

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DE MEJORA DEL SISTEMA DE
TELECOMUNICACIONES DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN AREQUIPA, 2018**

Tesis presentada por el Bachiller:

Cyran Llamosas, Paulo Jorge

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Electrónico

en la especialidad de:

Automatización y Control

Asesor:

Ing. Quispe Yauyo, Juan

Arequipa- Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA ELECTRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Diciembre del 2020

Dictamen: 002377-C-EPIE-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 002377, presentado por:

2009221411 - CYRAN LLAMOSAS PAULO JORGE

Titulado:

**DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DE MEJORA DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES DE UNA
EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AREQUIPA, 2018.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1567 - COAGUILA GOMEZ RONALD PERCING
DICTAMINADOR**



**1691 - QUISPE YAUYO JUAN MEDARDO
DICTAMINADOR**



**1692 - VALDIVIESO HERRERA DIANA ISABEL
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

Le agradezco a Dios por darme la fuerza y la determinación de seguir adelante para cumplir todos mis sueños. A la memoria de mi madre Marcela Teresa, de mi padre Jorge y de mis abuelos Flora, Aníbal, Lelia y Jan. Mi más profunda gratitud a mi madre y mi padre que gracias a ellos soy la persona que soy ahora. A quienes me apoyaron y me impulsaron a lograr todos los objetivos que me he propuesto.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo mejorar el área de cobertura del sistema de radiocomunicaciones en la zona de Charcani de una empresa generadora de energía eléctrica para lo cual se hizo un diagnóstico y posteriormente un diseño de mejora de dicho sistema para garantizar su correcto funcionamiento.

Para ubicar las zonas con menos cobertura se realizó una simulación de cobertura con el software Radio Mobile y se empleó Google Earth para tener las vistas satelitales de Charcani y ubicar los lugares donde se encontraban los repetidores y así poder hacer un análisis individual de cada repetidor. Para el diseño de mejora se añadió antenas omnidireccionales en cada repetidor y una repetidora con su antena en la central 3, esto para garantizar cobertura en todas las centrales de Charcani además de brindar buena calidad de recepción de señal en la ruta que conecta todos los nodos. También se emplearon cálculos para comprobar los resultados dados por el software y para verificar la viabilidad de los enlaces con cada repetidor.

Luego de aplicada la mejora al sistema se analizaron nuevamente los datos simulados y se logró obtener una recepción de señal óptima en los puntos de prueba en carretera y en las radios portátiles. Además se eliminaron los puntos o zonas donde no existía una buena cobertura de señal.

Con las medidas aplicadas la calidad de los enlaces mejoró y esto permitirá contribuir a una mejor comunicación entre el personal de la empresa lo que la hará más productiva y que este más preparada para cambios en el futuro.

Palabras claves:

Cobertura, repetidor, antena, software, simulación.

ABSTRACT

The objective of this research work is to improve the coverage area of the radio communication system in the Charcani area of an electric power generating company for which a diagnosis was made and then a design to improve said system to guarantee its proper functioning. .

To locate the areas with less coverage, a coverage simulation was performed with the Radio Mobile software and Google Earth was used to have the satellite views of Charcani and locate the places where the repeaters were and thus be able to make an individual analysis of each repeater. For the improvement design, omnidirectional antennas were added in each repeater and a repeater in the central 3, this to guarantee coverage in all Charcani exchanges in addition to providing good quality of signal reception on the route that connects all nodes. Calculations were also used to verify the results given by the software and to verify the viability of the links with each repeater.

After the improvement was applied to the system, the simulated data was analyzed again and an optimal signal reception was obtained at the road test points and on the portable radios. In addition, points or areas where there was no good signal coverage were eliminated.

With the measures applied, the quality of the links improved and this will contribute to a better communication between the staff of the company which will make it more productive and more prepared for changes in the future.

Key words:

Coverage, repeater, antenna, software, simulation

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones cada vez son más parte de la vida cotidiana ya que como seres sociales tenemos la necesidad de comunicarnos y la distancia geográfica ya no es un problema. Ahora se dispone de varios medios que se pueden usar como son: radio, telefonía, internet.

Con estos medios se puede acceder a información en tiempo real que compartimos sin importar el lugar, transmitir señales y datos lo que quiere decir correo electrónico, mensajes de texto, música, fotos, video y podemos recibir llamadas, canales de televisión y todo lo que podemos transmitir.

Un tipo de sistema de telecomunicaciones muy usado en el sector industrial son las ondas de radio VHF que permiten la comunicación de dos vías entre diversas áreas de una empresa para diversas tareas de creciente importancia como lo son: planificar mantenimientos, informar de la producción, reportar alguna emergencia para ello se usan radios base, portátiles, móviles y antenas y repetidores para ampliar la cobertura de estos equipos.

En un sistema de las características del abordado en esta investigación, los principales inconvenientes vienen dados por la falta de cobertura en zonas específicas, esto debido a que la zona de Charcani presenta montañas y vegetación lo que impide algunas veces que la señal transmitida desde un punto llegue a su destino por la presencia de algún obstáculo. Esto origina que por ejemplo un operario que está en determinado punto de la central 3 no pueda comunicarse con otra central para informar sobre algún problema y en todo este proceso se pierde tiempo todo porque el alcance del sistema no es el adecuado y presenta zonas sin cobertura.

Para solucionar los problemas de cobertura se elaborará un diagnóstico usando el software de Simulación Radio Mobile primero para detectar las zonas con menor cobertura e identificarlas, luego se realizará un diseño de mejora del sistema agregando algunos elementos y modificando ciertos parámetros en los repetidores para luego analizar los nuevos datos y la mejora del área de cobertura.

ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 1

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN 1

1.1 Identificación del problema 1

1.2 Descripción del problema 1

1.3 Objetivos 3

1.3.1 Objetivo General 3

1.3.2 Objetivos Específicos 3

1.4 Hipótesis 3

1.5 Antecedentes 4

1.5.1 Antecedentes Nacionales 4

1.5.2 Antecedentes Internacionales 7

2. PLANTEAMIENTO 11

2.1 Alcance 11

2.2 Técnicas 11

2.3 Instrumentos 11

2.3.1 Diagramas de Red de la Empresa 11

2.3.2 Software de Simulación Radio Mobile 12

2.3.3 Software de Cartografía 3D Google Earth 12

2.3.4 Cálculos 12

2.4 Campo de Verificación 12

2.5 Estrategias 13

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 14

1. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES 14

1.1 Elementos 14

1.2 Señales Eléctricas	17
1.2.1 Analógicas	18
1.2.2 Digitales	18
1.3 Sistema de Radiocomunicaciones.....	19
1.3.1 Medios de Transmisión de datos	20
1.3.2 Elementos del Sistema	25
2. SOFTWARE	32
2.1 Radio Mobile	32
2.1.1 Modelos de Propagación.....	33
2.1.2 Parámetros de Cobertura.....	35
3. RED	38
3.1 Tipos de Red	39
3.2 Topologías de Red	39
4. TECNOLOGÍAS	40
4.1 DMR	40
5. MULTIPLEXACIÓN	42
5.1 FDMA.....	42
5.2 TDMA.....	42
 CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO.....	 44
1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	44
2. PLANO DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	47
3. ANÁLISIS DE LA COBERTURA ACTUAL DE LAS ESTACIONES	
REPETIDORAS	53
3.1 Descripción General del Sistema.....	53
3.2 Cobertura Cartesiana.....	57
3.3 Superposición de imagen de cobertura con Google Earth.....	59
3.4 Perfil del Enlace.....	60
4. ENLACES REPETIDOR - CENTRAL	71
4.1 Repetidor 1 – Central 1	71
4.2 Repetidor 1 – Central 2	75
4.3 Repetidor 1 – Central 3.....	77
4.4 Repetidor 2 – Central 6.....	84

4.5 Repetidor 3 – Central 4.....	87
4.6 Repetidor 4 – Central 5.....	89
5. DIAGRAMA DEL SISTEMA.....	92
 CAPÍTULO IV: PLAN DE MEJORA	96
1. MAPA DE UBICACIÓN DE REPETIDORAS	96
2. UBICACIÓN REPETIDORA Y ANTENAS.....	105
3. ANÁLISIS DE COBERTURA.....	106
4. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIA Y POTENCIA PARA LA EMPRESA	110
5. NUEVOS PARÁMETROS DEL SISTEMA	111
6. PERFIL DEL ENLACE	114
6.1 Repetidor 1 – Central 1.....	114
6.2 Repetidor 1 – Central 2.....	117
6.3 Repetidor 5 – Central 3.....	119
6.4 Repetidor 2 – Central 6.....	121
6.5 Repetidor 3 – Central 4.....	123
6.6 Repetidor 4 – Central 5.....	125
7. COBERTURA EN LA RUTA.....	126
8. POSIBLE EXPANSIÓN DE LA EMPRESA	128
8.1 Configuración Software de Programación Hytera.....	129
8.2 Posible Ubicación	130
8.3 Configuración Radio Mobile	130
8.3.1 Configuración Nuevo Elemento del Enlace.....	130
8.3.2 Configuración Parámetros Central VII	131
8.3.3 Configuración Parámetros Repetidor 6.....	132
9. INVERSIÓN ECONÓMICA	133
10. DIAGRAMA NUEVO DEL SISTEMA	134
 CONCLUSIONES.....	136
RECOMENDACIONES.....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	139
ANEXOS.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de los Sistemas según Herrera.....	15
Figura 2. Sistema Simplex de Telecomunicaciones	15
Figura 3. Sistema Dúplex de Telecomunicaciones.....	16
Figura 4. Elementos del Proceso de Comunicación	17
Figura 5. Representación de una Señal Analógica	18
Figura 6. Representación de una Señal Digital	19
Figura 7. Sistema de Radio.....	20
Figura 8. Espectro Electromagnético de las Telecomunicaciones	21
Figura 9. Propagación en VHF	23
Figura 10. Cables Coaxiales Comunes	24
Figura 11. Radio Portátil Digital VHF	29
Figura 12. Repetidor RD986	29
Figura 13. Arquitectura Mínima Superposición de Cobertura	31
Figura 14. Imagen Duplexor.....	
Figura 15. Leyenda en Radio Mobile de Niveles de Potencia de Señal	
Figura 16. Representación en Diagrama de Bloques del Método de Predicción de Cobertura	35
Figura 17. Topologías de Red.....	40
Figura 18. Aumento de Eficiencia en el Espectro	41
Figura 19. Redes Asequibles	41
Figura 20. Multiplexación FDMA.....	42
Figura 21. Multiplexación TDMA.....	43
Figura 22. Diagrama de Flujo de la instalación de un Repetidor	46
Figura 23. Ubicaciones y Elevaciones Repetidoras y Estación Chachani en Radio Mobile	48
Figura 24. Vista Satelital de Repetidoras y Estación Chachani en Google Earth	49
Figura 25. Plano de Ubicación de Estaciones Repetidoras	52
Figura 26. Mapa de Ubicación y Elevación de Centrales y Repetidoras	55

Figura 27. Distancia aproximada entre Repetidoras.....	56
Figura 28. Mapa de Cobertura con Intensidad de Señal.....	58
Figura 29. Superposición de Imagen de Cobertura con Google Earth.....	59
Figura 30. Configuración Parámetros de Red	60
Figura 31. Configuración Topología del Sistema.....	63
Figura 32. Configuración Membership	64
Figura 33. Configuración Repetidoras	66
Figura 34. Configuración Radios	69
Figura 35. Configuración Estilo de Cálculo	70
Figura 36. Enlace Repetidor 1 – Central 1	71
Figura 37. Enlace Repetidor 1 – Central 2	75
Figura 38. Enlace Repetidor 1 – Central 3	78
Figura 39. Herramienta RMPath	82
Figura 40. Enlace Repetidor 2 – Central 6	85
Figura 41. Enlace Repetidor 3 – Central 4	87
Figura 42. Enlace Repetidor 4 – Central 5	89
Figura 43. Diagrama de Red del Sistema VHF de una Repetidora	93
Figura 44. Diagrama de Red del Sistema de Repetidoras de Charcani	94
Figura 45. Diagrama General de Comunicaciones por ondas de Radio de la empresa.....	95
Figura 46. Ruta Carretera en Google Earth	96
Figura 47. Configuración de Cobertura en Ruta	97
Figura 48. Configuración Radio Mobile	98
Figura 49. Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 1.....	98
Figura 50. Cobertura Ruta Repetidora 1.....	99
Figura 51. Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 2.....	100
Figura 52. Cobertura Ruta Repetidora 2.....	100
Figura 53. Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 3.....	101
Figura 54. Cobertura Ruta Repetidora 3.....	101
Figura 55. Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 4.....	102
Figura 56. Cobertura Ruta Repetidora 4.....	103
Figura 57. Antena para Repetidor de Fibra de Vidrio VHF a 5/8 de onda.....	104
Figura 58. Instalación Mástil para Antena VHF	105

Figura 59. Ubicación Final Repetidoras y Antena	106
Figura 60. Cobertura con 5 watts de Potencia en Repetidoras	107
Figura 61. Cobertura con 10 watts de Potencia en Repetidoras	108
Figura 62. Cobertura con 20 watts de Potencia en Repetidoras	108
Figura 63. Cobertura con 30 watts de Potencia en Repetidoras	109
Figura 64. Cobertura con 40 watts de Potencia en Repetidoras	109
Figura 65. Cobertura con Nuevos Parámetros del Sistema	114
Figura 66. Nuevo Enlace Repetidor 1 – Central 1.....	115
Figura 67. Nuevo Enlace Repetidor 1 – Central 2.....	117
Figura 68. Nuevo Enlace Repetidor 5 – Central 3.....	119
Figura 69. Nuevo Enlace Repetidor 2 – Central 6.....	121
Figura 70. Nuevo Enlace Repetidor 3 – Central 4.....	123
Figura 71. Nuevo Enlace Repetidor 4 – Central 5.....	125
Figura 72. Nivel de Recepción de Señal en el Móvil de Prueba	127
Figura 73. Cobertura Radio Mobile de la Ruta	128
Figura 74. Ampliación de Cobertura mediante la función Conexión IP Multisitio	129
Figura 75. Posible Ubicación Nueva Central y Repetidor.....	130
Figura 76. Incorporación de Nuevos Elementos al Sistema.....	131
Figura 77. Configuración Parámetros Central VII	132
Figura 78. Configuración Parámetros Repetidor 6.....	133
Figura 79. Diagrama de una sola Central del Sistema.....	134
Figura 80. Diagrama del Sistema Completo Repetidoras – Charcani	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características VHF.....	22
Tabla 2. Cables Coaxiales y Parámetros	24
Tabla 3. Parámetros de una Antena	27
Tabla 4. Tipos de Antenas	28
Tabla 5. Beneficios Conexión IP Multisitio	30
Tabla 6. Elementos Conexión IP Multisitio	30
Tabla 7. Aspectos que causan Pérdidas Totales	37
Tabla 8. Coordenadas Centrales y Repetidoras	50
Tabla 9. Refractividad de la Superficie Terrestre.....	61
Tabla 10. Conductividad del Suelo	61
Tabla 11. Permitividad Relativa del Suelo	62
Tabla 12. Parámetros del Sistema VHF	65
Tabla 13. Parámetros Enlace Repetidor 1 – Central 1.....	75
Tabla 14. Parámetros Enlace Repetidor 1 – Central 2.....	77
Tabla 15. Parámetros Enlace Repetidor 1 – Central 3.....	84
Tabla 16. Parámetros Enlace Repetidor 2 – Central 6.....	87
Tabla 17. Parámetros Enlace Repetidor 3 – Central 4.....	89
Tabla 18. Parámetros Enlace Repetidor 4 – Central 5.....	91
Tabla 19. Relación de Centrales respecto a Cobertura y pérdida de Propagación	92
Tabla 20. Características Hoja de Datos Antena 1487-TRAM	104
Tabla 21. Coordenadas Repetidora 5.....	106
Tabla 22. Parámetros del Nuevo Sistema VHF	112
Tabla 23. Inversión Económica Total.....	133

CAPÍTULO I: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. Planteamiento Teórico de la Investigación

1.1 Identificación del Problema

¿Cómo será el diagnóstico y el diseño para mejorar el sistema de telecomunicaciones de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018?

1.2 Descripción del Problema

La empresa de investigación para la presente tesis, la cual es una empresa estatal generadora de electricidad, en el sur, será denominada de aquí en adelante como la empresa.

La accesibilidad a la información en una empresa de generación eléctrica, es de suma importancia, por lo que estas empresas tienen generalmente una central principal y varias centrales secundarias que precisan enviar los reportes de producción todos los días a la central principal y para esto es necesario una buena comunicación entre usuarios y entre los equipos. Siendo un aspecto crítico en las empresas del rubro de energía eléctrica de un país, los reportes de producción diarios que se comunican a la central principal, también es importante mantener una buena comunicación entre el personal por ejemplo se tiene que coordinar vía radio cuando se va a realizar alguna maniobra de mantenimiento se debe dar aviso a todo el personal para que este pendiente es por esto que las radios siempre deben tener cobertura en cualquier parte de las centrales.

Además, para una empresa generadora de energía eléctrica el diagnóstico del sistema de radiocomunicaciones permite hacer un análisis del sistema actual en la empresa, esto conlleva conocer si la transmisión de datos ocurre a la velocidad adecuada, si hay alguna pérdida de señal, si la tecnología del enlace es la adecuada, todo esto para que la decisión a tomar tenga la dirección adecuada a las necesidades de la empresa, considerando también, que dicho diagnóstico

permite detectar cuáles son los puntos fuertes y débiles de la empresa en un ámbito dado, como en este caso, es el ámbito de la transmisión y recepción de datos.

Es así que en la empresa generadora de energía eléctrica, la cual es objeto de estudio de la presente investigación, se ha observado que el problema más importante es la cobertura limitada del enlace de ondas de radio, sobre todo en las centrales remotas, como lo son las centrales hidroeléctricas de Charcani y algunos puntos específicos en la carretera que unen estas localizaciones.

Todo ello concluye en falencias en el sistema de radiocomunicaciones, como falta de cobertura y por tanto falla de comunicaciones lo que genera pérdidas en cuanto al tiempo invertido ya que el operario pierde tiempo desplazándose hasta otro punto donde haya una radio disponible para transmitir el mensaje.

Por lo cual se considera importante realizar un diagnóstico que incluya los distintos equipos de radiocomunicaciones VHF, así como el correcto funcionamiento del sistema de radiocomunicaciones completo que permita analizar el estado del sistema de interconexión de la empresa en cuanto al sistema VHF de ondas de radio en la central de Charcani, esto incluirá, los enlaces de cada repetidor con las radios que estén en su cobertura, y el enlace de las radios móviles en la carretera que une todas las centrales.

Y según el diagnóstico a realizar, concluir en un diseño para mejorar el sistema de radiocomunicaciones VHF en el área de Charcani, para que la misma, cumpla con los estándares actuales de transmisión y a su vez tener un sistema más robusto, confiable, con mayor cobertura, facilidad de administración y control de dispositivos que hacen posible la comunicación entre todo el personal.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diagnosticar y diseñar mejoras en el sistema de radiocomunicaciones de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la cobertura en la ruta de las centrales mediante el software Radio Mobile de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018.
- Analizar la cobertura de cada Repetidora variando la potencia desde 5 watts a 40 watts en el sistema de radiocomunicaciones VHF de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018.
- Analizar mediante simulación y cálculos matemáticos, la cobertura del enlace de ondas de radio VHF de todas las centrales de la zona de Charcani de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018.
- Analizar a través de simulación y cálculos matemáticos la potencia de recepción en las radios portátiles del sistema de radiocomunicaciones de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018.
- Analizar la viabilidad de los enlaces de cada repetidor con su radio portátil del sistema de radiocomunicaciones de una empresa generadora de energía eléctrica en Arequipa al 2018.

1.4 Hipótesis

Es probable que al diagnosticar el sistema de radiocomunicaciones sea deficiente y que las propuestas de diseño de mejora consideren amplitud de cobertura en las centrales y en el trayecto de la ruta.

1.5 Antecedentes

1.5.1 Antecedentes Nacionales

1.5.1.1 López (2009), “*Modernización y ampliación del sistema de telecomunicaciones para empresas generadoras de energía*”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Esta tesis propone la puesta en marcha de un sistema de radio y enlaces de microondas aplicado a una empresa generadora de energía que requiera modernizar y ampliar su sistema de telecomunicaciones, para el diseño de los enlaces se usó la topología de red, ubicación geográfica de estaciones, perfiles de enlace, cálculos de claridad, canalización de frecuencias, cálculos de propagación y consideraciones para la puesta en servicio.

Se deben utilizar solo las frecuencias asignadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Los valores teóricos de las alturas de las torres no deben ser tenidos en cuenta con exactitud siempre hay que agregar unos metros más dependiendo de las frecuencias de transmisión y de la altura de las antenas.

En esta tesis se explota una tecnología de telecomunicaciones que es adecuada para zonas geográficas difíciles y nos da otro punto de vista a tener en cuenta para usar en empresas generadoras de energía eléctrica.

1.5.1.2 Canales (2011), “*Diseño VHF de la Red Pastaza Alto para el Proyecto EHAS-PAMAFRO*”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú.

Este trabajo de investigación comprende el diseño de una red de comunicaciones para enlazar puestos y centros de salud de comunidades amazónicas con el fin de mejorar la atención sanitaria en la región para reducir la Malaria, es parte del Programa EHAS y a su vez del Proyecto PAMAFRO.

La región en cuestión se encuentra al norte de la cuenca del Río Pastaza en el departamento de Loreto. Mediante radios VHF se podrá acceder al correo electrónico y a mensajes de texto y voz usando un sistema operativo Linux en computadoras embebidas como servidor de correo.

Para la simulación de los enlaces se empleó el software Radio Mobile que presenta características robustas en cuanto a diseño de enlace tales como: selección de modo de variabilidad, acceso al perfil geográfico del área de interés, perfiles de los enlaces y zonas de probabilidad de cobertura.

Para este caso en particular el ancho de banda del sistema VHF brinda una eficiencia adecuada y soporta las aplicaciones que requiere el sistema como lo es la transmisión de voz y datos.

La importancia de esta tesis radica en las personas que se beneficiarán, es fundamental preocuparse por las comunidades que están un tanto alejadas y olvidadas y más aún cuando se trata de combatir una enfermedad como lo es la malaria.

1.5.1.3 Chapoñan y Vidaurre (2016), “*Diseño de una red de Telemetría para supervisar la red Hidrometeorológica del Proyecto Especial Olmos Tinajones*”, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque – Perú.

En la presente tesis se diseñó una red de Telemetría para comunicar las Estaciones de la Red Hidrometeorológica del Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT).

Los puntos a interconectar son en Lambayeque, Piura, Cajamarca; en las estaciones de Lagunas en la cuenca de los ríos Huancabamba, Tabaconas, Mancharay Olmos y la Estación Central de Supervisión.

La tecnología usada fue UHF luego de evaluar varias opciones por ser esta más eficiente para este caso en particular y de acuerdo a esta se seleccionaron los equipos del sistema

Se empleó un sistema SCADA para la recolección de datos de las lagunas que irán a computadoras remotas y luego a una computadora Central, los datos de los dispositivos de campo.

El análisis de los enlaces entre estaciones se realizó en Radio Mobile usando antenas yagi y omnidireccionales.

Muchas veces el uso de una sola tecnología no es suficiente, es necesario combinar de acuerdo a los requerimientos del sistema, por ejemplo en este caso se combinó tecnología UHF y satelital.

Es vital considerar algún tipo de protección ante fenómenos climatológicos para los equipos ya que por las ubicaciones de las estaciones existen descargas eléctricas.

1.5.1.4 Atalaya y Castro (2016), *“Diseño e Implementación de un sistema de Comunicación para la optimización del servicio de datos del centro poblado de Conchucos – Distrito de Pátapo”*, Universidad Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque – Perú.

En esta tesis se abordó el diseño de un sistema de comunicaciones mediante una investigación y selección de la mejor tecnología para lograr la interconexión de los equipos del sistema. El área favorecida será el Centro Poblado Conchucos, distrito de Pátapo.

Las herramientas empleadas fueron: equipos satelitales GPS para las coordenadas de los puntos, Radio Mobile para el perfil del terreno y Google Earth para elegir la mejor ruta para la transmisión de información.

El radioenlace implementado es la mejor solución en cuanto a costo-beneficio porque la inversión económica es baja y el sistema será muy robusto contando con un gran desempeño y confiabilidad.

Se tomó en cuenta este trabajo ya que considera dos herramientas como lo son: Radio Mobile y Google Earth que se manejarán en el desarrollo de la presente tesis.

1.5.2 Antecedentes Internacionales

1.5.2.1 Mosquera (2012), *“Rediseño de un Sistema de Radiocomunicaciones VHF, para aprovechar las ventajas de una Tecnología Digital”*, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

Esta tesis presenta un cambio de tecnologías, el paso de un sistema VHF Analógico a uno Digital para lo cual se realizó una comparación de ambas tecnologías y luego una comparación de equipos que existen en el mercado que usan multiplexación FDMA y TDMA. Esto en el ámbito de la ruta entre las ciudades de Quito y Nueva Loja.

Para el análisis de la cobertura actual se hizo un estudio de campo para predecir el comportamiento y comprobar la factibilidad del sistema digital. Para el estudio se utilizó el software Radio Mobile y Google Earth para mapas topográficos y análisis de Cobertura en 7 nodos interconectados con repetidoras y comunicados con antenas, también se incluyó el costo de las tarifas de concesión para las frecuencias que se usaron.

La tecnología digital presenta ventajas en cuanto a la capacidad, confiabilidad, eficiencia del enlace ya que permite integración de voz y datos, mayor capacidad por canal del repetidor, menor ruido de fondo y menos pérdida de señal.

Se recomienda buscar más opciones para disminuir los costos por el arrendamiento de frecuencias, investigando la rentabilidad de arrendar los enlaces a usuarios finales.

1.5.2.2 Fabara, Villalba (2012), *“Estudio para la Migración del Sistema de Radiocomunicaciones VHF Analógico de la Empresa Eléctrica Quito a un Sistema Digital”*, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

Esta tesis aborda el cambio del Sistema Analógico de comunicaciones VHF de la empresa Eléctrica de Quito a un Sistema Digital

considerando la cobertura, ubicación geográfica de los lugares a enlazar incluyendo repetidoras y canales de frecuencia con el fin de ver fortalezas y debilidades del nuevo sistema.

Para la selección de equipos en la propuesta de mejora se tomó en cuenta factores como topología física, capacidad de transmisión, ancho de banda del canal, simulación de los enlaces con el software Radio Mobile para visualizar el comportamiento de cada enlace con sus respectivos parámetros. Para comprobar los resultados obtenidos con el software se realizaron cálculos para comprobar los resultados.

El estudio se realizó en nueve estaciones de la empresa para corroborar la cobertura del enlace tomando en cuenta los equipos, ubicaciones, antenas.

Un sistema digital VHF permite usar dos canales virtuales en un solo repetidor y solo con un par de frecuencias.

Es recomendable calibrar la potencia de transmisión de los equipos con pruebas in situ sobre todo para orientar las antenas y brindar más confiabilidad al enlace.

1.5.2.3 Calle (2014), *“Análisis de la Aplicación Tecnológica DMR en la Prestación del Servicio de Telecomunicaciones al Banco Cooperativa Nacional en Guayaquil”*, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil – Ecuador.

Se realizó un análisis de la tecnología DMR (Radio Móvil Digital) en el sistema de comunicaciones del Banco Cooperativa Nacional en Guayaquil, Ecuador con el fin de brindar servicios de voz y datos móviles, servicios de despacho, gestionar los equipos en diferentes áreas geográficas con una mayor fiabilidad en el funcionamiento con el agregado de tener GPS y que se puedan interconectar los equipos a través de IP.

La herramienta que se uso fue TAP que es un software para diseñar, simular y hacer análisis de la propagación de radiofrecuencia,

proporciona también datos topográficos de la zona en cuestión que contribuye mucho en el análisis de parámetros del sistema.

En este caso el tipo de repetidora usada puede permitir una transición gradual de analógico a digital ya que posee ambas características en su modo de operación.

Es fundamental la capacitación al personal sobre los equipos para un correcto funcionamiento de estos y que en conjunto garanticen una respuesta óptima del sistema.

1.5.2.4 Sevilla (2017), “*Sistema de Radiocomunicaciones para los Centros de Control del Parque Nacional Llanganates*”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador.

Esta investigación considera el diseño de un sistema de Radiocomunicaciones para lograr una óptima conexión entre todos los nodos del Parque Nacional Llanganates que será de gran ayuda para el Ministerio del Ambiente y del Sistema Nacional de Áreas Protegidas teniendo como finalidad ejercer un control y vigilancia sobre las áreas del Parque.

Se empleó tres software para las simulaciones de radio como lo son: Air Link que es una aplicación web de Ubiquiti Networks para realizar cálculos de coberturas inalámbricas, Radio Mobile que es un programa de simulación de radio enlaces dentro del rango de 20 MHz a 20 GHz y LinkCalc que realiza simulaciones de radio valiéndose de la zona, distancia, ganancias de las antenas y otros parámetros.

Un sistema UHF requiere de menos equipos pero también estos equipos son más caros en comparación de un sistema VHF de las mismas características por lo que el factor del monto de inversión es crítico para la selección de tecnologías y equipos.

Al ser un área protegida natural se requiere menos presencia de edificaciones o elementos puestos por el hombre como por ejemplo lo son las torres y antenas.

1.5.2.5 Allauca, Guamán (2010), *“Estudio y Análisis de un Sistema de Comunicaciones con Equipos VHF y localización vehicular con Servicio de Mensajería”*, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador.

Se implementó un Sistema de Comunicaciones con Equipos VHF con servicio de mensajería para vehículos mediante el uso de GPS, radiocomunicaciones, software topográfico para establecer un enlace entre la Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga y sus respectivos destacamentos: Sinchahuasin, El Capulí y Nuevo Campus con el fin de optimizar el control de personal administrativo, docente y estudiantil, además de tener comunicación con las unidades móviles en la zona.

Para el análisis geográfico de los nodos se utilizó Google Earth para tener conocimiento de la altura del terreno y distancias. También se emplearon cálculos para conocer la potencia de señal que se pierde en el trayecto y el nivel de recepción en el receptor.

El sistema brindará amplio control sobre la ubicación de los vehículos en un determinado momento lo que servirá para darles un uso adecuado para las actividades y tareas que se vea por conveniente.

Se recomienda tener un sistema de estadísticas para el control de vehículos que a su vez permitirá tener un mejor control del personal.

2. Planteamiento

2.1 Alcance

El alcance de la investigación es descriptivo, dado que se analizará el sistema de radiocomunicaciones de la empresa de investigación, tanto teóricamente como un análisis detallado de la variable de investigación aplicado a la empresa en un capítulo de diagnóstico.

2.2 Técnicas

- Observación de conectividad: La técnica de observación en el análisis de los sistemas de telecomunicaciones considera instrumentos, que permitan a través de la observación, conocer el estado del sistema de telecomunicaciones de la empresa.
- Observación de los equipos de red y sus variables en la simulación. Consiste en la observación de los equipos del sistema de telecomunicaciones; nos percataremos del adecuado funcionamiento, la intensidad de señal y la cobertura en todas las áreas.
- Verificación de los parámetros obtenidos con el software de simulación mediante cálculos matemáticos para comprobar los resultados obtenidos.

2.3 Instrumentos

2.3.1 Diagramas de red de la empresa

Estos diagramas nos indican como esta jerarquizada la empresa en cuanto a cómo se comunica internamente (entre usuarios y entre todas las sedes) y esto nos muestra los tipos de tecnología de los enlaces (fibra óptica, microondas, ondas de radio) y cuáles son los elementos de cada uno.

2.3.2 Software de Simulación Radio Mobile

El software que se empleará para la simulación de radio propagación de los enlaces será Radio Mobile que es un software gratuito que nos permitirá conocer el comportamiento de sistemas de radio, simular los enlaces de radio y verificar el área de cobertura de los equipos de telecomunicaciones.

2.3.3 Software de Cartografía 3D Google Earth

Es un programa que muestra la cartografía de toda la tierra basándose en fotografías satelitales 3D, muestra datos de interés relacionados a la geografía como altura, elevación, coordenadas además de ser muy

interactivo ya que permite modificar el nivel de acercamiento, medir distancias, crear rutas además de ser un programa gratuito.

2.3.4 Cálculos

Se realizaron cálculos matemáticos sobre la propagación, potencia de recepción de la señal y viabilidad de los enlaces para compararlos con los resultados obtenidos con el software de simulación.

2.4 Campo de Verificación

2.4.1 Campo: Ciencias Físicas y Formales

2.4.2 Área: Ingeniería Electrónica

2.4.3 Línea: Sistemas de telecomunicaciones

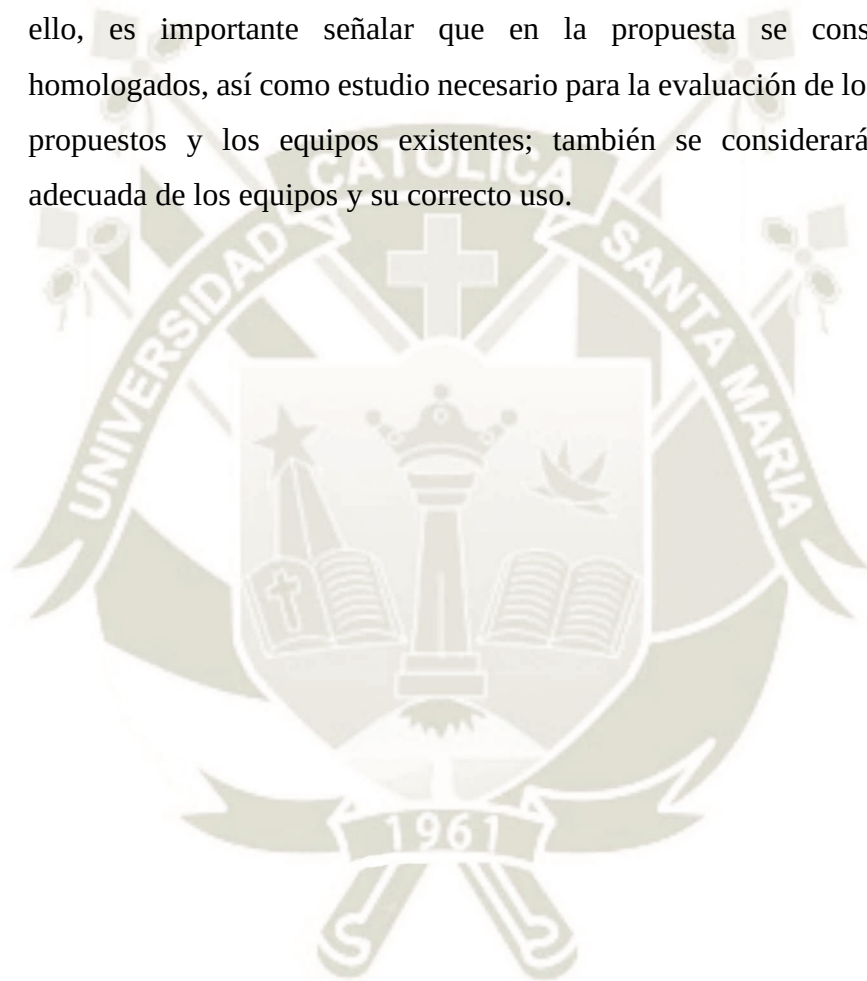
2.5 Estrategias

La Información se procesará a través de los instrumentos indicados, lo cual nos servirá para realizar el diagnóstico adecuado del estado del sistema de radiocomunicaciones de la empresa.

Los diagramas de red en algunos casos ya estaban elaborados previamente por la empresa y en otros casos se realizaron nuevos diagramas que se pudieron elaborar mediante inspección de dispositivos y equipos en la empresa para poder percatarse como están interconectados.

La información de los equipos usados se extrajeron de la hoja de datos de los fabricantes de los equipos y algunos parámetros con los que fueron configurados los equipos se obtuvieron por medio de observación de la programación de equipos con su respectivo software.

La información fue recolectada en un periodo de un año donde se tuvo acceso en general a la información detallada más arriba, esto nos permitirá realizar el diagnóstico y el estado de los equipos y dispositivos que en ese tiempo existían, formando parte del sistema de radiocomunicaciones de la zona de Charcani de la empresa, luego de esto se realizará un análisis de la cobertura de los equipos VHF en el capítulo de propuesta para identificar si están siendo los adecuados, para los objetivos de la empresa en cuanto a transmisión y recepción eficiente de datos. Para ello, es importante señalar que en la propuesta se considerará equipos homologados, así como estudio necesario para la evaluación de los nuevos equipos propuestos y los equipos existentes; también se considerará la distribución adecuada de los equipos y su correcto uso.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1. Sistema de Telecomunicaciones

Los sistemas de Telecomunicaciones implican varios conceptos de acuerdo al tipo de señal transmitida y al medio por donde viaja, además de verse afectada por distintos fenómenos.

Son aquellos que llevan a cabo el transporte de la información mediante el empleo de diferentes técnicas y dispositivos. Esta información se genera a partir de una fuente y se materializa en una señal que será transmitida por un medio alámbrico o inalámbrico pudiendo compartirlo con otras señales mediante técnicas de multiplexación y debiendo someterse a procesos de adaptación al mismo como las codificaciones o las modulaciones para poder transmitirse por el mismo y viéndose afectada por fenómenos adversos como la atenuación o el ruido (Gallardo, 2015, p. 2).

Para la transmisión de información es necesaria la interacción de los elementos del sistema de telecomunicaciones.

El objetivo de un sistema de telecomunicación es la transmisión de información entre dos puntos situados lejos geográficamente.

Todo sistema de telecomunicación puede modelarse mediante un emisor, un receptor y un canal de comunicaciones que realiza el enlace entre el emisor y el receptor. (Millán, 2014, p. 28)

1.1 Elementos

En la figura 1 se consideran los elementos de un sistema básico de telecomunicaciones que son:

Elementos de los sistemas según Herrera

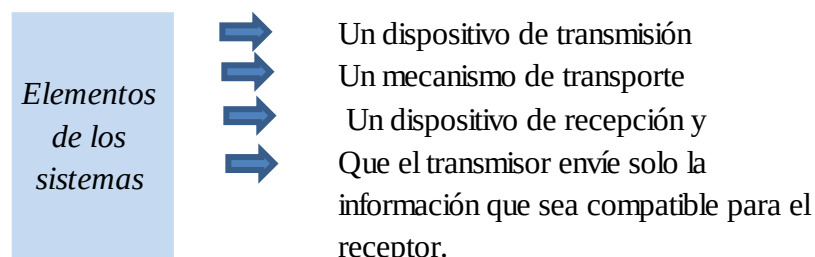


Figura 1. Elementos según Herrera de un sistema. Adaptado de "Introducción a las telecomunicaciones modernas" por E. Herrera, 2004, p. 24. Elaboración propia.

Además de estos elementos Herrera (2004) dice que existe otro componente para lograr la comunicación entre dos puntos:

La codificación y el método de transferencia de información sobre el mecanismo de transporte se conocen como protocolo. El protocolo también define el procedimiento que se va a emplear. La parte más pesada del diseño de un sistema de telecomunicaciones es la necesidad de asegurar la compatibilidad de protocolo. (p.24).

La figura 2 muestra los elementos físicos de un sistema simple de telecomunicaciones. Estos componentes se deben complementar con el uso de un protocolo compatible entre emisor y receptor. Este sistema permite la comunicación en un solo sentido.

Sistema Simplex de Telecomunicaciones

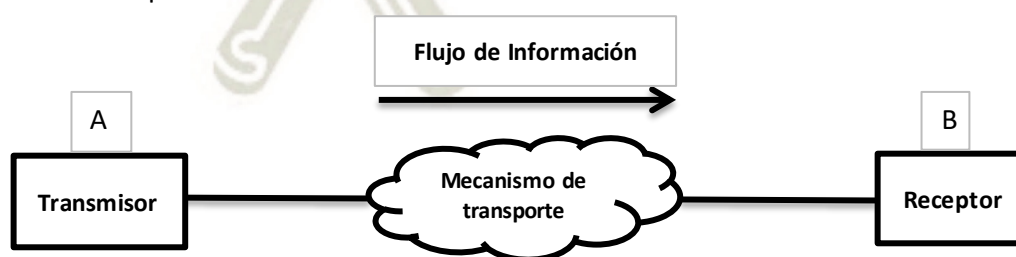
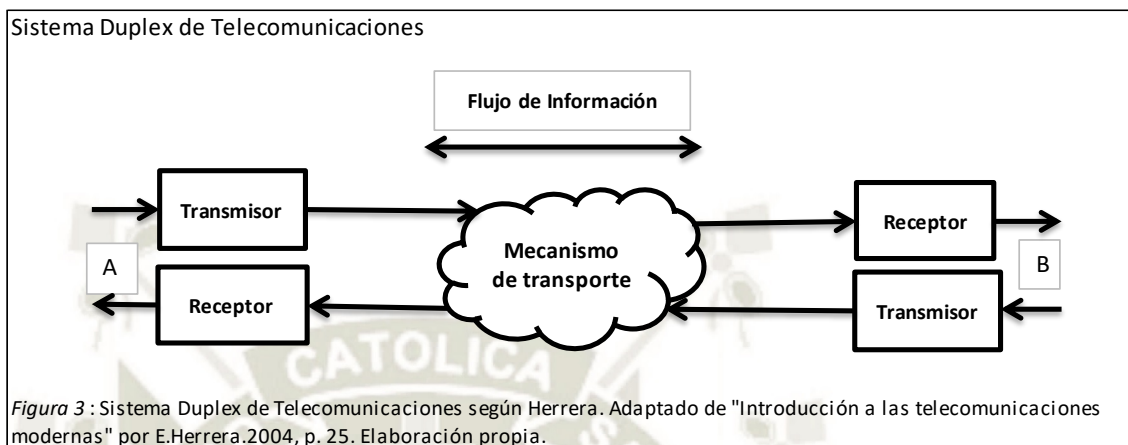


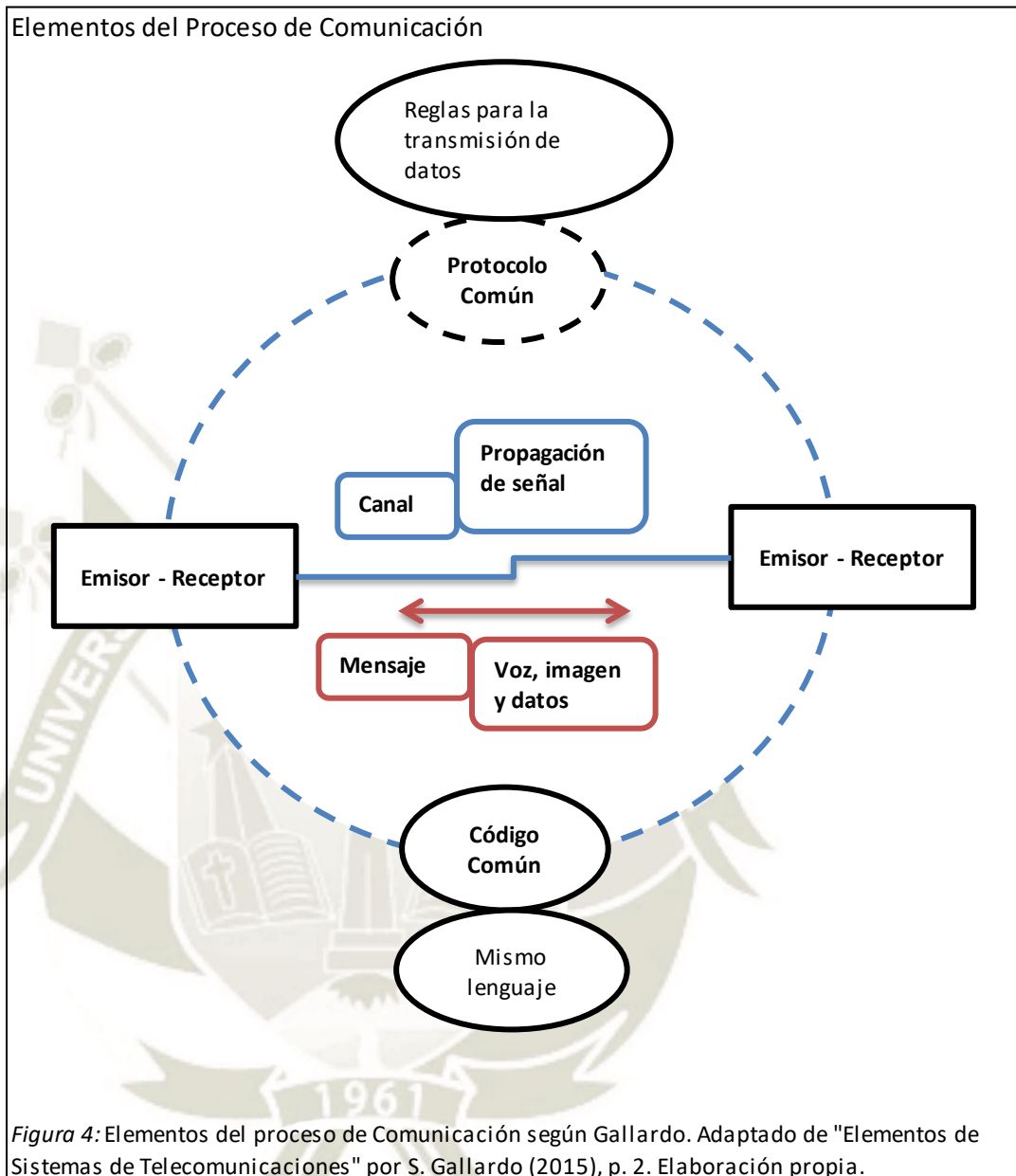
Figura 2 : Sistema Simplex de Telecomunicaciones según Herrera. Adaptado de "Introducción a las telecomunicaciones modernas" por E. Herrera.2004, p. 25. Elaboración propia.

También está la comunicación en dos direcciones o duplex donde se tiene un emisor y receptor en ambos lados de la comunicación, este caso lo vemos en la figura 3.



Así tenemos que Herrera (2004) refiere que el mecanismo de transporte puede ser alguno de toda una gama de medios diferentes que van desde el aire, sobre el cual se desplazan las ondas acústicas, hasta la tecnología nueva de fibra óptica a través de la cual se transmiten pulsos de luz.

Ahora se muestra como los elementos de un sistema de telecomunicaciones trabajan en sintonía para crear un todo.



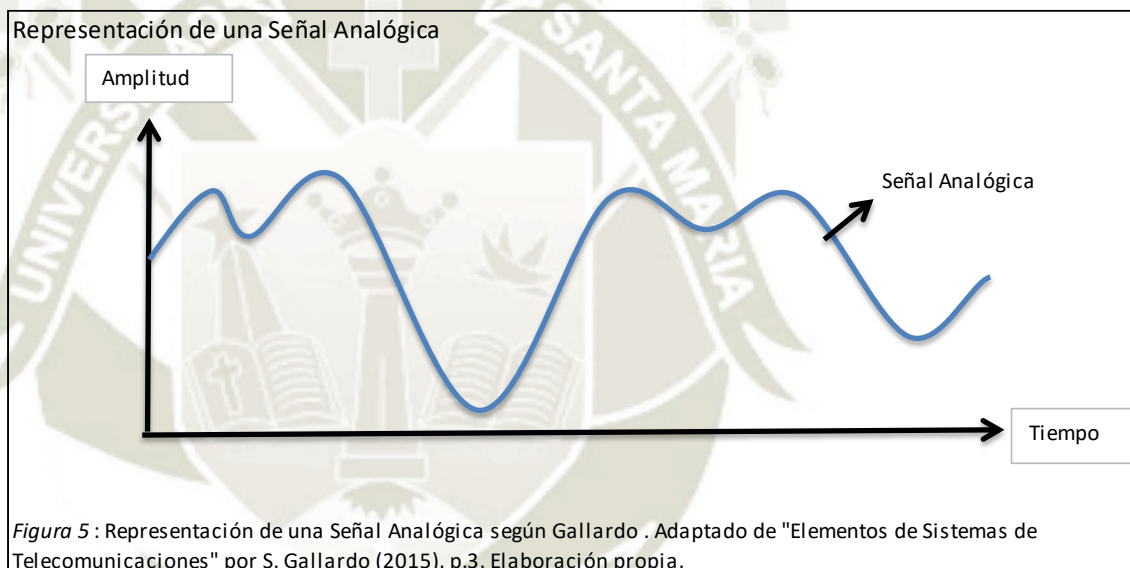
1.2 Señales Eléctricas

Existen distintos tipos de señales en la naturaleza, con respecto a las señales eléctricas Pérez, Samanillo y Casanueva (2007) dicen que este tipo de señales son como se muestran las magnitudes físicas, que se pueden manifestar, que cambian en el tiempo y en el espacio y que se les da cierta información. Mediante el uso de transductores específicos las señales se pueden transformar en señales eléctricas.

1.2.1 Analógicas

Respecto a las señales analógicas Gallardo (2015) propone que una señal es analógica al presentar un cambio continuo en el tiempo con la posibilidad de tener infinitos valores. Tenemos que las señales analógicas proceden de la naturaleza por ejemplo: la temperatura, la luz, la humedad, etc. La voz también presenta un cambio continuo en un espacio de tiempo.

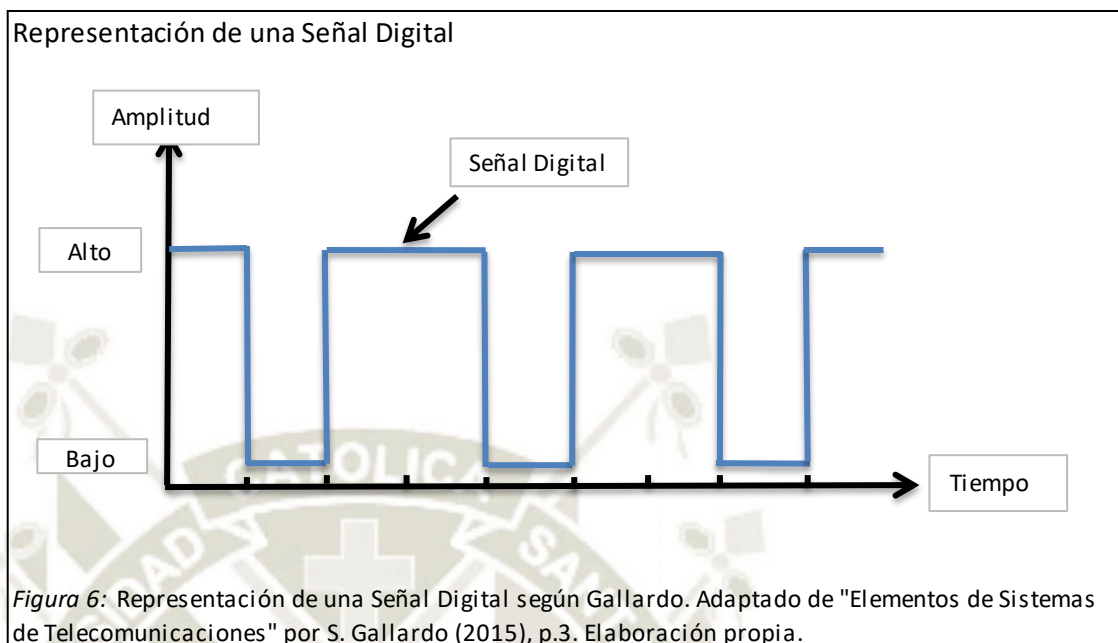
En la figura 5 se puede observar una señal analógica correspondiente a la evolución de la temperatura ambiental.



1.2.2 Digitales

Otro tipo muy común de señal son las señales digitales y para este tipo de señal Gallardo (2015) dice que tienen un cambio continuo en el tiempo, son intermitentes y solo pueden tomar valores definidos. El ejemplo más claro sería una señal binaria que solo puede tener dos valores, los datos binarios son muy comunes en los sistemas electrónicos digitales en nuestros días.

En la figura 6 tenemos la representación de un dato binario y la señalización de su valor más alto y más bajo.



Las señales también se pueden representar en el dominio del tiempo y de la frecuencia Pérez et al. (2007) manifiesta que en los sistemas de telecomunicaciones es común la caracterización en el dominio de la frecuencia porque nos brinda alcances sobre el ancho de banda en que está comprendida la señal. Mayormente cuando se habla de dominio de la frecuencia, se habla de la transformada de Fourier de la función que modela a la señal en el dominio del tiempo.

1.3 Sistema de Radiocomunicaciones

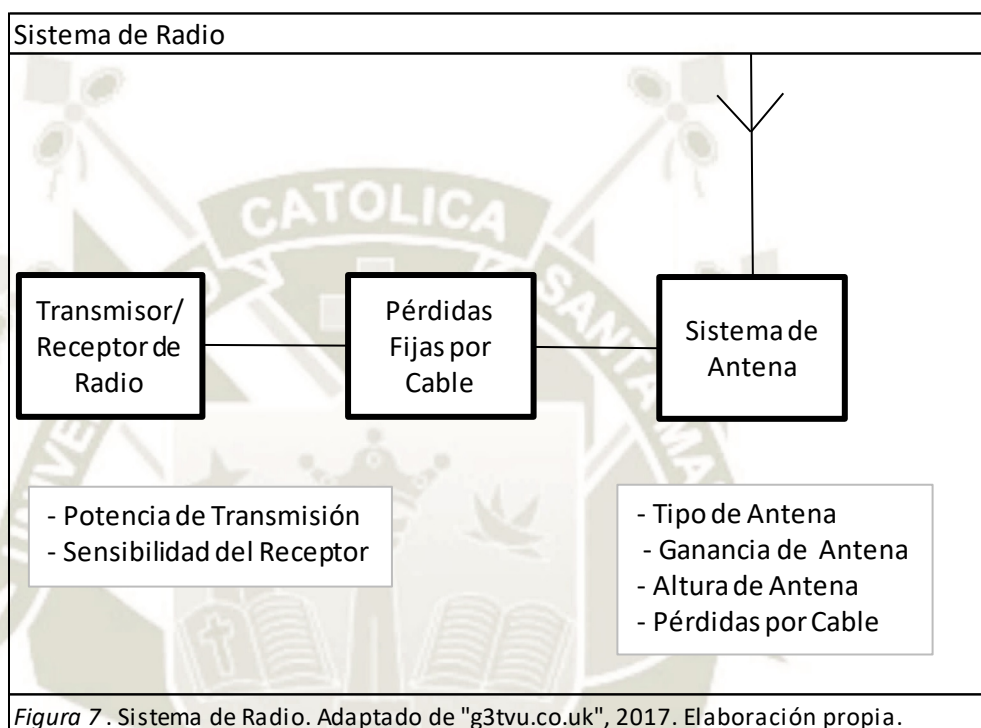
Las ondas de radio representan un tipo de medio de transmisión de datos que según Stallings (2004) se diferencian de las microondas por ser omnidireccionales, también indica que el termino radio se refiere a la banda de frecuencias entre 3 kHz y 300 GHz y exactamente ondas de radio abarca de 30 MHz a 1 GHz.

La ventaja de las ondas de radio frente a las microondas es que aquellas al tener mayor longitud de onda tienen una atenuación menor inclusive en condiciones meteorológicas tales como lluvia.

A continuación se presentará la fórmula de atenuación para las ondas de radio.

$$Atenuación = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

En la figura 7 se representará un sistema de radio para brindar una idea de cómo se conforma.



1.3.1 Medios de Transmisión de Datos

En esta investigación se utilizaron tanto medios no guiados como las ondas electromagnéticas como medios guiados como lo es el cable coaxial.

1.3.1.1 Ondas Electromagnéticas

El espectro electromagnético abarca gran cantidad de frecuencias a las que se puede transmitir. En la figura 8 se tiene el espectro electromagnético indicando además los medios usados en dichas frecuencias.

Espectro Electromagnético de las Telecomunicaciones

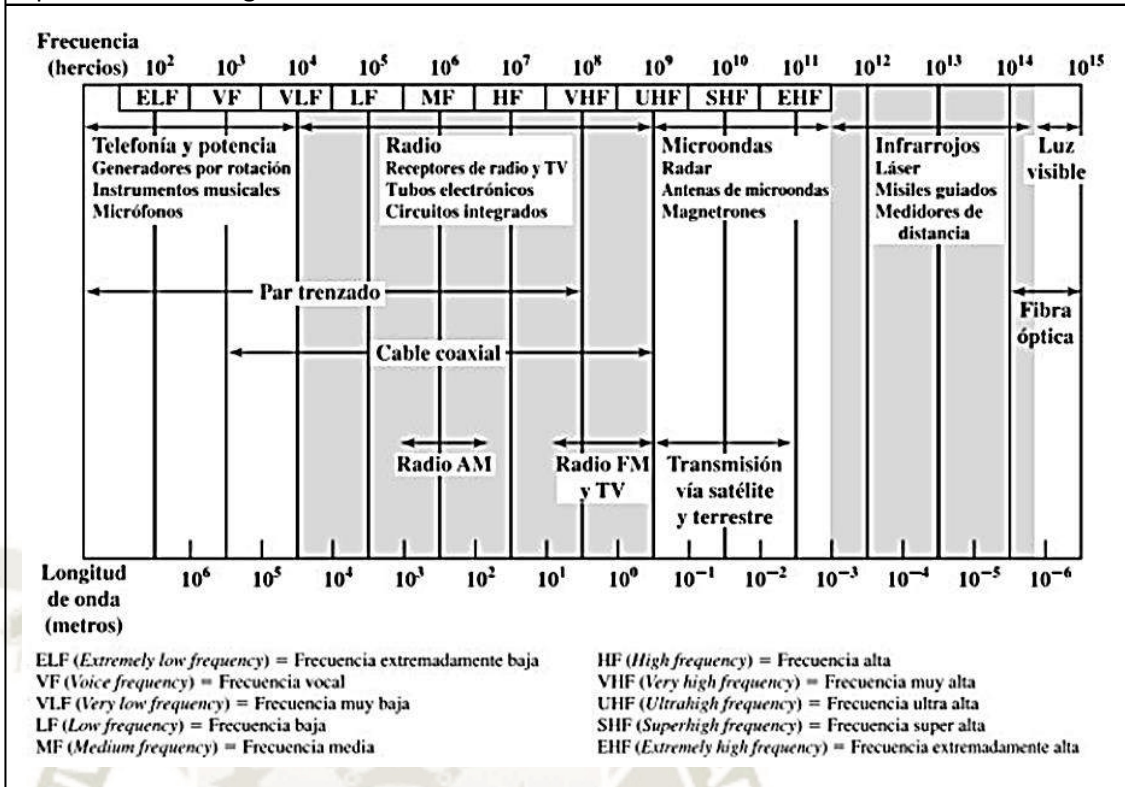


Figura 8. Espectro Electromagnético de las Telecomunicaciones según Stallings. Adaptado de "Comunicaciones y Redes de Computadores" por W. Stallings, 2004, p. 97. Elaboración propia.

A. Banda VHF

En particular la banda de frecuencias VHF que es la que se usará en esta investigación, presenta las siguientes características.

Tabla 1

Características VHF

Rango de Frecuencias	30 MHz - 300 MHz
Rango de Longitudes de Ondas	10 - 1 m
Propagación	LOS, Dispersión
Uso Típico	Enlaces a corta distancia, Radiodifusión, Televisión

Nota : Características VHF según Stallings. Adaptado de "Comunicaciones y Redes de Computadores" por W.Stallings, 2004, p.118. Elaboración propia .

a. Longitud de Onda

Es una magnitud muy importante ya que es inversamente proporcional a la frecuencia y depende del medio por el que se propague la señal. García y Morales (2012) refieren que la longitud de onda es la distancia en el espacio que viaja una onda en todo el periodo de señal.

Su fórmula es:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

λ = Longitud de onda (m)

c = Velocidad de la Luz $\left(\frac{m}{s}\right)$

f = Frecuencia (Hz)

b. Modo de Propagación

El modo de propagación para ondas VHF es principalmente por línea de vista o de manera directa (LOS) y por dispersión.

García y Morales (2012) nos dicen que una propagación directa se da cuando no existe ningún obstáculo entre el recorrido de la señal desde el transmisor al receptor y existe dispersión al chocar la señal en superficies rugosas por lo que la señal se deteriora por efecto de la reflexión. También en menor medida las señales pueden viajar por la atmósfera o reflejarse en la ionósfera y regresar a la tierra. En la figura 9 se tiene una representación de la propagación de señales.

Propagación en VHF

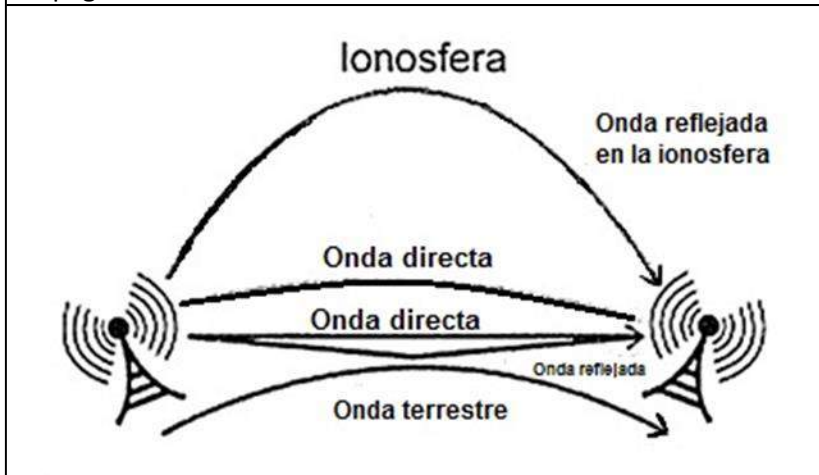


Figura 9 . Propagación en VHF según García y Morales. Adaptado de "Instalaciones de Radiocomunicaciones" por J.García y G.Morales, 2012, p. 15. Elaboración propia.

1.3.1.2 Cable Coaxial

El cable coaxial es un medio de transmisión guiado usado en aplicaciones de alta frecuencia. Tomasi (2003) dice que:

El cable coaxial básico consiste en un conductor central rodeado por un conductor externo concéntrico, a distancia uniforme del centro. A frecuencias de trabajo relativamente altas, el conductor externo coaxial proporciona un excelente blindaje contra la interferencia externa. Se usan para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión (p. 316).

En la figura 10 se presentan 3 tipos de cables coaxiales comunes y el cable usado en la presente investigación, el RG-58 que presenta menos atenuación en longitud de cable.

Cables Coaxiales Comunes

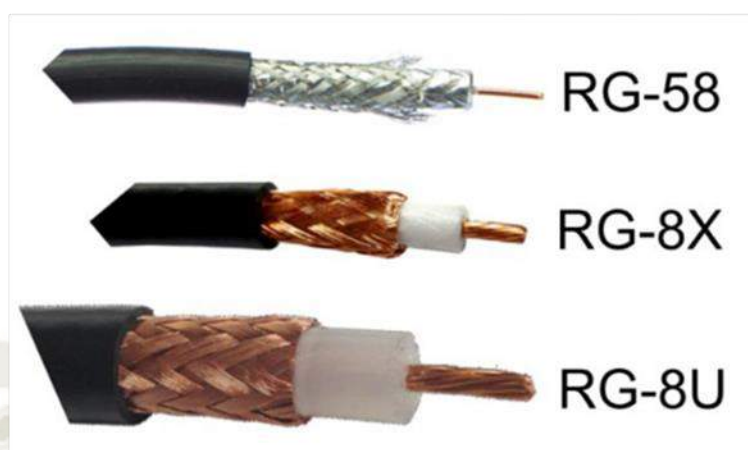


Figura 10 .Cables Coaxiales Comunes. Adaptado de "hamradioschool.com", 2019.

Para tener más idea sobre las pérdidas por longitud de cable coaxial, en la tabla 2 se considera algunos tipos de cable y algunos parámetros del fabricante Amphenol.

Tabla 2
Cables Coaxiales y parámetros

Tipo de Cable	Impedancia	Atenuación máxima a 400 MHz(DB/100 ft)	Radio de Curvatura mínimo (pulgadas)
RG-6	76	5.6	1.65
RG-8	52	4.2	2.00
RG-8X	50	7.7	2.50
RG-11	53.5	11.7	1.00
RG-55	53.5	9.4	1.00
RG-58	53.5	9.4	1.00
RG-59	75	6.9	1.20

Nota : Cables Coaxiales y parámetros. Adaptado de "digikey.com". Elaboración propia.

1.3.2 Elementos del Sistema

1.3.2.1 Antenas

Enfocando a las antenas como parte de un sistema de telecomunicaciones. Pérez, Zamanillo, Casanueva (2007) afirman que son elementos primordiales en los sistemas radioeléctricos de comunicaciones. Una antena puede llegar a ser desde un simple alambre hasta complejos sistemas que se usan en comunicaciones espaciales. Cumplen la labor de ser tanto emisores o receptores de ondas electromagnéticas pudiendo llevar varios tipos de información.

A. El papel de la Antena en los Sistemas Radioeléctricos de Comunicaciones.

En la actualidad Pérez et al. (2007) refieren que las antenas están presentes en diversos sistemas como lo son: radioeléctricos, satélite, microondas, telefonía móvil para transmitir y recibir señales por lo que ya pasaron a ser necesarias y comunes en la vida diaria.

Las antenas son radiadores de energía en el caso de ser emisoras y son interceptores cuando son receptores. El proceso empieza con la energía generada en un circuito eléctrico y luego es transferida a la antena donde la señal es transmitida en forma de ondas electromagnéticas.

Teniendo en cuenta esto se considera “a una antena como un dispositivo que hace de transición de una onda guiada en una línea de transmisión a una onda no guiada al espacio”. (Pérez et al., 2007, p. 319).

B. Parámetros

a. Ganancia de una Antena

La ganancia es un parámetro fundamental en cuanto a la eficiencia que va a tener el sistema.

Es importante resaltar que la ganancia de una antena no se refiere al incremento de potencia transmitida respecto

a la potencia de entrada sino que es una medida de la direccionalidad.

Un concepto relacionado con la ganancia de una antena es el área efectiva. El área efectiva de una antena está relacionada con su tamaño físico y con su geometría. La relación entre la ganancia de una antena y su área efectiva viene dada por:” (Stallings, 2004, p.111).

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

Donde

G=ganancia de la antena

Ae=Área efectiva

f= frecuencia de la portadora

c=velocidad de la luz ($\approx 3 \times 10^8$ m/s)

λ =Longitud de onda de la portadora

En la siguiente tabla se observarán algunos parámetros los cuales se consideran los más importantes.

Tabla 3
Parámetros de una antena

Ancho de Banda	Es el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen ciertas características.
Directividad	Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación, a una cierta distancia R, y la potencia total radiada dividida por el área de la esfera de radio R.
Ganancia	Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección del máximo a una distancia R y la potencia total entregada a la antena dividida por el área de una esfera de radio R.
Rendimiento en la antena	De una antena transmisora es la relación entre la potencia de radiación y la potencia total aplicada a la antena.
Impedancia	Se deberá adaptar el transmisor o receptor a la antena para una máxima transferencia de potencia que se suele hacer a través de una línea de transmisión.

Nota: Parámetros de una antena según Huidobro. Adaptado de "Antenas de Telecomunicaciones" por J. Huidobro, 2013, p.4. Elaboración propia.

C. Tipos

Se clasificará a las antenas en direccionales y omnidireccionales para una facilidad en la explicación.

Bernal (2008) nos dice que tratándose de antenas se requiere una alineación correcta (polarización) y un apropiado acoplamiento de impedancias y para que la antena transfiera la máxima potencia la línea de transmisión debe estar acoplada de manera correcta para que no haya pérdidas en conectores y en la línea.

En la tabla 4 se presentan algunos tipos tomando en cuenta la clasificación que determinamos más arriba.

Tabla 4
Tipos de Antenas

Omnidireccionales	Dipolo, Montaje en Mástil
Direccionales	Yagi, Parabólica, Panel

Nota : Tipos de Antenas según Bernal. Adaptado de "Revisión de Conceptos Basicos de Antenas y Propagación" por I. Bernal, 2008, p.9. Elaboración propia.

Ahora se procederá a dar algunos alcances de la antena que nos interesa que es del tipo omnidireccional.

a. Antena vertical de cuarto de onda:

Otra antena muy usada en aplicaciones de ondas de radio para radios móviles y portátiles VHF y UHF es la antena vertical de cuarto de onda.

Una antena de un cuarto de onda (también Marconi) es una antena omnidireccional en tierra de un único elemento que tiene un cuarto de la longitud de onda emitida por radio frecuencia. Anclar la antena en la tierra hace que la reflexión cree una imagen espejo de la antena. El diseño de esta antena produce una baja impedancia de unos 20 ohm. La antena emite frecuencias en MF, HF, UHF, VHF. (data-alliance, 2017, párr. 3).

En las comunicaciones en una empresa de generación eléctrica que tiene varias centrales y que cuenta con muchos trabajadores que se movilizan continuamente, las radios VHF cumplen un rol importante para realizar maniobras y mantenimientos comandados por el centro de control. En la figura 11 se muestra un ejemplo de radio portátil con antena de cuarto de onda.

Estas antenas se emplean en aplicaciones como: antenas cortas para televisión VHF, antenas receptoras de radiodifusión, antenas RF de vehículos.

Radio portátil digital VHF



Figura 11. Radio Portátil Digital VHF. Adaptado de "radiocomstore.fr", 2018.

1.3.2.2 Repetidor

El repetidor al que se hará referencia a partir de ahora en la presente investigación será el RD986 de la marca Hytera que tiene una característica bien interesante que se presenta a continuación. En la figura 12 se ve este tipo de repetidor.

Repetidor RD986



Figura 12 .Repetidor RD986. Adaptado de "hytera.la", 2019.

A. Conexión IP Multisitio

Según las notas de Aplicación de Hytera sobre la radio convencional DMR.

La conexión IP Multisitio es una característica que permite a los repetidores en ubicaciones dispersas estar conectados para intercambiar voz, datos y paquetes de control entre ellos a través del protocolo TCP/IP extendiendo la red de comunicaciones.

a. Beneficios

En la tabla 5 se muestran que ventajas da esta característica en una repetidora y en un sistema completo.

Tabla 5
Beneficios Conexión IP Multisitio

Conecta dos dispositivos o más en diferentes áreas.
Construir una comunicación más efectiva con una cobertura más amplia.
Para enviar un mensaje a todas las repetidoras conectadas.
Para conectar repetidores operando en distintas bandas de frecuencia.
Permite usar aplicaciones basadas en IP.

Nota : Beneficios Conexión IP Multisitio . Adaptado de "Hytera DMR Conventional Radio IP Multi-site Connect Application Notes". Elaboración propia .

b. Elementos

Son 3 elementos que interactúan entre si descritos en la tabla 6.

Tabla 6
Elementos Conexión IP Multisitio

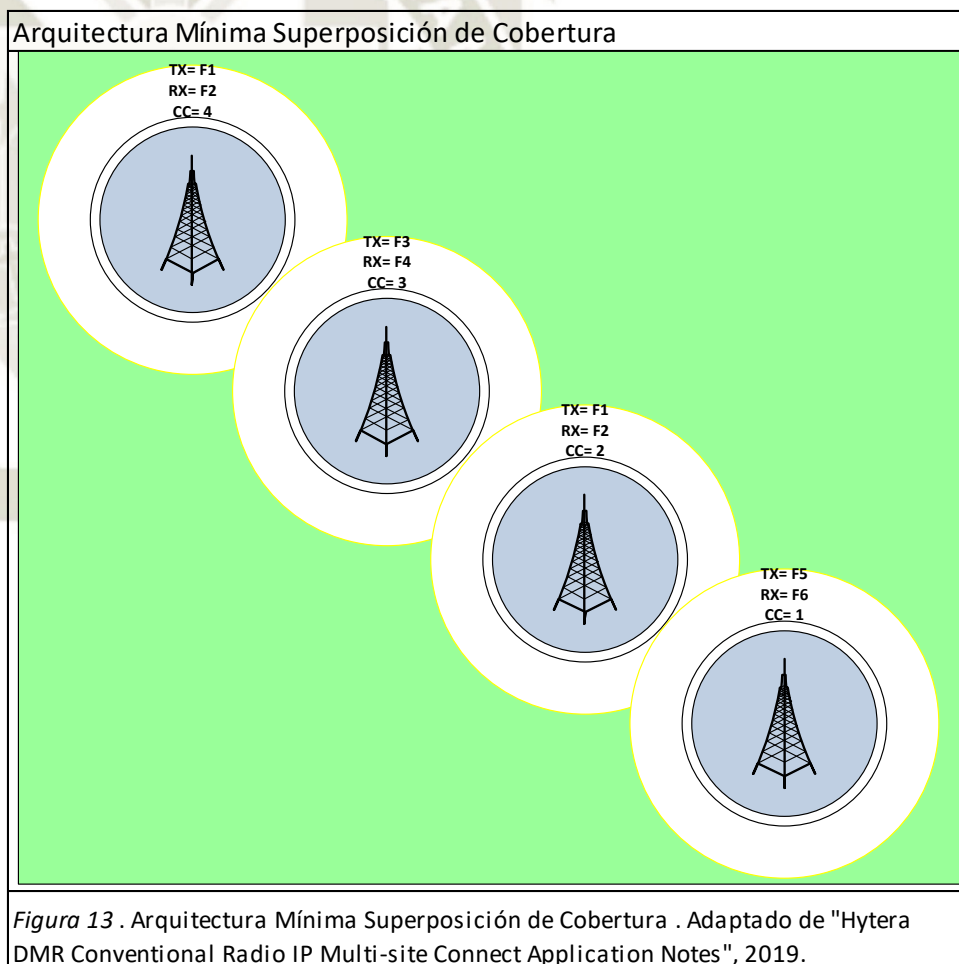
Repetidor Maestro	Administra otros repetidores en la misma red de conexión Ip Multisitio. Sólo un Maestro es permitido en toda la red.
Repetidor Esclavo	Esta conectado y registrado con el Repetidor Maestro. Pueden haber múltiples Repetidores Esclavos en la red.
Repetidor Sub Maestro	Es un repetidor que conecta dos o más redes de Conexión IP Multisitio

Nota : Elementos Conexión IP Multisitio . Adaptado de "Hytera DMR Conventional Radio IP Multi-site Connect Application Notes". Elaboración propia.

c. Arquitectura

El tipo de arquitectura de la red mostrada en la figura 13 es para comunicaciones a través de una ruta, ferrocarril, río o una franja de la costa. Involucra múltiples lugares y una mínima superposición de la cobertura. Las zonas superpuestas comparten la misma frecuencia pero tienen distintos códigos de colores para el servicio de roaming.

Este tipo de arquitectura se adecua a la manera en que los repetidores están posicionados en el sistema a lo largo de una ruta de carretera.



1.3.2.3 Duplexor

Termina siendo parte importante de un sistema de comunicaciones ya que se puede acoplar al repetidor. García y Morales (2012) dicen que los duplexores son elementos que usan una misma antena tanto para transmitir y recepcionar una señal. Una vía del duplexor va conectada a la antena, otra al transmisor y otra al receptor. En la figura 14 se muestra un duplexor.



2. Software

2.1 Radio Mobile

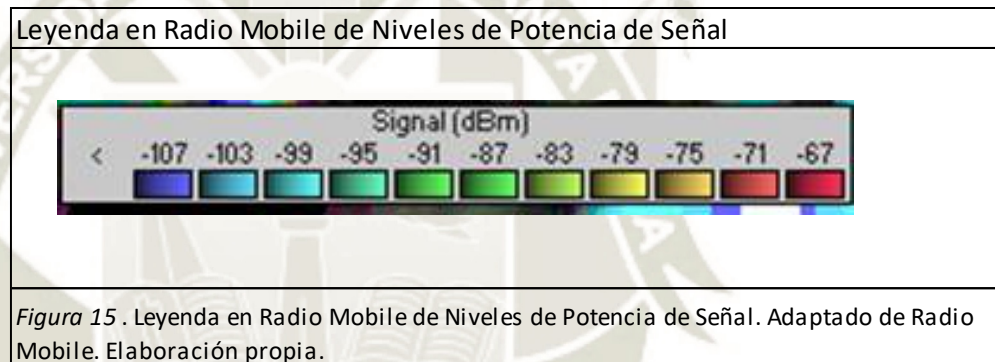
Se escogió este software porque es gratuito y tiene herramientas muy potentes de modelado de sistemas de radiocomunicaciones. Henderson (2011) sostiene que es un programa de simulación que es empleado para predecir la cobertura de una red de radiocomunicaciones o de un elemento como una estación base o un repetidor. Para predecir la cobertura se toman en cuenta varios parámetros.

Los parámetros del terreno son tomados del área geográfica requerida de una base de datos llamada SRTM que proporciona los mapas y los demás parámetros como ganancia, potencia de transmisión, pérdidas son ingresados por el usuario.

Radio Mobile tiene la ventaja de poder superponer el mapa de cobertura con el mapa geográfico del área de interés y es muy práctico darse cuenta si la comunicación es posible o no en determinada zona. Para el cálculo de propagación Radio Mobile usa el Modelo Longley-Rice.

Los niveles de cobertura pueden ser mostrados en diferentes unidades como son: S-units, μV , dBm, $\mu\text{V}/\text{m}$.

En la figura 15 tenemos un ejemplo de leyenda de la potencia de la señal en dBm.



2.1.1 Modelos de Propagación

Primero se abordará su definición, su uso y porque fueron creados, luego se explicará a detalle el modelo usado. Así tenemos que según Naseem, Nausheen y Mirza (2018) un modelo de propagación en radiofrecuencia es una formulación matemática experimental para el modelado de la propagación de ondas de radio en base a la frecuencia, distancia y otras condiciones. Los modelos de propagación se utilizan para predecir el comportamiento de propagación de un enlace de acuerdo a determinadas restricciones y fueron creados con el propósito de formalizar la manera en la que las ondas de radio se propagan de un lugar a otro. Se clasifican en dos tipos que son: modelos de propagación para exteriores y para interiores. El modelo de propagación que fue tomado en cuenta para esta investigación

es el modelo Longley-Rice que pertenece al primer tipo mencionado de modelos de propagación.

El modelo Longley-Rice fue desarrollado y publicado en 1968 y es llamado también modelo de tierra Irregular (Irregular Terrain model). Hufford, Longley y Kissick (1982) refieren que está basado en la teoría electromagnética y en análisis estadísticos de las características del terreno y parámetros de radio prediciendo la atenuación de una señal de radio en función de la distancia y de la variabilidad de la señal en tiempo y espacio.

2.1.1.1 Modos de Operación

El modelo Longley-Rice tiene dos modos de operación, así se tiene que según Naseem et al. (2018) el modo de predicción punto a punto es para la disponibilidad de terreno completo donde los parámetros específicos de la ruta se pueden determinar fácilmente.

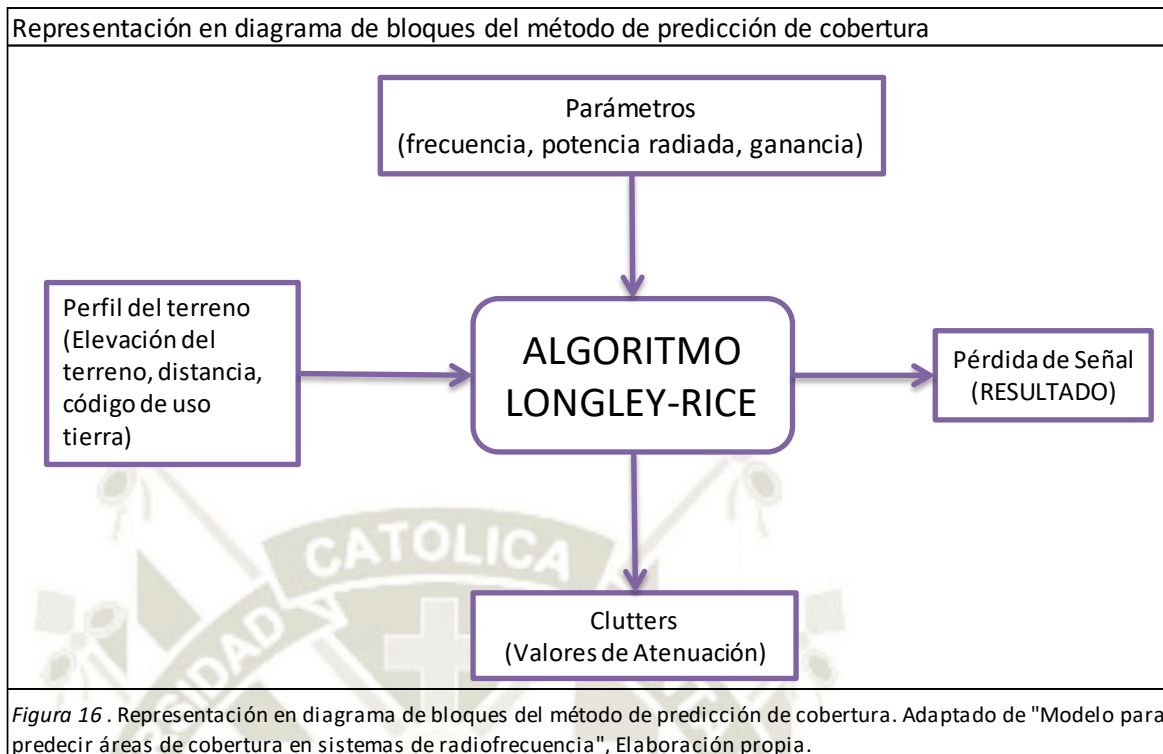
Por otro lado cuando el perfil del terreno no esta disponible el metodo proporciona tecnicas para estimar los parámetros específicos de la ruta, en este caso el modo de operación se llama predicción de área.

Este último modo fue modificado varias veces, añadiendosele el factor urbano que representa la atenuación por obstáculos que existen antes de llegar a la antena receptora.

2.1.1.2 Información de entrada

Este modelo esta específicamente diseñado para uso computacional o informático por lo que requiere que el usuario introduzca información en forma de datos para luego procesarlos. Benoso et al. (2004) sostienen que la información de entrada debe ser el perfil del terreno que se obtiene de una base cartográfica digitalizada y parámetros particulares según la frecuencia utilizada.

En la figura 16 se muestra un diagrama de los datos de entrada del modelo.



2.1.2 Parámetros de Cobertura

Los siguientes parámetros de cobertura son tomados en cuenta por Radio Mobile al graficar el mapa de cobertura y al usar la herramienta especial Radio Link permite visualizar el resultado de un análisis entre dos puntos uno de transmisión y uno de recepción.

2.1.2.1 Sensibilidad del Receptor

Es un parámetro que viene dado en la hoja de datos del fabricante del equipo. Ramos (2019) sostiene que es el nivel más bajo de señal que debe recibir en este caso el equipo receptor para funcionar correctamente. Los radioenlaces ahora son digitales por lo que para medir su calidad se los define en función de la tasa de error (BER). La sensibilidad puede estar dada en dBm, μ V, dB μ V o dB μ V/m.

2.1.2.2 Pérdidas en Espacio Libre

Según Tomasi (2003) las pérdidas en el espacio libre son pérdidas por dispersión, es decir la energía de la señal al viajar se reparte al propagarse

y alejarse de la fuente lo que origina una menor densidad de potencia en un punto a una determinada distancia de donde proviene la señal. Su ecuación es la siguiente:

$$Lfs = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

Siendo:

Lfs = Pérdida en trayectoria por el espacio libre

d = Distancia (km)

f = Frecuencia (Hz)

λ = Longitud de onda (m)

c = Velocidad de la luz en el Espacio Libre (m/s)

Expresada en decibeles:

$$Lfs = 20 \log \frac{4\pi fd}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D$$

Expresando la frecuencia en MHz y la distancia en km

$$Lfs = 20 \log \frac{4\pi(10)^6(10)^3}{3 * 10^8} + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log d_{(km)}$$

$$Lfs = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log d_{(km)}$$

2.1.2.3 Pérdidas Totales

Las pérdidas totales incluyen una serie de aspectos y fenómenos. Para Electronics-notes (2019) las pérdidas totales son una disminución en la densidad de potencia de una onda electromagnética o señal que se propaga a través del espacio libre.

Ocurre debido a diversas razones como las mostradas en la tabla 7.

Tabla 7

Aspectos que causan Pérdidas totales

Pérdida en el Espacio Libre	La señal viaja a través del espacio sin ningún otro efecto que atenue la señal. La potencia irá disminuyendo a medida que se aleja de la fuente.
Difracción	Cuando aparece un objeto en el camino de la señal. La señal puede difractarse alrededor del objeto produciendo pérdidas.
Multitrayectoria	Las señales se reflejan y llegan a su destino por múltiples trayectorias
Pérdidas de Absorción	La señal pasa a un medio que no es transparente a las señales de radio. Por ejemplo: edificios, humedad atmosférica, vegetación.
Terreno	El terreno tendrá un efecto significativo en la señal con la presencia de colinas o por la composición del terreno mismo.
Atmósfera	Para frecuencias mayores a 50 MHz la troposfera refracta las señales a la tierra como resultado del cambio del índice de refracción.

Nota : Cables Coaxiales y parámetros. Adaptado de "electronics-notes.com". Elaboración propia.

Radio Mobile usa la siguiente formula:

Pérdidas Totales

$$= \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

2.1.2.4 Potencia de Recepción

Para calcular la potencia de recepción Radio Mobile considera los siguientes parámetros indicados en la fórmula para hallar la potencia de recepción.

Nivel de potencia en Rx

$$= \text{Potencia en Tx} + \text{Ganancia Antena Tx} - \text{Pérdidas de Línea en Tx} + \text{Ganancia Antena Rx} - \text{Pérdidas de Línea en Rx} - \text{Pérdidas Totales}$$

2.1.2.5 Margen de Desvanecimiento

Es un parámetro relacionado con la potencia de recepción en el receptor. Tomasi (2003) dice que es un “factor ficticio” que se incluye para tener en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, por ejemplo, la propagación por múltiples trayectorias y la sensibilidad del terreno. Estas características

son causa de condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran las pérdidas en la trayectoria en espacio libre y, por lo general, son perjudiciales para la eficiencia general del sistema.

Radio Mobile considera la fórmula:

$$Fm = Prx - Prs$$

Donde:

Fm = Margen de desvanecimiento

Prx = Potencia de recepción en el receptor

Prs = Sensibilidad del receptor

2.1.2.6 Viabilidad del Enlace

SAF Tehnika (2002) refiere que para determinar la viabilidad de un enlace se debe comparar el nivel de señal en el receptor con el umbral de sensibilidad del receptor. El link es viable si:

$$Prx \geq Prs$$

Donde:

Prx = Potencia de señal en el receptor

Prs = Sensibilidad del Receptor

3. Red

Es necesario primero definir una red en el contexto de un sistema de telecomunicaciones. “Una red de telecomunicaciones está formada por los sistemas de transmisión y, cuando proceda, los equipos de conmutación y demás recursos que permitan la transmisión de señales entre puntos de terminación definidos mediante cable, medios ópticos o de otra índole”. (Huidobro, 2006, p. 1)

En los puntos de terminación considerados como de otra índole se encuentra las microondas y los enlaces de ondas de radio que se valen de ondas electromagnéticas para comunicarse entre sí.

3.1 Tipos de Red

El sistema de Telecomunicaciones que se tiene en mente en esta investigación comprende mayormente enlaces punto – multipunto.

Stalings (2004) sobre este aspecto nos da un alcance sobre los enlaces punto a punto como en el caso cuando los dispositivos están a kilómetros de distancia entre si no compensa usar un enlace dedicado.

Otro punto resaltante es cuando se requiere que se conecten dispositivos en instantes de tiempo cualquiera. Por ejemplo una red de teléfonos mundial o un grupo de computadoras de una empresa.

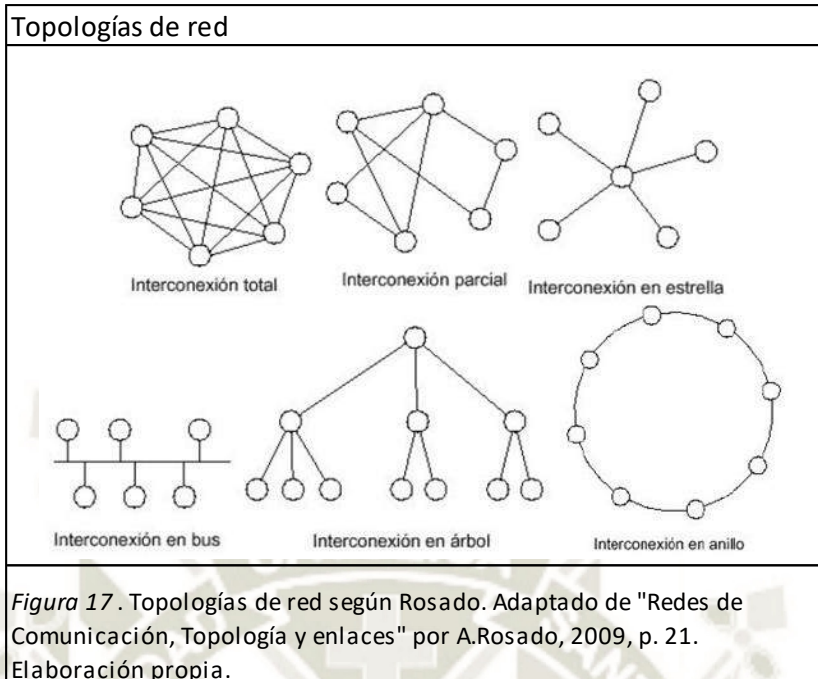
Para evitar estos problemas se recomienda enlazar los dispositivos en una red de comunicación. Se consideran dos grandes grupos de tipos de redes: Wide Area Network (WAN) y Local Area Network (LAN).

3.2 Topologías de Red

La manera como se interconectan dispositivos o equipos en una red nos brinda mejor información de su comportamiento. Rosado (2009) refiere que las topologías de red son estructuras de interconexión en que se constituyen las redes de transmisión de datos entre sus elementos.

Una topología específica de red lleva consigo una topología física y una topología lógica.

La topología física determina como se deben conectar los elementos de una red (figura 17). La topología lógica define la manera como se administra la transmisión de datos.



4. Tecnologías

4.1 DMR

Es un standard de radio digital abierto establecido por el European Telecommunication Standards Institute (ETSI). Federman (2018) refiere que el uso del protocolo de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) le permite a esta tecnología gozar de escalabilidad efectiva, eficiencia energética, rentabilidad. Con DMR se incrementa el alcance y calidad de la voz al estar usando radios digitales.

Hytera (2019) dice que con DMR se obtiene el beneficio de aumentar la eficiencia del espectro ya que el uso de TDMA permite el doble de canales en el mismo ancho de banda. Esto se ilustra en la figura 18.

Aumento de Eficiencia en el espectro



Figura 18 . Aumento de Eficiencia en el espectro . Adaptado de "Hytera Professional DMR Products" por Hytera, 2019, p. 2. Elaboración propia.

Otra ventaja es que logra tener dos canales con un repetidor, un duplexor y una antena comparado con otra técnica de multiplexación como FDMA se logra una eficiencia de 6.25 KHz. La figura 19 representa esta característica.

Redes Asequibles

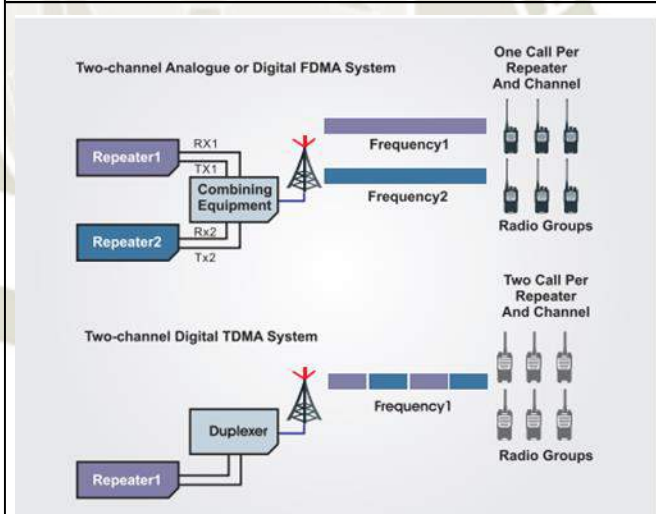


Figura 19 . Redes Asequibles. Adaptado de "Hytera Professional DMR Products" por Hytera, 2019, p. 3. Elaboración propia.

5. Multiplexación

5.1 FDMA

Es una técnica que quiere decir Acceso Múltiple por División de Frecuencia y es muy usada en equipos de radiocomunicaciones.

ElectronicDesign (2019) sostiene que es el proceso de dividir un canal o un ancho de banda en múltiples subcanales cada uno para ser usado por un usuario.

Cada banda es bastante ancha como para acomodar los espectros de señal de las transmisiones que se van a propagar. En la figura 20 se ve la explicación de esta técnica.

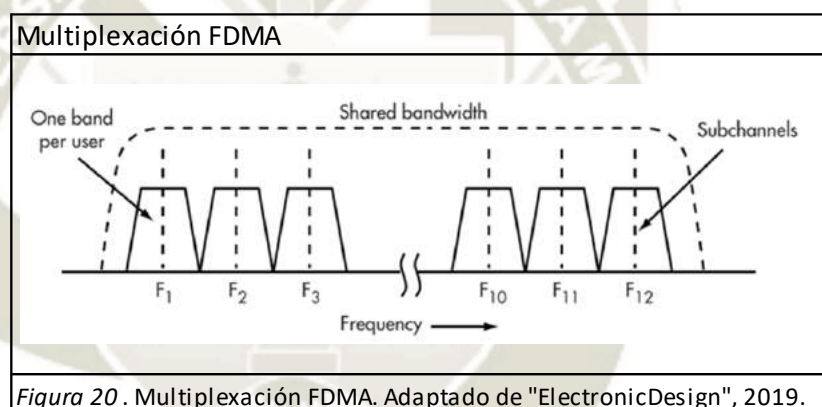


Figura 20 . Multiplexación FDMA. Adaptado de "ElectronicDesign", 2019.

5.2 TDMA

Significa Acceso Múltiple por división de tiempo y al igual que FDMA es ideal para que muchos usuarios se comuniquen a la vez.

ElectronicDesign (2019) refiere que esta técnica divide el canal o banda en ranuras de tiempo. Cada ranura de tiempo se usa para transmitir un byte o un segmento digital de cada señal en forma de datos en serie secuencial. Esta técnica es la adecuada para transmitir señales de datos de voz lentas así como también para video comprimido. La figura 21 ilustra una trama de telefonía digital T1 donde cada intervalo se le asigna a un usuario.

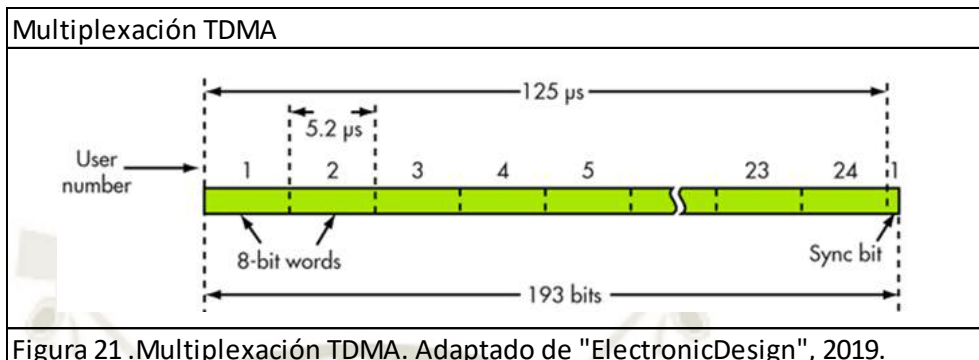
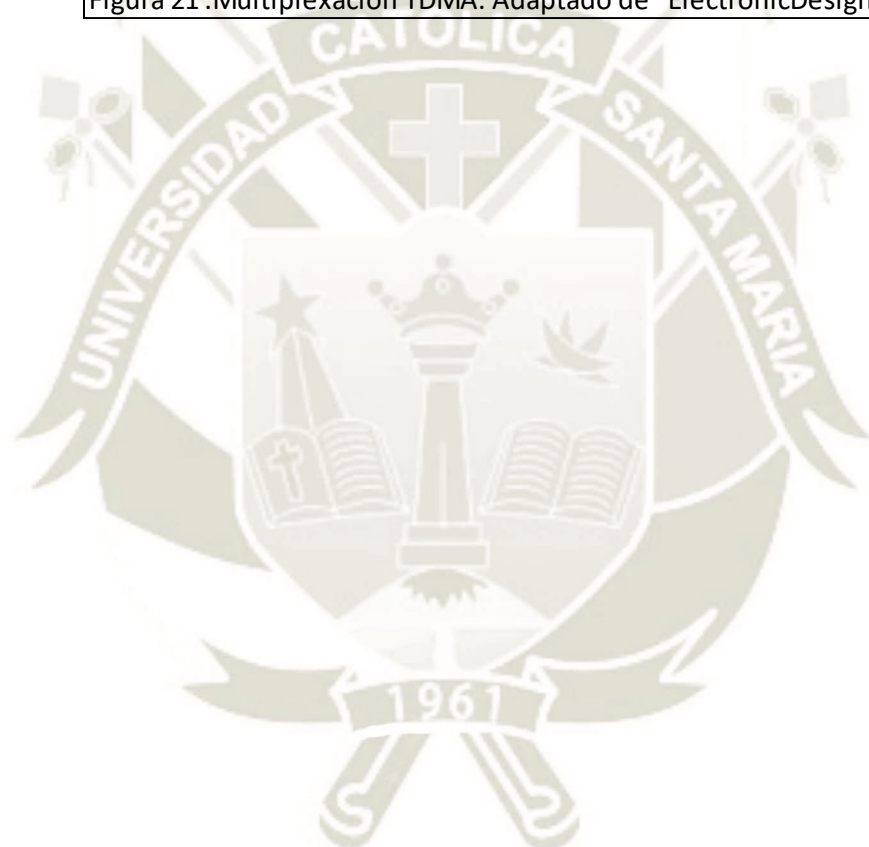


Figura 21 .Multiplexación TDMA. Adaptado de "ElectronicDesign", 2019.



CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO

1. Diagrama de flujo del proceso

Descripción del Proceso

El proceso inicia con el registro de algún inconveniente en cuanto a comunicación con radios VHF que tenga que ver con cobertura hasta la instalación y puesta en marcha de una repetidora.

Ahora se procederá a explicar el proceso dividiéndolo en etapas para mayor practicidad y comprensión.

1. El proceso inicia cuando un operario de una central en Charcani presenta inconvenientes en recepción y envío de señal en las radios y no le es posible comunicarse.
2. A continuación el operario da aviso al jefe del Área en este caso el Área de Generación de la División Hidráulica del departamento de Mantenimiento Hidráulico y a su vez este comunica la falla al jefe del Área respectiva que sería a la división de tecnologías de información y comunicaciones, en concreto al departamento de Telecontrol y Comunicaciones.
3. El jefe de TIC comunica el problema al personal encargado de solucionar esta falla.
4. El personal encargado de Telecontrol y Comunicaciones se intenta comunicar de forma telefónica con el operario para explicarle lo ocurrido. En caso el problema sea muy grave se obvia este último paso y el personal debe acudir inmediatamente al lugar a revisar el problema.
5. En estos casos de problemas con radios se suele programar nuevamente la radio mediante un software del fabricante de la radio y para esto se tiene que conectar la radio a la PC. En otros casos donde la radio esta averiada se lleva una radio nueva ya programada para reemplazarla y se

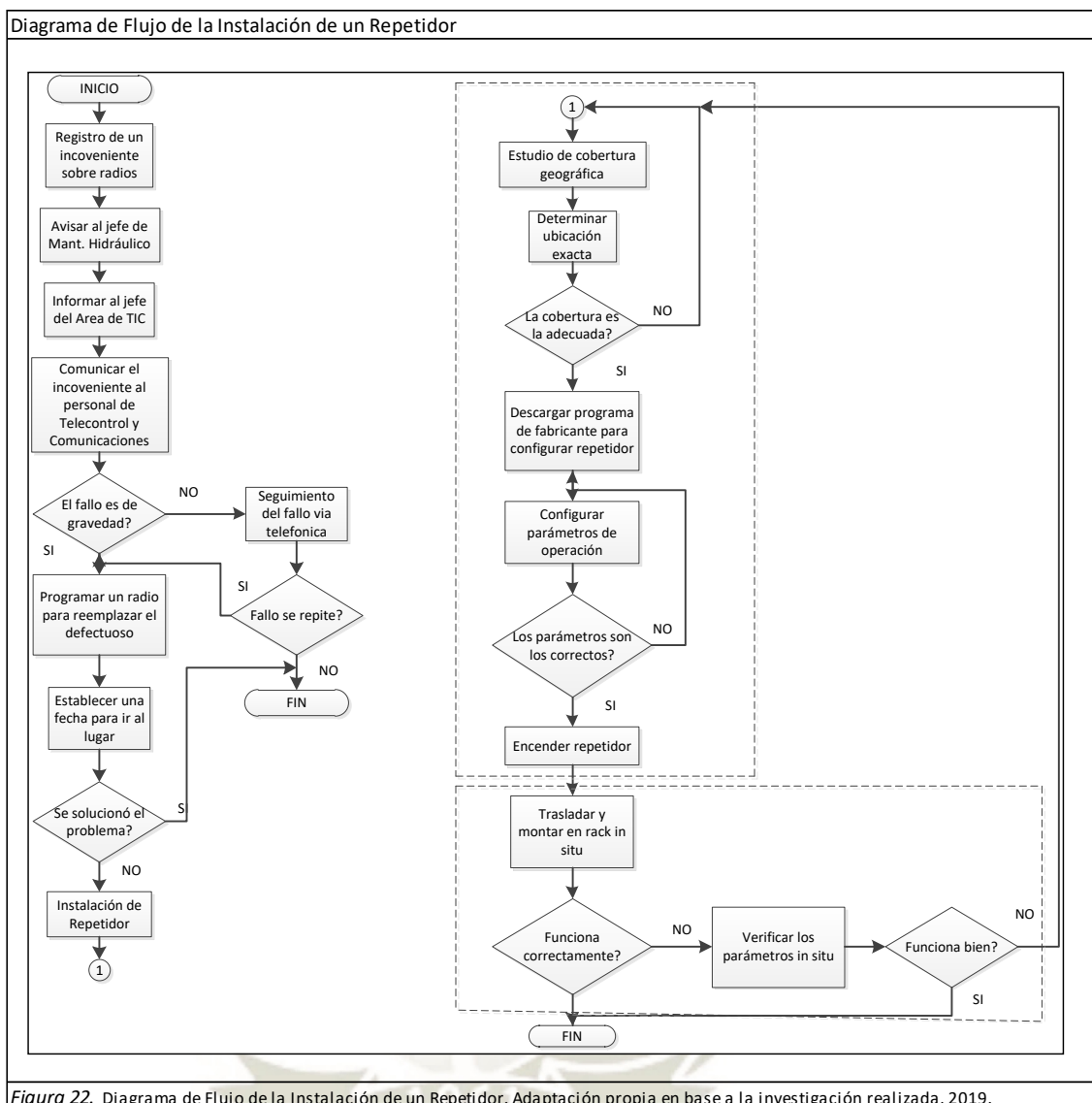
podría decir que en los casos más extremos si se dispone de una repetidora para configurarla en el taller y llevarla posteriormente al lugar donde se registra escasez de señal de radio para tener una mayor cobertura.

6. Se prueba la radio o repetidora in situ, es decir donde se produjo la falla y si es que se soluciona el problema se da aviso al operario con las nuevas recomendaciones de cómo usar el dispositivo.

7. Por último se comunica al jefe del Área la solución del problema.

Todos estos pasos están contenidos y considerados en el siguiente diagrama de Flujo plasmado en la figura 22.





Como se puede observar, el problema de la mala ubicación y de algunos inconvenientes con algunos elementos inadecuados del sistema generan una cobertura deficiente de las repetidoras y esto representa un proceso que ocasiona pérdida de tiempo primero para el personal de mantenimiento ya que no pueden comunicar fallas vía radio en zonas donde se realizan maniobras o en casa de máquinas y debido a esto el personal debe trasladarse una distancia determinada hasta una zona donde la radio tenga cobertura para transmitir.

Por otro lado también se pierde tiempo al tratar de ubicar a un operario de determinada Central porque éste se encuentra en una zona donde no hay la cobertura necesaria para recepcionar la señal. Por ello se analizarán las ubicaciones

actuales de las estaciones con el fin de evaluar la cobertura de las mismas y proponer la mejor distribución de las repetidoras o alguna modificación en el sistema para mejorar la cobertura de las radios VHF.

2. Plano de ubicación de las estaciones

Primero describiremos de manera general el sistema de comunicaciones de la zona de Charcani incluyendo microondas y ondas de radio. En esta zona existen 5 repetidoras instaladas. Una de ellas ubicada en el Chachani que actúa como repetidor maestro y mediante enlace microondas se comunica con la central de Chilina y esta a su vez se comunica con la central de Charcani por fibra óptica. La ubicación de todas las estaciones se presenta en la figura 23. Las repetidoras en la central de Chilina son 4 y actúan como esclavos.

En la estación del Chachani se dispone de una torre de comunicaciones que a su vez cuenta con una antena microondas de marca Cambium Networks modelo PTP 600, dos antenas yagi VHF y una antena de 4 dipolos, además de la repetidora se cuenta aquí con una radio base y una radio portátil. Una antena yagi apunta a la zona de Charcani para comunicarse con las repetidoras ahí establecidas, la segunda antena yagi apunta a la ciudad, mientras que la antena de 4 dipolos es usada por la radio base para tener cobertura en la propia estación del Chachani.

En la figura 24 se consideró la vista satelital de Google Earth donde podemos ver mejor la geografía del terreno considerando todo el sistema en conjunto.

Ubicaciones y elevaciones Repetidoras y Estación Chachani en Radio Mobile

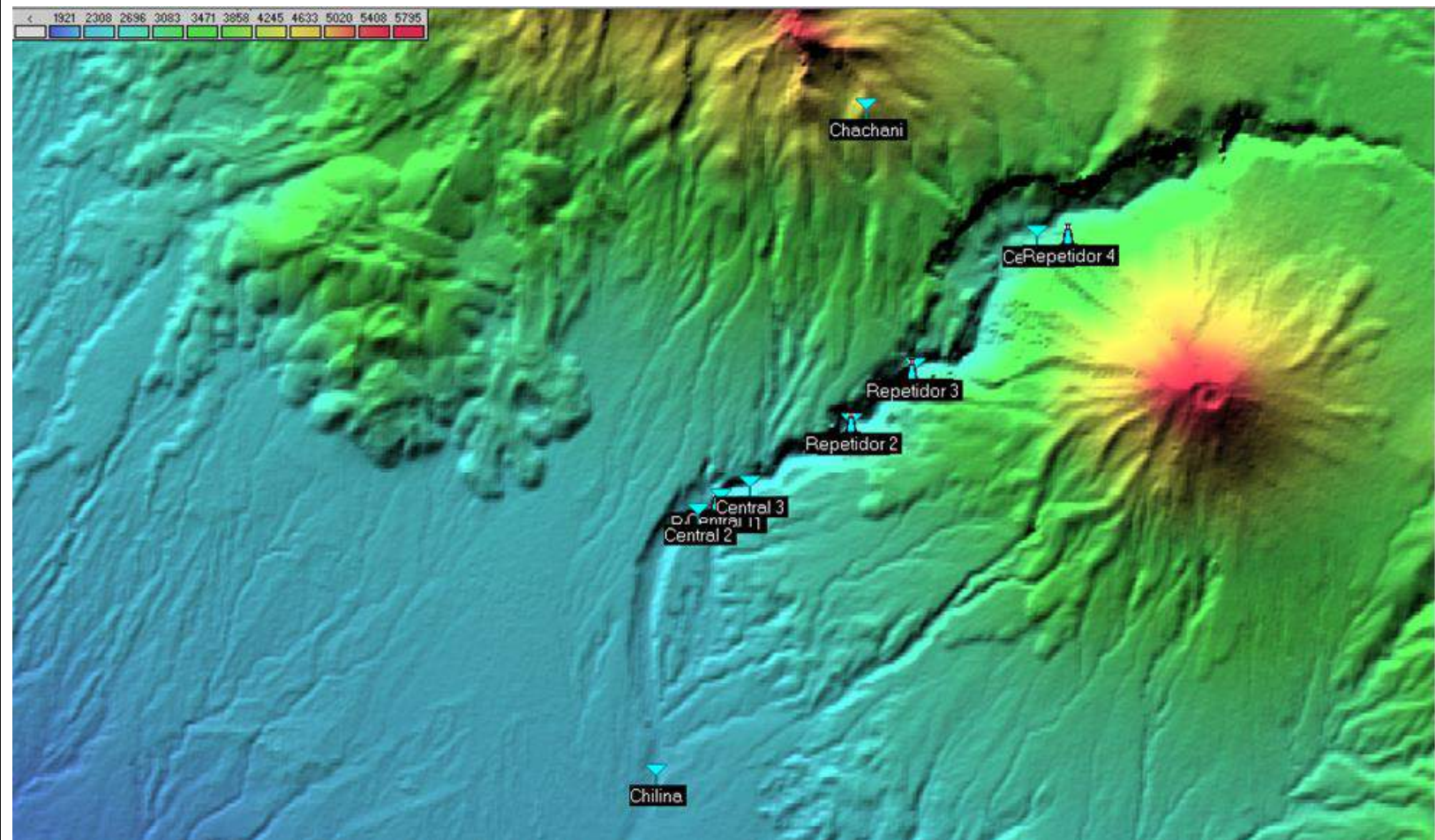


Figura 23. Ubicaciones y elevaciones Repetidoras y Estación Chachani en Radio Mobile. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

Vista Satelital de Repetidoras y estación Chachani en Google Earth



Figura 24. Vista Satelital de Repetidoras y estación Chachani en Google Earth. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

Ahora se realizará el diagnóstico en la parte del sistema VHF que corresponde a la Central de Charcani que es donde se tiene inconvenientes de cobertura y que es materia de esta investigación.

La empresa cuenta con 6 centrales hidroeléctricas de diferentes capacidades todas cercanas en la zona de Charcani pero solo cuenta con 4 repetidoras para toda la zona, las que están ubicadas en las Centrales 1, 6, 4 y 5.

Ahora se presentara las coordenadas de ubicación de cada central y cada repetidora teniendo en cuenta sus coordenadas de latitud y longitud. Esto se muestra en la tabla 8.

Tabla 8
Coordenadas Centrales y Repetidoras

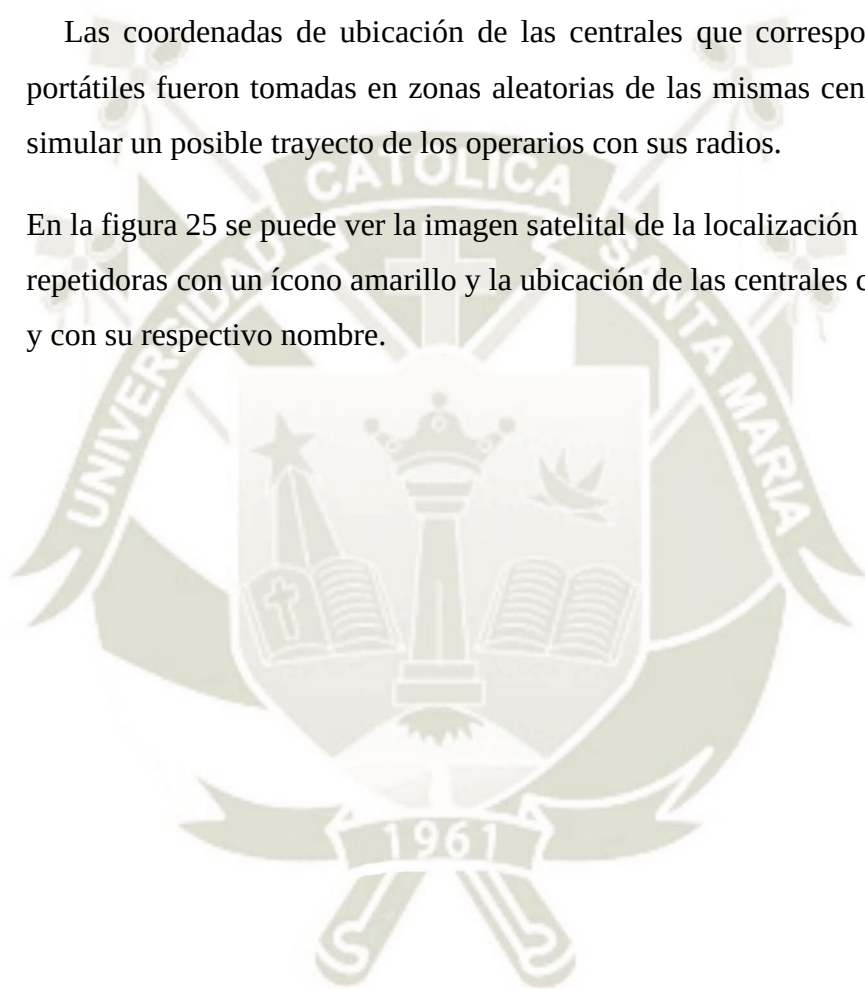
Punto	Lugar	Coordenadas
1	Central 1	16°19'14.87"S 71°31'9.01"O
2	Central 2	16°19'26.28"S 71°31'27.65"O
3	Central 3	16°19'3.98"S 71°30'44.39"O
4	Repetidor 1	16°19'16.67"S 71°31'11.44"O
5	Central 4	16°17'29.66"S 71°28'27.00"O
6	Repetidor 2	16°18'13.32"S 71°29'19.23"O
7	Central 6	16°18'14.08"S 71°29'20.59"O
8	Repetidor 3	16°17'30.57"S 71°28'28.47"O
9	Central 5	16°15'44.75"S 71°26'45.17"O
10	Repetidor 4	16°15'42.77"S 71°26'19.20"O

Nota. Coordenadas de Centrales y Repetidoras. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

El plano de ubicación fue elaborado con el programa Google Earth Pro que nos permite ver la zona de interés mediante satélite con todos los accidentes geográficos que presenta ya que un mapa de estas características nos es más útil para realizar un mejor análisis de cobertura, el terreno juega un papel muy importante porque puede hacer variar el área de cobertura.

Las coordenadas de ubicación de las centrales que corresponden a radios portátiles fueron tomadas en zonas aleatorias de las mismas centrales para así simular un posible trayecto de los operarios con sus radios.

En la figura 25 se puede ver la imagen satelital de la localización de las repetidoras con un ícono amarillo y la ubicación de las centrales con ícono rojo y con su respectivo nombre.



Plano de Ubicación de Estaciones Repetidoras

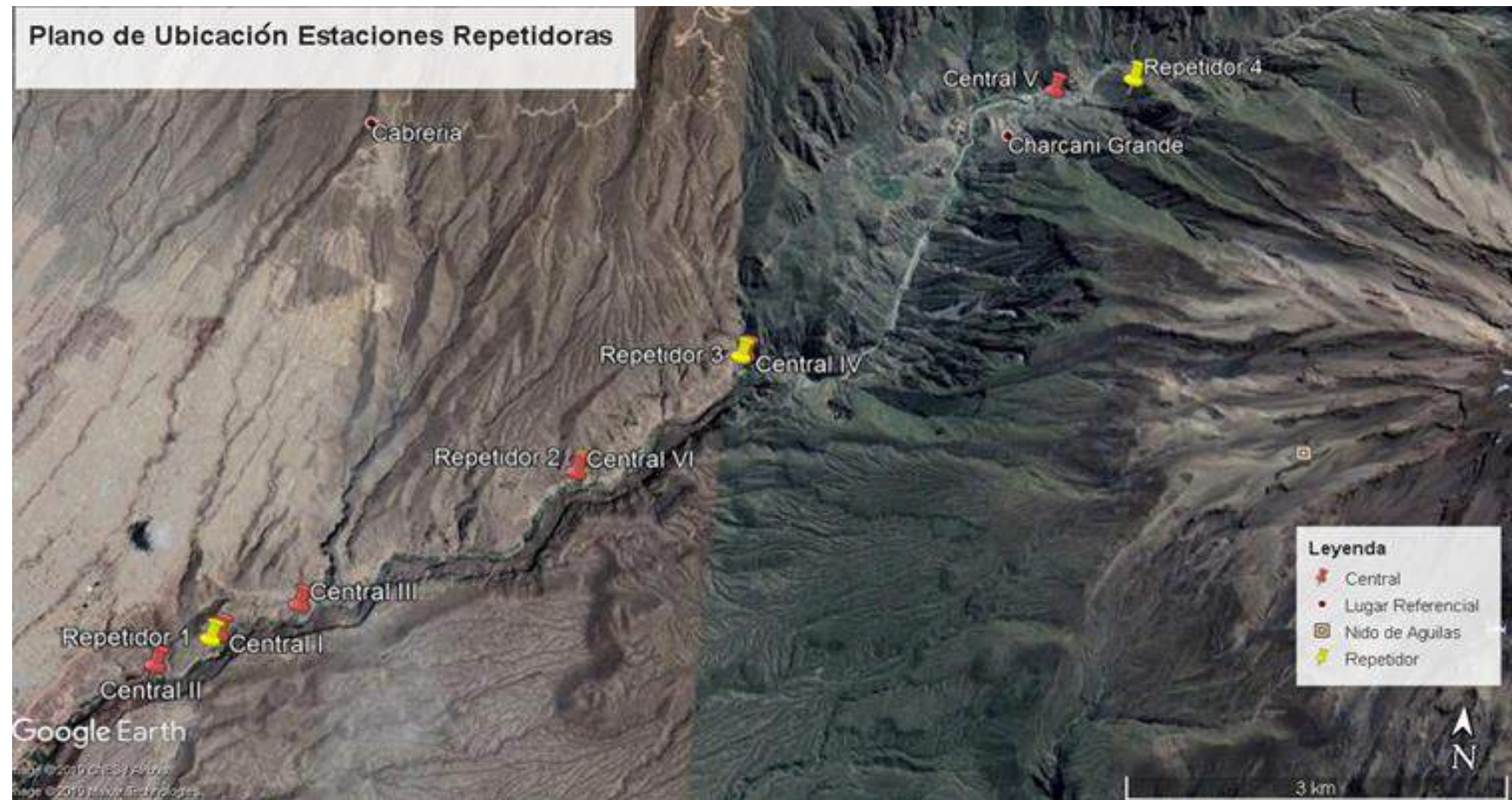


Figura 25. Plano de Ubicación de Estaciones Repetidoras. Adaptado de Google Earth Pro en base a la investigación realizada, 2019.

3. Análisis de la cobertura actual de las estaciones repetidoras

Dentro del personal de la empresa que utiliza las radios se encuentran los operarios de cada Central que cuentan con una radio portátil y otra móvil. También hay personal que se moviliza permanentemente por todas las centrales contando para ello con radios móviles en sus camionetas.

Por ello para una cobertura óptima de la zona las radios deben poder ejercer su función contando con una intensidad adecuada en cada central y también en el camino que comunica la Central 1 con la Central 5, que es la que está más alejada.

Aproximadamente se tiene 25 radios portátiles para el personal de mantenimiento en todas las centrales y 10 radios móviles.

3.1 Descripción General del Sistema

El presente análisis tiene la finalidad de constatar la cobertura del sistema VHF de radios portátiles, móviles en la zona de Charcani que es un lugar muy accidentado y de difícil acceso por ser una zona montañosa cercana al volcán Misti. En esta zona la empresa posee varias hidroeléctricas de distintas capacidades por lo que el personal ocupa radios portátiles y móviles para comunicarse.

Para facilitar el análisis se dispuso del software Radio Mobile para simular los enlaces de las repetidoras con las diferentes radios y el área de cobertura que brindan las repetidoras instaladas.

Equipos del Sistema

- Repetidora HYTERA RD986
- Radio Portátil HYTERA X1e
- Radio Móvil HYTERA MD786G
- Duplexor (Frecuencia: 148-160 MHz; espaciamiento RX-TX: 5MHz)
DT13
- Antena de látigo

Uno de los parámetros más importantes a ser considerados en el análisis es la potencia de transmisión de tan solo 1 W para las repetidoras y 5 W para las radios portátiles. Como ya se mencionó anteriormente los íconos cuyos nombres indican de la Central 1 a 6 representan en el análisis radios portátiles.

Para ubicarnos mejor y para una mejor claridad se presentara un mapa de ubicación y elevación de las centrales y repetidoras en la figura 26.



Mapa de Ubicación y Elevación de Centrales y Repetidoras

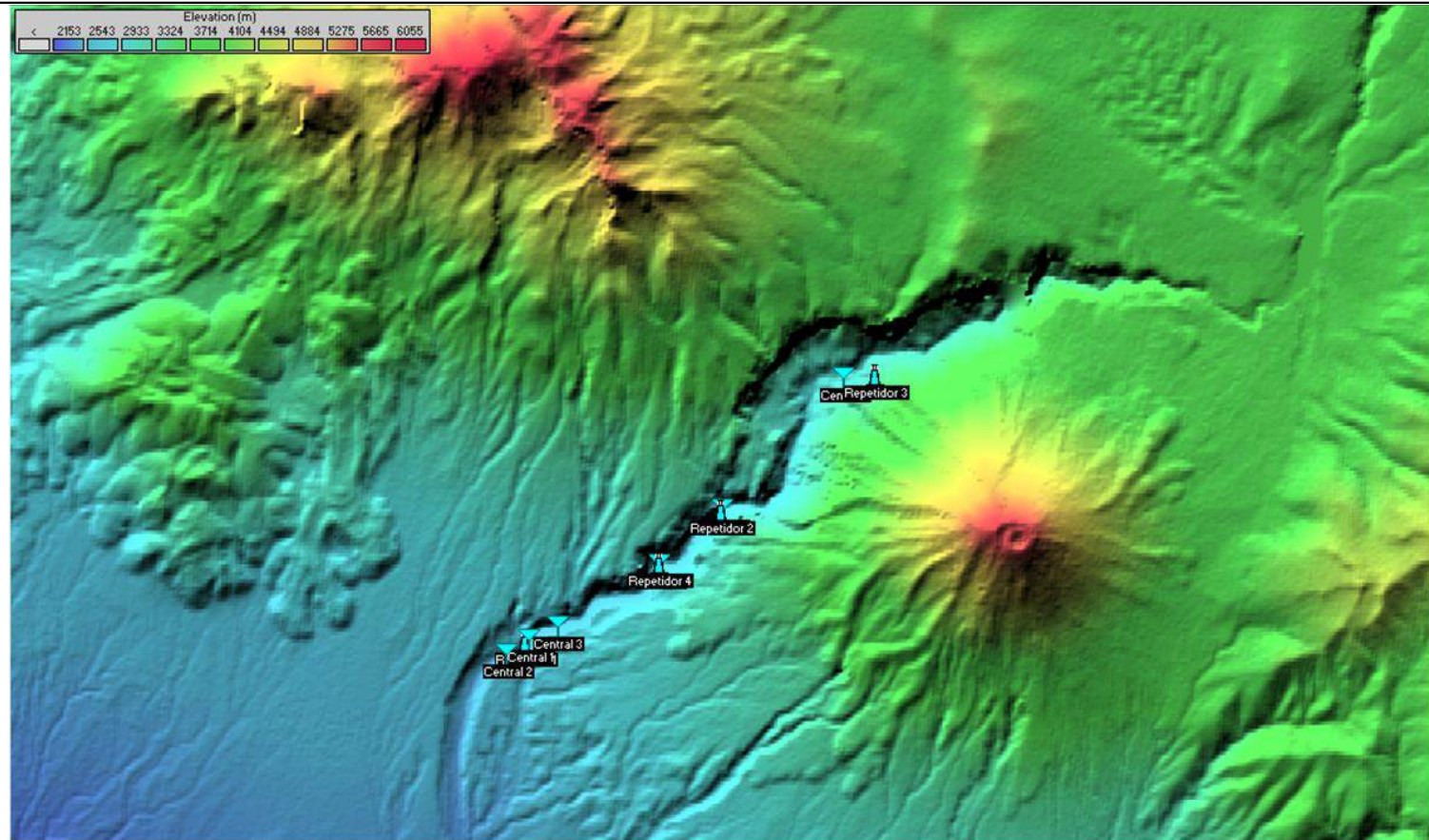
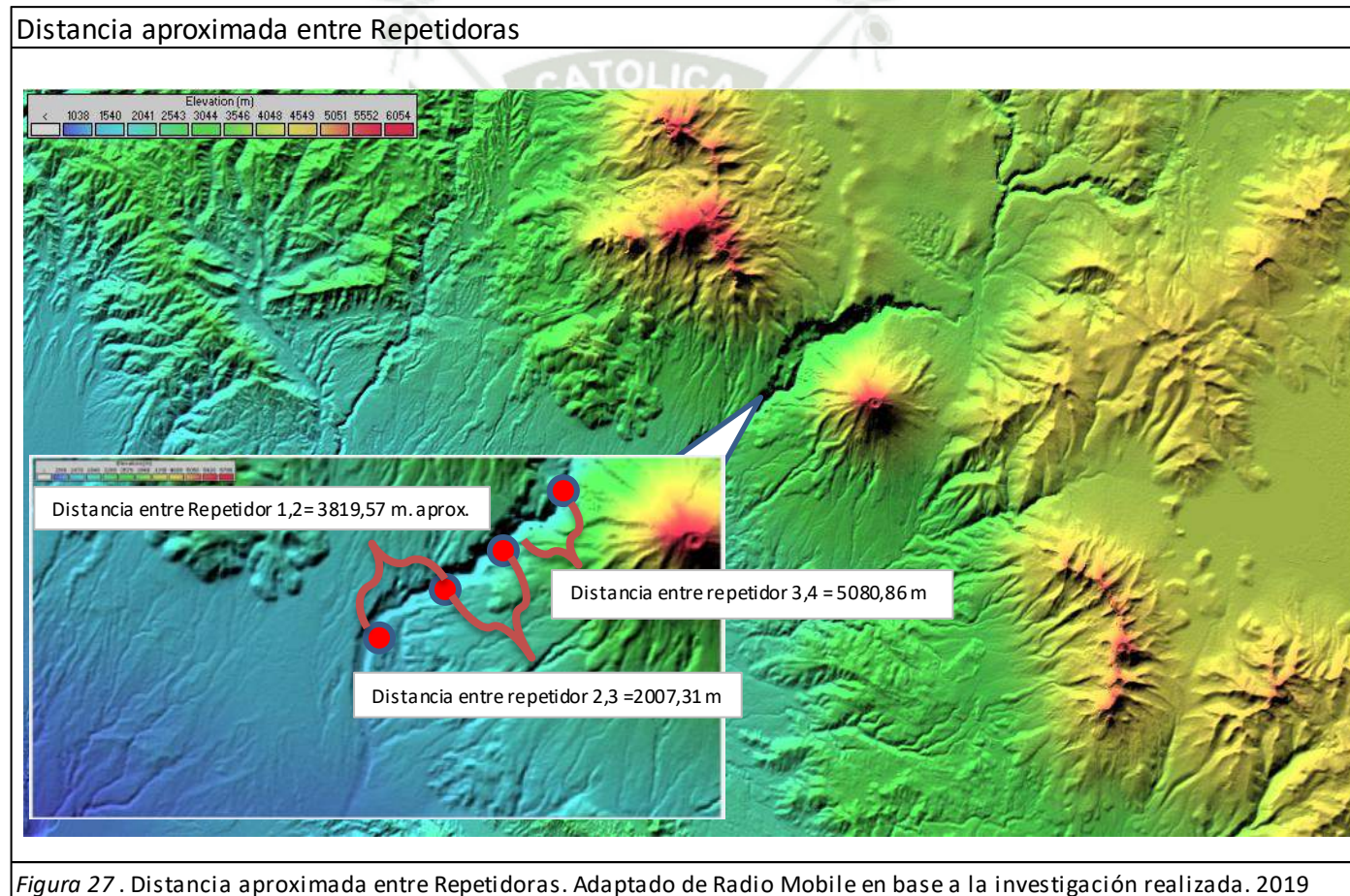


Figura 26 . Mapa de Ubicación y Elevación de Centrales y Repetidoras. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada. 2019

Para clarificar aún más el análisis se consideró importante tomar en cuenta las distancias entre repetidoras utilizando el mapa de la figura 22 haciendo un pequeño acercamiento de la zona de interés y tomando en cuenta que los puntos rojos representan las repetidoras. En la figura 27 se detalla las distancias.



3.2 Cobertura Cartesiana

En la figura 28 se ve la cobertura cartesiana donde se identifican las zonas de cobertura con color rojo que indican una intensidad de señal excelente. Se tiene cuatro zonas, una por cada repetidora.

En la primera zona de cobertura ubicada en la parte inferior izquierda correspondiente a la Repetidora 1, la cobertura es buena ya que abarca el área denominada Central 1 y 2 mas no cubre la de Central 3. Todas las demás repetidoras cumplen su función de brindar cobertura a las respectivas centrales.



Mapa de Cobertura con Intensidad de Señal

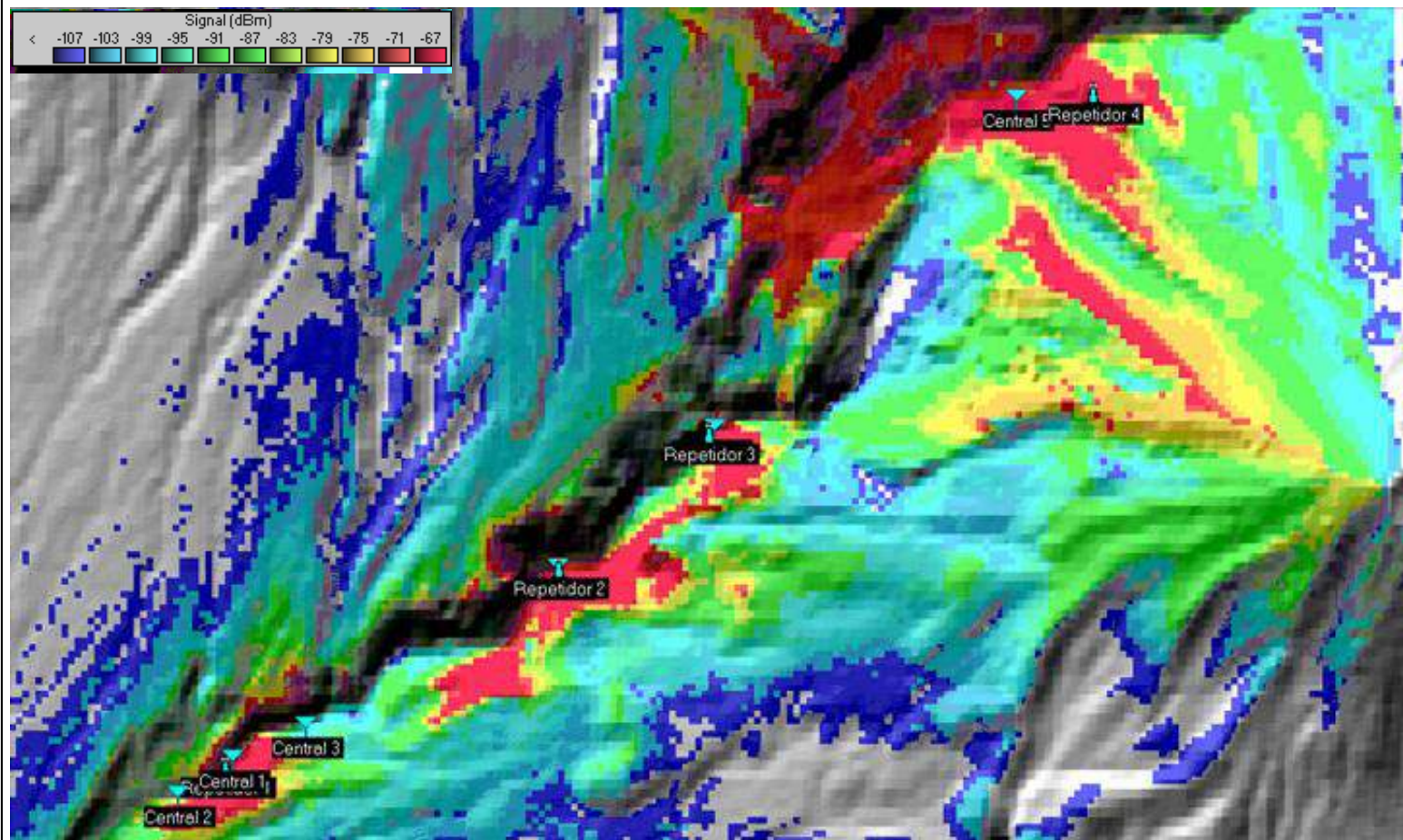
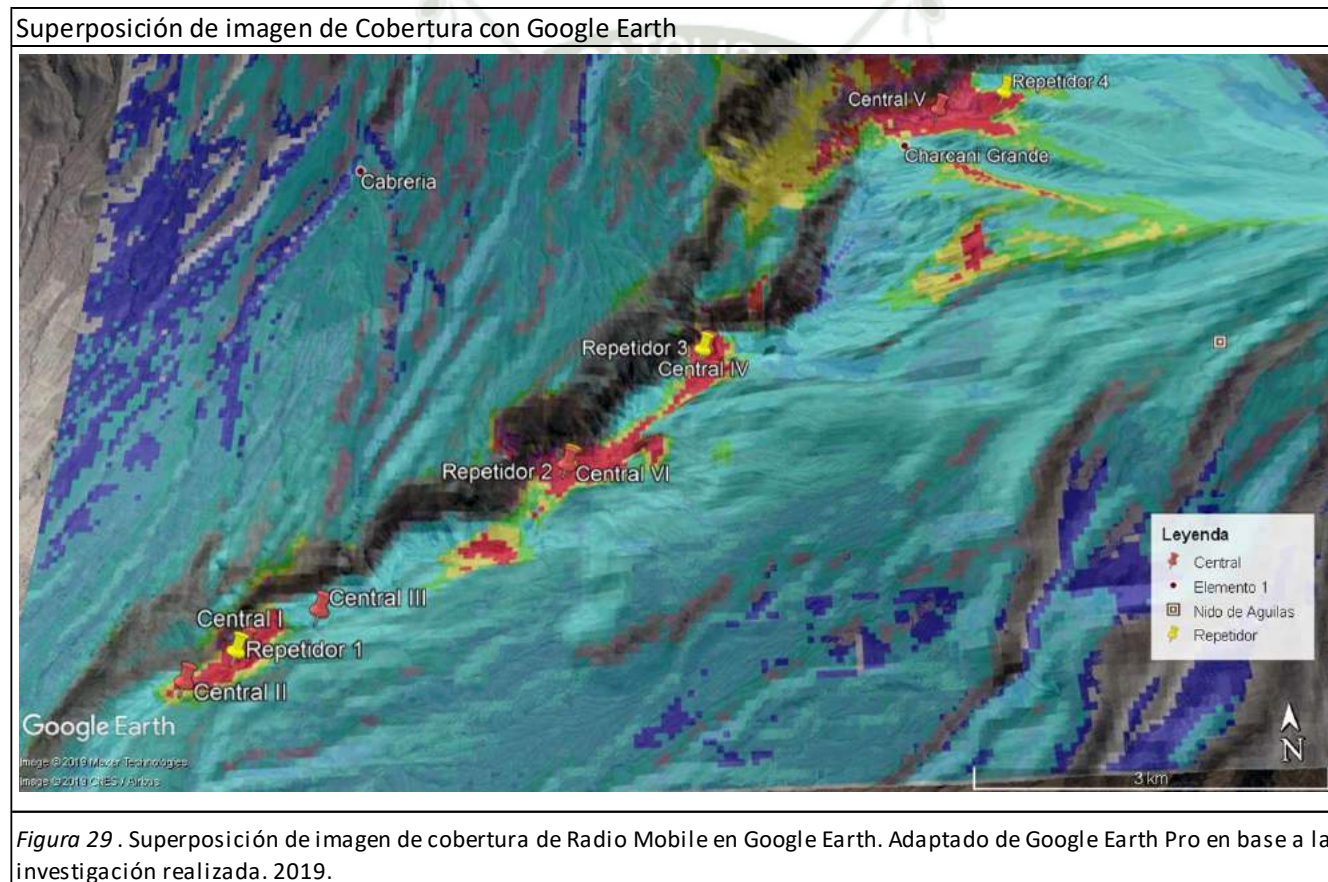


Figura 28 . Mapa de Cobertura con Intensidad de Señal. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada. 2019

3.3 Superposición de imagen de Cobertura con Google Earth

Se empleó la opción que ofrece Google Earth Pro de superponer imágenes para dar una mejor visión y alcance de la cobertura en el mapa satelital brindando una vista clara de la geografía de la zona. En la figura 29 se hace uso de esta función.



3.4 Perfil del Enlace

En el apartado de perfil del enlace se analizará los enlaces de radio punto a punto. Tomando en cuenta que la Repetidora 1 debe brindar cobertura a las centrales I, II, III, la Repetidora 2 a la central VI, la Repetidora 3 a la central IV y la repetidora 4 a la central V.

Para esto se mostrara la configuración de parámetros que se usó en el programa Radio Mobile. Primero en propiedades de red aparecerá una ventana la cual se tiene en la figura 30.

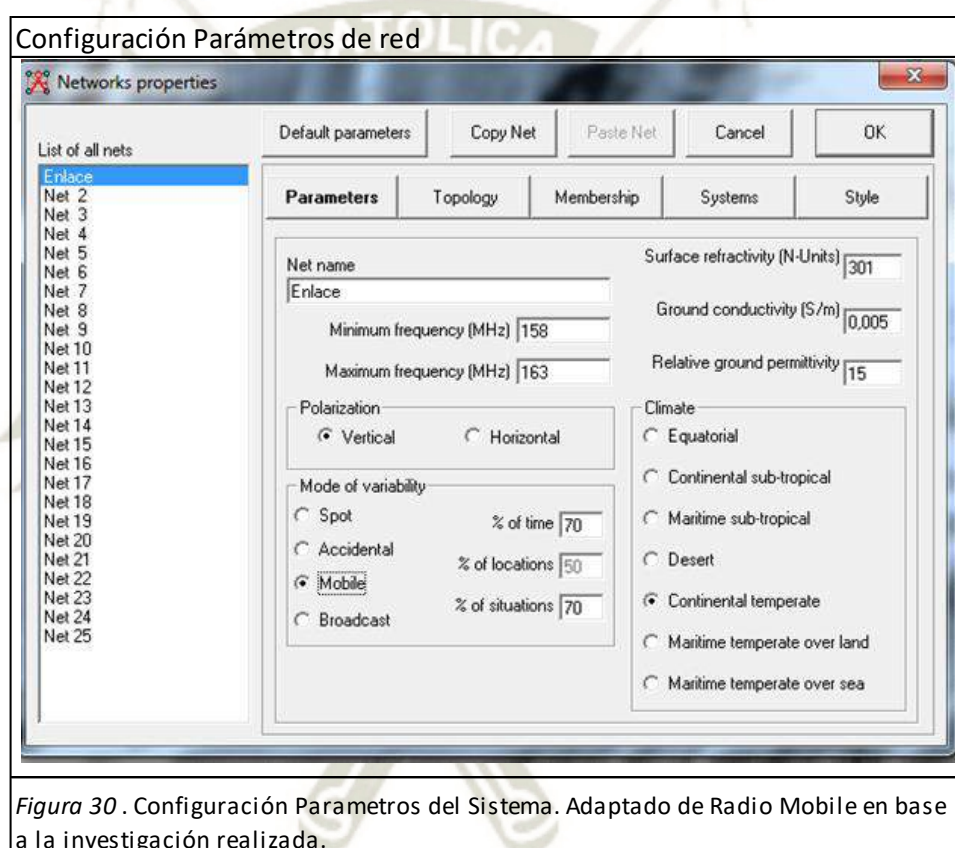


Figura 30 . Configuración Parámetros del Sistema. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

En la parte izquierda tenemos un listado de todas las redes, en este caso solo tenemos una red llamada Enlace.

En cuanto a la frecuencia se usará para el sistema una frecuencia mínima de 158 MHz y una frecuencia máxima 163 MHz.

El valor que se tomó para la refractividad de la superficie terrestre es 301 ya que se considera un valor adecuado en este caso considerando la altitud del terreno. La tabla 9 contiene los valores de refractividad de acuerdo al tipo de área.

Tabla 9
Refractividad de la superficie terrestre

Área	Refractividad Superficie (N-units)
Ecuatorial (Congo)	360
Subtropical Continental (Sudan)	320
Subtropical Marítimo (Costa oeste de Africa)	370
Desierto (Sahara)	280
Temperatura Continental (Condiciones atmosféricas promedio)	301
Marítimo Temperado sobre tierra (Reino Unido y Costas Continentales oeste)	320
Marítimo temperado sobre mar	350

Nota: Refractividad de la superficie terrestre. Adaptado de "<http://radiomobile.pe1mew.nl/>". Elaboración propia.

El siguiente parámetro a consignar es la conductividad del terreno y depende del tipo de terreno y de la frecuencia de trabajo. Como en el caso de la refractividad se tiene que consultar una tabla que tiene los tipos de suelo y sus valores, estos datos están en la tabla 10. Se usó un suelo promedio ya que es un valor decente y adecuado para el análisis.

Tabla 10
Conductividad del Suelo

Área	Conductividad del Suelo
Suelo promedio	0.0005
Suelo pobre	0.0001
Buen suelo	0.02
Agua dulce	0.01
Agua de mar	5

Nota. Conductividad del Suelo. Adaptado de "<http://radiomobile.pe1mew.nl/>". Elaboración propia.

El último parámetro con respecto al suelo es la permitividad relativa del suelo, cuyos valores para Radio Mobile están considerados en la tabla 11. Nuevamente

se consideró un suelo promedio ya que no se tiene datos de cuanto conductividad tiene el suelo en esa área.

Tabla 11
Permitividad Relativa del Suelo

Área	Constante dieléctrica del Suelo
Suelo promedio	15
Suelo pobre	4
Buen suelo	25
Agua dulce	81
Agua de mar	81

Nota. Permitividad Relativa del Suelo. Adaptado de "<http://radiomobile.pe1mew.nl/>". Elaboración propia.

El tipo de polarización a usar es vertical ya que las antenas usadas poseen ese tipo de polarización. Al ser un sistema VHF las ondas de radio con esta polarización tienen menos atenuación en la superficie terrestre que las de polarización horizontal.

En modo de variabilidad se seleccionó mobile ya que las unidades consideradas en el sistema son radios móviles y portátiles, además de presentar el peor caso en cuanto a condiciones de propagación ya que se obtendrá mejores soluciones con esta modalidad elegida.

Finalmente para terminar con la pestaña de parámetros faltaría por seleccionar el clima. Se seleccionó clima de temperatura continental por considerarlo apropiado al área de análisis.

Luego toca analizar la siguiente pestaña que es topología, esta se verá en la figura 31.

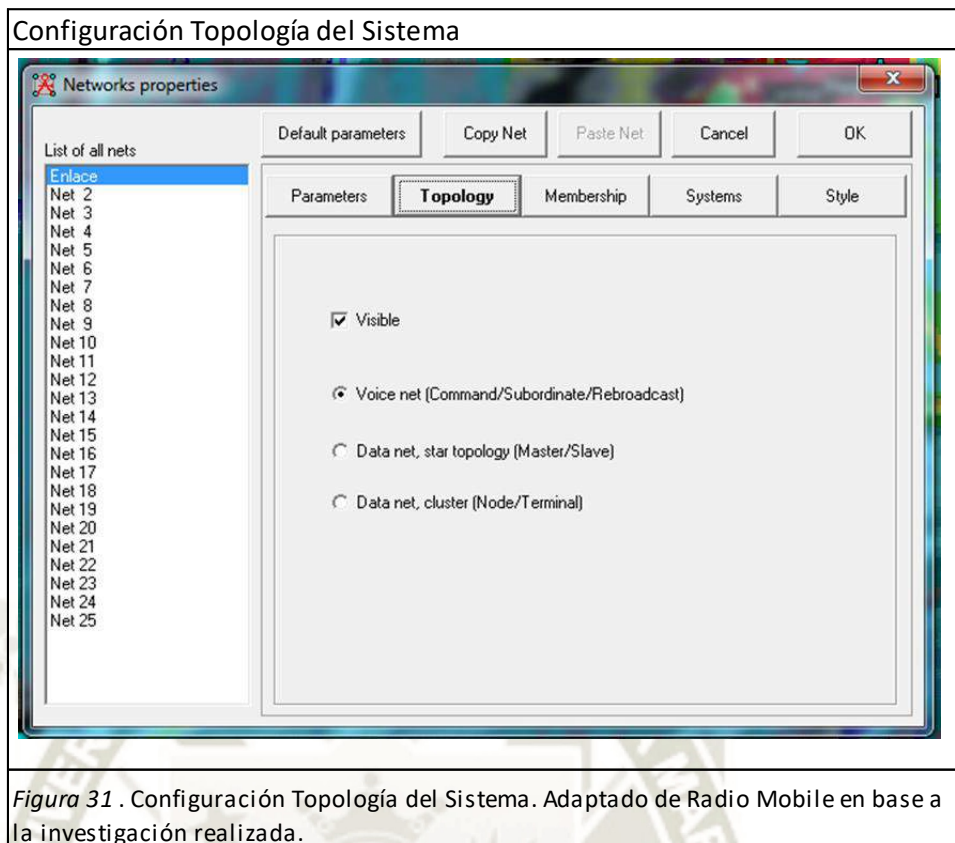


Figura 31 . Configuración Topología del Sistema. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

Se marca la casilla visible ya que no se tiene la intención de que se borren las unidades móviles en el análisis y que siempre aparezcan en el análisis. Después se marca Voice.net debido a que en el análisis solo se está considerando la parte de las 4 repetidoras en Chilina y la cobertura de cada una con respecto a las radios que están en la zona, por lo que se decidió usar la opción Voice.net.

La siguiente pestaña a configurar es Membership o afiliación de cada uno de los elementos del sistema. La pestaña Membership viene incluida en la figura 32.

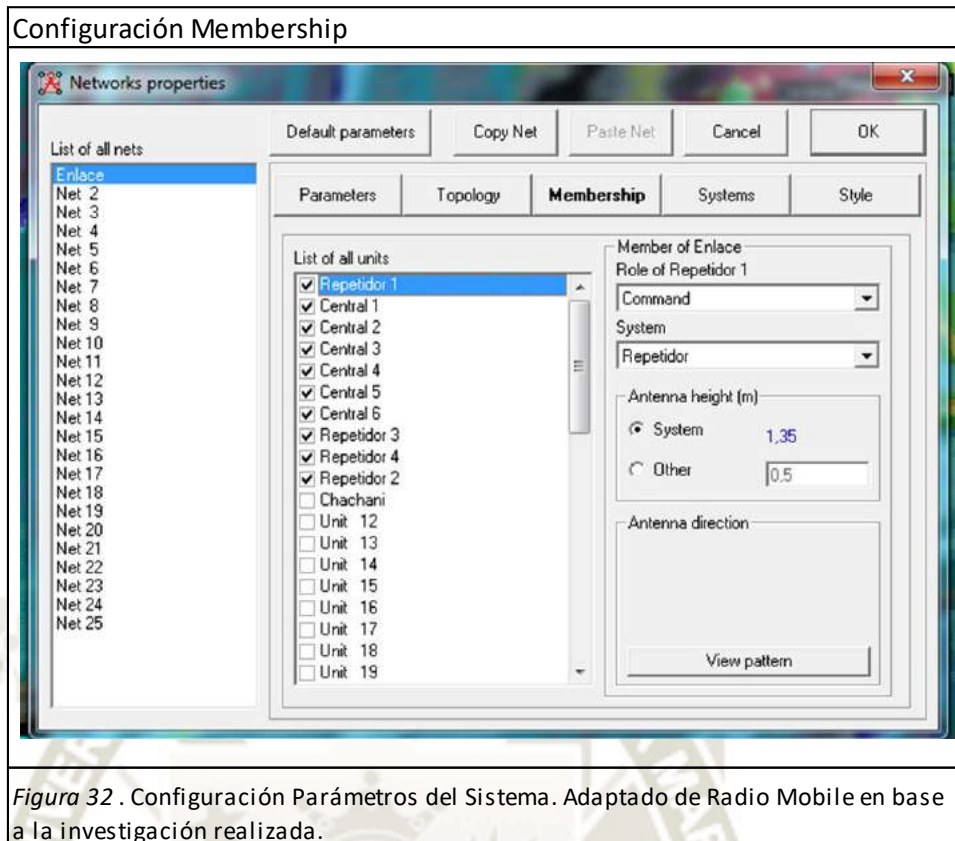


Figura 32 . Configuración Parámetros del Sistema. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

Aquí en esta pestaña se selecciona la red a utilizar, en este caso Enlace, luego en la lista de unidades en la parte central de la ventana se procedió a marcar las casillas correspondientes a los elementos que intervienen en el análisis del sistema. Así se tienen 4 repetidoras y 6 centrales.

En la parte derecha se eligió command para el caso de repetidoras y subordinate para el caso de las centrales.

En la tabla 12 se tabuló los parámetros de los elementos del sistema para el diagnóstico.

Tabla 12
Parámetros del Sistema VHF

N°	Elementos	Nombre	Potencia de Transmisión (watt)	Sensibilidad del Receptor (μV)	Pérdida de Línea (db)	Antena			Pérdida Adicional por cable (dBm/m)
						Tipo	Ganancia (dbi)	Altura (m)	
1	Repetidoras VHF	Repetidor 1	1	0,3	2,1	Látigo/monopolo	2,14	1,35	0
2		Repetidor 2	1	0,3	2,1		2,14	1,35	0
3		Repetidor 3	1	0,3	2,1		2,14	1,35	0
4		Repetidor 4	1	0,3	2,1		2,14	1,35	0
5	Portátiles VHF	Central 1	5	0,3	0,5	Helicoidal	2	1,5	0
6		Central 2	5	0,3	0,5		2	1,5	0
7		Central 3	5	0,3	0,5		2	1,5	0
8		Central 4	5	0,3	0,5		2	1,5	0
9		Central 5	5	0,3	0,5		2	1,5	0
10		Central 6	5	0,3	0,5		2	1,5	0
11	Móvil VHF	Radio Móvil Prueba	10	0,22	1,15	Látigo	3	2	0

Nota . Parámetros antiguos del Sistema VHF para Radio Mobile. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

Continuando con la configuración, la pestaña sistemas se puede ver en la figura 33.

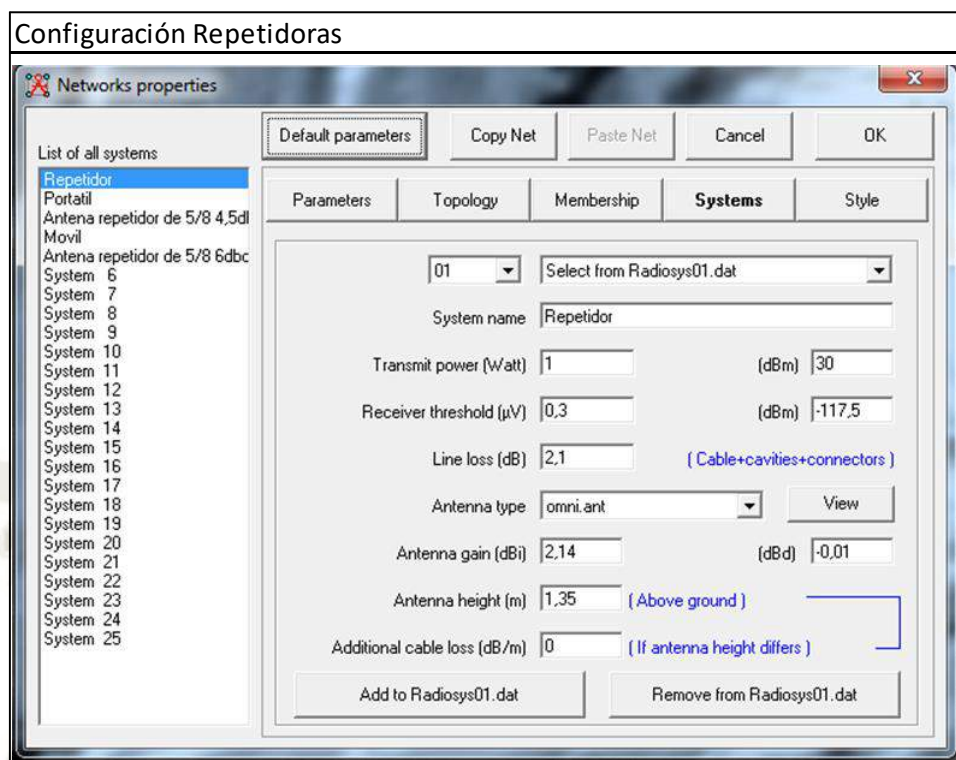


Figura 33 . Configuración Repetidoras. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

Todos los datos que se consignan aquí en esta pestaña fueron extraídos de las especificaciones de la Repetidora RD986 de Hytera. La observación aquí es que el sistema actual está programado para considerar solo 1 watt de potencia de transmisión en las repetidoras.

Para el valor de pérdida de línea (line loss) solo existen pérdidas por el duplexor del repetidor que son aproximadamente 1.5 dB según hoja de datos de duplexores comerciales trabajando a la misma frecuencia como el caso del Q2220E.

Para calcular la ganancia de esta antena se hicieron los siguientes cálculos.

Primero se calculó la frecuencia promedio:

$$f_o = \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right)$$

Donde

F_o =frecuencia promedio

$f_2=163.3$ MHz

$f_1=157.84$ MHz

$$f_o = \left(\frac{157.84 * 10^6 + 163.3 * 10^6}{2} \right)$$

$$f_o = 160.5 \text{ MHz}$$

Para hallar la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde

λ =Longitud de onda (metros por ciclo)

c =velocidad de la luz (m/s)

f =frecuencia (Hertz)

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{160.57 * 10^6}$$

$$\lambda = 1.87 \text{ m}$$

Como es una antena de tipo monopolo de cuarto de onda se dividió la longitud de onda entre 4.

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{1.87}{4} = 0.47 \text{ m}$$

La longitud de la antena de látigo es de aproximadamente 47 cm.

Este tipo de antenas tienen una ganancia entre 2 y 5 dbi por lo que colocaremos cerca del límite inferior, un valor de 2.15 dbi para efectos de la simulación.

Para las pérdidas de línea se debe tomar en cuenta todas las pérdidas entre el transmisor y la antena que son: pérdida en el cable coaxial, pérdida por el duplexor, pérdida por multiacoplador, algún filtro adicional entre el transmisor o receptor y la antena y finalmente pérdidas por conectores. Las pérdidas por

conectores van desde 0.2 a 1.0 db dependiendo de la calidad del ensamble y el tipo de conector. Entonces tendríamos esto expresado en una fórmula.

$$P_L = P_{Coax} + P_{Duplex} + P_{Multi} + P_{Filtro} + P_{Conec}$$

Donde:

P_L = Pérdida Total de Línea (dB)

P_{Coax} = Pérdida por cable coaxial

P_{Duplex} = Pérdida por duplexor

P_{Multi} = Pérdida por multiacoplador

P_{Filtro} = Pérdida por filtro

P_{Conec} = Pérdida por conectores

En el caso de la Repetidora solo tenemos pérdida por duplexor y por conectores entre el duplexor y la repetidora, no existe perdidas por cable porque la antena está conectada directamente a la salida del duplexor. La perdida por el duplexor es de 1.5 db más pérdidas por tres conectores que serían 0.2 db cada uno. La fórmula de pérdida de línea quedaría de la siguiente forma.

$$P_L = P_{Coax} + P_{Duplex} + P_{Multi} + P_{Filtro} + P_{Conec}$$

$$P_L = 1.5 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB}$$

$$P_L = 2.1 \text{ dB}$$

En la figura 34 se mostrará las especificaciones para las radios portátiles.

En esta parte los datos se obtuvieron completamente de la hoja de datos de la radio portátil de Hytera X1e.

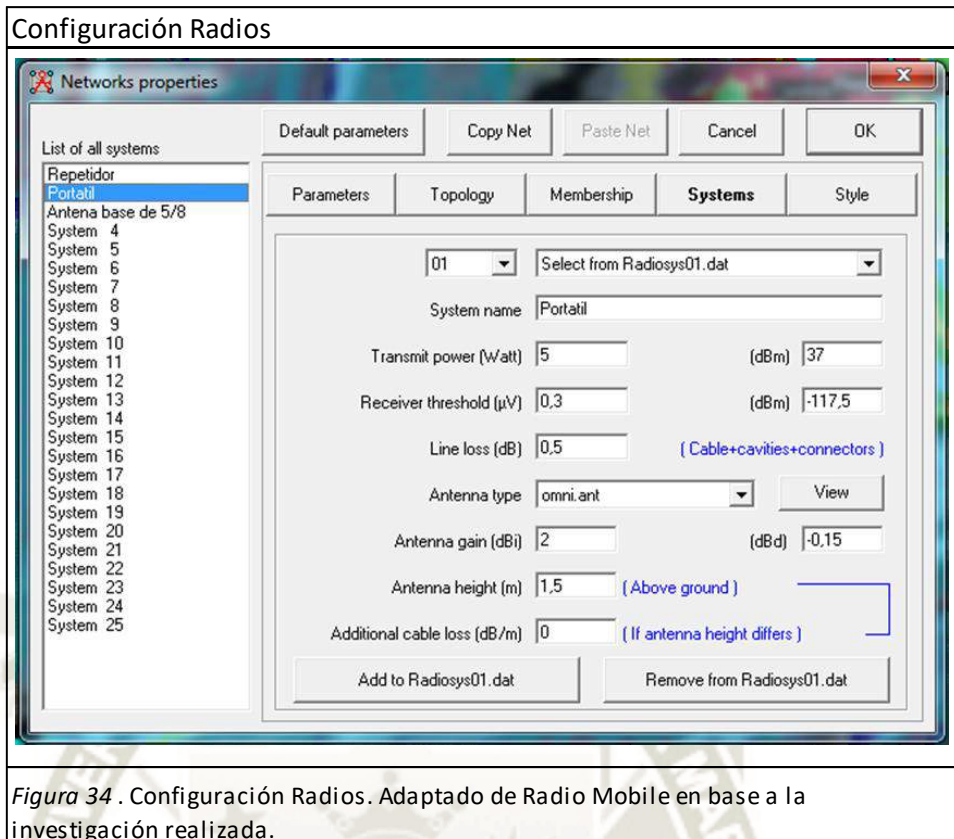


Figura 34 . Configuración Radios. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

Para las pérdidas de línea de las radios portátiles se colocó un valor de 0.5 db porque no existe cableado y solo se enrosca la antena a la radio.

En el caso de la ganancia de esta antena se coloca una ganancia de 2db ya que el margen de ganancia de estas antenas esta entre 2 y 3 db.

Para el caso de la radio móvil si tenemos pérdida por el cable coaxial que va desde la antena hasta la radio. El cable que se usó fue el RG-58 y de su hoja de datos se extrajo que a 200 MHz el cable tiene una atenuación de 31 dB cada 100 metros. Es decir a una frecuencia de 160,5 MHz se tiene aproximadamente 24.88 dB de atenuación a 100 metros y en 3 metros se tiene 0.75 dB de atenuación.

$$\frac{200}{31} = \frac{160.5}{\text{Atenuación a 160.5 MHz en 100 metros}}$$

$$\text{Atenuación a 160.5MHz en 100 metros} = 24.88$$

$$\frac{24.88}{100} = \frac{\text{Atenuación a 160.5 MHz en 3 metros}}{3}$$

$$\text{Atenuación a 160.5 MHz en 3 metros} = 0.75 \text{ dB}$$

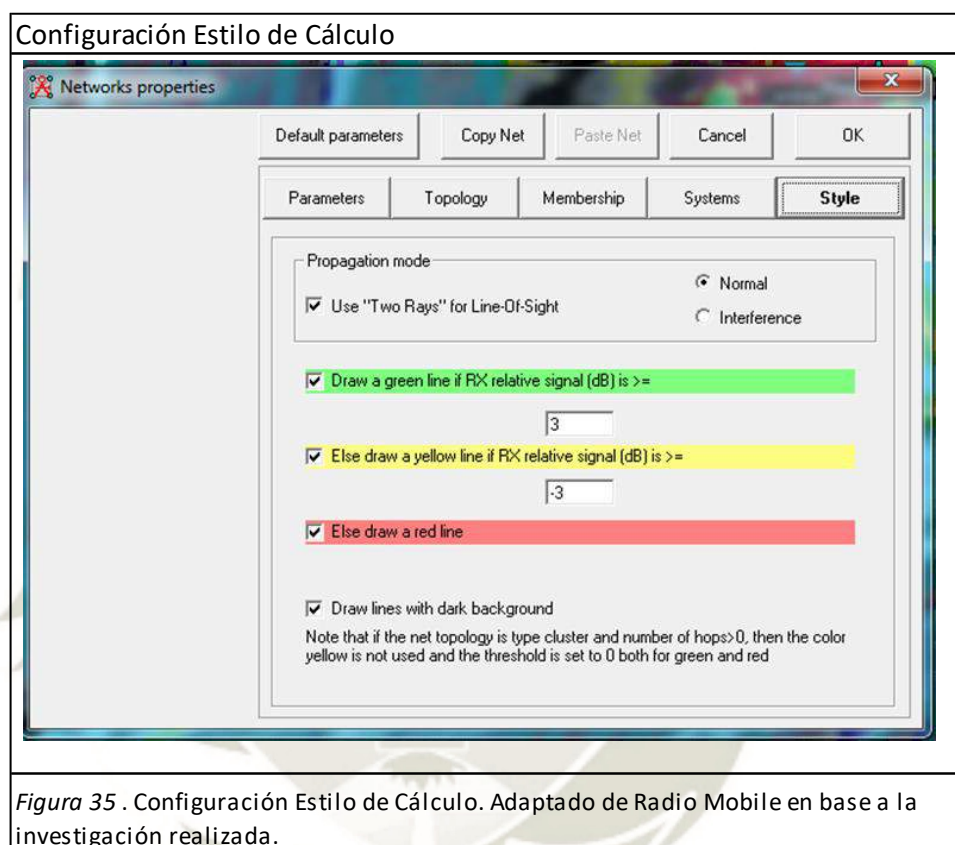
Se usó dos conectores en este cableado por lo que las pérdidas serian:

$$P_L = P_{Coax} + P_{Duplex} + P_{Multi} + P_{Filtro} + P_{Conec}$$

$$P_L = P_{Coax} + P_{Conec}$$

$$P_L = 0.75 + 0.4 = 1,15 \text{ dB}$$

Por ultimo para terminar la configuración del software esta la pestaña estilo, esta se ve en la figura 35.



Para el modo de propagación se seleccionó normal, en cuanto a la casillas que dice Use “two Rays” for Line-Of-Sight si está marcada simplificará los cálculos y el tiempo de procesamiento será menor debido a que no considera obstáculos intermedios. En este sistema en particular tenemos línea de vista en todos los casos por lo que se marcó la casilla correspondiente.

Luego se presentan 3 casos y se configuró como estaba por defecto el software considerando que se dibuja una línea verde si la señal relativa es mayor o igual a 3db, una línea amarilla si la señal relativa es mayor o igual a -3db y en toda situación que no sea las anteriores el software dibujara una línea roja.

4. Enlaces Repetidor – Central

4.1 Repetidor 1 – Central 1

Se comenzará analizando el primer enlace iniciando por la parte inferior que sería el enlace Repetidor 1 con la Central 1.

Enlace Repetidor 1 - Central 1

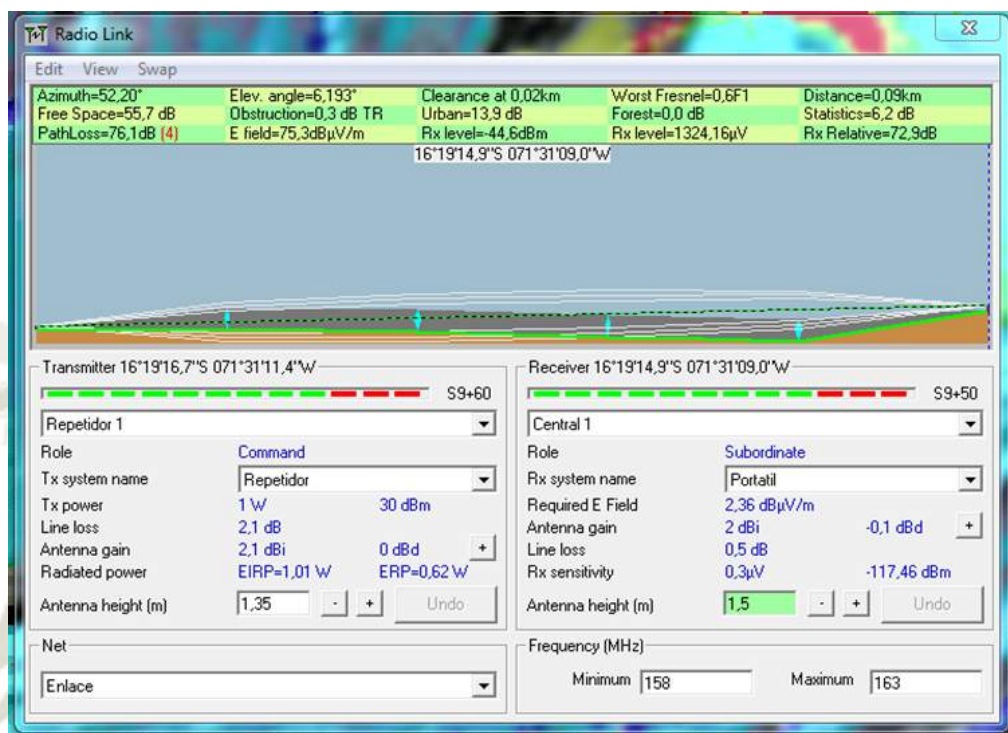


Figura 36 . Enlace Repetidor 1 - Central 1. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada. 2019.

Se observa en este enlace que posee una buena cobertura aunque la potencia de transmisión de la repetidora sea muy baja, de 1 W es suficiente para la distancia con la Central 1 que sólo es de 90 metros.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

Donde:

d= Distancia entre transmisor, receptor (km)

f =frecuencia (MHz)

c = velocidad de la luz (m/s)

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.09) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 55.59 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

Luego debajo del parámetro Pérdida en el Espacio Libre Radio Mobile muestra el parámetro de Pérdidas totales que incluye los parámetros: urbano, bosque, estadísticas y obstrucción que consideran pérdidas por el clima y por el terreno respectivamente. Esta información está en el mapa descargado por el software al indicarle la zona deseada. Radio Mobile usa la siguiente fórmula:

Pérdidas Totales

$$= \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} \\ + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 55.59 + 13.9 + 0 + 0.3 + 6.2$$

$$Tl = 76 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

En cuanto a la potencia de recepción, el indicativo para la factibilidad del enlace o no, Radio Mobile lo expresa como Nivel de Rx y se calculó de la siguiente manera:

Nivel de potencia en Rx

$$= \text{Potencia en Tx} + \text{Ganancia Antena Tx} \\ - \text{Pérdidas de Línea en Tx} + \text{Ganancia Antena Rx} \\ - \text{Pérdidas de Línea en Rx} - \text{Pérdidas Totales}$$

Usando las siguientes abreviaciones para simplificar la fórmula queda de la siguiente manera:

$$\text{Nivel de potencia en Rx} = Prx$$

$$Potencia\ en\ Tx = P_{tx}$$

$$Ganancia\ Antena\ Tx = G_{tx}$$

$$Pérdidas\ de\ Linea\ en\ Tx = L_{tx}$$

$$Ganancia\ Antena\ Rx = G_{rx}$$

$$Pérdidas\ de\ Linea\ en\ Rx = L_{rx}$$

$$Pérdidas\ Totales = Tl$$

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} + G_{rx} - L_{rx} - Tl$$

$$P_{rx} = 30\ dBm + 2.14\ dBi - 2.1\ dB + 2\ dBi - 0.5\ dB - 76\ dB$$

$$P_{rx} = -44.46\ dBm$$

Tenemos que la potencia en el transmisor es de 1 W por lo que se tuvo que convertir a dBm, por lo que:

$$P_{tx} = 10 \log_{10} \left(\frac{1000 * P(W)}{1\ W} \right)$$

Donde:

P_{tx} = Potencia transmisor en dBm

P (W)= Potencia en Watts

$$P_{tx} = 10 \log_{10} \left(\frac{1000 * 1}{1} \right)$$

$$P_{tx} = 30\ dBm$$

Reemplazando en la fórmula de Nivel de potencia en Rx

$$P_{rx} = 30\ dBm + 2.14\ dBi - 2.1\ dB + 2\ dBi - 0.5\ dB - 76\ dB$$

$$P_{rx} = -44.46\ dBm$$

Para comparar con el nivel de sensibilidad del receptor se necesita este dato expresado en dBm.

La sensibilidad del receptor es $0.3 \mu V$ y convertido a dBm es:

$$dbm = 20 * \log_{10}(\mu v) - 10 \log_{10}(Z) - 90$$

Donde:

Z: Impedancia de la antena del receptor

$$dbm = 20 * \log_{10}(0.3) - 10 \log_{10}(50) - 90$$

$$dbm = -117.44 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -44.46 - (-117.44)$$

$$Fm = 72.98 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-44.46 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

La potencia con que llega la señal al receptor es mayor a la del umbral del receptor por lo que el enlace es factible pero la potencia podría ser mejor.

Esta primera parte del análisis arrojó varios datos, los cuales tenemos a continuación en la tabla 13.

Tabla 13

Parámetros Enlace Repetidor 1 - Central 1

Distancia entre Repetidor 1 y Central 1 (km)	0.09
Pérdida en el espacio libre (dB)	55.59
Nivel de Potencia en el receptor (dBm)	-44.46

Nota . Parámetros Enlace Repetidor 1 - Central 1. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

Siguiendo con el análisis se pasó a analizar la cobertura en la Central 2, por lo que se hizo el perfil del enlace Repetidor 1 – Central 2 en la figura 37.

4.2 Repetidor 1 - Central 2

Enlace Repetidor 1 - Central 2

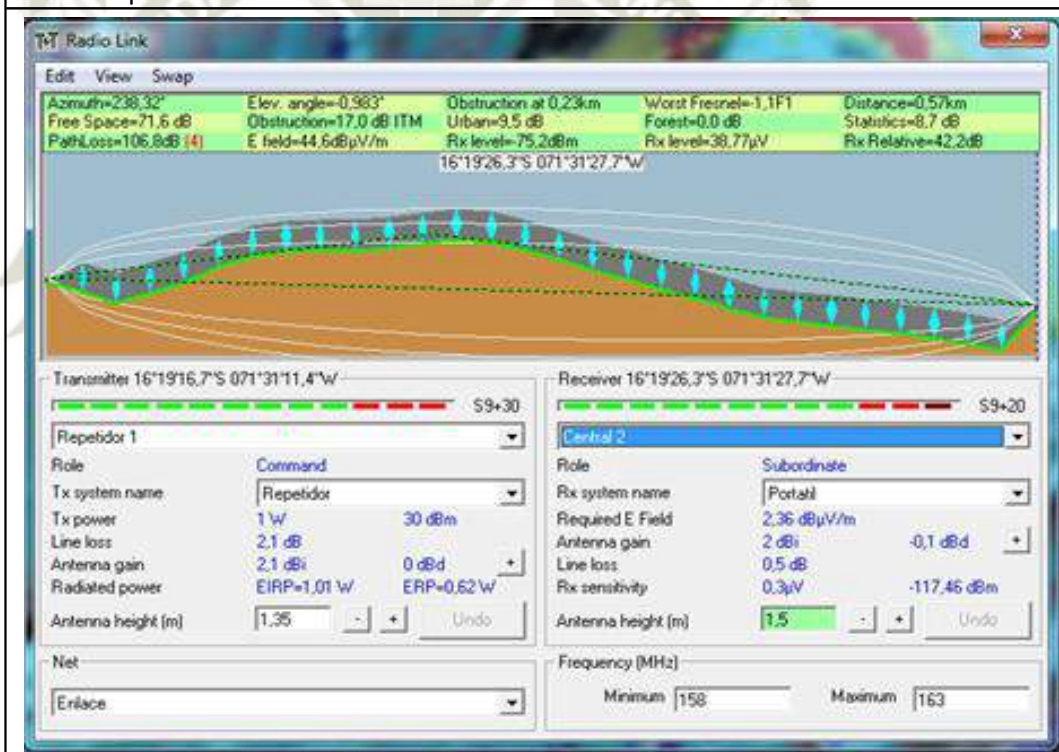


Figura 37 . Enlace Repetidor 1 - Central 2. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada. 2019.

En el enlace Repetidor 1 – Central 2 se hace uso del mismo repetidor que en el análisis anterior pero ahora la distancia con la Central 2 es de unos 570 metros y se ve que la cobertura no es tan buena como en el enlace con la Central 1.

El modo de propagación en este enlace no es con línea de vista ya que no hay una visión clara entre los puntos, existe una zona montañosa en medio que obliga

al software a no usar el modo de propagación con línea de vista. El inconveniente aquí resulta que al estar usando un sistema VHF es necesario que los puntos se vean entre si sin obstáculos porque las frecuencias en orden de VHF no se reflejan en la atmosfera salvo contadas excepciones. Solo las altas frecuencias HF son reflejadas en la atmosfera.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.57) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 71.63 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 71.63 \text{ dB} + 9.5 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 17 \text{ dB} + 8.7 \text{ dB}$$

$$Tl = 106.83 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 2.14 \text{ dBi} - 2.1 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 106.83 \text{ dB}$$

$$Prx = -75.29 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -75.29 - (-117,44)$$

$$Fm = 42.15 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-75.29 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

La señal llega al receptor pero está casi en el límite de la sensibilidad.

En la tabla 14 se consideró los mismos parámetros que para el enlace anterior.

Tabla 14

Parámetros Enlace Repetidor 1 - Central 2

Distancia entre Repetidor 1 y Central 2 (km)	0.57
Pérdida en el espacio libre (dB)	71.63
Nivel de Potencia en el receptor (dBm)	-75.29

Nota. Parámetros Enlace Repetidor 1 - Central 2. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

4.3 Repetidor 1 – Central 3

Finalizando con la Repetidora 1 y su cobertura siguiendo con el orden es el turno del perfil de la Repetidora 1 – Central 3.

Enlace Repetidor 1 - Central 3

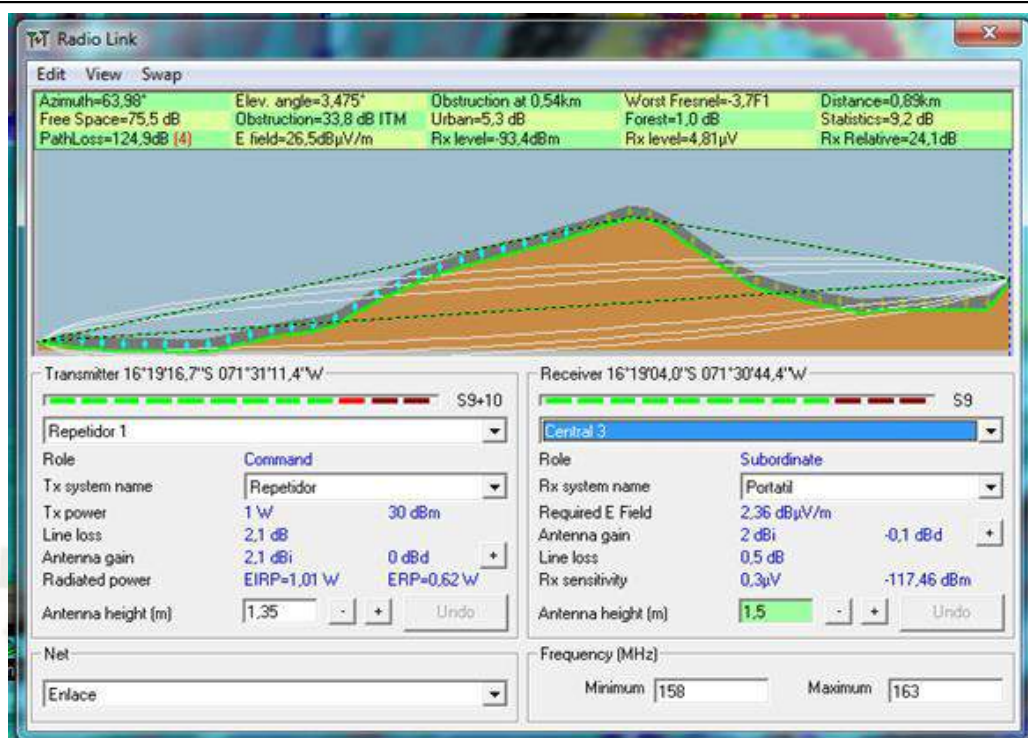


Figura 38. Enlace Repetidor 1 - Central 3. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada. 2019.

En este último escenario centrándonos en la Central 3, la distancia es de 890 metros y tal como se ve en la figura 38 la intensidad de la señal en el receptor, que es la Central 3 es apenas la suficiente, además de tener una zona elevada entre los enlaces. Al ser este enlace el más crítico de todos se realizaron todos los cálculos de propagación.

Cálculos

Campo Eléctrico requerido

Se usará la siguiente ecuación para expresar la intensidad de campo eléctrico que necesita el receptor.

$$E \left(\frac{dBuV}{m} \right) = 20 \log U + k \left(\frac{dB}{m} \right) + Lrx(dB)$$

Donde

$U = \text{Sensibilidad del Receptor en } \mu V$

$k = \text{Factor de la antena}$

$Lrx = \text{Pérdidas de Línea en el receptor}$

Para esto se debe calcular primero el factor de la antena que para un sistema de 50 ohm está ligado a la frecuencia de trabajo y a la ganancia de la antena por medio de la siguiente ecuación.

$$K \left(\frac{dB}{m} \right) = -29.78 \text{ dB} + 20 \log f - G$$

Donde

$f = \text{Frecuencia de Trabajo en MHz}$

$G = \text{Ganancia de la antena en dB con respecto a una antena isotrópica}$

$$K \left(\frac{dB}{m} \right) = -29.78 \text{ dB} + 20 \log f - G$$

$$K \left(\frac{dB}{m} \right) = -29.78 \text{ dB} + 20 \log(160.5) - 2 \text{ dbi}$$

$$K \left(\frac{dB}{m} \right) = 12.33$$

Ahora reemplazamos el factor de la antena en la fórmula de campo eléctrico.

$$E \left(\frac{dBuV}{m} \right) = 20 \log U + k \left(\frac{dB}{m} \right) + Lrx(dB)$$

$$E \left(\frac{dBuV}{m} \right) = 20 \log 0.3 + 12.33 \left(\frac{dB}{m} \right) + 0.5(dB)$$

$$E \left(\frac{dBuV}{m} \right) = 2.37$$

PIRE (EIRP) en Repetidor 1

$$\text{PIRE (dBW)} = \text{PeAtx (dBW)} + \text{Gtx(dBi)}$$

Donde

$PIRE = \text{Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (dBW)}$

$PeAtx = \text{Potencia de entrada a la antena Tx (dBW)}$

$Gtx = \text{Ganancia antena del Transmisor (dBi)}$

Hallando la Potencia de entrada a la antena del transmisor

$PeAtx = \text{Potencia de Tx} - \text{Pérdidas de Línea Tx}$

Así se tiene que:

$$1 \text{ miliwatt} = -30 \text{ dBW}$$

Por lo que:

$$1 \text{ watt} = 0 \text{ dBW}$$

$$PeAtx = 0 \text{ dBW} - 2.1 \text{ dB}$$

$$PeAtx = -2.1 \text{ dBW}$$

Reemplazando en la fórmula de PIRE

$$PIRE \text{ (dBW)} = PeAtx \text{ (dBW)} + Gtx \text{ (dBi)}$$

$$PIRE \text{ (dBW)} = -2.1 \text{ dBW} + 2.1 \text{ dBi}$$

$$PIRE \text{ (dBW)} = 0 \text{ dBW}$$

$$PIRE \text{ (W)} = 1$$

PRA (ERP)

$$PRA \text{ (dBW)} = PeAtx \text{ (dBW)} + Gtx \text{ (dBd)}$$

$$PRA \text{ (dBW)} = -2.1 \text{ dBW} + 0 \text{ dBd}$$

$$PRA (dBW) = -2.1 dBW$$

A continuación se cambian las unidades de dBW a W con la siguiente fórmula.

$$P(W) = 1 W * 10^{\left(\frac{P(dBW)}{10}\right)}$$

$$P(W) = 1 W * 10^{\left(\frac{-2.1}{10}\right)}$$

$$P(W) = 0.62 W$$

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.89) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 75.5 dB$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} \\ + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 75.5 dB + 5.3 dB + 1.0 dB + 33.8 dB + 9.2 dB$$

$$Tl = 124.8 dB$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 30 dBm + 2.14 dBi - 2.1 dB + 2 dBi - 0.5 dB - 124.8 dB$$

$$Prx = -93.26 dBm$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -93.26 - (-117,44)$$

$$Fm = 24.18 \text{ dB}$$

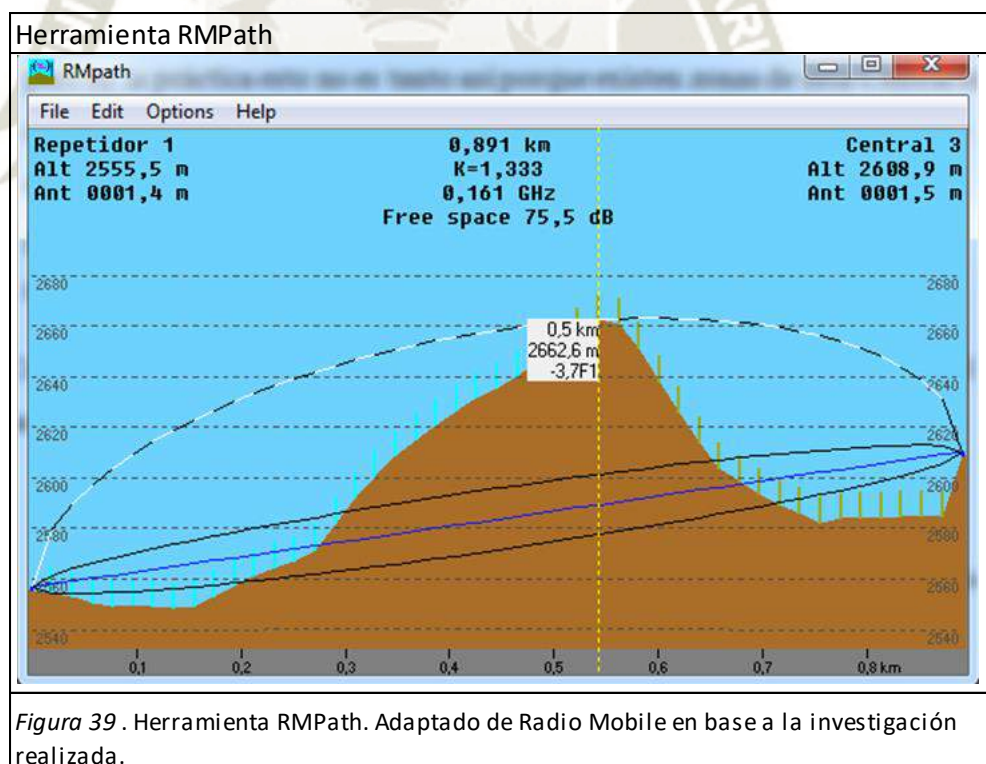
Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-93.26 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

El valor de recepción de este enlace esta entre los márgenes de factibilidad pero en la práctica esto no es tanto así porque existen zonas de esta Central sin cobertura y donde la señal falla mucho, por lo que se tiene agregar un nuevo elemento en este punto para aumentar el alcance de la señal de las radio portátiles. Prueba de esto es lo cercano de la que se obtuvo de potencia de recepción con el nivel de sensibilidad.

Con la herramienta RMPath de Radio Mobile se analizó con más profundidad este enlace, en la figura 39 se observa esta en herramienta en uso.



Primero se calculó la altura de despeje que viene a ser la distancia entre el haz del enlace y el punto más alto del obstáculo, se utilizó la siguiente formula.

$$Hd = h1 + \frac{d1}{d1 + d2} (h2 - h1) - \left(H + \frac{d1 * d2}{2 * k * a} \right)$$

Donde:

Hd = Altura de despeje

$h1$ = Altura del punto 1

$h2$ = Altura del punto 2

$d1$ = Distancia desde el punto 1 al obstáculo

$d2$ = Distancia desde el punto 2 al obstáculo

H = Altura del obstáculo

k = Coeficiente del radio efectivo de la Tierra, el valor estandar es igual a $\frac{4}{3}$

a = Radio de la Tierra = 6370 Km

$$Hd = 2555.5 + \frac{540}{540 + 351} (2608.9 - 2555.5) - \left(2662.6 + \frac{540 * 351}{2 * \frac{4}{3} * 6370000} \right)$$

$$Hd = -74.75 \text{ m}$$

Luego se precisa saber el radio de la primera zona de Fresnel para esto se empleó la siguiente ecuación.

$$Rn = \sqrt{\frac{n * \lambda * d1 * d2}{d1 + d2}}$$

Sabiendo que $\lambda = \frac{c}{f}$ la ecuación quedaría de la siguiente forma y $n=1$ ya que es la primera zona de fresnel.

$$R1 = \sqrt{\left(\frac{c}{f} * \frac{d1 * d2}{d1 + d2} \right)}$$

$$R1 = \sqrt{\left(\frac{3 * 10^8}{160.5 * 10^6} * \frac{540 * 351}{540 + 351} \right)}$$

$$R1 = 19.94 \text{ m}$$

Finalmente el margen de despeje es la comparación de la altura de despeje con el radio de la primera zona de fresnel, si hay un margen mayor del 60% se considera un enlace libre de obstáculos.

$$Md = \frac{Hd}{R1} * 100$$

$$Md = -3.7 * 100$$

$$Md = -370 \%$$

Y como se revisó en los casos anteriores se consideró algunos parámetros en la tabla 15.

Tabla 15

Parámetros Enlace Repetidor 1 - Central 3

Distancia entre Repetidor 1 y Central 3 (km)	0.89
Pérdida en el espacio libre (dB)	75.5
Nivel de Potencia en el receptor (dBm)	-93.26

Nota . Parámetros Enlace Repetidor 1 - Central 3. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

4.4 Repetidor 2 – Central 6

Continuando con el análisis, se hizo el mismo procedimiento pero ahora con la Repetidora 2 y su cobertura con su Central respectiva, la Central 6.

Enlace Repetidor 2 - Central 6

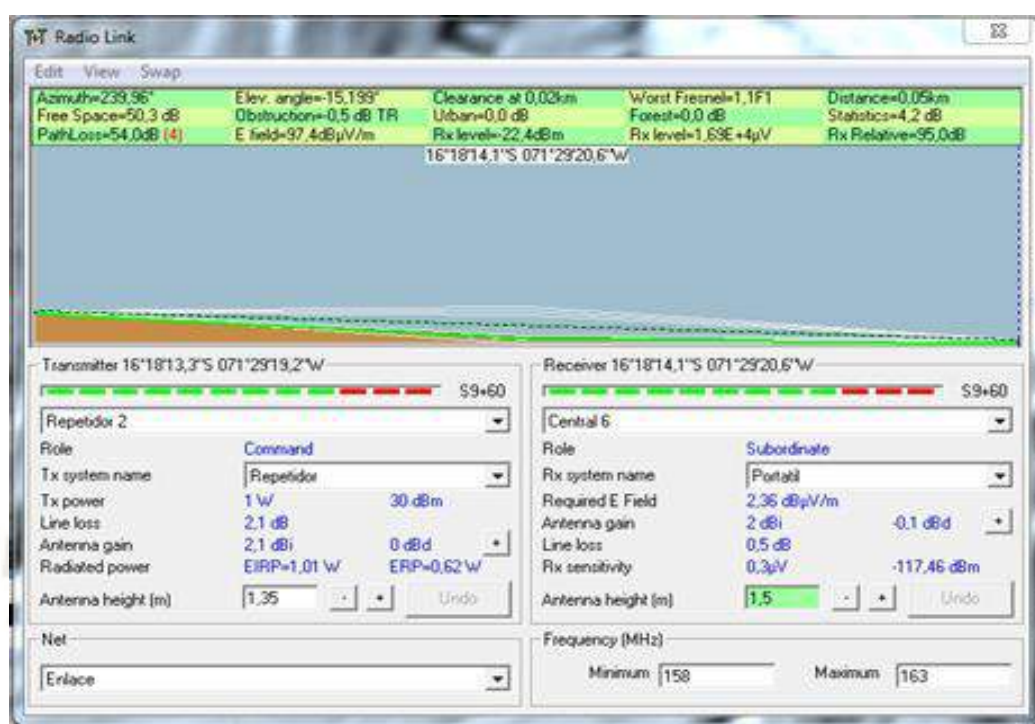


Figura 40. Enlace Repetidor 2 - Central 6. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada. 2019.

Según el software se ve que la calidad del enlace es óptima ya que la intensidad de la señal transmitida es la misma que la señal recibida, esto es un caso ideal pero que no ocurre en la práctica porque siempre existen pérdidas por los equipos y cableado.

Esto en gran parte por no presentarse obstáculos entre el punto de partida y llegada de la señal y también porque el repetidor se encuentra a mayor altitud que la Central 6 lo que beneficia la cobertura en gran medida.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.05) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 50.49 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} \\ + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 50.49 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} - 0.5 \text{ dB} + 4.2 \text{ dB}$$

$$Tl = 54.19 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 2.14 \text{ dBi} - 2.1 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 54.19 \text{ dB}$$

$$Prx = -22.65 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -22.65 - (-117.44)$$

$$Fm = 94.79 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-22.65 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

La potencia de la señal es buena está por encima del nivel de sensibilidad del receptor.

Seguidamente en la tabla 16 se incluyó algunos parámetros como en todos los casos de enlaces.

Tabla 16

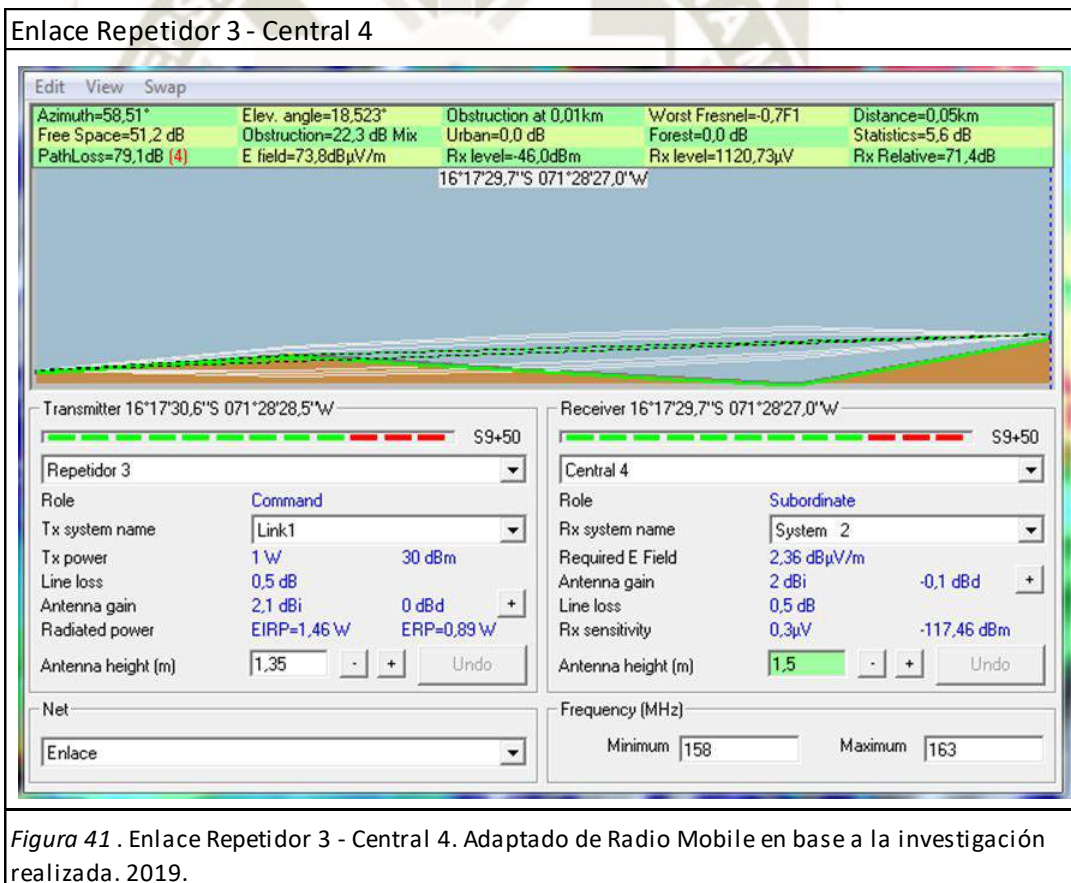
Parámetros Enlace Repetidor 2 - Central 6

Distancia entre Repetidor 2 y Central 6 (km)	0.05
Pérdida en el espacio libre (dB)	50.49
Nivel de Potencia en el receptor (dBm)	-22.65

Nota . Parámetros Enlace Repetidor 2 - Central 6. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

4.5 Repetidor 3 – Central 4

Con respecto a la Repetidora 3 se realizó el análisis con la Central 4 lo que se detallará en la figura 41.



El enlace Repetidor 3 – Central 4 presenta una muy buena cobertura, esto en parte a la distancia cercana de estos puntos y que como se ve en la figura 41 no hay obstáculos en la línea de visión del enlace. A pesar que el repetidor 3 se encuentre a menor altitud que la Central 4.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.05) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 50.49 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} \\ + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 50.49 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 22.3 \text{ dB} + 5.6 \text{ dB}$$

$$Tl = 78.39 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 2.14 \text{ dBi} - 2.1 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 78.39 \text{ dB}$$

$$Prx = -46.85 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -46.85 - (-117.44)$$

$$Fm = 70.59 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-46.85 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

La señal llega a la radio portátil, en este caso el receptor con una potencia regular.

En la tabla 17 se tiene los mismos parámetros de enlaces anteriores.

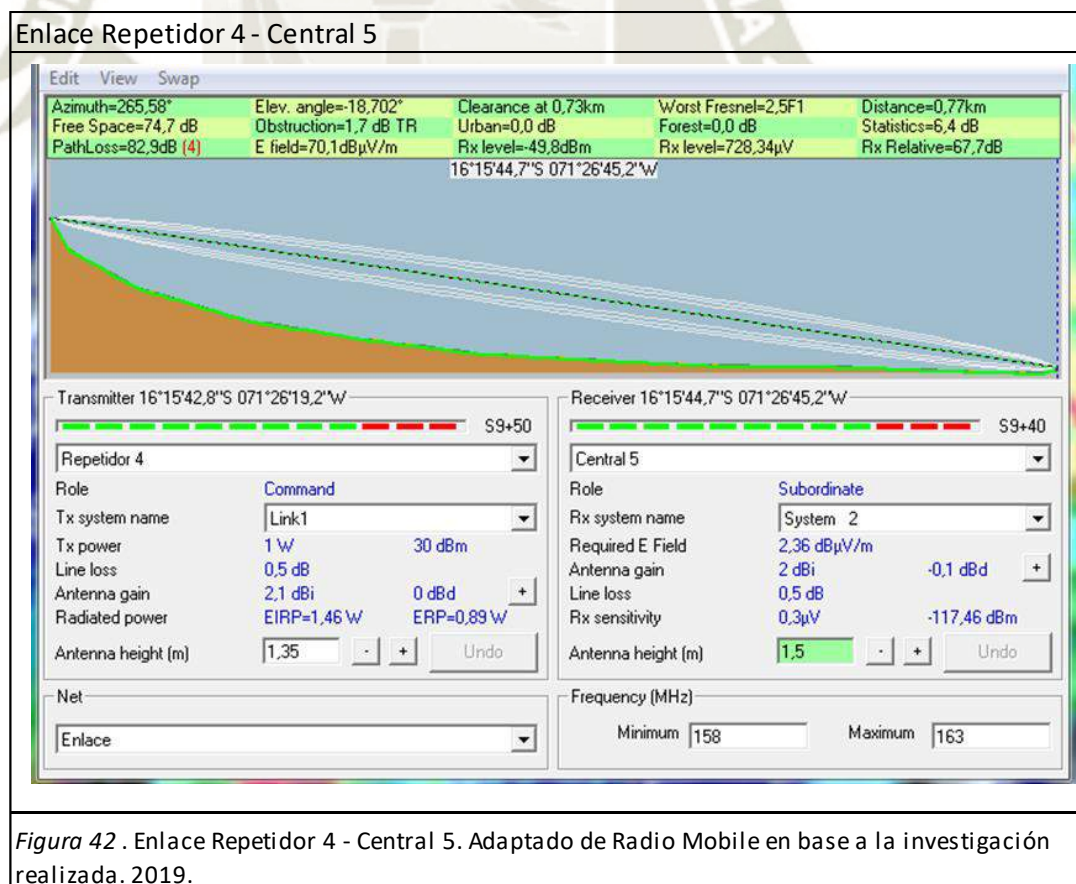
Tabla 17
Parámetros Enlace Repetidor 3 - Central 4

Distancia entre Repetidor 3 y Central 4 (km)	0.05
Pérdida en el espacio libre (dB)	50.49
Nivel de Potencia en el receptor (dBm)	-46.85

Nota . Parámetros Enlace Repetidor 3 - Central 4. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

4.6 Repetidor 4 – Central 5

Para terminar el análisis se obtuvo los siguientes datos del Enlace Repetidor 4 – Central 5 mostrados en la figura 42.



Este enlace presenta una buena calidad de intensidad de señal a pesar de estar a una distancia considerable lo cual indica que el Repetidor está en una buena ubicación ya que justamente la Central 5 es la más grande de todas y por ello precisa de una cobertura mayor que las demás Centrales.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.77) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 74.24 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 74.24 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 1.7 \text{ dB} + 6.4 \text{ dB}$$

$$Tl = 82.34 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 2.14 \text{ dBi} - 2.1 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 82.34 \text{ dB}$$

$$Prx = -50.8 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -50.8 - (-117.44)$$

$$Fm = 66.64 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-50.8 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

La potencia que llega al receptor es regular buena, se puede mejorar.

En la tabla 18 se puede apreciar algunos parámetros importantes considerados.

Tabla 18

Parámetros Enlace Repetidor 4 - Central 5

Distancia entre Repetidor 4 y Central 5 (km)	0.77
Pérdida en el espacio libre (dB)	74.24
Nivel de Potencia en el receptor (dBm)	-50.8

Nota. Parámetros Enlace Repetidor 4 - Central 5. Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

En la tabla 19 se presenta una recopilación de los niveles de cobertura y nivel de recepción en el receptor. Como se puede observar las Centrales 2 y 3 son las que presentan una cobertura que no es la ideal para el correcto funcionamiento del sistema, lo que confirma esto es que la pérdida de propagación en estas Centrales es muy alta, se pierde mucha energía entre las dos antenas, sobre todo en las antenas de látigo de las repetidoras.

Los demás enlaces presentan un regular desempeño para la capacidad actual de trabajo de la empresa, es decir cumplen su función pero se podría mejorar la calidad de la potencia de señal que llega a las radios.

Otro punto importante es que no se llega a alcanzar una buena cobertura en todo el trayecto por carretera de la Central 1 a la Central 5.

En el caso de la Central 2 presenta cobertura mala ya que es la que se encuentra primero en ubicación y existe una obstrucción en el medio.

El parámetro de pérdidas totales se consideró para el análisis debido a que representa la mayor parte de la atenuación total de la señal en sí.

Tabla 19

Relación de Centrales respecto a cobertura y pérdida de propagación

Centrales	Cobertura	Potencia de Señal recibida (dBm)
1	Regular	-44.46
2	Mala	-75.29
3	Mala	-93.26
6	Buena	-22.65
4	Regular	-46.85
5	Regular	-50.8

Nota . Relación de Centrales respecto a cobertura y pérdida de propagación.
Adaptado de Radio Mobile en base a la investigación realizada.

5. Diagrama del Sistema

Una vez identificadas las zonas con baja cobertura se elaboró un diagrama de red simple en la figura 43 tomando solo en cuenta una repetidora para darnos una idea en pequeña escala, para identificar mejor los elementos que interactúan en este enlace y como viaja la señal electromagnética explicando el flujo de datos que en este caso es voz y planificar así la estructura de red.

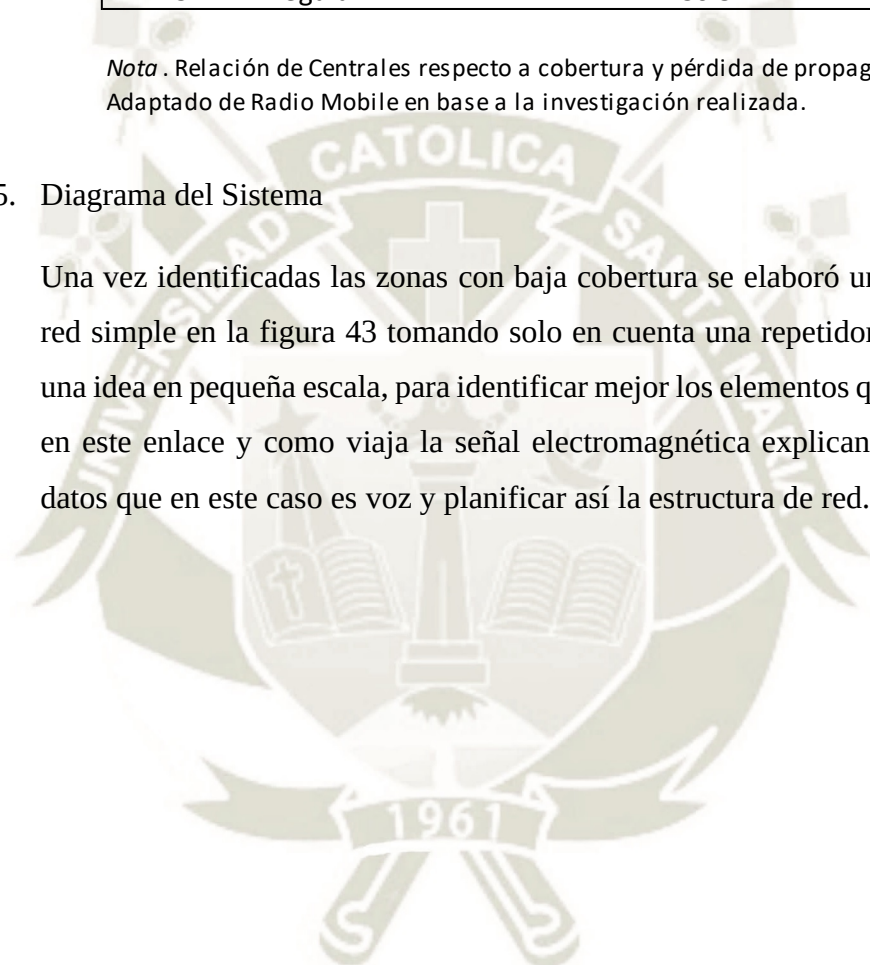


Diagrama de red del Sistema VHF de una Repetidora

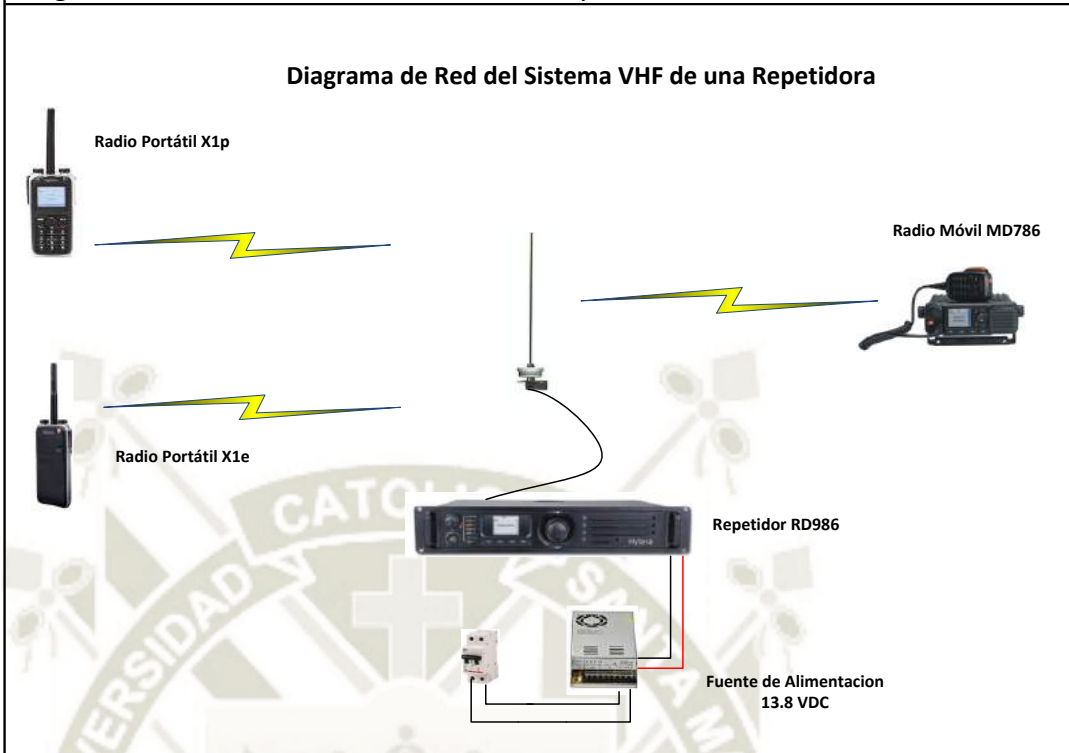


Figura 43 . Diagrama de red del Sistema VHF de una Repetidora. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

En la figura 44 se incluyó todo el sistema VHF con las cuatro repetidoras trabajando conjuntamente. Esto es la representación de todo el sistema con sus elementos. Todas las repetidoras están interconectadas por red usando su puerto Ethernet. Los duplexores están en una bandeja dentro de cada repetidor.

Diagrama de Red del Sistema VHF de Repetidoras de Charcani

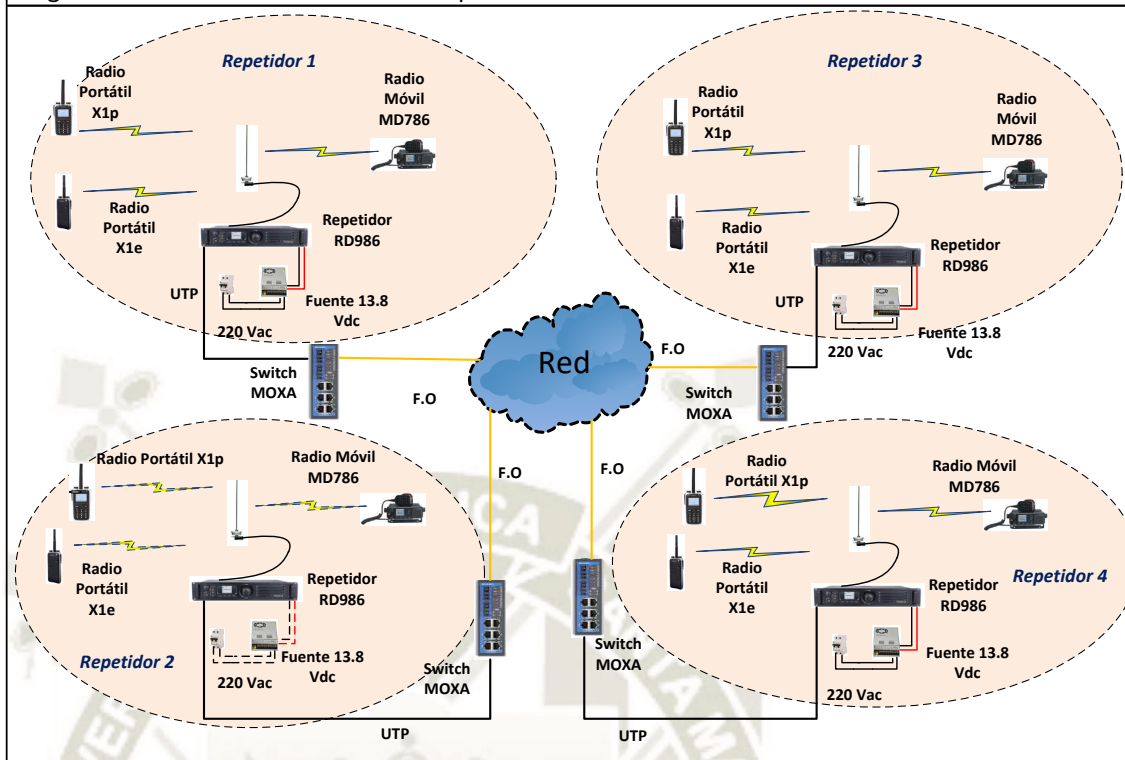


Figura 44. Diagrama de Red del Sistema VHF de Repetidoras. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

Tomando en cuenta a la empresa, se optó por graficar un diagrama general de cómo se comunican las diferentes sedes para tener una visión general del sistema global la figura 45 incluye un diagrama con estas características.

Diagrama general de comunicaciones por ondas de radio de la Empresa

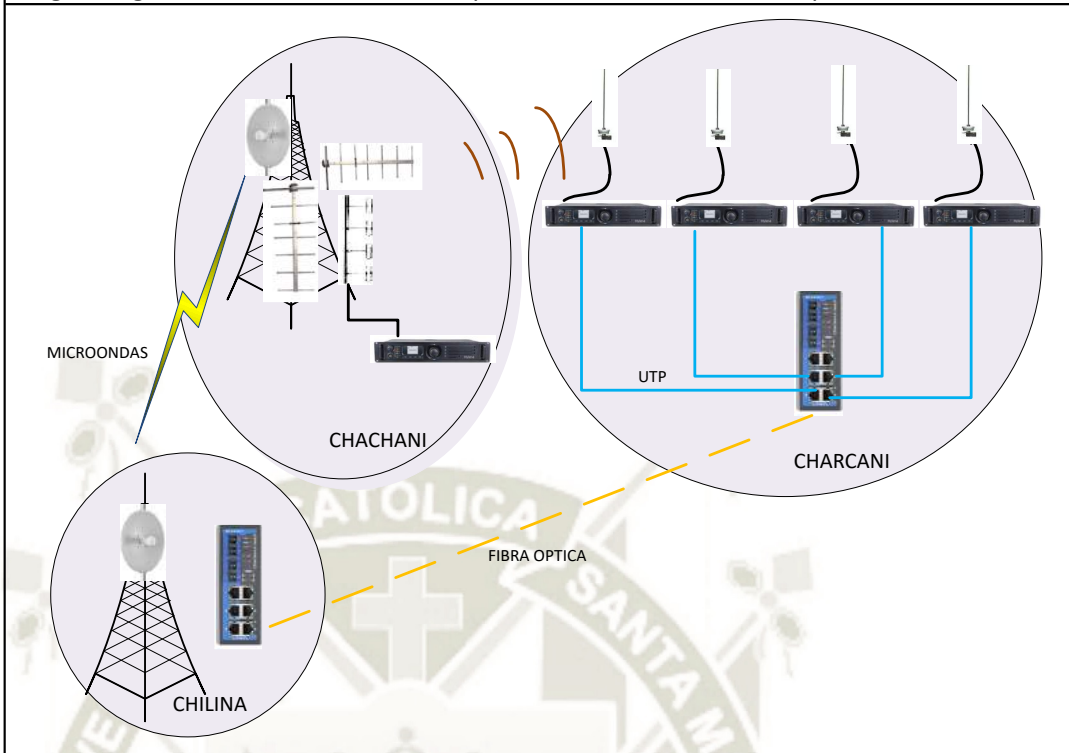


Figura 45. Diagrama general de comunicaciones por ondas de radio de la Empresa. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

Configuración de Cobertura en Ruta

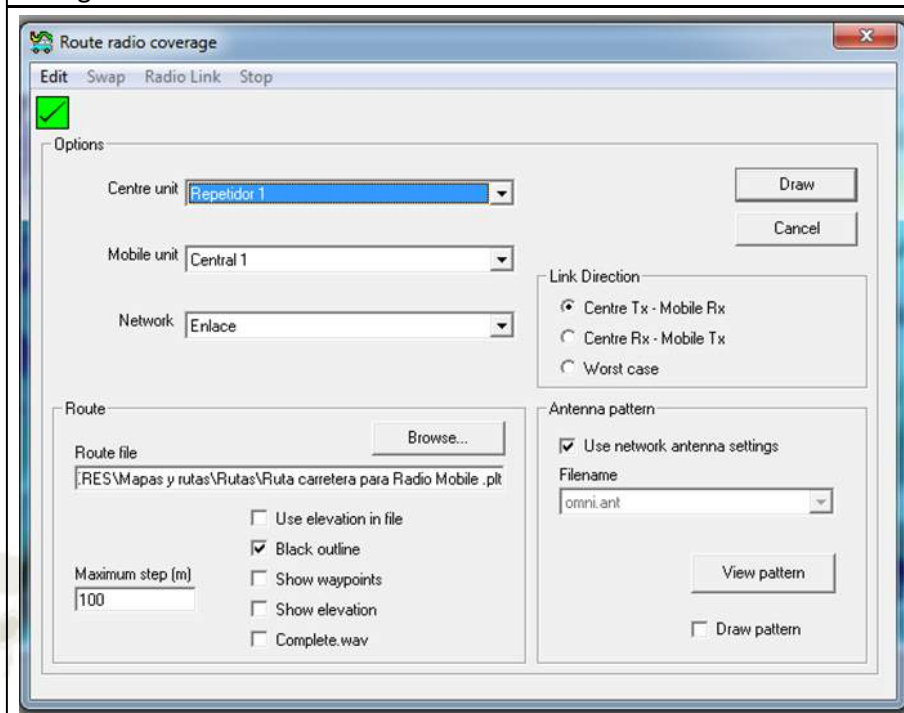
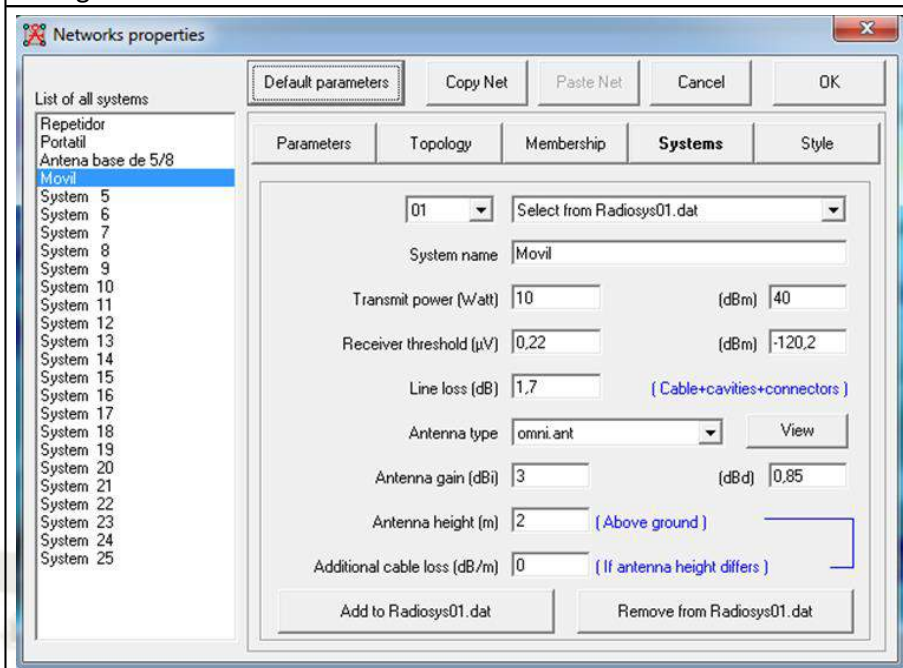


Figura 47. Configuración de Cobertura en ruta. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

Se creó un punto de prueba de una radio móvil en la ruta para hacer el análisis más preciso, en la figura 48 se incluye la configuración de este punto de prueba tomando los datos de las especificaciones del modelo de radio móvil MD786 de Hytera y también de la antena que tiene el vehículo que es mhb-5800.

Para comprobar la cobertura en ruta se realizó un análisis del alcance de cada repetidora usando la radio móvil de prueba, esto se observa en la figura 49 y 50.

Configuración Radio Móvil



The screenshot shows the 'Networks properties' dialog box with the 'Parameters' tab selected. The 'List of all systems' on the left includes 'Repetidor', 'Portatil', 'Antena base de 5/8', and 'Movil'. The 'Parameters' section on the right contains the following fields:

- System name: Movil
- Transmit power (Watt): 10 (dBm: 40)
- Receiver threshold (µV): 0.22 (dBm: -120.2)
- Line loss (dB): 1.7 (Cable+cavities+connectors)
- Antenna type: omni.ant (View button)
- Antenna gain (dBi): 3 (dBd: 0.85)
- Antenna height (m): 2 (Above ground)
- Additional cable loss (dB/m): 0 (If antenna height differs)

Buttons at the bottom include 'Add to Radiosys01.dat' and 'Remove from Radiosys01.dat'.

Figura 48 . Configuración Parametros Radio móvil. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 1

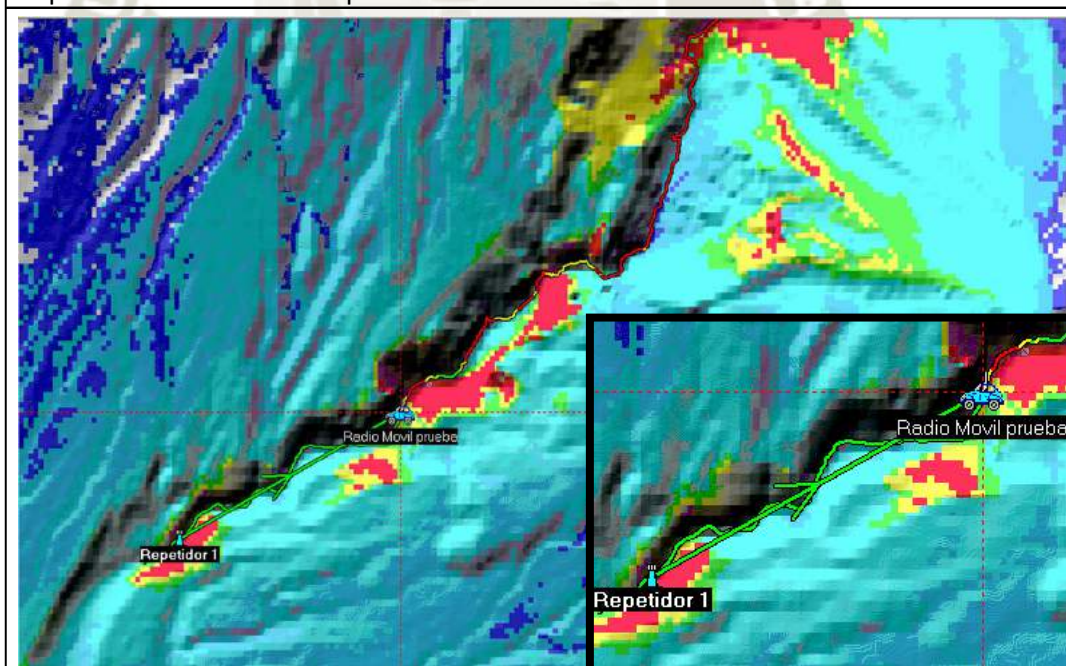


Figura 49 . Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 1. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

Cobertura Ruta Repetidora 1



Figura 50 .Parámetros Cobertura de Ruta Repetidora 1. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019

Se ve que la Repetidora 1 proporciona una cobertura óptima hasta una distancia de 4.5 km en la ruta y este punto ya es bastante cercano a la repetidora 2 por lo que esta cubrirá desde este punto y una porción más de la ruta, la cobertura de la ruta de la repetidora 2 se presenta en las figuras 51 y 52.

Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 2

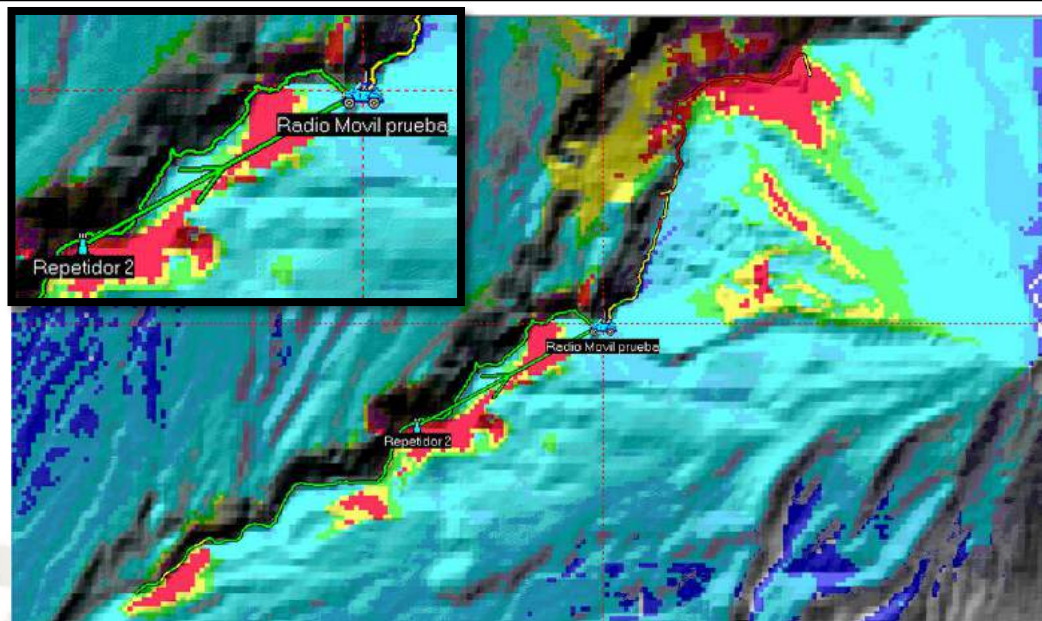


Figura 51 . Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 2. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cobertura Ruta Repetidora 2



Figura 52 .Parámetros Cobertura de Ruta Repetidora 2. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

La cobertura de la repetidora 2 para la ruta es muy buena hasta una distancia de 8.75 km, este punto esta hasta después de la repetidora 3 así que se infiere que toda

esta zona de la ruta no presenta inconvenientes de cobertura en la ruta. La figura 53 y 54 incluyen el mapa de la ruta de cobertura de la repetidora 3 y sus parámetros.

Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 3

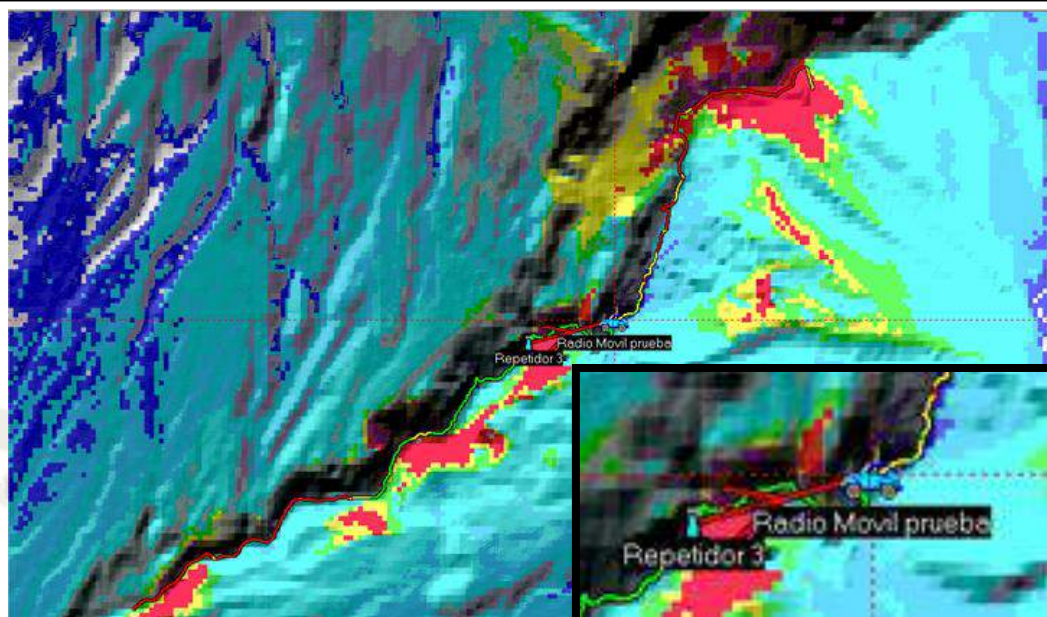


Figura 53 . Mapa Cobertura de Ruta Repetidora 3. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

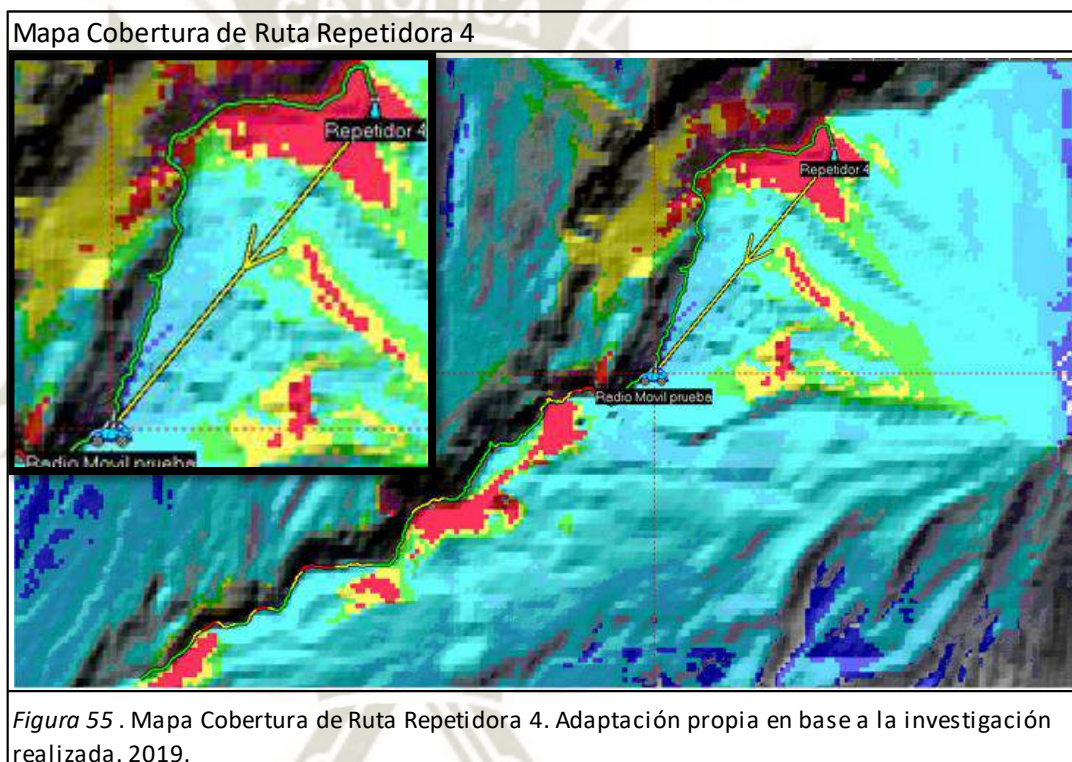
Cobertura Ruta Repetidora 3



Figura 54 .Parámetros Cobertura de Ruta Repetidora 3. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

A los 9.22 km de la ruta se registró una caída de recepción de señal en el receptor y por la gráfica del terreno en la figura 54 se vio que existe una obstrucción y no se logra tener una línea de vista y este punto es relativamente cerca de la repetidora 3, ya que esta se encuentra a 7.5 km del inicio de la ruta y a los 9.22 km ya no hay buena calidad de señal en la radio móvil.

Por lo tanto la repetidora 3 en su configuración actual no es capaz de brindar una buena calidad de señal en el kilómetro 9.22 de la ruta. Para finalizar el análisis de la ruta se ingresó los datos correspondientes a la repetidora 4, en las figuras 55 y 56 se muestran estos resultados.



Cobertura Ruta Repetidora 4



Figura 56 .Parámetros Cobertura de Ruta Repetidora 4. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

La cobertura de la ruta de la repetidora 4 tiene una caída en el kilómetro 9.5 del trayecto pero este desperfecto es más debido a la repetidora 3 ya que ese punto está más cerca de la repetidora 3 y debería cubrirlo y como se vio en el análisis de la repetidora 3 en la ruta existe una deficiencia por una obstrucción que impide el acceso a una buena calidad de señal.

Selección de Antenas

Como solución se determinó modificar el número de repetidoras debido a que la Central 3 se encuentra en una zona difícil y no se consigue una cobertura óptima con la repetidora 1 por lo que se agregó la repetidora 5 en la Central 3, además se tomó la decisión de colocar una antena de 5/8 de fibra de vidrio para cada repetidora ya que su precio por unidad es menor que el costo de una repetidora y para este caso en concreto cumple su propósito y brinda una solución económica y práctica al requerir aumentar la cobertura en la ruta en el kilómetro 9 y en general en todas las Centrales por la gran pérdida de línea que posee la antena de látigo y la baja ganancia de esta antena. En la

figura 57 se ve una imagen de este tipo de antena que es el modelo 1487 de la marca TRAM.



En la tabla 20 se muestran algunas características de la hoja de datos.

Tabla 20
Características Hoja de Datos Antena 1487-TRAM

Frecuencia	134-184 MHz
Tipo	Omnidireccional
Ganancia	4.5 dbd
Ancho de Banda	5 MHz
Potencia	200 watts
Longitud	1.7 m
Peso	1.1 kg
Resistencia al viento	217 km/h

Nota. Características Hoja de Datos Antena 1487-TRAM.
Adaptado de la hoja de datos del fabricante. Elaboración propia.

Las antenas estarán montadas en mástiles de 3 metros, sobre el edificio donde se encuentran. Este mástil será suficiente ya que soporta hasta 6kg de peso. En la figura 58 se muestra una gráfica de cómo quedaría la instalación de la antena.

Instalación Mástil para antena VHF

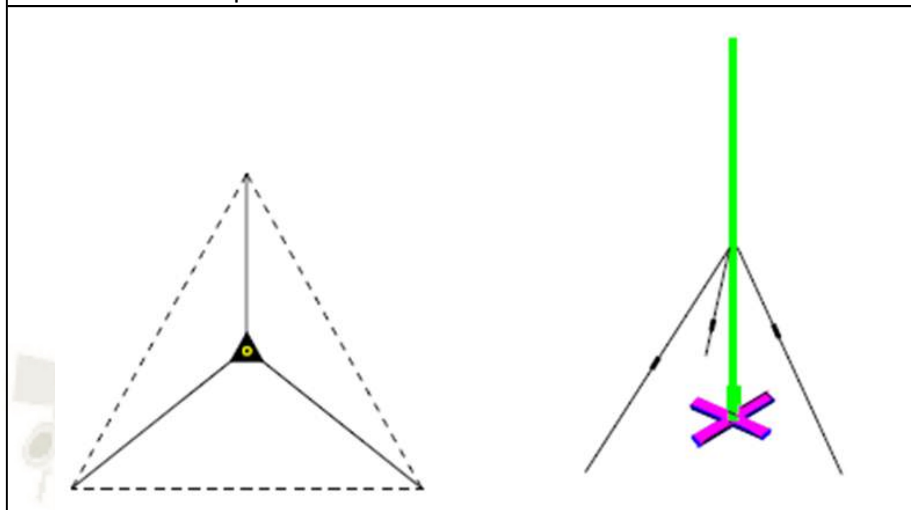


Figura 58 . Instalación Mástil para antena VHF. Adaptado de "profesores.sanvalero.net ", 2019. Elaboración propia.

2. Ubicación repetidora y antenas

La ubicación de la nueva repetidora 5 en la Central 3 y las antenas de 5/8 para las repetidoras vienen en la figura 59. El nuevo repetidor pasara a llamarse Repetidor 5 siguiendo ya el orden establecido anteriormente y será ubicado en el centro de la central 3 para asegurar el mayor alcance a esta Central. En el mapa en la misma ubicación de las repetidoras se instalaran las antenas, esto debido a que todas las repetidoras se encuentran en edificios y las antenas estarán ubicadas en el techo de estos edificios.

Ubicación Final Repetidoras y Antena

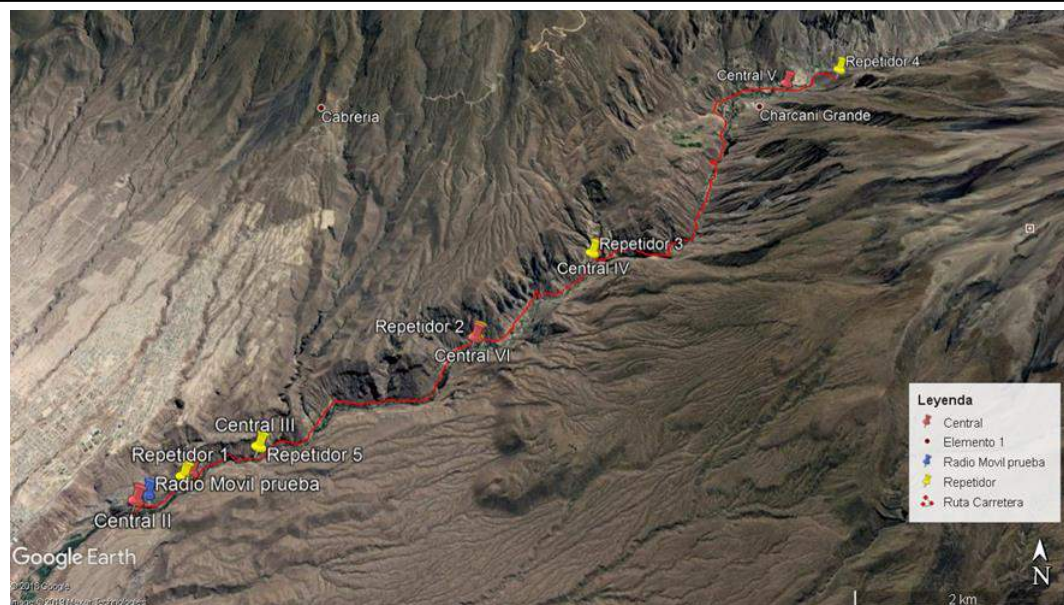


Figura 59 . Ubicación Final Repetidoras y Antena. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Como se hizo para el diagnóstico se elaboró la tabla 21 con las coordenadas de la Repetidora 5.

Tabla 21

Coordenadas Repetidora 5

Punto	Elemento	Coordenadas
1	Repetidor 5	16°19'3.64"S 71°30'41.98"O

Nota . Coordenadas repetidora 5. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

3. Análisis de Cobertura

La primera alternativa que se consideró para solucionar el problema de cobertura en las centrales especialmente en la Central 3 y de toda la ruta fue el de aumentar la potencia de transmisión de las repetidoras ya que solo están transmitiendo con una potencia de 1 watt y la repetidora que se está usando, la HYTERA RD986 puede transmitir hasta a 50 watt según sus especificaciones. Por lo tanto se procedió a realizar el aumento de potencia a 5, 10, 20, 30 y 40

watt para ver el comportamiento del área de cobertura para ver si con esto se contribuía a solucionar este problema.

En la figura 60, 61, 62, 63, 64 se realiza la simulación en Radio Mobile con 5, 10, 20, 30 y 40 watts de potencia respectivamente.

Cobertura con 5 watts de potencia en Repetidoras

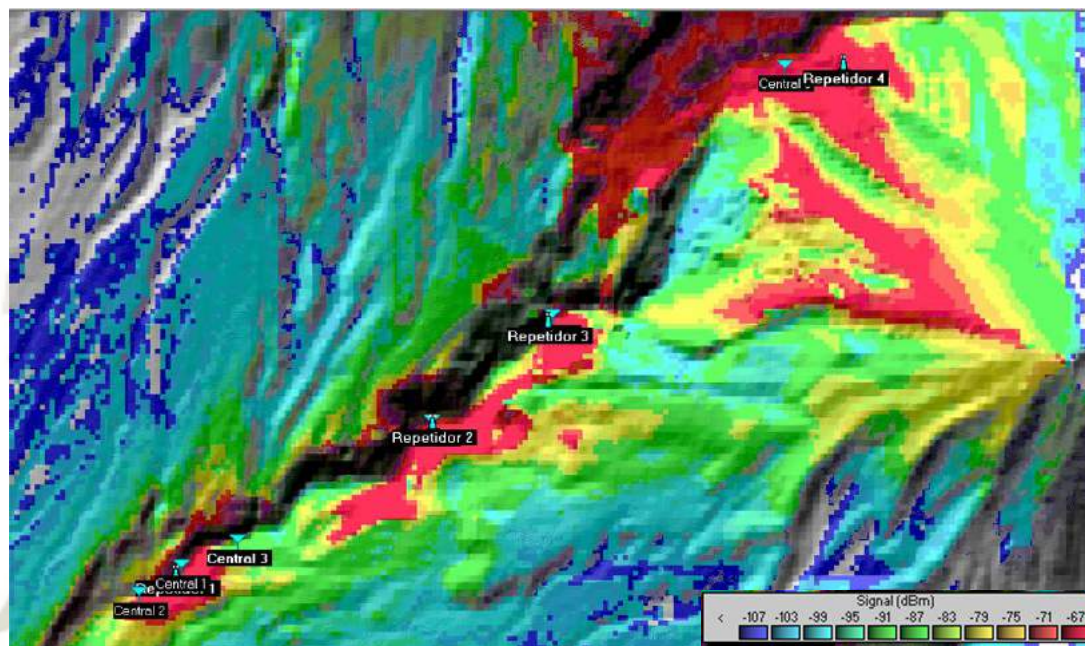


Figura 60 .Cobertura con 5 watts de potencia en Repetidoras . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cobertura con 10 watts de potencia en Repetidoras

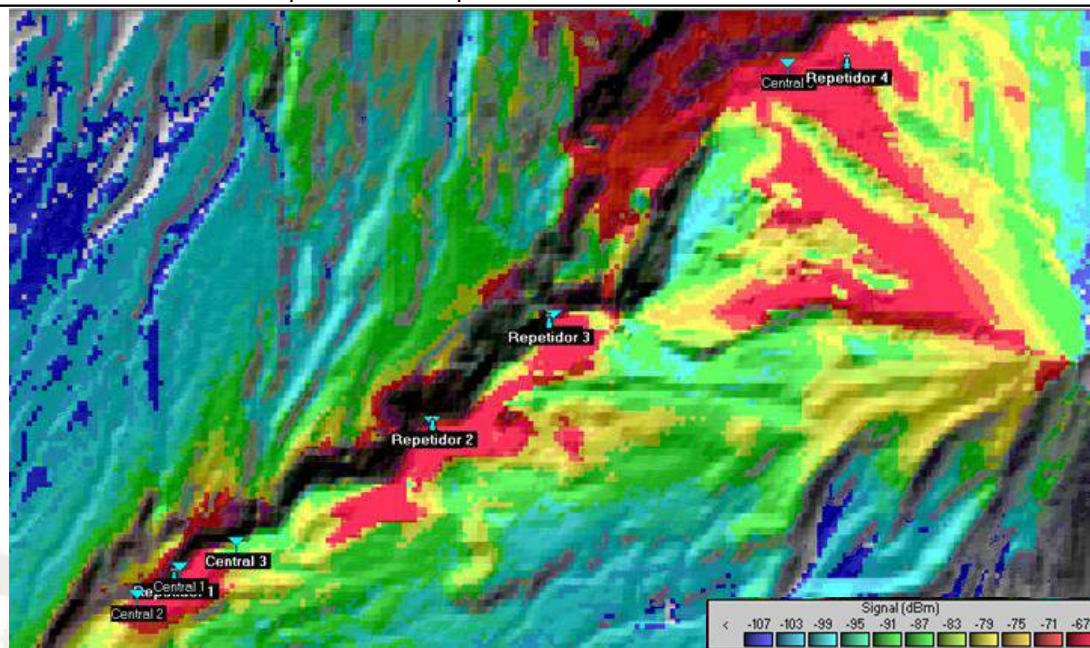


Figura 61 .Cobertura con 10 watts de potencia en Repetidoras . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cobertura con 20 watts de potencia en Repetidoras

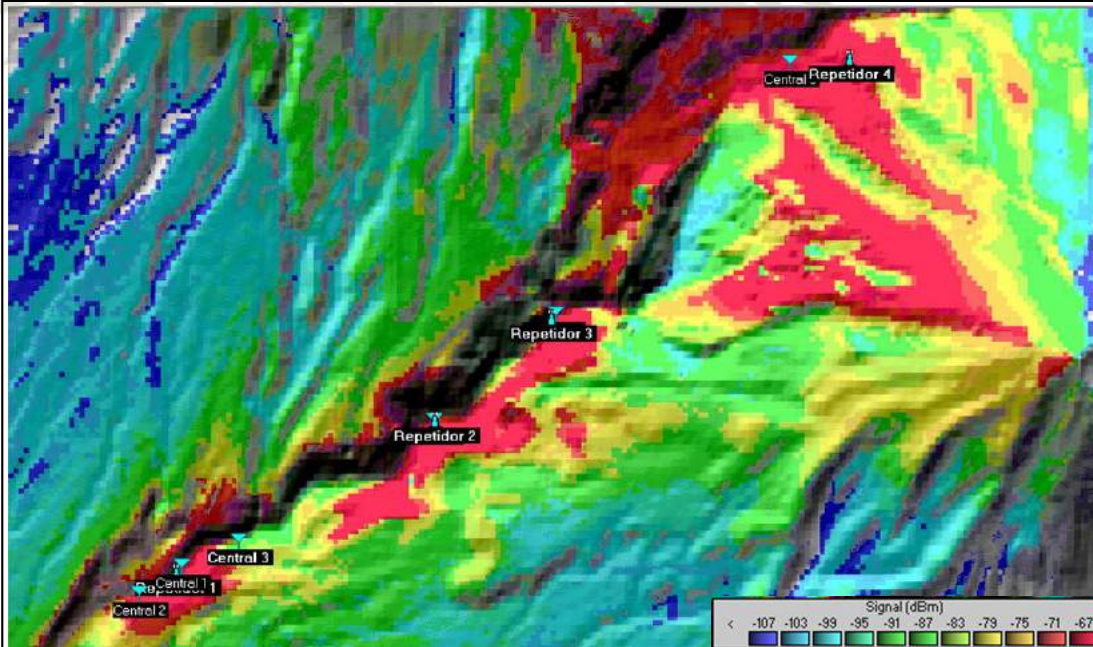


Figura 62 .Cobertura con 20 watts de potencia en Repetidoras . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cobertura con 30 watts de potencia en Repetidoras

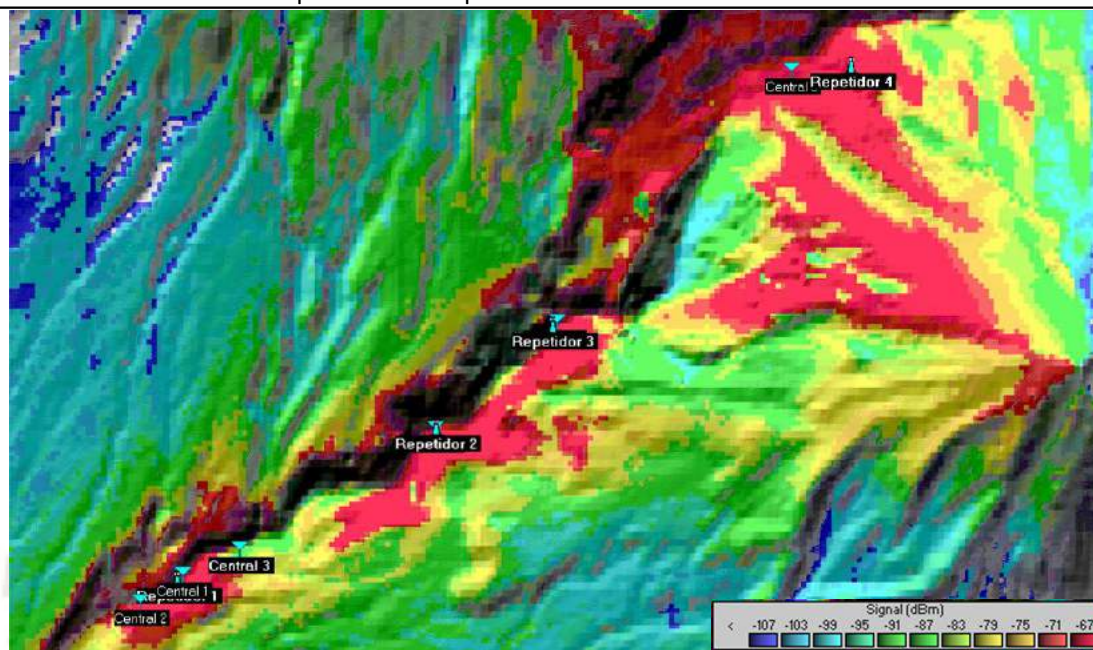


Figura 63 .Cobertura con 30 watts de potencia en Repetidoras . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cobertura con 40 watts de potencia en Repetidoras

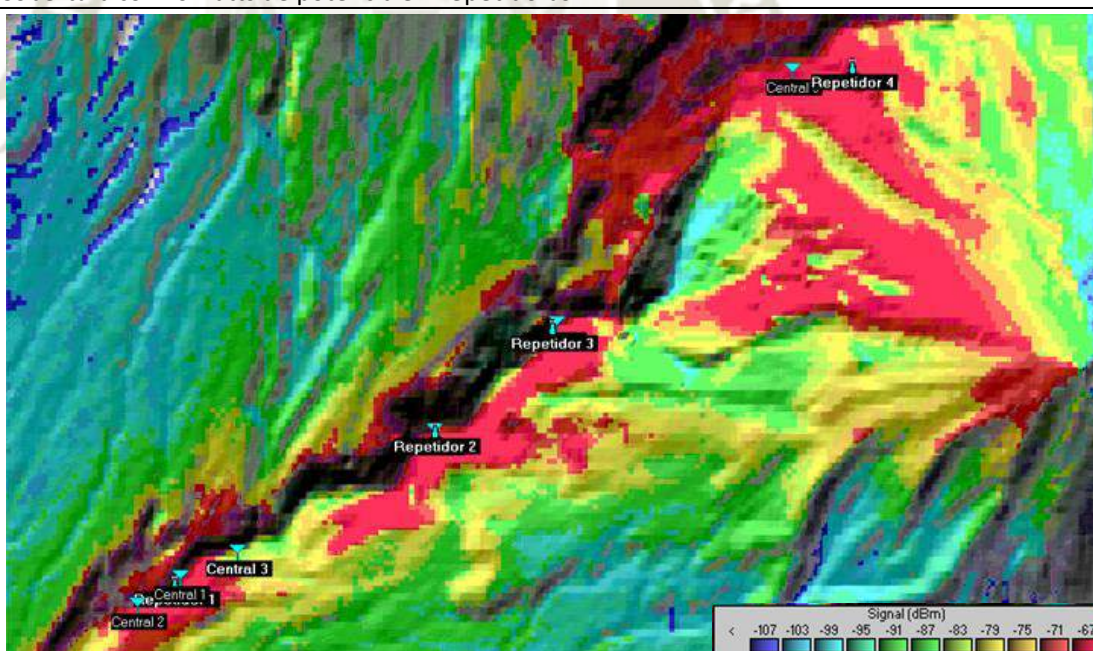


Figura 64 .Cobertura con 40 watts de potencia en Repetidoras . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Este aumento de potencia en las repetidoras se realizó para demostrar que no sólo el incremento de potencia de transmisión en las repetidoras es la solución,

por ejemplo haciendo esto no se logró dar cobertura a la Central 3 ni usando la potencia máxima del repetidor 1.

4. Asignación de frecuencia y potencia para la empresa

De acuerdo al Plan Nacional de Asignación de Frecuencias, el espectro radioeléctrico es patrimonio de la Nación y corresponde al Estado, en este caso al Ministerio de Transportes y Comunicaciones su aprovechamiento, gestión, administración y control.

La asignación de frecuencias permite atribuir frecuencias de los diferentes servicios de Telecomunicaciones, de manera que estos operen en bandas de frecuencia definidas previamente para asegurar su operatividad, reducir interferencias y sostener la existencia de varios servicios en la misma banda de frecuencias si es el caso.

Así se tiene que para la empresa, la frecuencia y potencia de Repetidores Hytera, canal principal, reconocida por el ministerio de transportes es:

Transmisión: 163. 370 MHz

Recepción: 157.890 MHz

Potencia: 45 W

El artículo 199 del Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 020-2007-MTC sostiene que el uso del espectro radioeléctrico por los titulares de estaciones radioeléctricas, emisoras y receptoras deben pagar un canon, esto sujeto al reglamento respectivo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El canon viene a ser la obligación de pago que tienen que realizar los titulares de autorizaciones de telecomunicaciones por la asignación de una frecuencia o canal del espectro radioeléctrico.

Asimismo, mediante el Decreto Supremo N° 003-2018-MTC correspondiente al literal a) del numeral 2 del artículo 231 del Reglamento de Telecomunicaciones. Existe una metodología para el cálculo del canon que se basa en criterios como son: el uso del ancho de banda asignado para los servicios públicos móviles de

telecomunicaciones, el número de bandas, sub-bandas y canales, número de frecuencias asignadas para la prestación del servicio en una zona, el coeficiente de área, ponderación por bandas de frecuencia, de participación por servicio y presupuesto objetivo.

En el caso de la empresa, el canon se paga por estación incluyéndose 3 tipos de estaciones que son: Estación Fija Terrestre (FX), Estación Base Terrestre (FB) y Estación Móvil Terrestre (ML). En el presente año el pago del canon por parte de la empresa fue por 56 estaciones en total siendo el importe del canon correspondiente a S/. 41 932. 00.

5. Nuevos Parámetros del Sistema

En la tabla 27 se detallaron todos los parámetros de los elementos del sistema usados para elaborar el perfil del Enlace.

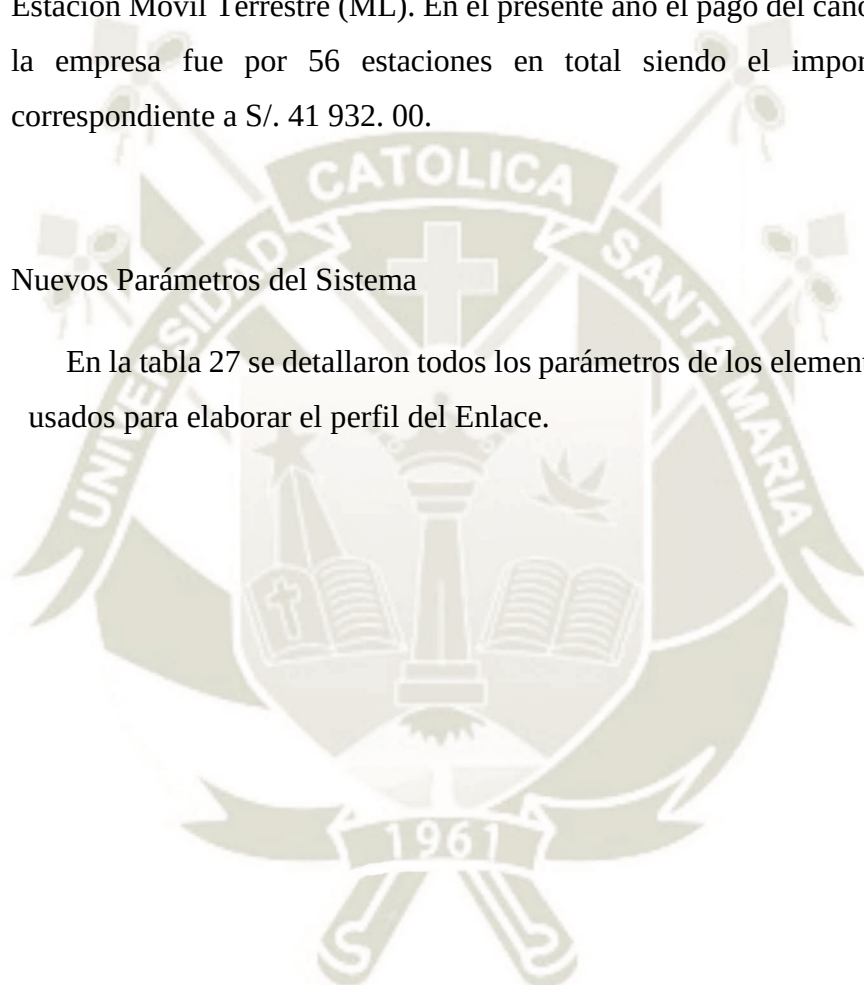


Tabla 22

Parámetros del Nuevo Sistema VHF

N°	Elementos	Nombre	Potencia de Transmisión (watt)	Sensibilidad del Receptor (μV)	Pérdida de Línea (db)	Tipo	Antena		Pérdida Adicional por cable (dBm/m)
							Ganancia (dbi)	Altura (m)	
1	Repetidoras VHF	Repetidor 1	30	0,3	3,4	5/8	6,65	6	0,2
2		Repetidor 2	30	0,3	3,4		6,65	6	0,2
3		Repetidor 3	30	0,3	3,4		6,65	6	0,2
4		Repetidor 4	30	0,3	3,4		6,65	6	0,2
5		Repetidor 5	30	0,3	3,4		6,65	6	0,2
6	Portátiles VHF	Central 1	5	0,3	0,5	Helicoidal	2	1,5	0
7		Central 2	5	0,3	0,5		2	1,5	0
8		Central 3	5	0,3	0,5		2	1,5	0
9		Central 4	5	0,3	0,5		2	1,5	0
10		Central 5	5	0,3	0,5		2	1,5	0
11		Central 6	5	0,3	0,5		2	1,5	0
12	Móvil VHF	Radio Móvil Prueba	10	0,22	1,15	Látigo	3	2	0

Nota . Parámetros nuevos del Sistema VHF para Radio Mobile. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

Para completar la pérdida de línea con la nueva antena fue necesario conocer las pérdidas por el cable coaxial, el cable usado para este enlace fue el RG8 que según la hoja de datos tiene una atenuación de 6 dB para 140 MHz en 100 metros. Se calculó para una frecuencia de 160.5 cuanto es la atenuación.

Primero para hallar la atenuación para 160 MHz en 100 metros.

$$\frac{6}{140} = \frac{\text{Atenuación para 160.5 MHz en 100 metros}}{160.5} = 6.88 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación para 160 MHz en 100 metros} = 6.88 \text{ dB}$$

Luego para 16 metros ya que esa será la distancia aproximada hasta la antena.

$$\frac{100}{6.88} = \frac{16}{\text{Atenuación para 160.5 MHz en 16 metros}} = 1.10 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación para 160.5 MHz en 16 metros} = 1.10 \text{ dB}$$

Como se sabe las pérdidas por inserción en el duplexor son 1.5 dB y por conectores sería 0.8 dB por usar 4 conectores. Entonces la pérdida total de línea sería

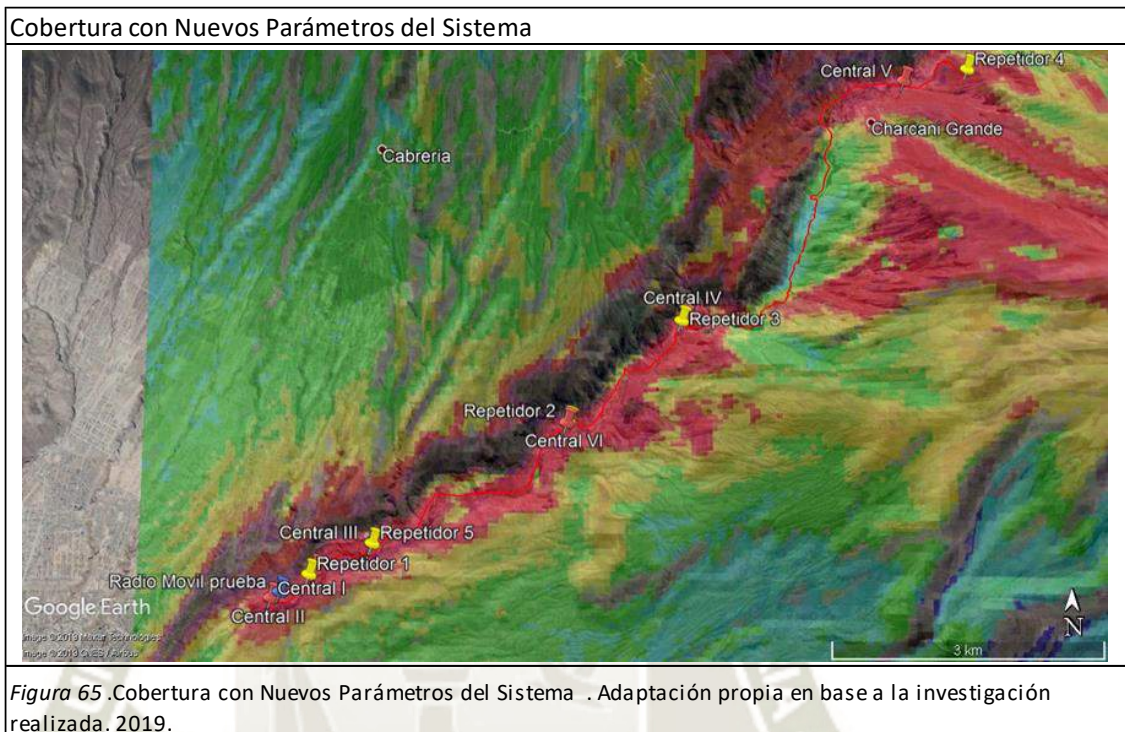
$$P_L = P_{Coax} + P_{Duplex} + P_{Conec}$$

$$P_L = 1.10 \text{ dB} + 1.5 \text{ dB} + 0.8 \text{ dB} = 3.4 \text{ dB}$$

La pérdida adicional por cable se considera desde la base del mástil hasta la antena por lo que serían 3 metros más de cable lo que resulta en una atenuación de:

$$\frac{100}{6.88} = \frac{3}{\text{Atenuación para 160.5 MHz en 3 metros}} = 0.2 \text{ dB}$$

La cobertura en conjunto con los nuevos parámetros luego de la simulación quedo de la siguiente manera, como lo muestra la figura 65 en Superposición con Google Earth.



6. Perfil del Enlace

6.1 Enlace Repetidor 1 – Central 1

Se obtuvo los nuevos parámetros del sistema, con la herramienta Radio Link de Radio Mobile en la figura 66.

Nuevo Enlace Repetidor 1 - Central 1

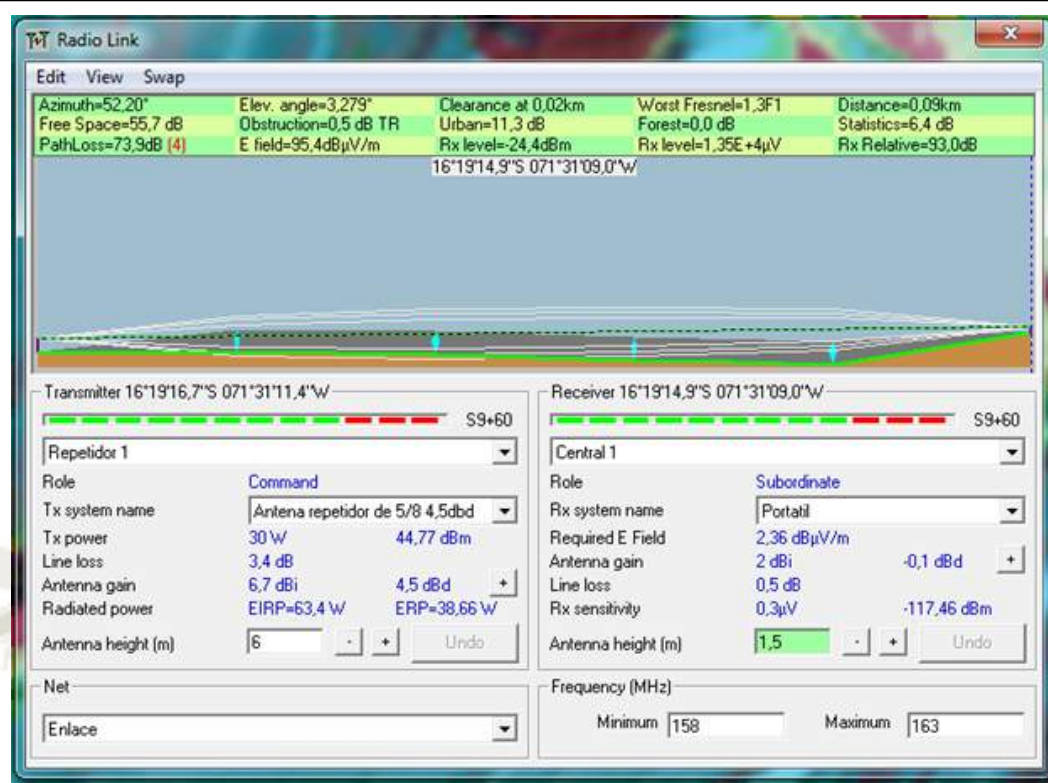


Figura 66 . Nuevo Enlace Repetidor 1 - Central 1 . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.09) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 55.59 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} \\ + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 55.59 \text{ dB} + 11.3 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} + 6.4 \text{ dB}$$

$$Tl = 73.79 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

Tenemos que la potencia en el transmisor ahora es de 30 W por lo que se tuvo que convertir a dBm, por lo que:

$$Ptx = 10 \log_{10} \left(\frac{1000 * P(W)}{1 W} \right)$$

$$Ptx = 10 \log_{10} \left(\frac{1000 * 30}{1} \right)$$

$$Ptx = 44.77$$

Reemplazando en la fórmula los valores se tiene:

$$Prx = 44.7 \text{ dBm} + 6.65 \text{ dBi} - 3.4 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 73.79 \text{ dB}$$

$$Prx = -24.27 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -24.27 - (-117.44)$$

$$Fm = 93.17 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-24.27 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

El enlace presenta una muy buena factibilidad al acercarse el de la potencia en el receptor a 0.

6.2 Enlace Repetidor 1 – Central 2

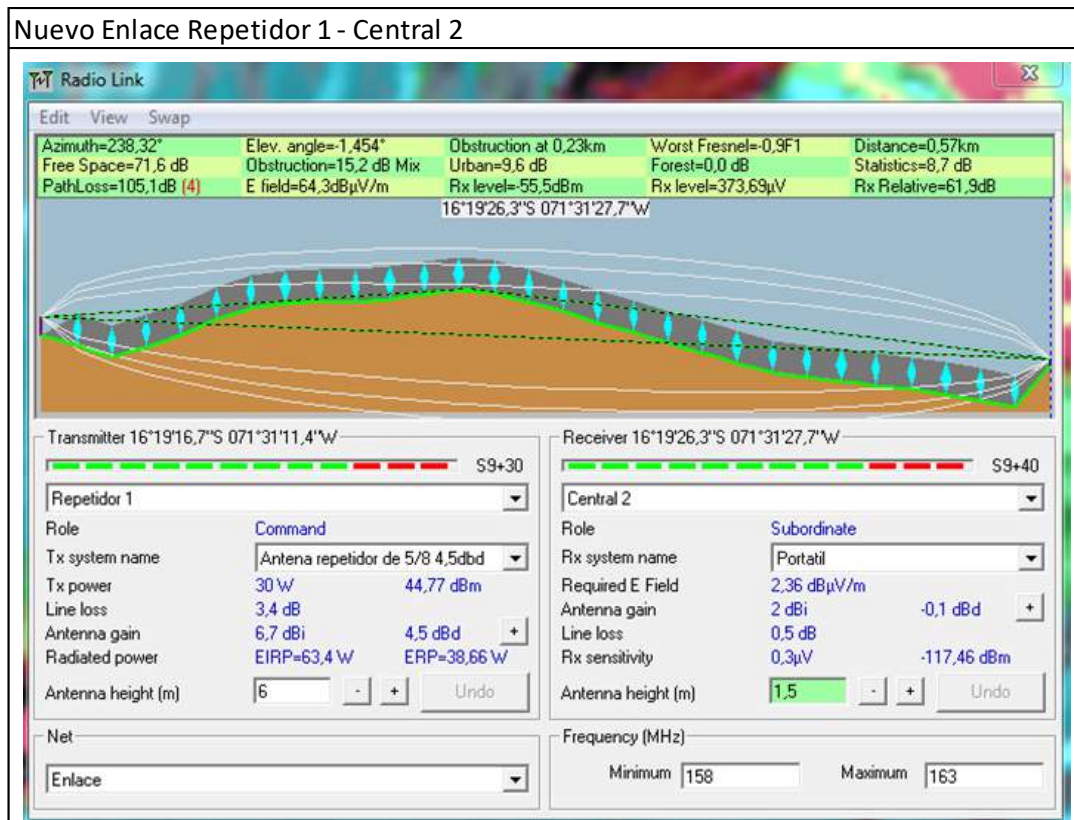


Figura 67. Nuevo Enlace Repetidor 1 - Central 2. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.57) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 71.63 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 71.63 \text{ dB} + 9.6 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 15.2 \text{ dB} + 8.7 \text{ dB}$$

$$Tl = 105.13 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 44.7 \text{ dBm} + 6.65 \text{ dBi} - 3.4 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 105.13 \text{ dB}$$

$$Prx = -55.61 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -55.61 - (-117.44)$$

$$Fm = 61.83 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-55.61 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

El enlace es factible ya que el receptor captará la señal enviada desde el transmisor.

6.3 Enlace Repetidor 5 – Central 3

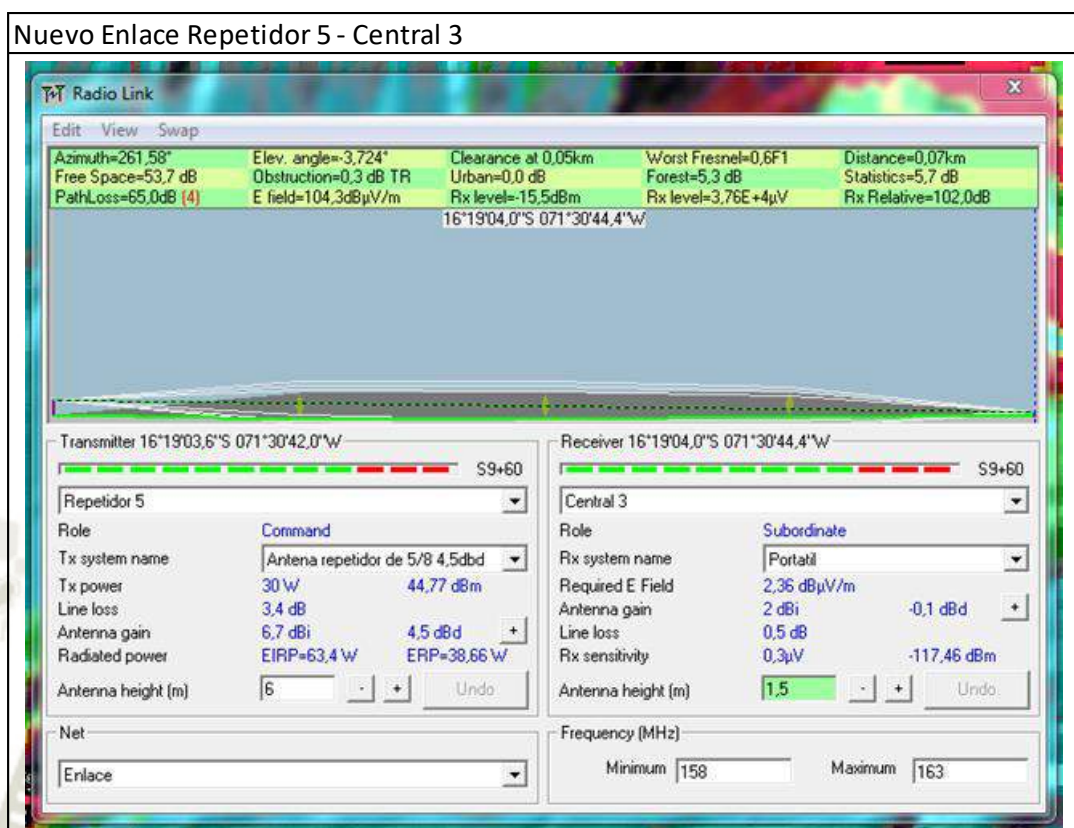


Figura 68 . Nuevo Enlace Repetidor 5 - Central 3 . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.07) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 53.41 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 53.41 \text{ dB} + 0.3 \text{ dB} + 5.3 \text{ dB} + 0.3 \text{ dB} + 5.7 \text{ dB}$$

$$Tl = 65.01 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 44.7 \text{ dBm} + 6.65 \text{ dBi} - 3.4 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 65.01 \text{ dB}$$

$$Prx = -15.49 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -15.49 - (-117.44)$$

$$Fm = 101.95 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-15.49 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

Ahora la Central 3 tiene amplia cobertura después de la implementación del plan de mejora, antes tenía cobertura muy limitada.

6.4 Enlace Repetidor 2 – Central 6

Nuevo Enlace Repetidor 2 - Central 6

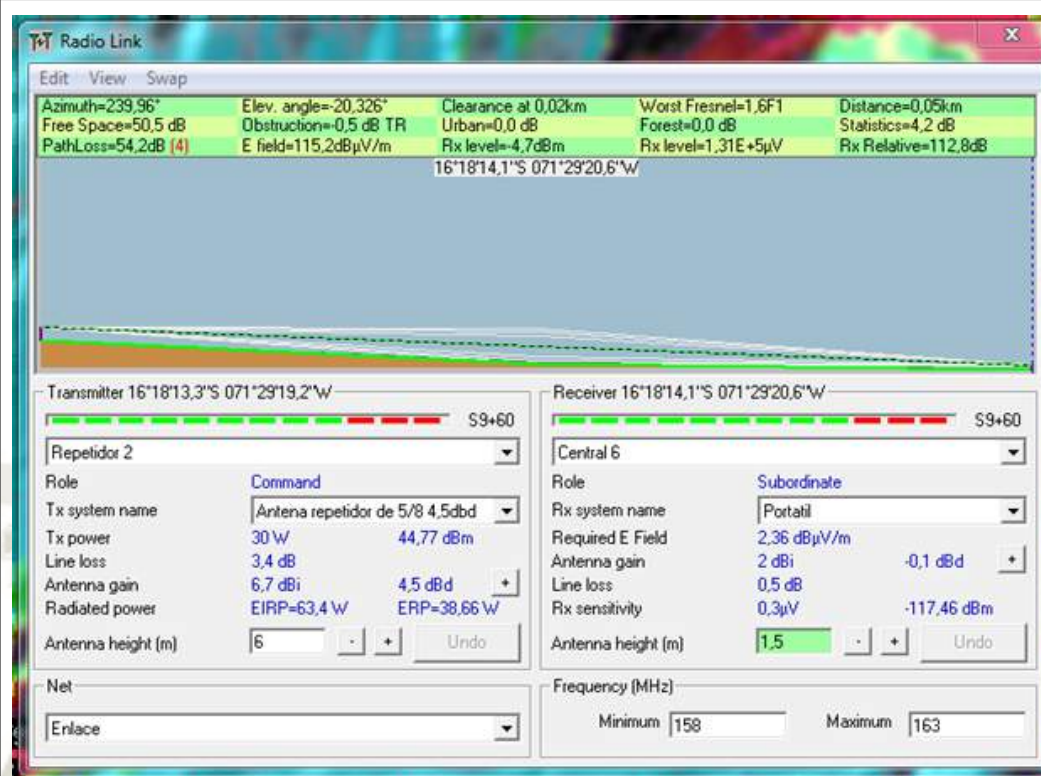


Figura 69 . Nuevo Enlace Repetidor 2 - Central 6 . Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.05) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 50.49 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 50.49 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} + 4.2 \text{ dB}$$

$$Tl = 55.19 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 44.7 \text{ dBm} + 6.65 \text{ dBi} - 3.4 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 55.19 \text{ dB}$$

$$Prx = -5.67 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -5.67 - (-117.44)$$

$$Fm = 111.77 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-5.67 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

La potencia de la señal es óptima muy por encima del nivel de sensibilidad del receptor, la cobertura es la adecuada.

6.5 Enlace Repetidor 3 – Central 4

Nuevo Enlace Repetidor 3 - Central 4

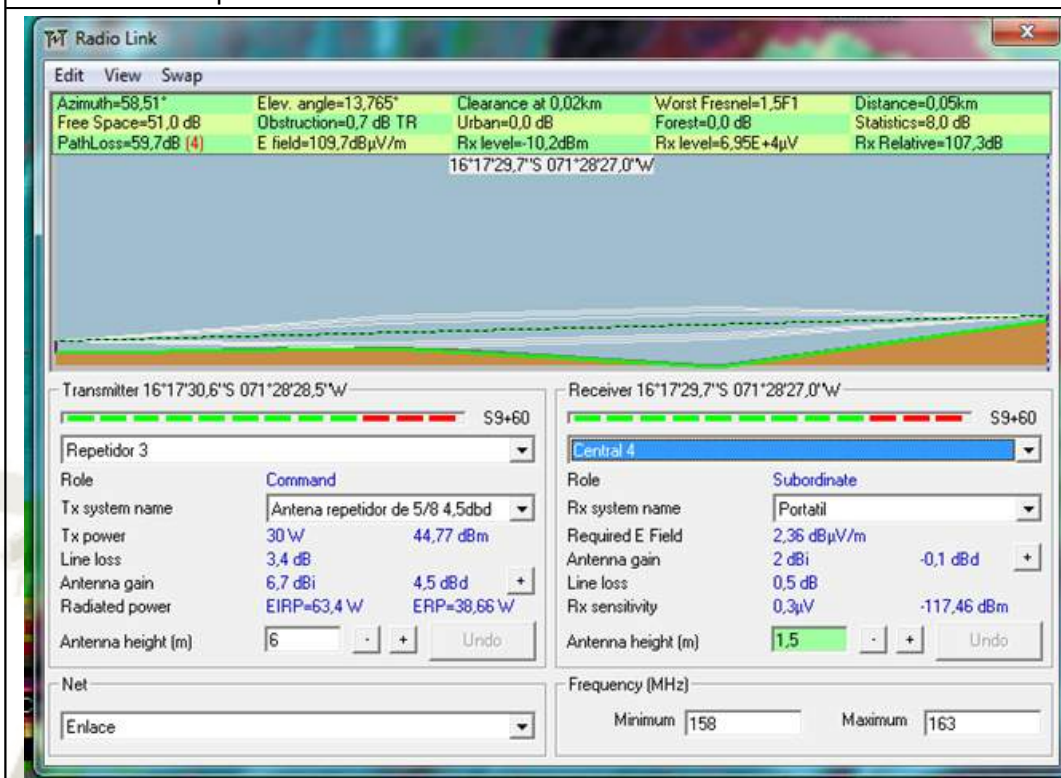


Figura 70. Nuevo Enlace Repetidor 3 - Central 4. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.05) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 50.49 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 50.49 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0.7 \text{ dB} + 8 \text{ dB}$$

$$Tl = 59.19 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 44.7 \text{ dBm} + 6.65 \text{ dBi} - 3.4 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 59.19 \text{ dB}$$

$$Prx = -9.67 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -9.67 - (-117.44)$$

$$Fm = 107.77 \text{ dB}$$

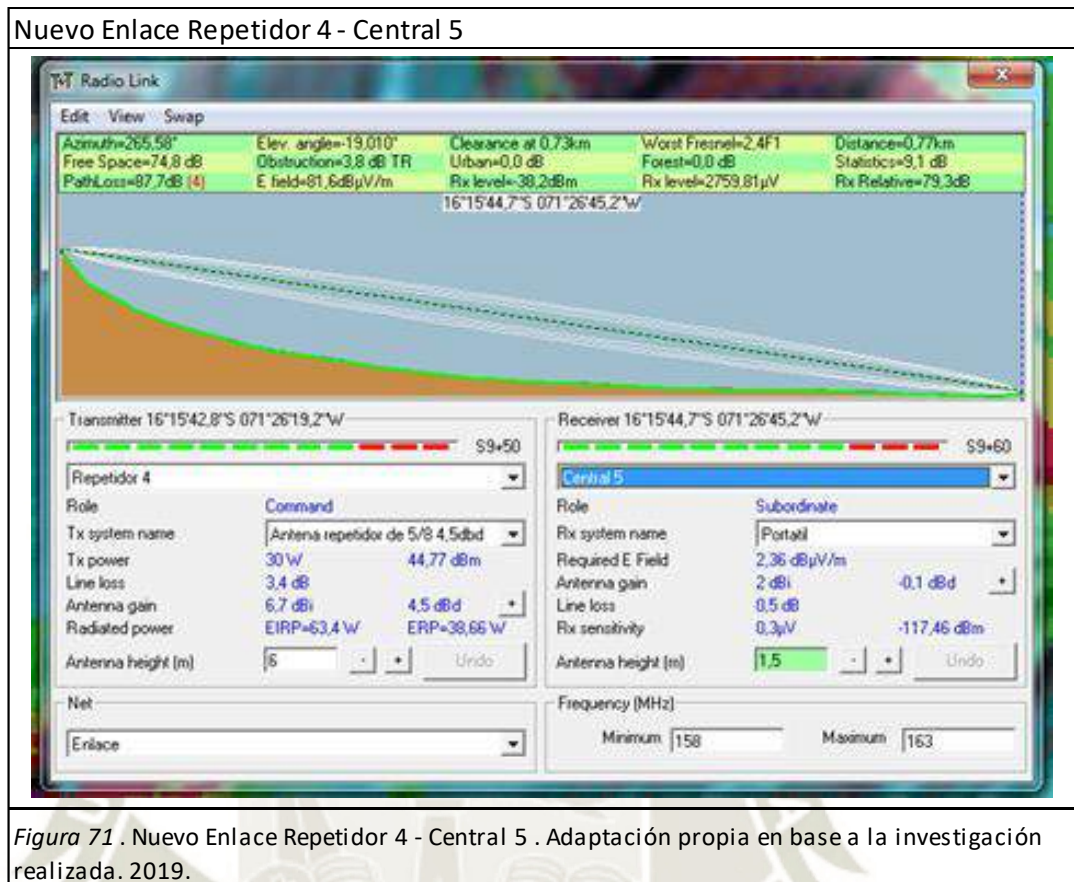
Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-9.67 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

Al igual que el anterior enlace la potencia de la señal es óptima muy por encima del nivel de sensibilidad del receptor, la cobertura es la adecuada.

6.6 Enlace Repetidor 4 – Central 5



Cálculos

Pérdida en el Espacio Libre

$$Lfs = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.4$$

$$Lfs = 20 \log_{10}(0.77) + 20 \log_{10}(160.5) + 32.4$$

$$Lfs = 74.24 \text{ dB}$$

Pérdidas Totales

$$Tl = \text{Pérdidas en el Espacio libre} + \text{Urbano} + \text{Bosque} + \text{Obstrucción} + \text{Estadísticas}$$

$$Tl = 74.24 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 3.8 \text{ dB} + 9.1 \text{ dB}$$

$$Tl = 87.14 \text{ dB}$$

Nivel de potencia en el Receptor

$$Prx = Ptx + Gtx - Ltx + Grx - Lrx - Tl$$

$$Prx = 44.7 \text{ dBm} + 6.65 \text{ dBi} - 3.4 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} - 87.14 \text{ dB}$$

$$Prx = -37.62 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$Fm = Prx - Prs$$

$$Fm = -37.62 - (-117.44)$$

$$Fm = 79.82 \text{ dB}$$

Comparando la potencia de señal que llega al receptor con la sensibilidad

$$Prx > Prs$$

$$-37.62 \text{ dBm} > -117.44 \text{ dBm}$$

Este enlace también cumple con la condición ampliamente al ser la potencia de la señal en el receptor mayor que el nivel de sensibilidad por mucha diferencia.

7. Cobertura en la Ruta

En el diagnóstico se analizó que en la ruta en el kilómetro 9.225 había una caída estrepitosa en la señal hasta llegar a pasar el umbral de -3dB con respecto a la sensibilidad del receptor.

Es así que en el kilómetro 9.225 se tenía un nivel de señal de -123.2 dBm siendo que la sensibilidad del receptor es de -120.14 dBm , si realizamos la comparación de señales quedaría de la siguiente forma:

Primero se convirtió de μv a dBm , por el motivo que la radio móvil que se utilizó tiene $0.22 \mu\text{v}$ de sensibilidad.

$$\text{dbm} = 20 * \log_{10}(\mu\text{v}) - 10 \log_{10}(Z) - 90$$

$$\text{dbm} = 20 * \log_{10}(0.22) - 10 \log_{10}(50) - 90$$

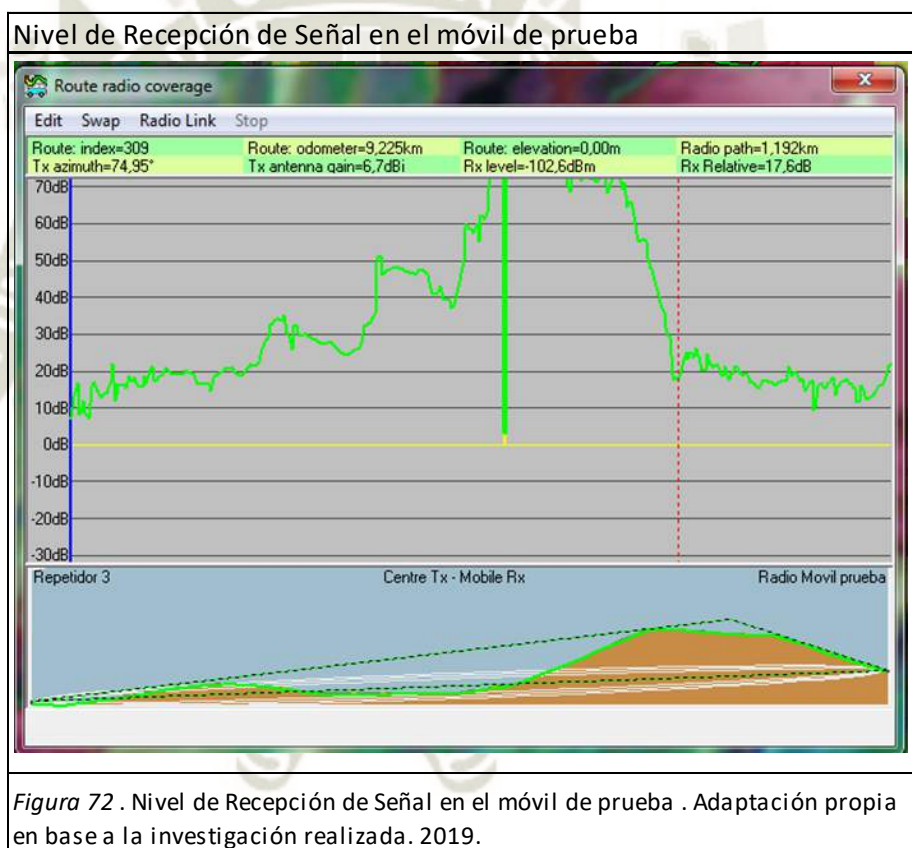
$$dbm = -120.14$$

$$Prx > Prs$$

$$-123.2 \text{ dBm} < -120.14 \text{ dBm}$$

Entonces la señal que llegaba al receptor era menor que la necesaria y no se cumplía la condición para un enlace factible.

Con los nuevos cambios en los parámetros ya vistos anteriormente y el agregado de las antenas y repetidora la cobertura en ruta quedaría de la siguiente manera detallada en la figura 72 y figura 73.



En la figura 72 se ve que la caída de señal en el kilómetro 9.225 ya no es más un inconveniente, en ese punto ahora se registra una intensidad de señal de - 102.6 dbm y si hacemos la comparación para la factibilidad de enlaces.

$$Prx > Prs$$

$$-102.6 \text{ dBm} > -120.14 \text{ dBm}$$

Ahora se cumple la condición para un enlace factible en este punto.

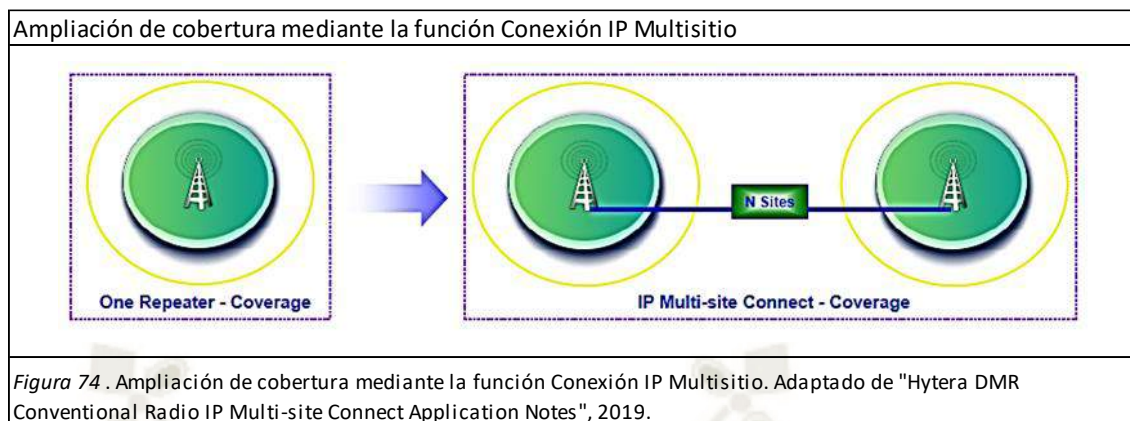
El otro punto que se ve en la gráfica donde la señal llega a 0 dB es por la razón de que el Repetidor se encuentra en la misma ruta y el móvil de prueba al llegar a este punto es como si no detectara nada porque el repetidor está en el mismo punto pero esto es un problema del software.

En la figura 73 se graficó la cobertura de la ruta, indicándose toda la ruta en color verde lo que indica que en todo el trayecto existe muy buena recepción de señal.



8. Posible Expansión de la Empresa

En el caso de una posible expansión de la empresa en el futuro, como por ejemplo el agregar una central más en la zona de Charcani, el sistema ya se encuentra preparado para albergar una repetidora con su antena, que vendría a ser el mismo modelo de antena y repetidora que se tomó en cuenta en las demás centrales. Usando la característica conexión IP multisitio del repetidor Hytera RD986 que como ya se mencionó permite interconectar repetidores en ubicaciones dispersas usando el protocolo TCP/IP extendiendo la red de comunicación. Esto está representado en la figura 74.



Esta función permite enlazar hasta 30 repetidores digitales incluyendo el master y los esclavos. En este caso se tendría un repetidor maestro y 5 repetidores trabajando como esclavos como se detalló en el diseño de mejora y habría un amplio margen para añadir repetidores, con el añadido de una central más se contabilizarían 6 repetidores esclavos y un maestro.

El protocolo DMR es transportado por el protocolo TCP/IP y un protocolo propiedad de Hytera en la capa de aplicación, esto sin afectar los servicios DMR de radios y repetidores.

8.1 Configuración Software de Programación Hytera

En cuanto a la programación de radios y repetidores se requiere el software de Hytera CPS. Al estar agregando un repetidor en modo esclavo, se debe poner especial atención a la configuración, a continuación se enumeran los pasos a tener en cuenta:

Paso 1: Configurar los parámetros del repetidor tales como frecuencia y código de color.

Paso 2: Configurar los parámetros de la conexión IP multisitio, asegurándose de colocar una dirección IP sin usar en la subred y esta IP debe estar en la misma subred que el repetidor maestro.

Paso 3: Configurar el mismo slot de operación que el repetidor maestro.

Paso 4: Habilitar la característica conexión IP multisitio analógica

8.2 Posible Ubicación

En la figura 75 se muestra una ubicación ficticia para la nueva posible central que sería la central 7, que también se ubicaría en los márgenes del río Chili tal como las otras centrales. Se muestra también su respectivo repetidor, el repetidor 6.

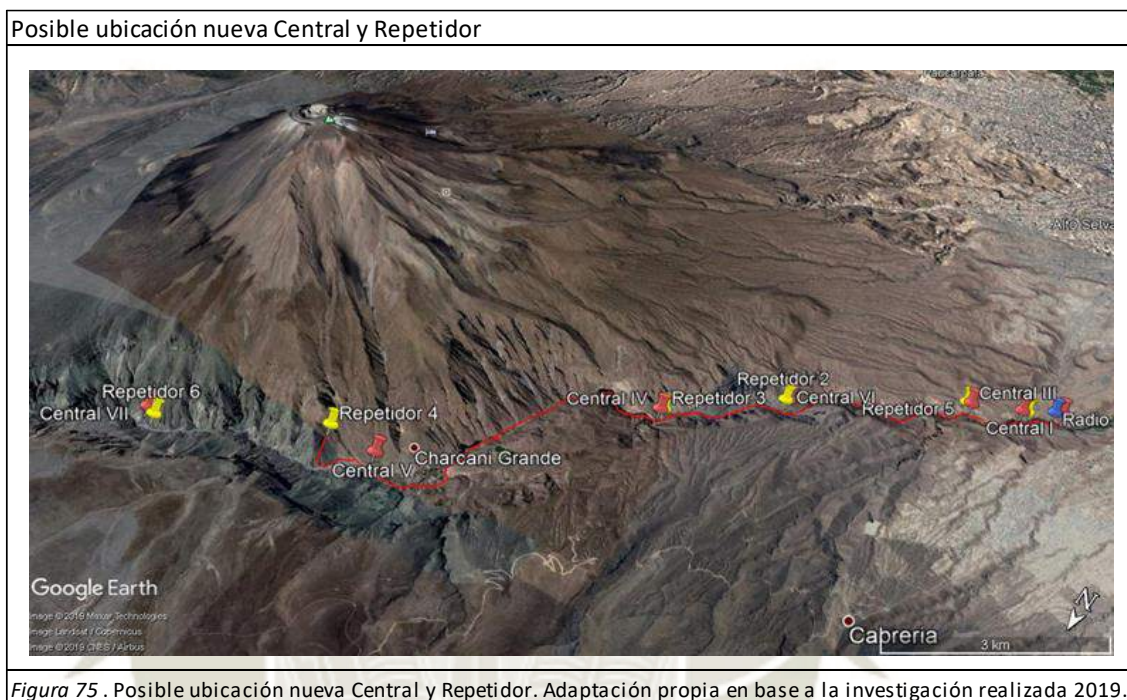


Figura 75 . Posible ubicación nueva Central y Repetidor. Adaptación propia en base a la investigación realizada 2019.

8.3 Configuración Radio Mobile

8.3.1 Configuración nuevo elemento del enlace

Primero se añadió los puntos Central VII y repetidor 6 tal como se puede ver en la figura 76.

Incorporación de nuevos elementos al sistema

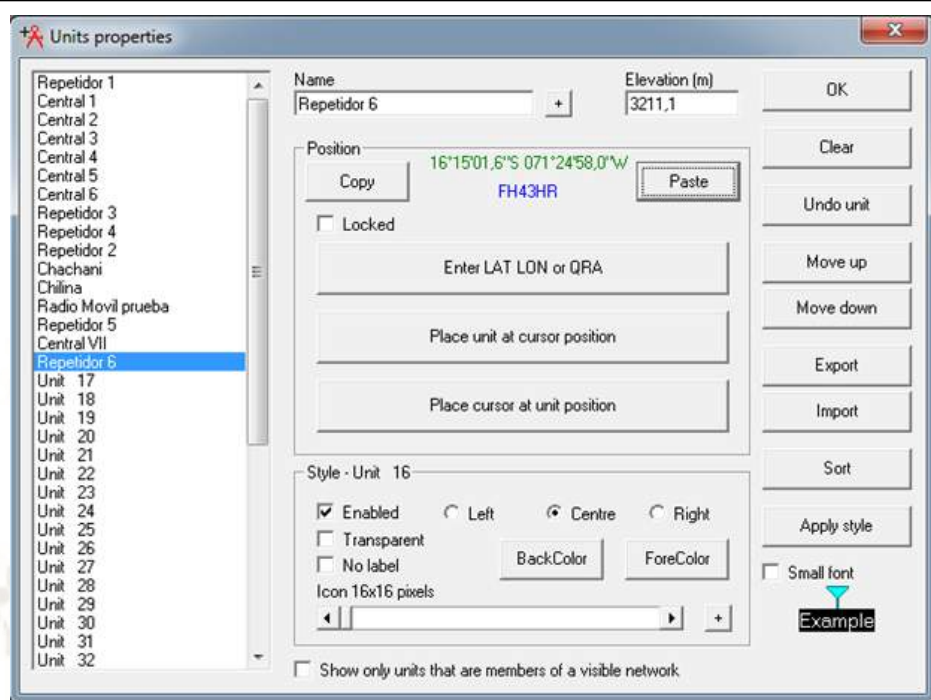


Figura 76 . Incorporación de nuevos elementos al sistema. Adaptación propia en base a la investigación realizada 2019.

8.3.2 Configuración Parámetros Central VII

Se configura igual que los otros elementos con nombre Central, corresponde a los valores ingresados para una radio portátil en una ubicación cualquiera de la central VII. En la figura 77 se incluyen los datos ingresados.

Configuración Parámetros Central VII

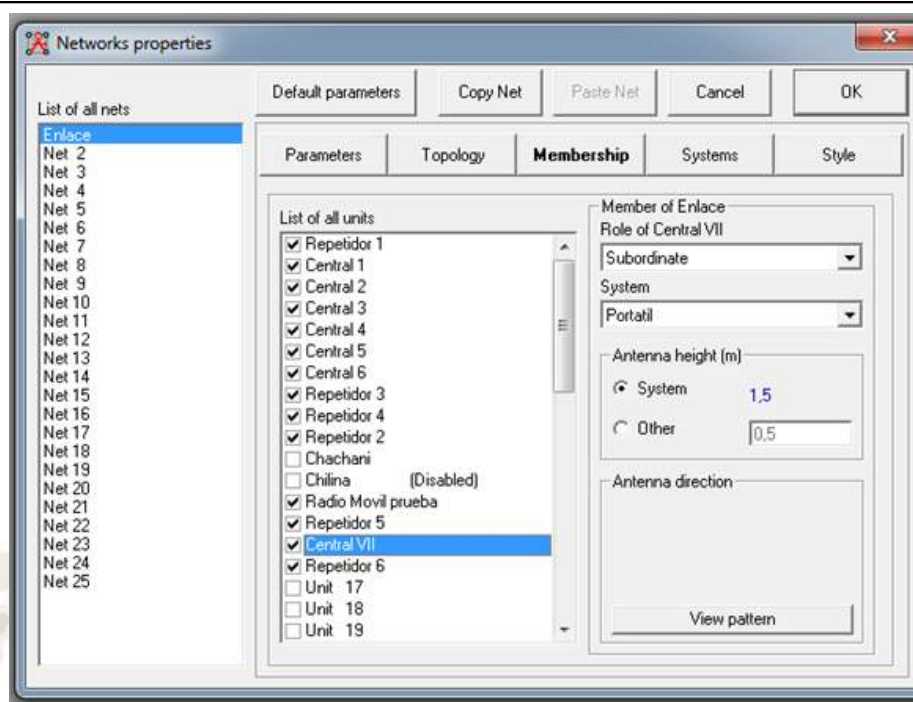


Figura 77. Configuración Parámetros Central VII. Adaptación propia en base a la investigación realizada 2019.

8.3.3 Configuración Parámetros Repetidor 6

Se configura igual que los otros elementos con nombre Repetidor, corresponde a los valores ingresados para el repetidor en la ubicación demarcada en la central VII. En la figura 78 se incluyen los datos ingresados.

Configuración Parámetros Repetidor 6

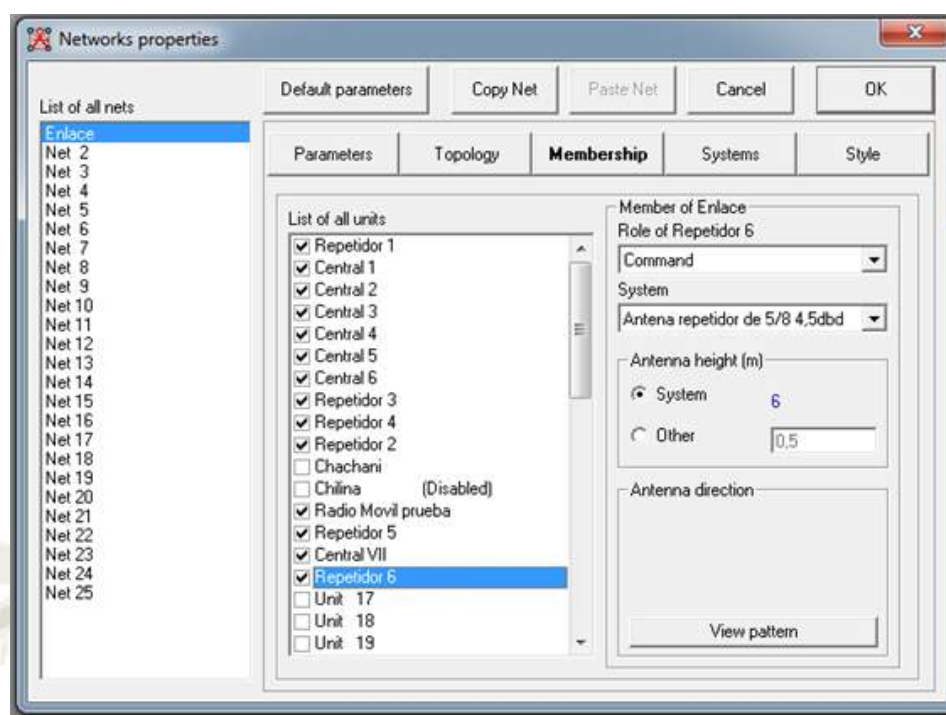


Figura 78 . Configuración Parámetros Repetidor 6. Adaptación propia en base a la investigación realizada 2019.

9. Inversión económica

Todos los elementos agregados al sistema en el Plan de mejora están expuestos en la tabla 23 con su respectivo costo y con el costo total.

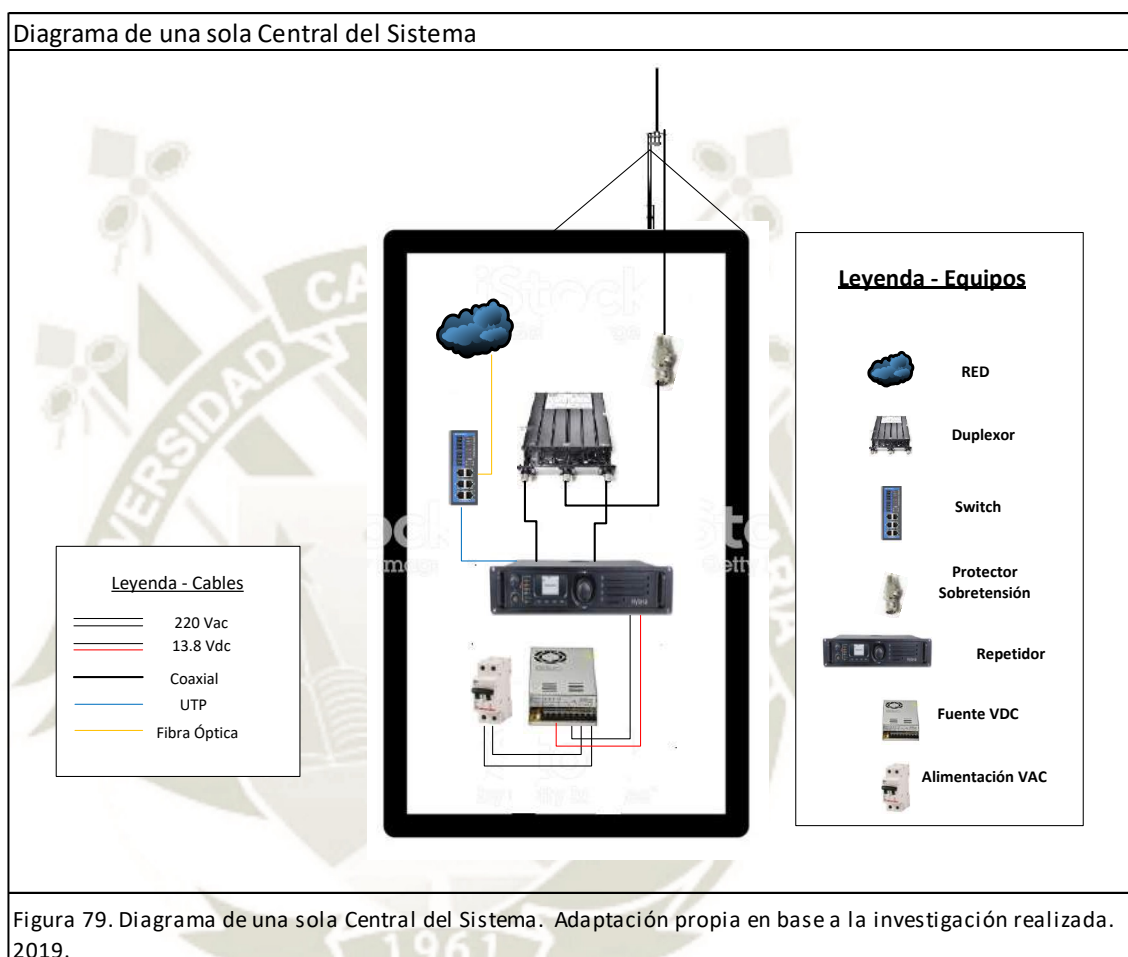
Tabla 23
Inversión económica total

Cantidad	Descripción	Costo Unidad (\$)	Costo Total (\$)
1	Repetidor RD 986 Hytera	2815	2815
1	Duplexor DT13	357	357
6	Kit de Instalación mástil	91	546
6	Antena para base/repetidor VHF 4.5 dbd	57,781	346,686
100 m	Cable RG-8	192,72	192,72
30	Conectores	3	90
6	Protector sobretensiones	7,85	47,1
Costo Total			4394,506

Nota. Inversión Económica Total. Adaptación propia en base a la investigación realizada.

10. Diagrama Nuevo del Sistema

En la figura 79 se detallaron los equipos y el tipo de cableado que se usó para interconectarlos, estos elementos fueron tomados en cuenta en cada una de las 6 centrales, excepto en la Central 2 porque esta no tiene una repetidora.



En la figura 80 se muestra de cómo estarán conformadas estas centrales que cuentan con Repetidoras y con su antena.

Diagrama del Sistema Completo de Repetidoras VHF - Charcani

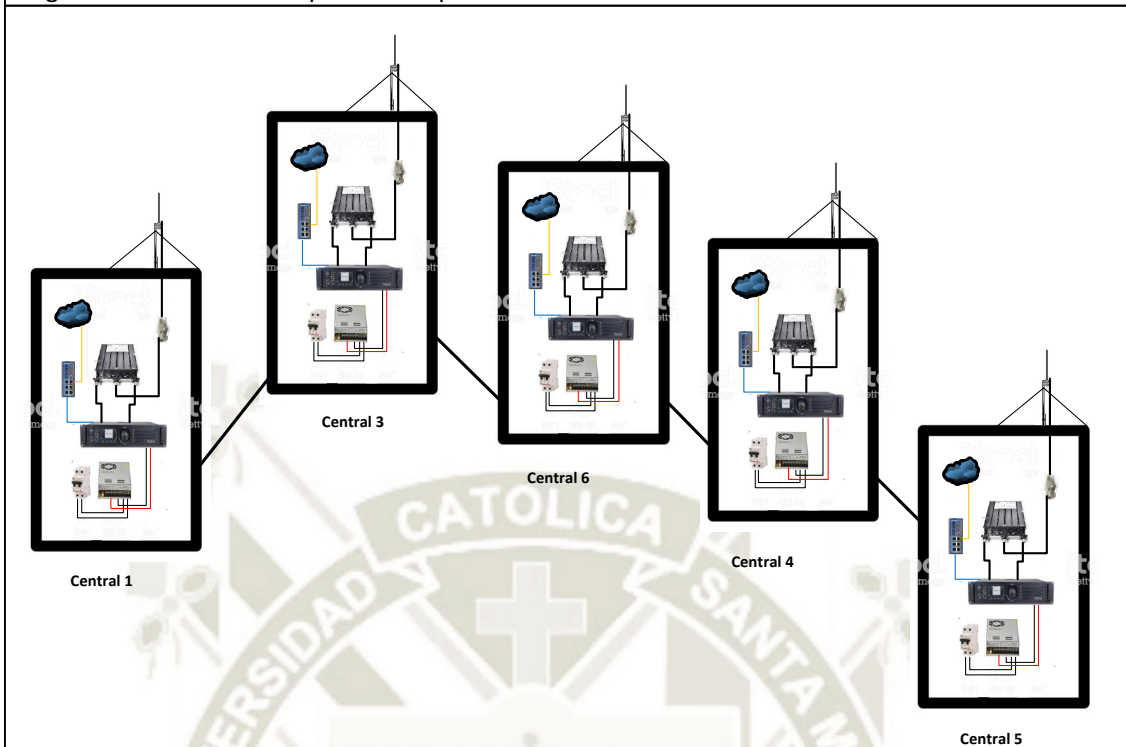


Figura 80. Diagrama del Sistema Completo de Repetidoras VHF - Charcani. Adaptación propia en base a la investigación realizada. 2019.

CONCLUSIONES

- Al diagnosticar la situación actual del sistema de radiocomunicaciones se concluyó que este era deficiente por la falta de cobertura en algunas áreas de Chilina y potencia de recepción de señal para las radios en un nivel inferior al recomendado por lo que se propuso diseñar mejoras en dicho sistema, por lo que la cobertura se amplió significativamente en todas las centrales de la zona de Charcani además de todo el trayecto de la ruta cubriendo ciertas zonas desde donde la comunicación no era posible por cuestiones del propio terreno o del sistema anterior. Finalmente se aprueba la hipótesis de investigación.
- Al analizar la cobertura en la ruta se encontró que era uno de los principales problemas a solucionar ya que no existía cobertura necesaria en algunos tramos del trayecto por lo que se debía asegurar una buena cobertura a lo largo del trayecto estando en una zona particularmente complicada geográficamente por lo que la herramienta Cobertura en Ruta de Radio Mobile contribuyó en gran medida a identificar específicamente las zonas críticas del trayecto para lo que se usó un elemento de prueba que fue una radio móvil para simular el comportamiento del enlace entre este elemento y el repetidor más cercano.
- Al analizar la cobertura de cada repetidora se encontró que en algunos casos el área de cobertura no abastecía para una recepción adecuada de señal para las radios por lo que la variación de la potencia se aplicó como medida para aumentar la cobertura y asegurar una cobertura mínima sin cambiar antenas pero al no lograr buenos resultados se recurrió al cambio de antenas de las repetidoras. Como se mencionó se incrementó la potencia de transmisión de los repetidores hasta casi su máximo y no se logró cubrir todas las centrales básicamente por el tipo de antena que tenían que no era la adecuada por estar prácticamente a la altura del suelo y generar muchas pérdidas.
- Mediante simulación y cálculos matemáticos se demostró que existían pérdidas en el sistema por la distancia, el tipo de antena y el cableado por lo tanto se decidió

emplear cálculos matemáticos y simulación por software para tener más herramientas y tener una idea más clara del comportamiento de cada enlace, por lo que cada repetidor se analizó por separado porque casi todas las centrales cuentan con un equipo de estas características y cuentan siempre con personal laborando las 24 horas del día por lo que cada central es independiente de las demás porque cada una tiene asignada una zona de cobertura. También se pudo comprobar que los valores obtenidos por el software son los mismos a los obtenidos mediante cálculos matemáticos.

- Al verificar a través de simulación y cálculos matemáticos la potencia de recepción en las radios portátiles se evidenció que en algunos casos la potencia con la que llegaba la señal al receptor no llegaba al umbral mínimo del equipo receptor. Analizar la potencia de recepción en los receptores que son las radios portátiles nos permite corroborar el desempeño del sistema en los usuarios finales que en este caso son los operarios, en consecuencia, resulta un parámetro primordial de ser considerado. Así mismo la recepción de los equipos empleados dependen de la sensibilidad que tengan las radios de fábrica, en este caso con la marca y tipo de radio utilizadas en la investigación permite tener un gran margen de potencia de recepción. El cálculo de la potencia de recepción que se realizó es muy cercano a la realidad porque se consideran factores que se presentan en la vida real como lo son obstrucciones y el tipo de terreno incluso si existe vegetación o condiciones adversas en ciudades como los edificios.
- Al analizar la viabilidad de los enlaces con su radio portátil se concluye que la característica de los repetidores llamada conexión IP multisitio se pudo aprovechar de una mejor manera en la ubicación de los repetidores usando la arquitectura específica para rutas o carreteras esto permitió alcanzar la viabilidad de los enlaces con una recepción de señal óptima para todos los casos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda cuando se tenga la disponibilidad económica adquirir un sistema de despacho para administrar de una mejor manera a los usuarios de todo el sistema aprovechando la tecnología DMR se tendría acceso a grabación y reproducción de voz, monitoreo remoto, posicionamiento GPS y otras bondades lo que posibilitaría un mejor control del uso de las radios por los usuarios.
- Brindar un manual sobre cómo usar los equipos de radiocomunicación de manera adecuada a todo el personal involucrado debido a que un mal uso de los equipos acorta su vida útil y la zona de Charcani al encontrarse alejada muchas veces no se puede acudir de manera inmediata para brindar soporte sobre el uso de los equipos y por sobretodo transmitir la idea de ser cuidadosos con el material de la empresa.
- Es recomendable contar siempre con un repetidor de respaldo ya programado y listo para entrar en funcionamiento en caso de que falle alguno de los ya instalados, de la misma manera con las radios portátiles, priorizando siempre que el personal en todo momento debe poder comunicarse por lo que se debe tener una respuesta pronto ante un problema que pueda ocurrir con los equipos.
- Se sugiere mantener la altura del mástil de la antena lo más baja posible para ahorrar en costos y reducir la contaminación visual en la zona. En este caso se puede aprovechar de la altura de los edificios donde están ubicadas las centrales para disminuir la altura del mástil.
- Se aconseja realizar pruebas de campo con todos los tipos de radios en ubicaciones con mucho tránsito de personal, que presenten obstáculos cercanos como por ejemplo en la sala de máquinas de cada central para corroborar que los equipos funcionen adecuadamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Allauca, L., & Guamán, M. (2010). *Estudio y Análisis de un Sistema de Comunicaciones con Equipos VHF y localización vehicular con Servicio de Mensajería*. Latacunga - Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Atalaya, Y., & Castro, R. (2016). *Diseño e Implementación de un sistema de Comunicación para la optimización del servicio de datos del centro poblado de Conchucos – Distrito de Pátapo*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Benoso, L., Padrón, A., Herrera, A., Prieto, R., Rosendo, J., & Calva, G. (2004). Modelo para predecir áreas de cobertura en sistemas de radiofrecuencia . *XIX Congreso Nacional de Instrumentación* (págs. 1-11). Mexico D.F: UNAM.
- Bernal, I. (2019). *RESEARCHGATE*. Obtenido de researchgate.net:
https://www.researchgate.net/publication/228384275_Revision_de_Conceptos_Basicos_de_Antenas_y_Propagacion
- Brown, I. (2017). *BASE NETWORK SETTINGS*. Obtenido de g3tvu.co.uk:
http://www.g3tvu.co.uk/Base_Network_Settings.htm
- Calle, A. (2014). *Análisis de la Aplicación Tecnológica DMR en la Prestación del Servicio de Telecomunicaciones al Banco Cooperativa Nacional en Guayaquil*. Guayaquil - Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil .
- Canales, L. (2011). *Diseño VHF de la Red Pastaza Alto para el Proyecto EHAS-PAMAFRO*. Lima: Pontificia Unversidad Catolica del Perú.
- Chapoñan, C., & Vidaurre, D. (2016). *Diseño de una red de Telemetría para supervisar la red Hidrometeorologica del Proyecto Especial Olmos Tinajones*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo .
- Data-Alliance . (2019). *Data-Alliance* . Obtenido de <http://es.data-alliance.net>: <http://es.data-alliance.net/antenas-dipolo-half-wave-quarter-wave-types/>
- Digi-Key Electronics. (2019). *DIGI- KEY*. Obtenido de digikey.com:
<https://www.digikey.com/es/product-highlight/a/amphenol-rf-division/cable-connectors#lowloss>
- Electronic Design. (2019). *ELECTRONIC DESIGN*. Obtenido de electronicdesign.com:
<https://www.electronicdesign.com/communications/fundamentals-communications-access-technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma>
- Electronics-Notes. (2019). *ELECTRONIC NOTES*. Obtenido de electronics-notes.com:
<https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/radio-signal-path-loss.php>

- Fabara, J., & R., V. (2012). *Estudio para la Migración del Sistema de Radiocomunicaciones VHF Analógico de la Empresa Eléctrica Quito a un Sistema Digital*. Quito- Ecuador: Escuela Politécnica Nacional .
- Federman: Tecnologías para el Cambio Climático. (2018). *FEDERMAN*. Obtenido de federman.com.co: <https://federman.com.co/radio-comunicacion-digital>
- Gallardo, S. (2015). *Elementos de los Sistemas de Telecomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.
- García, J., & Morales, G. (2012). *Instalaciones de Radiocomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.
- Ham Radio School . (2018). *HAM RADIO SCHOOL*. Obtenido de hamradioschool.com: <https://hamradioschool.com/coaxial-cable-use/>
- Henderson, B. (2011). *Radio Mobile Radio Propagation and Radio Coverage Computer Simulation Program*. Calgary .
- Herrera, E. (2004). *Introducción a las Telecomunicaciones Modernas*. Ciudad de México : Limusa S.A.
- Hufford, G., Longley, A., & W., K. (1982). *A Guide to the use of the its Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode*. Boulder, Colorado: U.S Department of Commerce.
- Huidobro, J. (2006). *Redes y Servicios de Telecomunicaciones* . Madrid : Editorial Paraninfo .
- Huidobro, J. (2013). Antenas de Telecomunicaciones. *Revista Digital de Acta* .
- HYTERA. (2017). *DMR Conventional Radio IP Multi-site Connect Application Notes* .
- Hytera. (2019). *HYTERA*. Obtenido de hytera.la: <https://hytera.la/productos/rd986>
- HYTERA. (2019). *Hytera Professional DMR Products*.
- Lopez, J. (2009). *Modernización y Ampliación del sistema de telecomunicaciones para empresas generadoras de energía*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Millán, J. (2014). *Configuración de Infraestructuras de Sistemas de Telecomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.
- Mosquera, J. (2012). *Rediseño de un Sistema de Radiocomunicaciones VHF, para aprovechar las ventajas de una tecnología digital*. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional .
- Naseem, Z., Nausheen, I., & Mirza, Z. (2018). Propagation Models for Wireless Communication System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 237-241.
- Pérez, C., Samanillo, J., & Casanueva, A. (2007). *Compilación de Apuntes de Sistema de Telecomunicación*. Santander: Universidad de Cantabria.

- RadiocomStore. (2019). *RADIOCOMSTORE*. Obtenido de radiocomstore.fr:
<https://www.radiocomstore.fr/catalogue/talkie-walkie-pro/hytera/gamme-hyteta-x1/hytera-x1e.html>
- Ramos, F. (2019). *Radioenlaces Tecnologías Inalámbricas y Diseño de Radioenlaces* . Obtenido de radioenlaces.es: <http://www.radioenlaces.es/articulos/sensibilidad-del-equipo-receptor/>
- Rosado, A. (2009). *Redes de Comunicación: Topología y Enlaces* . Valencia .
- SAF Tehnika. (2002). *An Introduction to Microwave Radio Link Design*.
- Sevilla, D. (2017). *Sistema de Radiocomunicaciones para los Centros de Control del Parque Nacional Llanganates*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Madrid: Pearson Education.
- Tomasi , W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electronicas*. Mexico : Pearson Educación.



ANEXOS

A. Hoja de Datos Repetidora Hytera RD986

Especificaciones

General		
Rango de Frecuencia		UHF: 400-470MHz; UHF2: 450-520MHz UHF3: 350-400MHz; VHF: 136-174MHz
Capacidad de canales		16
Espaciamiento de canal		12.5KHz/20KHz/25KHz
Voltaje de operación		13.6V ± 15%
Consumo de corriente	Reposo	<0.8A
	Transmisión	<11A
Estabilidad de frecuencia		± 0.5ppm
Impedancia de antena		50Ω
Ciclo de trabajo		100%
Dimensiones (Al x An x P)		88 X 483 X 366 mm
Peso		8.5Kg
Display LCD		220*176 píxeles , 262000 colores 2.0" , 4 líneas
Sensibilidad	Análogo	0.3μ V (12dB SINAD) @ 22μ V (TPICA) (12dB SINAD) @ 4μ V (20dB SINAD)
	Digital	0.3μV/BER5%
Selectividad de Canal Adyacente		65dB @ 12.5KHz ; 75dB @ 20/25KHz 65dB @ 12.5KHz ; 75dB @ 20/25KHz
Intermodulación		75dB @ 12.5/20/25KHz 70dB @ 12.5/20/25KHz
Rechazo de espúrlas		80dB @ 12.5/20/25KHz 80dB @ 12.5/20/25KHz
Bloqueo		90dB 90dB
Zumbido y Ruido		40dB @ 12.5KHz 43dB @ 20KHz 45dB @ 25KHz
Potencia de salida de audio		0.5W
Distorsión de audio		≤ 3%
Respuesta de audio		+1 ~ -3dB
Emisión de espúrlas conducidas		<-57dBm

Transmisor	
Potencia de salida de RF	5.50W
Modulación FM	11K0F3E @ 12.5KHz; 14K0F3E @ 20KHz; 16K0F3E @ 25KHz
Modulación digital 4FSK	12.5KHz Solo datos: 7K60F3X; 12.5KHz Datos y Voz: 7K60F3XW
Emisión Conducida/Radiada	-36dBm <1GHz; -30dBm >1GHz
Límites de modulación	± 2.5KHz @ 12.5KHz; ± 4.0KHz @ 20KHz; ± 5.0KHz @ 25KHz
Zumbido y ruido FM	40dB @ 12.5KHz; 43dB @ 20KHz; 45dB @ 25KHz
Potencia de canal adyacente	60dB @ 12.5KHz; 70dB @ 20/25KHz
Respuesta de audio	+1 ~ -3dB
Distorsión de audio	≤ 3%
Tipo de codificador de voz digital	AMBE++ o SELP
Protocolo digital	ETSI-TS102 361-1,-2,-3

Especificaciones medioambientales	
Temperatura de operación	-30°C ~ +60°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C ~ +85°C

Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso debido al desarrollo continuo.

Accesorios opcionales

Microfono de mano SM16A1	Microfono de escritorio SM10A1	Kit para instalación de duplexor interno (para DT11-DT17) 8RK16	Fuente de Alimentación PS20002	Soporte (2U) (black) 8RK12	Soporte (2U) (grey) 8RK14	Cable de poder (10A 12AWG) PWC11	Cable de programación 10 pins (USB) PC37	Cable de datos DB26 (USB) Pcd0
			Duplexor (Frecuencia: 380-470MHz; esp. diametro RX-TX: 5-13MHz) DT11 Duplexor (Frecuencia: 160-174MHz; esp. diametro RX-TX: 5MHz) DT12 Duplexor (Frecuencia: 148-160MHz; esp. diametro RX-TX: 5MHz) DT13 Duplexor (Frecuencia: 336-370MHz; esp. diametro RX-TX: 8-13MHz) Dt14 Duplexor (Frecuencia: 136-148MHz; esp. diametro RX-TX: 5MHz) DT15 Duplexor (Frecuencia: 440-480MHz; esp. diametro RX-TX: 5MHz) DT16 Duplexor (Frecuencia: 480-512MHz; esp. diametro RX-TX: 5MHz) DT17					
Antena omnidireccional	Microfono de mano (p/67) SM16A2	Cable de datos Back-to-Back PC29						

Las imágenes anteriores son de referencia y pueden diferir de los productos reales.



Hytera Communications Corporation Limited

Address: Hytera Tower, Hi-Tech Industrial Park North, Bei huan Rd.,

Nanhan District, Shenzhen, China

Tel: +86-755-26972999 Fax: +86-755-8613 7139 Post: 518057

Http: //www.hytera.com Stock Code: 002583.SZ



Hytera retains right to change the product design and specification. Should any printing mistake occur, Hytera doesn't bear relevant responsibility. Little difference between real product and product indicated by printing materials will occur by printing reason.

Hytera are registered trademarks of Hytera Communications Co., Ltd.

© 2013 Hytera Communications Co., Ltd. All Rights Reserved.

V-ES01090910AC

B. Hoja de Datos Radio Móvil Hytera MD786

Especificaciones

General	
Rango de Frecuencias	UHF1: 400-470MHz; UHF2: 450-520MHz UHF3: 350-400MHz; UHF5: 804-941MHz* VHF: 136-174MHz
Capacidad de Canales	1024
Capacidad de Zonas	64 (Cada una con 16 canales)
Espaciamiento de Canales	12.5 KHz / 20 KHz / 25 KHz
Voltaje de Operación	13.6 V $\pm$ 15%
Consumo de Corriente	Reposo
	< 0.6A
Recepción	Recepción
	< 2.0A
Transmisión	Transmisión
	3W 25W 45W/50W < 3A < 8A < 13A
Estabilidad de Frecuencia	$\pm$ 1.5ppm
Impedancia de Antena	50 Ω
Dimensiones (Al x An x P)	60 x 174 x 200 mm
Peso	1.7kg
Pantalla LCD	220 x 176 píxeles, 262000 colores, 20°, 4 líneas
Sensibilidad	Análogo
	0.3 μ V (12dB SINAD), 0.22 μ V (typical (12dB SINAD)) 0.4 μ V (codificación)
Digital	Digital
	0.3 μ V / BER9%
Selectividad	Selección
	65dB @ 12.5KHz / 75dB @ 20/25KHz
ETSI	60dB @ 12.5KHz / 70dB @ 20/25KHz
Intermodulación	75dB @ 12.5/20/25KHz
ETSI	70dB @ 12.5/20/25KHz
Rechazo de Espurias	75dB @ 12.5/20/25KHz
ETSI	70dB @ 12.5/20/25KHz
Bloqueo	90dB
ETSI	84dB
Zumbido y Ruido	45dB @ 12.5KHz, 43dB @ 20KHz 45dB @ 25KHz
Potencia nominal de audio	Interna (a 20 ohm de carga) 3W Externa (a 8 ohm de carga) 7.5W
Máx. potencia de audio	Interna (a 20 ohm de carga) 8W Externa (a 8 ohm de carga) 20W
Distorsión de Audio	5.3%
Respuesta de Audio	+1 ~ -3dB
Emisión de Espurias Conducidas	< -57dBm

Transmisor	
Potencia de Salida RF	Potencia Baja UHF1/UHF2/UHF3: 5-25W VHF: 5-25W Potencia Alta UHF1/UHF2/UHF3: 5-49W/UHF5*: 5-39W VHF: 5-50W
Modulación FM	11K0F3E @ 12.5KHz, 14K0F3E @ 20KHz 16K0F3E @ 25KHz
Modulación Digital 4FSK	12.9KHz Sdlo Durac: 7N60F3D 12.9KHz Durac y Voz: 7N60F5W
Emisión Conducida Radiada	36dBm $\pm$ 1GHz, 30dBm $\pm$ 1GHz
Unidades de Modulación	$\pm$ 2.5KHz @ 12.5KHz; $\pm$ 4.0KHz @ 20KHz; $\pm$ 5.0KHz @ 25KHz
Zumbido y Ruido FM	45dB @ 12.9KHz, 43dB @ 20KHz; 45dB @ 25KHz
Potencia de Canal Adjacente	60dB @ 12.9KHz, 70dB @ 20/25KHz
Respuesta de Audio	+1 ~ -3dB
Distorsión de Audio	5.3%
Tipo de Codificador de Voz Digital	AMBE++0.5ELP
Protocolo Digital	ETSI-TS102.361-1, 2, 3
Temperatura de Operación	-30°C ~ +60°C
Temperatura de Almacenamiento	-40°C ~ +85°C
ESD	IEC 61000-4-2 (nivel 4) $\pm$ 8kV (contacto) $\pm$ 15kV (air @)
Estándares Militares Americanos	MIL-STD-883C CDE/FIG
Inmersión de Polvo y Agua	Estándar IP54
Humedad	MIL-STD-883C CDE/FIG
Choques y Vibraciones	MIL-STD-883C CDE/FIG

GPS	
GPS (Para MD786Q)	GPS
TTFF (Time to first fix) frío en frío	< 1 minuto
TTFF (Time to first fix) en caliente	< 10 segundos
Precisión Horizontal	< 10 metros

* Esta frecuencia está disponible únicamente en modo DMR Trunking.
Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso debido al desarrollo continuo.

C. Hoja de Datos Radio Portátil HYTERA X1e DMR

Technical Data

General data	
Frequency range	VHF: 136 - 174 MHz UHF: 400 - 470 MHz
Supported operating modes	- DMR Tier II - In acc. with ETSI TS 102 361-1/2/3 - Simulcast - DMR Tier III - In acc. with ETSI TS 102 361-1/2/3/4 - Analog: MPT 1327
Channel capacity	1024
Zone capacity	3
Channel spacing	12.5/20/25 kHz (analog) 12.5 kHz (digital)
Operating voltage	7.4V (nominal)
Standard battery	1100mAh (lithium-ion battery)
Battery service life (analog) (5-5-90 operating cycle, high transmitting power, standard battery)	approx. 8 hours
Battery service life (digital) (5-5-90 operating cycle, high transmitting power, standard battery)	approx. 10 hours
Frequency stability	± 1.5 ppm
Antenna impedance	50 Ω
Dimensions (H x W x D) (with standard battery, without antenna)	110.5 x 57 x 18 mm
Weight (with antenna and standard battery)	200 g

Transmitter	
Transmitting power	VHF: 1/5 W UHF: 1/4 W
Modulation	11 KHz/E at 12.5 kHz 14 KHz/E at 20 kHz 16 KHz/E at 25 kHz
4FSK digital modulation	12.5 kHz (data only): 7K60F7XD 12.5 kHz (data and voice): 7K60F7XW
Interfering signals and harmonics	-36 dBm (≤ 1 GHz) -30 dBm (> 1 GHz)
Modulation limiting	± 2.5 kHz at 12.5 kHz ± 4.0 kHz at 20 kHz ± 5.0 kHz at 25 kHz
Harm and noise	40 dB at 12.5 kHz 43 dB at 20 kHz 45 dB at 25 kHz
Adjacent channel selectivity	60 dB at 12.5 kHz 70 dB at 20/25 kHz
Audio sensitivity	+1 dB at -3 dB
Nominal audio distortion	≤ 3%
Digital vocoder type	AMBE ++

Receiver	
Sensitivity (analog)	0.3 μV (12 dB SINAD) 0.22 μV (typical) (12 dB SINAD) 0.4 μV (20 dB SINAD)
Sensitivity (digital)	0.3 μV / BER 5 %
Adjacent channel selectivity	60 dB at 12.5 kHz / 70 dB at 20/25 kHz 60 dB at 12.5 kHz / 70 dB at 20/25 kHz
Intermodulation	70 dB at 12.5 / 20/25 kHz ETSI 65 dB at 12.5 / 20/25 kHz
Spurious response rejection	70 dB at 12.5 / 20/25 kHz TIA-603 70 dB at 12.5 / 20/25 kHz
Hum and noise	40 dB at 12.5 kHz 43 dB at 20 kHz 45 dB at 25 kHz
Nominal audio distortion	≤ 3%
Audio sensitivity	+1 dB at -3 dB
Conducted spurious emission	≤ -57 dBm

All technical indications were tested according to the corresponding standards. Subject to change on the basis of continuous development.

D. Hoja de Datos Duplexor Sinclair Q2220E



Duplexers
Low Band, Aviation, and VHF Duplexers
Q2220 Series

Q2220E Duplexer, Q-Circuit, Res-Lok, 4 cavity, rack mount, 138-174 MHz

- Four cavity duplexer with 70 dB of isolation
- Only 1.5 dB insertion loss at 500 KHz separation
- Isolation of 80 dB at 3 MHz spacing typical

Sinclair developed the Q2220E design coupled with our Res-Lok™ modular construction resulting in an extremely versatile duplexer offering exceptional performance. The Q2220E design provides a quasi-bandpass response, resulting in suppression of spurious and sideband transmitter noise between and adjacent to the duplex frequencies. Coupled with carefully temperature compensated components this series of duplexers ensures performance stability at very low frequency separations and insertion loss values.



Application Notes

- Res-Lok™ modular construction offers a variety of mounting options. The multi position brackets supplied with each duplexer allow easy rack, wall or floor mounting to suit system and equipment room limitations. A variety of system-specific configurations is available in the 138-174 MHz frequency range.



Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
Telephone	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
E-mail	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com
Product Specification Sheet		Q2220E	Issue: 106	Dated: 08-10-13
Customer Tech Manual	005658	Sincleir's commitment to product leadership may result in improvement or change to this product Copyright © Sincleir Technologies		

Page 1/2

SINCLAIR
Superior then, Superior now.
A Norsat Company  Norsat
International Inc.

Duplexers
Low Band, Aviation, and VHF Duplexers
Q2220 Series

Electrical Specifications

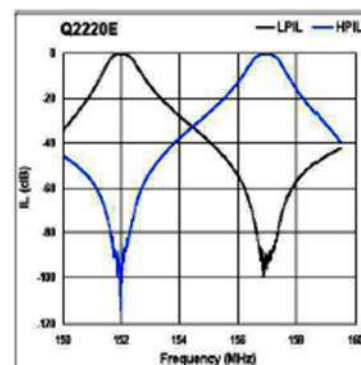
Frequency Range	MHz	138 to 174
Number of cavities Tx Side		2
Number of Cavities Rx Side		2
Input VSWR (max)		1.5:1
Impedance	Ω	50
Average Power Input (max)	W	350
Input Connectors		N-Female
Output Connectors		N-Female
Frequency separation (min)	MHz	0.5
Insertion loss (max) Tx to Ant	dB	1.5
Isolation (min)	dB	70

Mechanical Specifications

Depth	in (mm)	30.3 (770)
Length/ Height	in (mm)	4.17 (106)
Width	in (mm)	19 (483)
Weight	lbs (kg)	28 (12.71)
Finish		chromate conversion
Actual Shipping weight	lbs (kg)	33 (14.98)
Shipping dimensions	in (mm)	19.25x7x30.5 (489x178x775)
Mounting configurations		19 inch rack

Environmental Specifications

Temperature range	*F (*C)	-40 to +140 (-40 to +60)
-------------------	---------	--------------------------



E. Hoja de Datos Antena Radio Móvil MHB5800

MOBILE ANTENNAS
Base Loaded - 3dB Gain VHF & UHF Antennas



MHB, MUF Series

Base Loaded Field Tunable 3dB Gain Antennas

These 5/8 Wave antennas utilize a chrome coil design with the enhancement of a heavy-duty tapered rod for maximum durability in tough environments.

Features

- The matching coil is supported by a low loss coil for superior performance in heavy-duty applications
- The tapered coil housing design enhances appearance and prevents moisture from entering the load
- Mates with all 1-1/8"-18 thread mounts, including 3/4" mounts



MHBDCS800
MHB5800

STANDARD CONFIGURATION

Model*	Optional Spring Available*	Recommended Mounts (Sold Separately)
MHB5800132	No	Mates with 1-1/8"-18 thread mounts, including 3/4" mounts
MHBDCS800(S)**	Yes	Mates with 1-1/8"-18 thread mounts, including 3/4" mounts
MHB5800(S)	Yes	Mates with 1-1/8"-18 thread mounts, including 3/4" mounts
MUF4503(S)	Yes	Mates with 1-1/8"-18 thread mounts, including 3/4" mounts

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Model*	Frequency Range	Gain	VSWR	Maximum Power	Nominal Impedance	Antenna Type
MHB5800132	132-174 MHz	3 dB	< 1.5:1	200 watts	50 ohms	Base loaded 5/8 Wave
MHBDCS800(S)**	144-174 MHz	3 dB	< 1.5:1	200 watts	50 ohms	Base loaded 5/8 Wave
MHB5800(S)	144-174 MHz	3 dB	< 1.5:1	200 watts	50 ohms	Base loaded 5/8 Wave
MUF4503(S)	450-470 MHz	3 dB	< 1.5:1	200 watts	50 ohms	Base loaded 5/8 Wave

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Model*	Approximate Whip Length at Lowest Frequency	Temperature Range	Radiator	Spring Material	Housing Material
MHB5800132	58"	-40°C to +85°C	17-7 PH SS	N/A	Black UV-Stable Polymer
MHBDCS800(S)**	52"	-40°C to +85°C	17-7 PH SS	SST	Black UV-Stable Polymer
MHB5800(S)	52"	-40°C to +85°C	17-7 PH SS	SST	Black UV-Stable Polymer
MUF4503(S)	16"	-40°C to +85°C	17-7 PH SS	SST	Black UV-Stable Polymer

*To select spring option, add suffix "S" to part number. Example: MUF4503S

PCTEL, Inc. WEB: www.antenna.com

F. Hoja de Datos Antena VHF a 5/8 de onda TRAM BROWNING

1487

Fiberglass VHF Base/Repeater Antenna. 1 section. 5/8 wave

1487

TRAM®



Manufacturer	TRAM
Frequency range	134-184 MHz (Tunable)
Gain (dB)	4.5
Maximum Input Power (Watts)	200 Watts
Bandwidth >1.5 VSWR	5 MHz
Connector	UHF Female
Length	5' 7"
Rated Wind Velocity (MPH)	135 MPH
Mount Hardware Included	Yes
Weight	2 lbs 8 oz
Warranty	1 Year

G. Hoja de Datos Cable Coaxial RG-58

RG58 Coaxial Cable

pro-POWER



RoHS
Compliant

Product Description:

Application	For communication and signal control systems
Multi-construction	1

Cable Construction:

Conductor	Tinned Copper
1 Singles	
Construction	T0.18 ± 0.008 × 19
Standard Dia.(mm)	0.9
Insulation Layer	Solid PE
Thickness (mm)	1.03
Insulation Dia.(±0.15mm)	2.95
Insulation Colour	Natural
Braiding Layer	Tinned Copper
Construction (Standard)	T0.12 ± 0.008 × 112
Braiding Coverage	94%
Jacket	LSZH
Thickness (mm)	0.65
Dia.(±0.15mm)	4.95
Jacket Colour	Black
Packaging	100m/Cardboard Reel

Electrical Characteristics:

Max. Conductor DC Resistance at 20°C (Ω/km)	39.2
Min. Insulation DC Resistance at 20°C (MΩ × km)	>500
Operating Temperature Range	-30°C to +80°C
Rated Voltage(V)	1,900V _{RMS}
Capacitance (pF/m)	100 ± 5
Velocity Ratio (%)	66
Impedance (Ω)	50 ± 3
Attenuation at 20°C (dB/100m) (±8%)	
100MHz	21
200 MHz	31
1,000MHz	76
Flame Retardancy	IEC 60332-1, UL VW-1

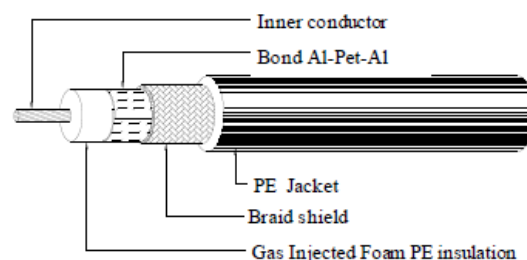
www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com
www.cpc.co.uk

pro-POWER

H. Hoja de Datos Cable Coaxial RG-8

Coaxial Cable RG8/U

pro-POWER



Electrical Characteristics:

Max. Conductor DC Resistance at 20°C (Ω/Km)	< 4.6
Min. Insulation DC Resistance at 20°C (MΩ × Km)	> 500
Operating Temperature (°C)	-40 to +70
Rated Voltage (V)	600V AC
Breakdown voltage (V)	2,600V DC
Capacitance (pF/m)	78
Velocity ratio (%)	85
Impedance (Ω)	50 ±2
Min. Bending radius static	100mm
Attenuation at 20°C (- dB/100m)(±10%)	
140MHz	6
350MHz	9
900MHz	15
1,800MHz	21
1,900MHz	22

Part Number Table

Description	Part Number
Cable, Coaxial, 100m, Black, RG8	PP000711

Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. pro-POWER is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2012.

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com
www.cpc.co.uk

pro-POWER

I. Viabilidad de Enlace

2.2 Calculate Free Space Loss (FSL)

Before determine if a link is feasible, at first the Free Space Loss must be calculated.

Free Space Loss is the expected attenuation of a signal as it travels away from the transmitting device. When a signal radiates from the antenna, it spreads out over an increasingly larger distance. As the area covered increases, the power density (or the amount of power per unit area) decreases. This effectively weakens the radio signal.

$$FSL = 32.44 + 20 \lg F + 20 \lg D$$

Where:

F= frequency, MHz

D= distance between link endpoints, km



2.3 Calculate Link Budget

Receiver Sensitivity (Rx)

The minimum RF signal power level required at the input of a receiver for certain performance (e.g. BER).

EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)

The antenna transmitted power. Equal to the transmitted output power minus cable loss plus the transmitting

antenna gain.

P_{out} = Output power of transmitted in dBm

C_t = Transmitter cable attenuation in dB

G_t = Transmitting antenna gain in dBi

G_r = Receiving antenna gain in dBi

FSL = Path loss in dB

C_r = Receiver cable attenuation is dB

S_i = Received power level at receiver input in dBm

P_s = Receiver sensitivity is dBm

$S_i = P_{out} - C_t + G_t - FSL + G_r - C_r$

$EIRP = P_{out} - C_t + G_t$

An Introduction to Microwave Radio Link Design
© SAF Tehnika A/S 2002



Link Budget Calculation

$$EIRP = P_{out} - C_t + G_t$$

$$FSL = 32.4 + 20 \times \log F(\text{MHz}) + 20 \times \log R(\text{Km})$$

$$S_i = EIRP - FSL + G_r - C_r$$

The received signal power should be above the sensitivity threshold.

Link Feasibility Formula

To determine if a link is feasible, compare the calculated Receive Signal Level (S_i) with the Receiver Sensitivity Threshold.

The link is theoretically feasible if

$$S_i \geq R_x$$

If the Receive Signal Level is greater than or equal to the Receiver Sensitivity Threshold then the link may be feasible since the signal should be strong enough to be successfully interpreted by the receiver.

