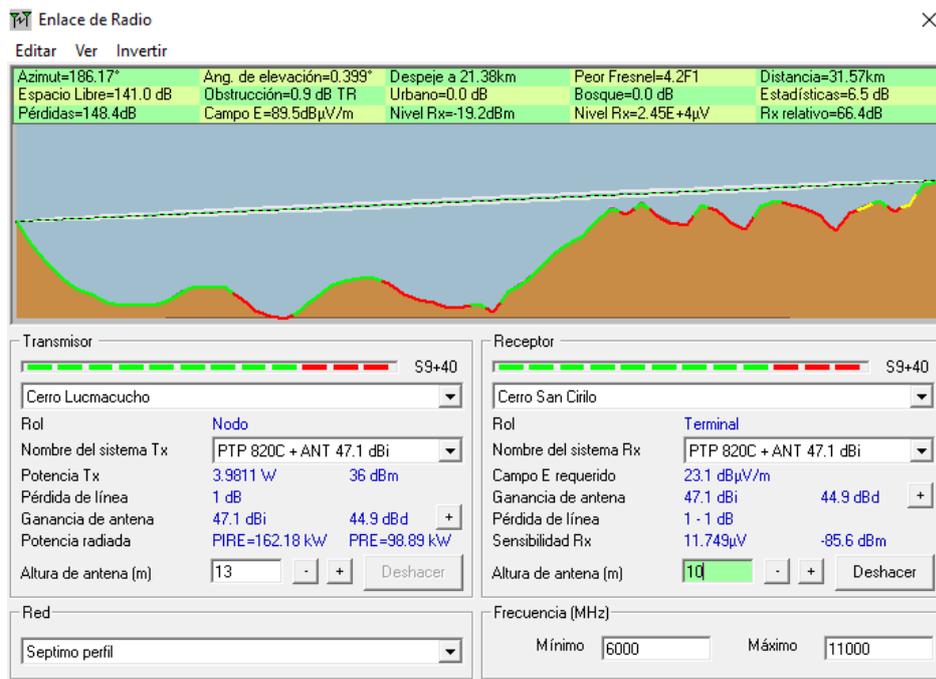
Perfil estación Cerro Las Dos Cruces – estación Cerro Lucmacucho



Perfil estación Cerro Lucmacucho – estación CSMC “Renacer”



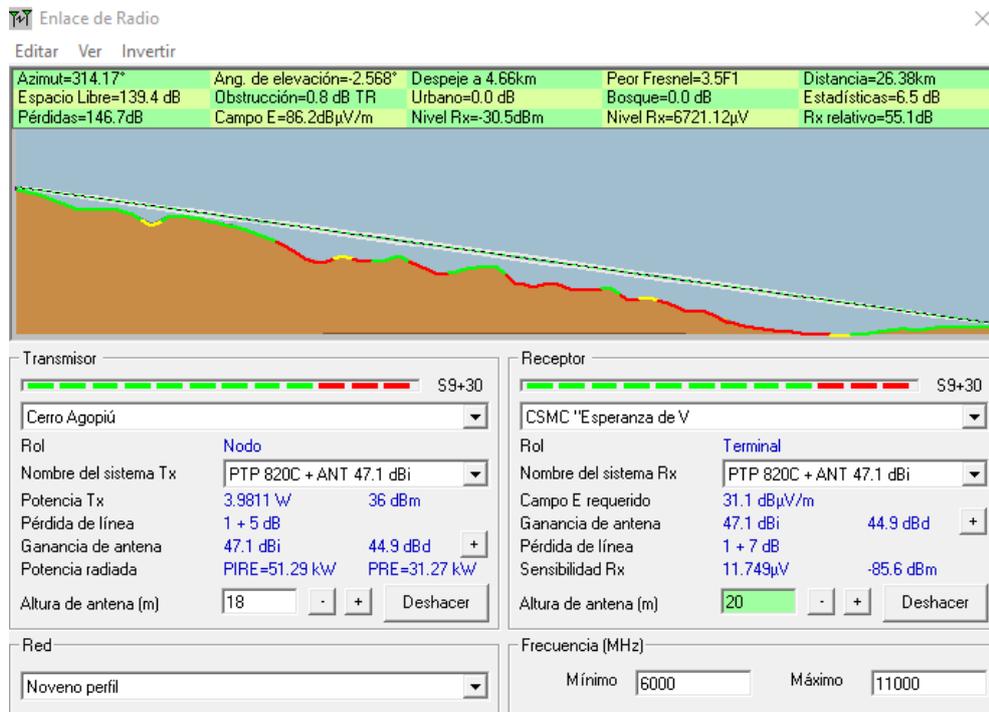
Perfil estación Cerro Lucmacucho – estación Cerro San Cirilo



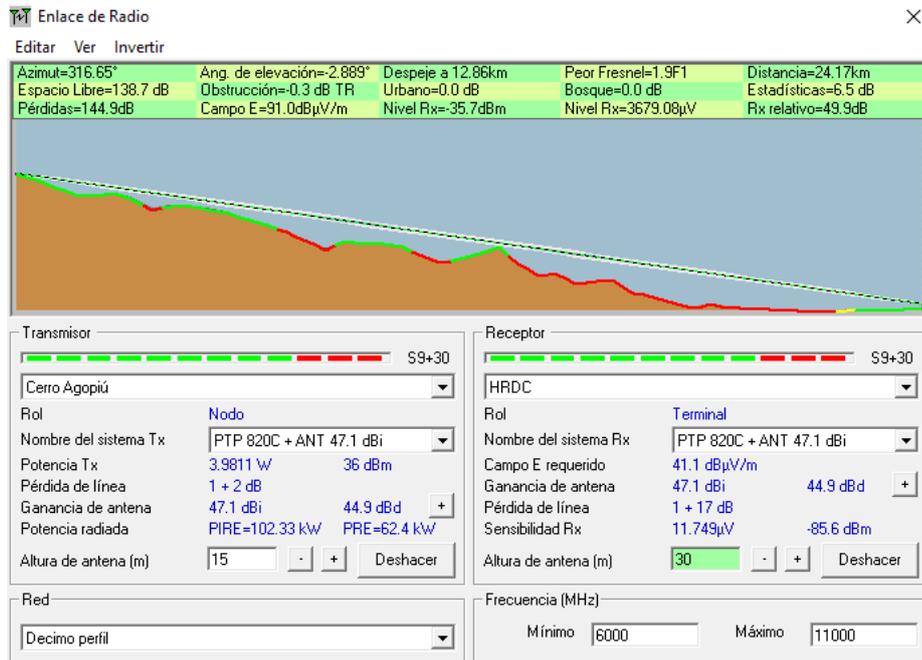
Perfil estación Cerro San Cirilo – estación Cerro Agopiú



Perfil estación Cerro Agopiú – estación CSMC “Esperanza de Vida”



Perfil estación Cerro Agopiú – estación HRDC



Perfil estación Cerro Agopiú – estación CSMC “Coloreando tu Vida”

