

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACES DIGITALES DE BANDA ANCHA PARA MEJORAR EL ACCESO A LOS SERVICIOS DE TELE-EDUCACIÓN DIGITAL EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES DEL DISTRITO DE TORATA, PROVINCIA MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA, AÑO 2022”

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. FREDDY FERNANDO APAZA CUTIPA

Bach. JAVIER RAMOS CUAYLA

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACES DIGITALES DE BANDA ANCHA PARA MEJORAR EL ACCESO A LOS SERVICIOS DE TELE-EDUCACIÓN DIGITAL EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES DEL DISTRITO DE TORATA, PROVINCIA MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA, AÑO 2022”

Tesis sustentada y aprobada el 08 de junio de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA

SECRETARIO : Mtro. HERACLIO HENRY GÓMEZ DEL CARPIO

VOCAL : Mtra. MARÍA ELENA VILDOZO ZAMBRANO

ASESOR : Mag. ANÍBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Freddy Fernando Apaza Cutipa, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N° 04435930.

Yo Javier Ramos Cuayla, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N° 04432023.

Declaro bajo Juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:

“Diseño de un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha para mejorar el acceso a los servicios de tele-educación digital en las instituciones Educativas rurales del Distrito de Torata, Provincia Mariscal Nieto, Región Moquegua, año 2022”.

La misma que presentamos para optar:

El Título Profesional de ingeniero Electrónico

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a la Universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera Manual del plan e informe de investigación ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 08 de junio 2022



Freddy Fernando Apaza Cutipa
DNI: 04435830



Javier Ramos Cuayla
DNI: 04432023

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Mario y Juana, por darme siempre su apoyo, diciéndome estudia, se alguien en la vida, alguien de bien y que para eso uno mismo se tiene que esforzar, pasando obstáculos que se presentan; obteniendo al final un resultado bueno que es ser un profesional. A mi esposa Rosana e hijos, quienes son mi fortaleza, para vencer los obstáculos que se presentan en mi vida.

Bach. Freddy Fernando Apaza Cutipa

DEDICATORIA

A mi esposa e hija María y Roció porque son los motivos de mi superación en mi vida.

A mis Padres Apolinar y Senovia, por aconsejarme siempre que la formación educativa es una meta para superarnos en la vida.

Bach. Javier Ramos Cuayla

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, darle gracias a Dios, por darme una familia tan linda como son mi esposa e hijos, quienes son el motivo de mi superación.

Agradecer a mis Padres, por inculcar valores positivos en mi persona, gracias a ello soy un hombre de bien.

Agradecer a Dios por cuidar de mi familia en los momentos difíciles que me tocó vivir gracias Dios.

Agradecer a mis Padres por todo su apoyo y porque siempre están presentes, gracias porque siempre serán un ejemplo para mí.

Bach. Freddy Fernando Apaza Cutipa

Bach. Javier Ramos Cuayla

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
2. CAPITULO II: MARCO TEORICO	6
2.1. Antecedentes del Estudio.....	6
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Fundamentos de la Radiocomunicación.....	9
2.2.1.1 Estructura de un radioenlace.....	10
2.2.1.2 Ventajas e desventajas de los radioenlaces.....	11
2.2.2 Modelo de propagación para radioenlaces con visibilidad directa (LOS).....	12
2.2.2.1 Zona de Fresnel.....	12
2.2.2.2 Parámetros del radioenlace.....	13
2.2.2.3 Cálculo del Enlace.....	17
2.2.3 Normativa sobre radio enlaces en el Perú.....	18
2.2.3.1 Plan Nacional de Atribución de Frecuencias	18
2.2.3.2 Bandas de frecuencias para aplicaciones ICM	19
2.2.3.3 Límites máximos permisibles de radiaciones.....	19

2.2.4	Estándares de transmisión IEEE 802.11	20
2.3.	Definición de términos	22
3.	CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	23
3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	23
3.2.	Muestra del estudio	23
3.3.	Operacionalización de variables	23
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	24
3.4.1	Técnicas de recolección de los datos.	24
3.4.2.	Instrumentos para la recolección de los datos	25
3.5.	Procesamiento y análisis de datos	26
3.5.1.	Recopilación de los datos	26
3.5.2.	Preparación de datos.....	26
3.5.3.	Introducción de datos	27
3.5.4.	Procesamiento/limpieza de datos	27
3.5.5.	Interpretación de datos	27
3.5.6.	Análisis de datos	27
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS	28
4.1.	Diseño e ingeniería de la red de acceso.....	28
4.2.	Ubicación de la zona	33
4.3.	Levantamiento del perfil del terreno.....	37
4.4.	Tecnología e infraestructura para el diseño del sistema	38
4.5.	Cálculo del ancho de banda de acceso a internet del sistema.....	45
4.6.	Cálculos de ingeniería para el diseño de los radioenlaces	54
4.7.	Determinación del margen de desvanecimiento de los enlaces.....	104
4.8.	Determinación de la confiabilidad de los radioenlaces.....	106
5.	CAPITULO V: DISCUSIÓN	110
5.1.	Análisis del margen de desvanecimiento del enlace.....	110
5.2.	Análisis de confiabilidad del enlace	110
	CONCLUSIONES.....	114
	RECOMENDACIONES.....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
	ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de radio enlace.....	10
Figura 2. Representación esquemática de un radioenlace.....	11
Figura 3. Zona de fresnel.....	13
Figura 4. Software de simulación RadioMobile.....	18
Figura 5. Enlace punto a punto.....	29
Figura 6. Enlace punto a multipunto.....	29
Figura 7. Mapa de escuelas rurales del Distrito de Torata.....	31
Figura 8. Ficha de datos de una Institución Educativa de Torata.....	31
Figura 9. Cuadro estadístico de alumnos en las I.E. de Torata.....	32
Figura 10. Coordenadas geográficas de las Instituciones Educativas de Torata....	32
Figura 11. Ubicación del sistema de radioenlaces en la zona de estudio.....	33
Figura 12. Ubicación Geográfica del Distrito de Torata.....	34
Figura 13. Probabilidad diaria de lluvia en Torata.....	35
Figura 14. Perfil de un radioenlace utilizando Google Earth PRO.....	37
Figura 15. Equipo WLAN Access Point de exterior seleccionado.....	40
Figura 16. Patrones de radiación del Access Point (H-V) a la fr. de 5 GHZ.....	40
Figura 17. Antena sectorial de 5.8 GHZ 19 dBi a 120° modelo Rocket Airmax.....	41
Figura 18. Estación base modelo Ligo DLB PRO 5-90-20.....	44
Figura 19. Diagrama esquemático del sistema de radioenlace del proyecto.....	55
Figura 20. Radioenlace: Estación repetidora a I.E. San Juan San June.....	58
Figura 21. Perfil topográfico: Estación repetidora a I.E. San Juan San June.....	58
Figura 22. Simulación del perfil topográfico estación Repetidora I.E. San Juan San June.....	61
Figura 23. Simulación del radioenlace estación Repetidora I.E. San Juan San June.....	61
Figura 24. Radioenlace: Estación Repetidora a I.E. 43021 Otorá.....	62
Figura 25. Perfil topográfico: Radioenlace: Estación Repetidora I.E.43021 Otorá.....	63
Figura 26. Simulación del perfil topográfico estación Repetidora – I.E.43021 Otorá.....	65
Figura 27. Simulación del radioenlace estación repetidora-I.E. 43021 Otorá.....	65
Figura 28. Radioenlace: Estación repetidora a I.E. 350 Otorá.....	66
Figura 29. Perfil topográfico: Radioenlace: Estación repetidora a I.E. 350 Otorá.....	67

Figura 30. Simulación del perfil topográfico estación repetidora-I.E 350 Otorá.....	69
Figura 31. Simulación del radioenlace estación repetidora. I.E. 350 Otorá.....	69
Figura 32. Radioenlace: Estación Repetidora a Nodo Quele.....	70
Figura 33. Perfil topográfico: Estación repetidora a nodo quele.....	71
Figura 34. Simulación del perfil topográfico estación repetidora-nodo Quele.....	73
Figura 35. Simulación del radioenlace estación repetidora-nodo Quele.....	73
Figura 36. Radioenlace nodo Quele a I.E. 43004 Quele.....	74
Figura 37. Perfil topográfico: Radioenlace nodo Quele a I.E. 43004 Quele.....	75
Figura 38. Radioenlace nodo Yacango a I.E. inicial 349 Coplay.....	77
Figura 39. Perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. inicial 349 Coplay.....	77
Figura 40. Simulación del perfil topográfico. nodo Yacango a I.E. inicial 349 Coplay.....	79
Figura 41. Simulación del radioenlace: nodo Yacango a I.E. inicial 349 Coplay.....	80
Figura 42. Radio enlace nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz.....	81
Figura 43. Perfil topográfico radioenlace nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz.....	81
Figura 44. Simulación del perfil topográfico nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz.....	83
Figura 45. Simulación del Radioenlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz... ..	84
Figura 46. Radioenlace nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras.....	85
Figura 47. Perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras.....	85
Figura 48. Simulación perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras.....	87
Figura 49. Simulación del radioenlace: Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras.....	88
Figura 50. Radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya.....	89
Figura 51. Perfil topográfico: Radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya.....	89
Figura 52. Simulación del perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya.....	91
Figura 53. Simulación del radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya.....	92
Figura 54. Radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita.....	93

Figura 55. Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita.....	93
Figura 56. Simulación del Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita.....	95
Figura 57. Simulación del radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita.....	96
Figura 58. Radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui.....	97
Figura 59. Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui.....	97
Figura 60. Simulación perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui.....	99
Figura 61. Simulación del radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui.....	100
Figura 62. Radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta.....	101
Figura 63. Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta.....	101
Figura 64. Simulación del perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta.....	103
Figura 65. Simulación del radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de rugosidad “a”	15
Tabla 2. Factor climático.....	16
Tabla 3. Límites máximos permisibles para exposición ocupacional	20
Tabla 4: Límites máximos permisibles para exposición poblacional.....	20
Tabla 5: Estándares IEEE 802.11	21
Tabla 6. Operacionalización de variables.....	24
Tabla 7. Relación de Instituciones Educativas de Torata	36
Tabla 8. Datos técnicos de access Point.....	39
Tabla 9. Datos técnicos de antena sectorial.....	41
Tabla 10. Datos técnicos de estación Base	42
Tabla 11. Especificaciones técnicas de Radio Backhal.....	43
Tabla 12. Características eléctricas de la guía de onda elíptica	45
Tabla 13. Ancho de banda estimado para los servicios de internet.....	45
Tabla 14. Cantidad de estudiantes y docentes por Institución Educativa	46
Tabla 15. Valores obtenidos del Mlink por cálculo matemático.....	105
Tabla 16. Valores obtenidos del Mlink mediante la simulación con el software RadioMobile.....	106
Tabla 17. Valores obtenidos del factor de rugosidad y factor climático por radioenlace	107
Tabla 18. Valores obtenidos de la confiabilidad de los radioenlaces según balance energético.....	108
Tabla 19. Valores obtenidos de la confiabilidad de los radioenlaces según RadioMobile	109
Tabla 20. Comparación del Mlink calculado con balance de energía con el objetivo de calidad	110
Tabla 21. Comparación del Mlink obtenido por simulación con el objetivo de calidad	111
Tabla 22. Comparación de los valores de confiabilidad R obtenido por simulación, con el objetivo de confiabilidad RT	112
Tabla 23. Comparación de los valores de confiabilidad R obtenido por simulación, con el objetivo de confiabilidad RT	113

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo lograr la conectividad de las instituciones educativas rurales del distrito de Torata en la Región Moquegua, para superar las limitaciones que existen actualmente en el acceso a los servicios de tele - educación digital de la zona de estudio. La metodología seguida para el diseño del sistema de radioenlaces digitales de banda ancha fue elaborar el levantamiento topográfico del terreno; posteriormente se buscaron en el mercado los equipos necesarios para el diseño de los radioenlaces y se han elegido los equipos con el objetivo de conseguir un sistema con una alta disponibilidad y con un buen margen de desvanecimiento del radioenlace, calculando los parámetros básicos de cada radioenlace. Una vez efectuado el diseño de los radioenlaces, se procedió a realizar su simulación para estudiar la viabilidad del sistema, para ello se empleó la herramienta de simulación llamada RadioMobile. Finalmente, con los resultados obtenidos del balance energético de los radioenlaces y de las simulaciones con RadioMobile, se pudo verificar que la propuesta cumplía con los objetivos establecidos, obteniendo la solución más óptima en cuanto a disponibilidad y calidad del sistema de radioenlaces.

Palabras claves: Comunicación inalámbrica; Redes de banda ancha; Radioenlace digital; Servicios de tele – educación digital.

ABSTRACT

The objective of this thesis work is to achieve the connectivity of the rural educational institutions of the Torata district in the Moguegua Region, to overcome the limitations that currently exist in access to digital tele-education services in the study area. The methodology followed for the design of the broadband digital radio link system was to prepare the topographical survey of the land; Subsequently, the necessary equipment for the design of the radio links was searched on the market and the equipment was chosen with the aim of achieving a system with high availability and a good margin of radio link fading, calculating the basic parameters of each radio link. Once the design of the radio links was carried out, their simulation was carried out to study the viability of the system, for which the simulation tool called RadioMobile was used. Finally, with the results obtained from the energy balance of the radio links and the simulations with RadioMobile, it was possible to verify that the proposal met the established objectives, obtaining the most optimal solution in terms of availability and quality of the radio link system.

Key words: Wireless communication; Broadband networks; Digital radio link; Tele-digital education services.

INTRODUCCIÓN

El despliegue de los sistemas de transmisión de banda ancha, no suelen llegar a las zonas rurales con la facilidad con que lo hacen en las zonas urbanas, debido especialmente a que los usuarios se encuentran dispersos y su nivel de ingresos per cápita es reducido, trayendo como consecuencia una inversión privada escasa en el rubro de las telecomunicaciones rurales. Ante esta realidad, el Estado peruano crea FITEL (Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones) y luego en el 2018, PRONATEL (Programa Nacional de Telecomunicaciones) con la finalidad de acortar esta brecha tecnológica, mediante la ejecución de proyectos de telecomunicaciones en zonas rurales de preferente Interés social, así como el despliegue de redes de banda ancha (internet de alta velocidad).

Gracias al desarrollo de las tecnologías de redes inalámbricas de banda ancha basado en el estándar IEEE 802.11n, se pudo diseñar un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha para la prestación de los servicios de tele – educación a las instituciones educativas rurales de la localidad de Torata, en la provincia de Mariscal Nieto de la Región Moquegua.

La organización de esta tesis de grado es la siguiente: El capítulo I” Planteamiento del problema”: Examina la problemática educacional del acceso a internet en la localidad de Torata, región Moquegua. Muestra la formulación del problema, justificación y objetivos que tiene la tesis. El capítulo II “Marco teórico”: Señala los resúmenes de investigaciones efectuadas por otros investigadores como una referencia sobre el tema, luego se desglosa los fundamentos teóricos de nuestra investigación. El capítulo III “Marco metodológico”: Contiene el tipo y diseño de la investigación y la operacionalización de variables, así como las técnicas para recolección de datos y del procesamiento y análisis de datos. El capítulo IV “Resultados”: Presenta el desarrollo de la metodología y los resultados obtenidos por cálculo matemático y por simulación electrónica. El capítulo V “Discusión de resultados”: Presenta el análisis de los resultados obtenidos comparados con valores referenciales de las Normas UIT.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

El 11 de marzo del 2020, la Organización Mundial de la Salud califica el brote del Coronavirus (COVID-19) como una pandemia al haberse extendido en varios países del mundo de manera simultánea es así que mediante Decreto Supremo N°044-2020-PCM, publicado en el diario oficial El Peruano el 15 de marzo de 2020, se declaró por el término de quince (15) días calendario, el Estado de Emergencia Nacional y se dispuso el aislamiento social obligatorio (cuarentena), por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19. A partir del 16 de marzo del 2020. El cual se prorrogó mediante decretos supremos de la PCM, a raíz de la pandemia el Ministerio de Educación aprueba la declaratoria de emergencia del sistema educativo peruano Mediante decreto supremo N° 014-2021-MINEDU, el 20 de agosto del 2021, declarándose en emergencia el Sistema Educativo Peruano a nivel nacional durante el segundo semestre del año 2021 y el primer semestre del año 2022, por los efectos negativos producidos en el Sistema Educativo como consecuencia del brote del COVID –19.

La pandemia ha generado una crisis en la educación sin precedentes en todos los ámbitos, esta emergencia ha dado lugar al cierre masivo de las actividades presenciales en las instituciones educativas, lo que ha dado origen a la modalidad de aprendizaje a distancia mediante la utilización de la tecnología como el internet (herramientas de comunicación como el WhatsApp, Zoom, Google Meet y demás plataformas), esto ha provocado un problema con respecto a las Instituciones educativas que se encuentran en el ámbito rural de la provincia Mariscal Nieto los cuales no cuentan con señal inalámbrica de internet para el aprendizaje a distancia mediante la utilización de diversas plataformas.

Por lo tanto, la educación en la zona rural de la provincia Mariscal Nieto Distrito de Torata se encuentra en una situación que requiere ser atendida para que los estudiantes logren sus competencias y no se vean interrumpidas en la adquisición del conocimiento lo cual ha generado consecuencias en la formación del estudiante en el ámbito social, mental y académico.

La vuelta a las clases presenciales implica el procesamiento de una tensión entre las razones sanitarias y las cognitivas, sociales y psicológicas con respecto a los estudiantes a los padres de familia, pues se argumenta que mantener las escuelas cerradas reduce la circulación de personas y del virus, disminuyendo

contagios y riesgo de muerte lo que conllevara en lo posterior a que las clases sean semipresenciales y se continúe con el aprendizaje a distancia con la utilización de las diversas plataformas.

A raíz de los cambios en la educación provocados por la pandemia se plantea la presente tesis para el acceso a la educación digital en las instituciones educativas rurales de la provincia Mariscal Nieto, el cual demandará la implementación una línea de internet a través de radio enlaces con antenas transmisoras y receptoras lo cual permitirá mejorar el acceso a la educación digital con la transmisión de datos voz y video. En base a lo mencionado se requiere diseñar mediante un sistema de enlace de antenas transmisoras, repetidoras y receptoras que permita la comunicación utilizando la tecnología en las telecomunicaciones a fin de que el estudiante y el docente opten por conectarse a la educación digital.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema Principal

¿En qué medida, el diseño de un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha, permitirá mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las instituciones educativas rurales del distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua, año 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿En qué medida, el empleo de las regulaciones del MTC y las recomendaciones internacionales de la UIT, inciden en la elaboración del estudio de propagación del sistema de radioenlaces digitales de banda ancha propuesto?
- b. ¿En qué medida los resultados obtenidos referenciados al objetivo de calidad del CCIR mediante la simulación de los radioenlaces digitales a desplegar en la zona de estudio, garantizará su operatividad?
- c. ¿En qué medida el cumplimiento de los requerimientos técnicos obtenidos en el estudio de radio-propagación, facilitará la evaluación de los equipos a seleccionar?

1.3. Justificación e importancia

La investigación tiene su justificación debido a que. el presente proyecto pretende atender a los estudiantes para que logren sus competencias y no se vean interrumpidas en su formación académica, Por lo tanto, se justifica realizar este proyecto de investigación de tipo experimental con un nivel aplicativo mediante el procesamiento de datos en Radio Mobile para su implementación con radio enlace en las instituciones educativas del ámbito rural de la provincia de Mariscal Nieto Distrito de Torata Región Moquegua.

Se justifica además porque se reduciría el nivel bajo de competencias con que se encuentra la educación en la zona rural de la Provincia Mariscal Nieto Distrito de Torata Región Moquegua provocado por la pandemia, porque lo que se pretende dar una solución al problema de aprendizaje de la educación con la implementación del acceso digital.

Desde el punto de *vista científico*, la implementación de la conectividad con una línea de internet permitirá a los estudiantes de las instituciones educativas de la provincia Mariscal nieto conectarse a la educación digital.

Desde el punto de *vista social*, en las instituciones educativas de la provincia de Mariscal Nieto la comunicación del profesor con el estudiante a través de las diversas plataformas existentes en el internet es nula debiendo optar el educador por otras alternativas. En estas condiciones los estudiantes se encuentran en una situación que no pueden alcanzar la educación virtual. En este contexto los estudiantes de las zonas rurales se ven afectados en desarrollar sus competencias en el nivel educativo.

Desde el punto de *vista económico*, con la implementación del acceso a la educación digital el estudiante podrá reducir las barreras para adquirir los conocimientos con el aprendizaje impartido por los educandos.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha, que permita mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las instituciones educativas rurales del distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua, año 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Elaborar un estudio de propagación del sistema de radioenlaces digitales de banda ancha propuesto, que cumpla las normas de regulación del MTC y las recomendaciones internacionales de la UIT-R.
- b. Simular el sistema de radioenlaces digitales a desplegar en la zona de estudio, cuyos resultados cumplan con los objetivos de calidad del CCIR y garanticen su operatividad.
- c. Evaluar que el equipamiento de banda ancha a seleccionar, cumpla con los requerimientos técnicos obtenidos en el estudio de radio-propagación.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del Estudio

El trabajo de Investigación que se realizó, fue en base a que contamos con conocimiento de transmisión, recepción de datos y video mediante fibra óptica y radio enlace, producto de la experiencia obtenida en trabajos realizados en diferentes instituciones como en el Gobierno Regional de Moquegua, Asimismo para poder realizar este proyecto de investigación, se recurrió a fuentes como libros, revistas, etc., con las cuales se terminó de formar la idea central del trabajo de investigación. La fibra óptica y el radio enlace son medios de transmisión que se vienen utilizando con mayor frecuencia debido a su mejor rendimiento, siendo estos los medios de transmisión que brindan buenos resultados en los servicios de datos voz y video.

2.1.1 A nivel Internacional

Se encontró el estudio realizado por López y Rey (2017) titulado *“Diseño e Implementación de un Radio Enlace que supla la necesidad de acceso a una Red de Datos en la Vereda La Argentina (La Tebaida – Quindío)”*, en el cual se abordó el acceso a redes de telecomunicaciones utilizando comunicación inalámbrica mediante un radio enlace de banda ancha, el cual operación a la frecuencia de 2.4 GHz. El diagnóstico permitió determinar que en dicha localidad existe solo el servicio de telefonía celular. Considerando que La Tebaida es una zona donde se realiza ecoturismo que es su principal actividad, se hace necesario contar con el servicio de transmisión de datos y el acceso de internet. De la presente investigación se toma el estudio de radio propagación del radioenlace que se propaga en una zona rural y cuyas condiciones geográficas coinciden con la zona de estudio de nuestra investigación.

Del mismo modo, Calvillo (2013) en su trabajo de investigación *denominado “Estudio y diseño de una red WIMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural”*, describe el diseño de un radioenlace utilizando la tecnología WIMAX para el acceso a internet en una zona rural. Este estudio es pertinente, porque describe la metodología, seguida para el diseño de un radioenlace mediante el cálculo de los parámetros de radio propagación, metodología que nos interesa para nuestra investigación.

Así mismo, Andino (2011) en su proyecto de grado titulado *“Diseño, Implementación y puesta en marcha de un radioenlace Digital entre la repetidora de Tres Cruces y la estación de Bombeo El salado mediante un repetidor Pasivo para Optimizar la Operación del Oleoducto Transecuatoriano”*, manifestó lo siguiente:

Efectuado un análisis detallado de sus características técnicas, se decidió hacer un cambio por un fabricante de mejores especificaciones técnicas buscando con esto mejorar el servicio y evitar tantos cortes en el monitoreo. Se usó el software libre llamado Radio Mobile como ayuda en la simulación dado que ya se tiene una ruta geográfica, sin embargo, se aseguró el funcionamiento de manera simulada y acorde a las especificaciones técnicas de los equipos nuevos.

Para esta tarea se diseñó la implementación de un repetidor pasivo espalda-espalda utilizando nuevas frecuencias asignadas por SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones de Ecuador), acorde a los cálculos realizados.

Se describieron las características técnicas de los equipos activos y pasivos que se deseaban instalar, efectuando pruebas de BER (Tasa de error binaria) requeridas para la implementación de los nuevos equipos marca ALCATEL 9400 AWY.

A través de este proyecto se pudo ver que la mejora continua de la infraestructura de telecomunicaciones se puede realizar, utilizando las mismas rutas geográficas, pero avanzando en estabilidad de las soluciones ya instaladas, y logrando mejores resultados. (p.3)

De igual manera, Galeano (2012) en su trabajo de investigación denominada *“Análisis, diseño, simulación y presupuestación de un radio enlace punto a punto entre los municipios de Belén de Umbría y Quinchía en el departamento de Risaralda en Colombia, realiza un estudio para implementar un radioenlace punto a punto utilizando el software de simulación Radio Mobile con las especificaciones técnicas reales de equipos de la marca Huawei, efectuando en este caso, un análisis tanto técnico como financiero, los cuales son muy importantes a la hora de elaborar y diseñar un radioenlace.*

2.1.2 A nivel nacional

Joel (2021), realizó la tesis titulada “Diseño de una Red de Banda Ancha Inalámbrica para los Anexos del Distrito de Puquina Departamento de Moquegua”, de la Universidad Nacional de Piura. El objetivo de la investigación fue beneficiar con Internet de alta velocidad a las Instituciones Públicas como colegios, postas médicas, comisarias, Municipalidades y a la población en general. Esta investigación se basó en la utilización de la tecnología de Radioenlaces de Microondas mediante la simulación de radioenlaces utilizando el software Link Planner, que permitió establecer los parámetros radioeléctricos para el rendimiento del sistema antes de la compra. También esta tecnología tiene la gran ventaja de propagarse con facilidad en torno a obstáculos físicos, llevando una gran cantidad de información que mitigará las necesidades de los pobladores del Distrito de Puquina.

Ángel J. C. S. - Piura (2019), desarrolló la tesis titulada “Diseño de red de radioenlaces vía microondas para acceso al servicio de internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambo Grande”, de la Universidad Nacional de Piura. Tuvo como objetivo Realizar un estudio de campo y de gabinete en el diseño de la red de radioenlaces microondas para dar cobertura con el servicio de internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambo Grande.

Concha S. M. – Villa el Salvador (2017), desarrolló la tesis titulada “Diseño e implementación de enlaces microondas y un nodo como solución a un problema de línea de vista para la planta agroindustrial de Jyayanca, provincia de Chiclayo”, de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Tuvo como objetivo Mantener activo el actual servicio de internet dedicado mediante la correcta ubicación de antenas ante el cambio en la infraestructura de la red física, y que supere el obstáculo de línea de vista.

Ramos, J; Sullca; (2012), desarrollaron el proyecto final titulado, “Diseño radio enlace Arequipa – Puquina - Omate”, de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tuvo como objetivo busca movilidad de los usuarios, o disminuir los costos. Independientemente de cuál sea la motivación, siempre hay que lograr una buena productividad de los usuarios y que la calidad de servicio sea superior a las redes cableadas

Fernández, L; Sánchez, P; (2014), en Huancavelica desarrollaron la tesis titulada, “Servicio de internet mediante fibra óptica y radio enlace en la institución

educativa Tupac Amaru del distrito de Palca- Huancavelica”, donde se desarrolló un requerimiento de conectividad con línea de Internet, a través de radioenlaces de alta velocidad, el cual permite la trasmisión de información (voz, datos y video) a la institución educativa Túpac Amaru, para de esta manera mejorar el nivel de comunicación e información de los estudiantes y profesionales. Para poder dotar con el servicio de Internet de 2 Mbps a línea dedicada 100 % de subida como de bajada a la institución educativa ya mencionada, se realizó el diseño de una red que parte desde la ciudad de Huancavelica (estación central Huancavelica), lugar donde se obtiene el servicio de Internet mediante fibra óptica, el cual se modula para luego pasar al router y ser enviado por un Access Point EOA 7535 con ayuda de una antena externa a la estación Thomson. Esta estación recibe la señal y de forma inmediata transmite la señal hacia la estación base Chillhuapampa.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Fundamentos de la Radiocomunicación

Según Collantes (2016) la radiocomunicación se puede definir como la “telecomunicación realizada por medio ondas radioeléctricas que se propagan por el canal radio”. Además, indica que “las ondas radioeléctricas se definen como las ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija, convencionalmente en 3,000 GHz”.

Se define como radioenlace a cualquier interconexión entre dos terminales de telecomunicación efectuada por ondas radioeléctricas, conocidas como señales de radio (RF). Los radioenlaces utilizan el modo de comunicación del tipo dúplex, de donde se deben transmitir dos portadoras moduladas cuyas frecuencias: una para la transmisión y otra para la recepción de ambas señales, se les conocen como radio canal.

Los enlaces RF generalmente utilizan la propagación con visibilidad entre los puntos de comunicación conocidas con propagación con línea directa o de vista (line on sight: LOS).

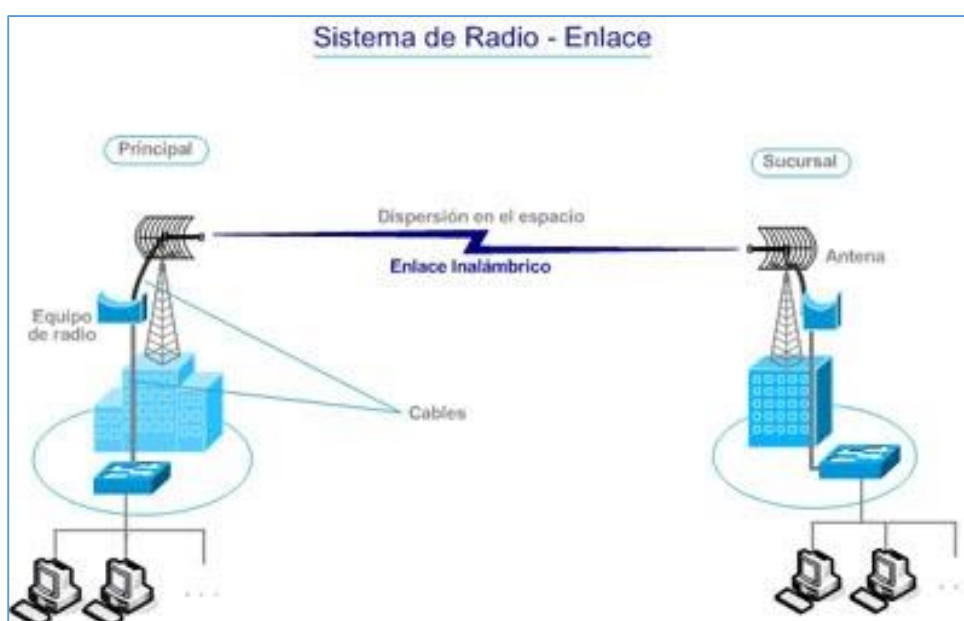
Según Gonzales (2019) manifiesta que “cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para un correcto funcionamiento, es necesario que los recorridos entre enlaces alcancen una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año. Se deben tomar en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región” (p.35).

Generalmente los radioenlaces utilizan las bandas de SHF y ESHF para frecuencias superiores a 1 GHz, en el rango de la región de las microondas y por ello se les llama también radioenlaces de microondas.

“Los radioenlaces son, en ciertas aplicaciones, una forma eficiente de transmitir información punto a punto vía espacio libre” (García y Llamo, 2006). Esto es debido a que no requieren instalaciones complejas, ya que basta con la instalación de los equipos de radio y antenas, que pueden estar ubicadas a decenas de kilómetros de distancia. La figura 1, muestra un esquema de un radioenlace.

Figura 1

Esquema de un radioenlace



Nota. Tomado de Videovigilancia digital. Disponible en:

<https://cutt.ly/rSx1cTF>

2.2.1.1. Estructura de un radioenlace

Un radioenlace está constituido por estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias, con sus equipos transceptores (transmisores – receptores), antena y elementos de supervisión y control.

Según Collantes (2016), la estructura de un radioenlace tiene la siguiente constitución:

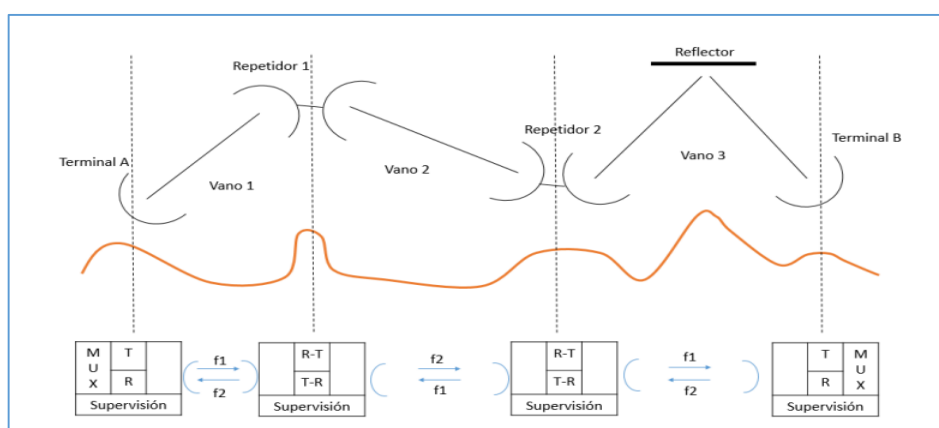
Por estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias, con sus equipos transceptores (transmisores – receptores), antena y elementos de supervisión y control.

En los radioenlaces, además de las estaciones repetidoras típicas, también se suelen ver estaciones nodales, donde se demodula la señal y se gestionan los canales que se transmiten. Al tramo estación terminal-estación nodal se le denomina sección de conmutación y permite el control, protección y supervisión de la información emitida. (p.8)

La figura 2 muestra la representación esquemática de un radioenlace de microondas.

Figura 2

Representación esquemática de un radioenlace



Nota. Tomado de Diseño y configuración de un radioenlace digital para un servicio de emergencia, por E. Collantes, 2016, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://cutt.ly/bSx8fP9>

2.2.1.2. Ventajas y desventajas de los radioenlaces

En cuanto a las ventajas de los radioenlaces en comparación a los sistemas cableados podemos afirmar:

- Instalación y operatividad más rápida y sencilla del equipamiento.
- Se adapta a las irregularidades del terreno, es decir, es más flexible y escalable.
- Posee un gran ancho de banda.
- El monitoreo y supervisión de la operatividad ante la presencia de fallos, se realiza en el equipamiento radioeléctrico.

- Por trabajar en rangos de frecuencias muy elevados, las antenas empleadas son de menores dimensiones.

En cuanto a las desventajas que presentan los radioenlaces, podemos citar lo siguiente:

- Su uso se restringe a tramos con línea de vista (LOS) o visibilidad directa, es decir sin presencia de obstáculos en la trayectoria del radioenlace.
- Restricción en el uso de radioenlaces de grandes trayectos, debido a la presencia de la curvatura de la Tierra.
- La presencia de hidrometeoros en el lugar donde se despliega un radioenlace, afectará su operatividad y disponibilidad a frecuencia de operación mayores.
- Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y establecer algún tipo de mantenimiento.
- Implementar sistemas autónomos de energía no renovables en los lugares donde no se despliega las redes eléctricas convencionales.

2.2.2 Modelo de propagación para radioenlaces con visibilidad directa (LOS)

Según Tercero y Rivera (2013) “un modelo de propagación es aquel que predice lo que sucede con la señal transmitida entre el Tx (Transmisor) y Rx (Receptor)” (p.17). Afirman que la ruta que puede seguir la señal desde el Punto de Tx al Punto de Rx se puede efectuar en un ambiente con línea de vista o un ambiente con la presencia de obstáculos tales como montañas, edificios y árboles.

Aplicar modelos de propagación en ambientes tiene el objetivo de conocer la viabilidad del proyecto, efectuando una estimación acerca de las especificaciones técnicas y la capacidad de los equipos requeridos tomando en cuenta sus costos.

2.2.2.1. Zona de Fresnel

Tercero y Rivera (2013) definen la zona de Fresnel como “al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180° (60% libre de obstáculos), adoptando la forma de un elipsoide, a esta zona se le llama primera zona de Fresnel” (p. 19).

La zona Fresnel se debe calcular y tomar en cuenta cuando se diseña un enlace inalámbrico.

La Recomendación UIT-R P.526-5 referido a la Propagación por difracción, indica que: la fórmula genérica de cálculo de las “n” zonas de Fresnel es:

$$r_{Fn} = 550.00 \sqrt{\left(\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d} \right)} \quad (1)$$

Donde:

r_{Fn} : radio de la primera zona de Fresnel (m)

d_1 : distancia del transmisor al obstáculo (km)

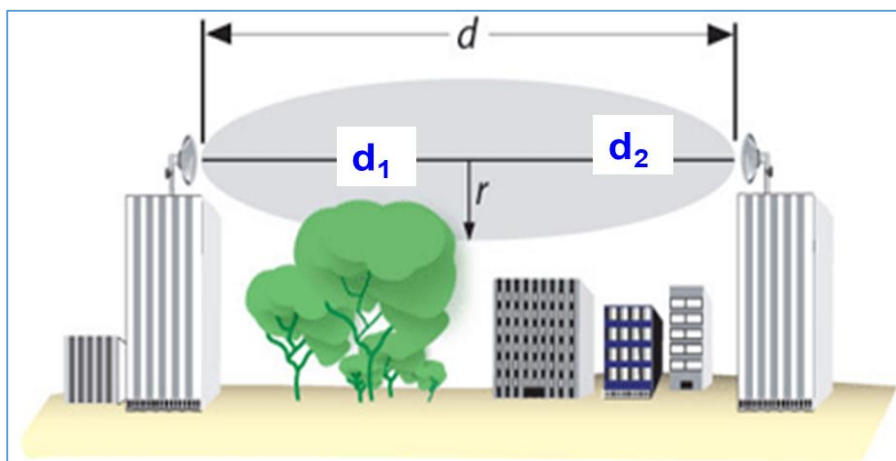
d_2 : distancia del receptor al obstáculo (km)

f : frecuencia de operación (MHz)

n : número entero que caracteriza la elipse correspondiente

Figura 3

Zona de Fresnel



Nota. Adaptada de La zona de Fresnel, por wordpress.com.

Disponible en: <https://cutt.ly/YScI4uX>

2.2.2.2. Parámetros del radioenlace

Pérdidas en el espacio libre

Se deduce de las ecuaciones de Maxwell y según Tomasi (1996) “se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta a través del vacío, sin energías de absorción o reflexión debidas a objetos cercanos” (pp. 873-874).

Se compone de una expresión matemática que se utiliza para la propagación general de una señal. Este tipo de propagación define la cantidad de fuerza que la señal pierde durante la trayectoria entre transmisor y el receptor.

$$L_p = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi fD}{c} \right)^2 \quad (2)$$

L_p = pérdidas en la trayectoria en espacio libre (adimensional)

D = distancia (m)

f = frecuencia (Hz)

λ = longitud de onda (m)

c = velocidad de la luz en el espacio libre (3×10^8 m/s)

Las pérdidas en el espacio libre expresado en dB se expresan en la ecuación

$$L_p(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log D \text{ (km)} \quad (3)$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M_{link}):

El margen de desvanecimiento del enlace es la diferencia entre el valor de potencia de la señal recibida (P_{R_x}) y el nivel de umbral de recepción del radio.

Según la recomendación UIT-R 530, es el principal parámetro en el modelo de cálculo de la disponibilidad del enlace, en donde el margen de desvanecimiento asegura el buen funcionamiento del enlace.

El nivel de umbral (P_u) de un equipo de radio a utilizar, es el valor que da el fabricante en dBm para una tasa de bit de error (BER) y con estos valores puede calcular el margen de desvanecimiento efectivo mediante la siguiente ecuación:

$$M_{\text{link}} = P_{R_x} - P_u \quad (4)$$

Parámetro de confiabilidad del enlace:

Según Tercero y Rivera (2013) con referencia a la confiabilidad del enlace, manifiestan que:

El parámetro de confiabilidad del enlace corresponde al tiempo probabilístico en el cual un radioenlace se mantiene trabajando, es decir, transmitiendo información.

El método escogido para realizar este cálculo es el de Vigants Barnett, donde se toma en consideración el margen de desvanecimiento, las características climáticas y la topografía del terreno, todo esto se utiliza para predecir el comportamiento de la transmisión de la señal. (p.23)

La confiabilidad e indisponibilidad de un radioenlace se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$P = 6 \times 10^{-7} a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-M \text{ link} / 10} \quad (5)$$

$$R = 100 - P \quad (6)$$

Donde:

P = Indisponibilidad

R= Confiabilidad

f = Frecuencia (MHz)

d = Distancia total del trayecto (Km)

MD = Margen de desvanecimiento (dB).

a = Variable del tipo de terreno del enlace.

b =Factor climático del lugar del enlace.

Los valores del factor de rugosidad se presentan en la Tabla 1 y los valores del factor climático se presentan en la tabla 2.

Tabla 1

Factor de rugosidad "a"

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno poco montañoso
1/4	Terreno montañoso

Nota. Tomada de la tesis "Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname". Disponible en: <https://cutt.ly/FSbpOSO>

Tabla 2

Factor climático “b”

b	Tipo de terreno
1/2	Zonas con costas
1/4	Clima con temperatura normal
1/8	Zonas montañosas o muy secas

Nota. Tomada de la tesis “Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname”. Disponible en: <https://cutt.ly/FSbpOSO>

Objetivo de Indisponibilidad en los radioenlaces de microondas:

En las recomendaciones UIT-R F.557-4 (UIT- Unión Internacional de Telecomunicaciones) y UIT-R F.695 se definen los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces microondas.

Se propone como valor provisional una indisponibilidad del 0,3 %. Este porcentaje debe evaluarse durante un periodo de tiempo suficientemente largo, probablemente superior a un año para que sea válido estadísticamente. Al respecto, Tercero y Rivera (2013) estipulan que:

El valor provisional del 0,3% del tiempo, se distribuya de forma proporcional a la distancia del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad se mantiene constante. Se procede así para evitar cifras de indisponibilidad excesivamente pequeñas en enlaces cortos que serían difíciles de conseguir. (p.24)

Por lo tanto, según Tercero y Rivera (2013) el objetivo de indisponibilidad para trayectos menores a 280 km se determina por las siguientes expresiones:

$$PT = (0,3 * L/2500) \% \quad (7)$$

$$RT\% = (100 - PT) \% \quad (8)$$

Donde:

PT= Objetivo de indisponibilidad (%)

RT= Objetivo de confiabilidad del enlace (%)

$L =$ Longitud menor a 280 km

$PT = 0,3 * 280/2500$ %

$PT = 0.0336$ %

Este valor PT es la indisponibilidad porcentual propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores de 280 km.

Su objetivo de confiabilidad se encuentra dado por la siguiente ecuación:

$RT = (100 - PT)$ % (8)

$PT =$ Objetivo de indisponibilidad (%) = 0,0336 %

$RT =$ Objetivo de confiabilidad (%)

$RT = (100 - 0,0336)$ %

$RT = 99,9664$ %

Con este valor obtenido del objetivo de confiabilidad, se evaluarán los radioenlaces del proyecto de investigación. (p.24)

2.2.2.3. Cálculo del Enlace

Según Diaz (2015), el diseño de un radioenlace debe hacerse de la siguiente manera:

Mediante modelos de propagación que serán proporcionados por software de simulación. Estos simuladores trabajarán con bases de datos geográficos que permitirán obtener información sobre el entorno geográfico en la trayectoria del enlace; así como también adicionar las variables climáticas, temporales, estacionales, y locales del contexto.

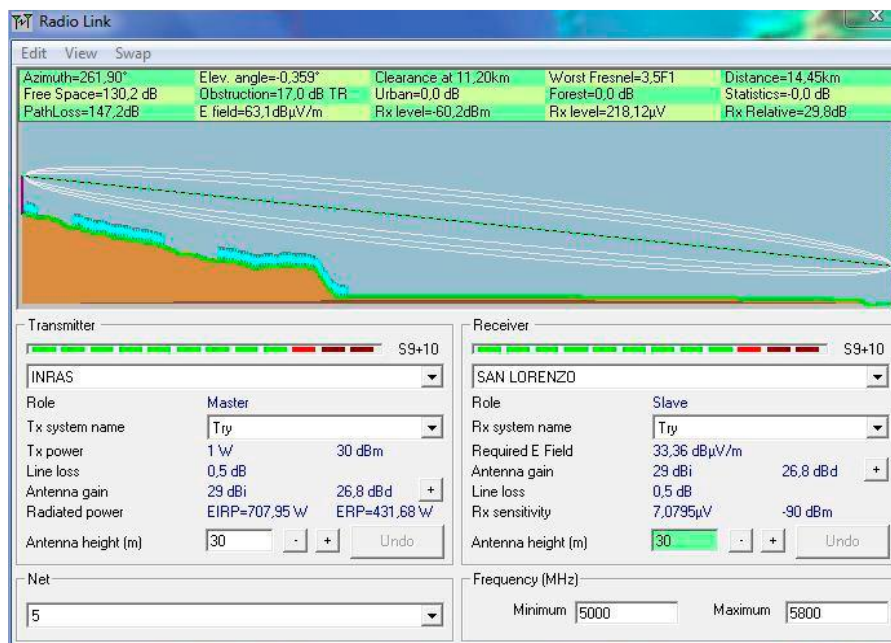
También estará incluida en la simulación información de los equipos de transmisión utilizados para el radioenlace. (p.10)

RadioMobile

Software libre de simulación de propagación, que sigue el modelo Longley Rice (Irregular Terrain Model) y trabaja para las frecuencias de 20 a 20000 MHz. En la figura 4, se muestra la simulación de un radioenlace.

Figura 4

Software de simulación RadioMobile



Nota. La imagen muestra la simulación de un radioenlace con línea de vista. Disponible en: <https://cutt.ly/IScLmav>

2.2.3 Normativa sobre radio enlaces en el Perú

2.2.3.1 Plan Nacional de Atribución de Frecuencias

Cada país posee un trámite para la obtención de licencias de operación para radioenlaces de microondas. Estas licencias regulan los parámetros radioeléctricos de los transmisores utilizados, y a la vez ofrece protección contra la interferencia que puede obtener el receptor, debido a la presencia de operadores de telecomunicaciones en la misma zona y que operan en el mismo rango de frecuencia.

En el Perú esto está regulado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y se encuentra dentro del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF). Este Plan asigna a cada banda servicios primarios, permitidos y secundarios. Los servicios primarios se diferencian de los permitidos en que los servicios primarios serán los primeros en escoger frecuencias.

Las ventajas que posee un servicio primario o permitido son protección y prevención contra interferencia perjudicial por un servicio secundario; sin embargo, los servicios secundarios pueden tener derecho a protección contra interferencias perjudiciales, pero solo de aquellas causadas por estaciones del mismo servicio u otros servicios secundarios con frecuencias asignadas posteriormente.

2.2.3.2. Bandas de frecuencias para aplicaciones ICM

Las siguientes bandas de frecuencias, están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM):

- 13 553 – 13 567 kHz (frecuencia central 13 560 kHz),
- 26 957 – 27 283 kHz (frecuencia central 27 120 kHz),
- 40,66 – 40,70 MHz (frecuencia central 40,68 MHz),
- 2 400 – 2 500 MHz (frecuencia central 2 450 MHz),
- 5 725 – 5 875 MHz (frecuencia central 5 800 MHz), y
- 24 – 24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz)

Los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones y en ningún caso podrán causar interferencias a aplicaciones industriales, científicas o médicas (ICM).

Este grupo de frecuencias, denominadas Bandas No Licenciadas, son bandas que no necesitan de una solicitud de licencia para ser utilizadas, por tanto, tampoco un pago. Por esta misma razón, muchos usuarios hacen usos de estas bandas de frecuencias.

2.2.3.3. Límites máximos permisibles de radiaciones

Con Decreto Supremo N°038-2003-MTC, aprueba los límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes (RNI) en telecomunicaciones para tal efecto se aplica en todo el territorio peruano de carácter obligatorio para emisión de campos electromagnéticos (EMF) con respecto a las emisiones de señales de los equipos de telecomunicaciones que comprendida entre las frecuencias de 9 kHz a 300 GHz.

En ese sentido se aprobó los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones, los valores establecidos como niveles de referencia por la Comisión Internacional de Protección en Radiaciones No Ionizantes - ICNIRP, tal como se muestran en las tablas 3 y 4:

Tabla 3*Límites máximos permisibles para exposición ocupacional*

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 - 65 KHz	610	24,4	-
0,065 - 1 MHz	610	1,6 / f	-
1 - 10 MHz	610 / f	1,6 / f	-
10 - 400 MHz	61	0,16	10
400 - 2000 MHz	3 f ^{0,5}	0,008 f ^{0,5}	f / 40
2 - 300 GHz	137	0,36	50

Nota. Disponible en: <https://cutt.ly/1SbiNKI>

Tabla 4*Límites máximos permisibles para exposición poblacional*

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 - 65 KHz	610	24,4	-
0,065 - 1 MHz	610	1,6 / f	-
1 - 10 MHz	610 / f	1,6 / f	-
10 - 400 MHz	61	0,16	10
400 - 2000 MHz	3 f ^{0,5}	0,008 f ^{0,5}	f / 40
2 - 300 GHz	137	0,36	50

Nota. Disponible en: <https://cutt.ly/1SbiNKI>

2.2.4 Estándares de transmisión IEEE 802.11

Un estándar define, además de la estructura física de la red, un conjunto de protocolos de acceso. El estándar es un instrumento indispensable y necesario para garantizar que una tecnología es ampliamente difundida.

El estándar 802.11 fue desarrollado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (I.E.E.E por sus siglas en inglés) para regular la modalidad de interconexión entre estaciones en áreas limitadas utilizando redes inalámbricas (WLAN); constituye uno de los estándares que presenta un mayor interés de usuarios y fabricantes por la evolución de las tecnologías de interconexión en áreas locales inalámbricas.

A continuación, se presenta la evolución de este estándar:

802.11: Tiene una velocidad máxima de 2 Mbps. Los inconvenientes que presentaba este estándar es la inoperatividad de comunicación de equipos de diferentes fabricantes.

802.11a: Este estándar trabaja en redes WLAN en la banda de 5 GHz alcanza un ancho de banda de 54 Mbps. La desventaja que se tiene en esta banda es que la conectividad se restringe únicamente a equipos que tienen línea de vista.

802.11b: Este tipo de estándar fue publicada en 1999. Tiene una tasa de velocidad máxima de 11 Mbps funcionando en la banda de 2,4 GHz, usando en antenas omnidireccionales en redes punto multipunto

802.11g: Opera en una banda de 2,4 GHz, a una velocidad máxima de 54 Mbps, como se puede apreciar es compatible con el estándar 802.11b en la frecuencia de operación y a una velocidad similar al estándar 802.11a.

802.11n: Es un protocolo que regula velocidades de transmisión muy altas, hasta los 500 Mbps. A este protocolo se le añadió la tecnología MIMO permitiendo el incremento de tráfico de datos para la conectividad entre antenas transmisoras y receptoras de modo múltiple. Opera en las bandas de 2,4, 5,8 y 8,5 GHz.

802.11ac: También conocida como el protocolo Gigabit Wi-Fi. Fue una propuesta de especificación de la familia 802.11 aplicable a las redes de área local inalámbricas (WLAN). 802.11ac representa una extensión o actualización de la norma 802.11a actual.

Tabla 5

Estándares IEEE 802.11

Estándares IEEE	Frecuencia de operación (GHz)	Velocidad de transmisión (Mbps)	Velocidad máxima de transmisión (Mbps)
802.11	2,4 – 2,5	1	2
802.11a	5,15 – 5,8	25	54
802.11b	2,4 – 2,5	65	11
802.11g	2,4 – 2,5	25	54
802.11n	2,4 o 5	200	540
802.11ac	5,0	867	➤ 1 Gbps

Nota. Norma que regula las comunicaciones inalámbricas. Disponible en:

<https://cutt.ly/dSY3AWW>

2.3 Definición de términos

2.3.1. Margen de desvanecimiento

Es la indisponibilidad o corte del radioenlace, se produce cuando la señal recibida no llega al nivel mínimo permitido y se incrementa la tasa de error; es decir, no se recibirá bien la información, ya que el demodulador no podrá recuperar la señal transmitida.

2.3.2. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)

El PNAF se encarga de asignar el rango de frecuencias en banda licenciada para un operador de servicio de telecomunicaciones o una empresa que requiera la conexión por medios no guiados, siempre con la supervisión del MTC.

Radioenlace: Un radioenlace es un sistema de comunicación entre dos o más terminales que usan ondas electromagnéticas para transportar información. Para ello, utilizan el espacio libre como medio para la propagación de la señal.

UIT: De las siglas (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es un organismo de las Naciones Unidas que regula los servicios de telecomunicaciones a nivel mundial.

Zonas de Fresnel: Se presentan en forma de elipsoides concéntricos alrededor de la línea directa del radioenlace y toman referencia a partir de las ubicaciones del transmisor y del receptor. Representan regiones sucesivas donde las ondas secundarias tienen un camino con una longitud desde el transmisor hasta el receptor que es de $(n\lambda/2)$ más largo que el camino de línea de vista.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación empleada fue aplicada, considerando que se tomó en cuenta la fundamentación teórica como la base para desarrollar la investigación, corroborando dichas formulaciones y a su vez generando nuevos aportes. También se le conoce como “investigación práctica o empírica”, porque busca la aplicación o la utilización de los conocimientos que se adquieren producto de la investigación

3.1.2 Diseño de la Investigación

Por otro lado, el diseño del estudio fue experimental mediante el uso del software de simulación electrónica RadioMobile, un software que evaluó de modo virtual la operatividad del radioenlace digital, al determinar el margen del enlace. Una ventaja de realizar diseño experimental vía simulación es que no se requieren unidades experimentales físicas, sino que se simula una situación y se controla.

Considerando que la tesis plantea el diseño de un sistema de radioenlaces digitales, la tesis presenta un diseño prospectivo, es decir, propone aportes que pueden ser aplicados por la entidad usuaria en un futuro. Cabe precisar que el estudio se realizará en un único momento en el tiempo, lo que sugiere que presenta un diseño de corte transversal.

3.2. Muestra del Estudio

La muestra de estudio o la unidad de análisis propiamente dicho, consiste en un sistema de radioenlaces digitales para mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las Instituciones Educativas rurales del distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua.

3.3. Operacionalización de Variables

En la Tabla 6 se muestra la operacionalización de variables de nuestro trabajo de investigación, la cual consideró una variable de estudio.

Tabla 6

Operacionalización de variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Diseño de un sistema de radioenlaces digitales para mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las Instituciones Educativas rurales del distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua.	Es un sistema de telecomunicaciones que opera en la banda SHF, compuesto por radioenlaces digitales para proveer el servicio de internet a instituciones educativas rurales de Torata.	Ancho de banda asignado de acuerdo a la cantidad de alumnos. Asignación de velocidad de transmisión Margen de desvanecimiento del enlace. Disponibilidad del enlace.	Mbit/seg Mbit/seg > 10 dB > 99,9664 %

3.4. Operacionalización Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

3.4.1 Técnicas de recolección de los Datos

Se emplearon las siguientes técnicas para la recolección de datos:

- *Técnica de análisis documental*, el cual se hizo uso de los documentos confiables ya existentes y de fuentes similares de información como las fuentes de datos. Se utilizaron catálogos técnicos de proveedores de equipos de radiocomunicaciones relacionados con radioenlaces digitales; se emplearon las Recomendaciones Internacional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones referido a radioenlaces troposféricos en la banda de SHF.
- *Técnica de observación experimental*, el cual se efectuó mediante la simulación de cada uno de los radioenlaces que forman parte del sistema de telecomunicaciones desarrollados en la zona de estudio utilizando el

software de simulación RadioMobile. Cada radioenlace tuvo sus propias características de radio-propagación.

3.4.2. Instrumentos para la recolección de los datos

Se utilizaron como *fuentes secundarias*:

- *Libros especializados* sobre principios de radio-propagación, de sistemas de telecomunicaciones en la banda SHF, de cálculo de radioenlaces digitales troposféricos.
- *Catálogos y Manuales* sobre especificaciones técnicas de equipos de radiocomunicaciones en la banda SHF de diferentes fabricantes; empleo de catálogos de fabricantes de antenas parabólicas, de cables alimentadores y de accesorios para conectar los diferentes dispositivos del sistema de radioenlaces. También se recurrió a los manuales de fabricantes de estructuras metálicas utilizadas como torres de soporte de antenas. Además, se utilizó catálogos de modem de comunicaciones a ser interconectados al equipo de comunicaciones.
- **Bibliotecas virtuales:** Se descargó artículos especializados referidos a los sistemas de telecomunicaciones, como acceso a tesis de pregrado y posgrado nacionales disponibles en el Repositorio Nacional Digital ALICIA de Concytec, Repositorios internacionales de universidades de España, Colombia, México y Colombia. Se tuvo acceso a la biblioteca virtual de artículos científicos Scielo y Redalyc.
- **Direcciones web:** Se accedió a las direcciones URL de las Recomendaciones Internacionales de la UIT para sistemas troposféricos en la banda SHF, como las recomendaciones UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525.; de la normatividad en el Perú para establecer un sistema de radioenlaces emitidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), tales como el Plan Nacional de Asignación de Frecuencias (PNAF) en el Perú.
- **Software:** Se empleó el Sistema de Información Geográfica (SIG) Google Earth para determinar la posición cartográfica de las localidades de la zona de estudio; se empleó el software RadioMobile para la simulación de cada radioenlace que forma parte del sistema de telecomunicaciones desarrollado.

3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento de datos de la investigación, consistió en la secuencia de actividades planificadas mediante el cual los datos individuales se agrupan y estructuran con el propósito de responder al problema de Investigación, a los objetivos planteados.

Por ser una investigación aplicada, no se requirió la contrastación de las hipótesis por el método estadístico.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones producto de los resultados obtenidos en la investigación aplicada.

3.5.1 Recopilación de los Datos

El procesamiento y análisis de datos parte recopilando los datos de las fuentes de almacenamiento que estén disponibles y que contengan información de calidad. Por lo que deberán estar en óptimas condiciones y actualizadas.

En esta etapa se obtuvo la información suministrada por el Sistema de Información Geográfica (GIS) mediante el software Google Earth de las instituciones educativas de Torata.

3.5.2 Preparación de Datos

En esta etapa se comenzó la preparación para su organización, la detección de errores y el descarte de información según los requerimientos y las condiciones establecidas. De este modo, se pasó a seleccionar la información necesaria y puntual con la que se identificó las instituciones educativas rurales con la cantidad de alumnos matriculados según el sistema SCALE del Ministerio de Educación (660 estudiantes). Posteriormente se ubicó las coordenadas de los puntos donde se proveerá la señal de internet para simular la línea de vista de los radioenlaces punto a punto y punto multipunto para dar cobertura a los centros educativos del ámbito rural del distrito de Torata.

3.5.3 Introducción de Datos

Los datos seleccionados de las instituciones educativas de Torata fueron almacenados en hojas Excel. Se seleccionó el equipamiento del sistema de los catálogos provenientes de diferentes fabricantes, en base a los parámetros radioeléctricos requeridos según las Recomendaciones Internacionales la UIT. Se levantaron los perfiles topográficos de los radioenlaces para verificar la existencia de “línea de vista”, es decir la no existencia de pérdidas por obstáculos.

3.5.4 Procesamiento / limpieza de Datos

En esta etapa, los datos procesados por la etapa anterior fueron finalmente preparados y optimizados para su uso final. Una vez verificado la existencia de línea de vista en cada radioenlace, se establecieron las trayectorias de propagación de cada radioenlace.

Se utilizó el software de simulación electrónica RADIOMOBILE, para el cálculo de los parámetros radioeléctricos de cada radioenlace digital. Se determinó el objetivo de calidad de un radioenlace digital denominado “Margen del enlace”

3.5.5. Interpretación de Datos

Producido la simulación de los radioenlaces digitales se obtuvieron las gráficas de las trayectorias de propagación, así como los valores de los parámetros radioeléctricos. Los valores obtenidos fueron interpretados, verificando que cumplen con las Recomendaciones de la UIT.

3.5.6. Análisis de Datos

Finalmente, se analizó los datos con otros trabajos de investigación y se comprobó la operatividad del sistema radioenlaces digitales.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Diseño e ingeniería de la red de acceso

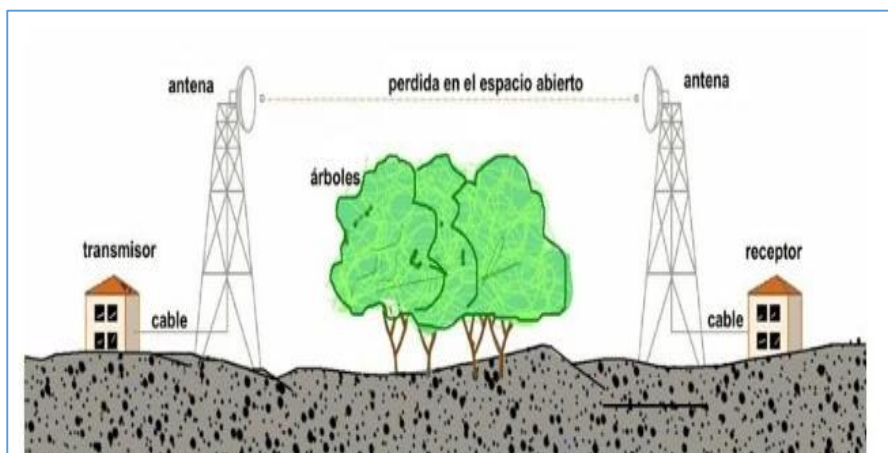
Para este diseño se tomó como referencia la implementación de 02 torres instaladas en el Distrito de Torata por el proyecto “Instalación de Banda Ancha para la conectividad Integral y Desarrollo Social de la Región Moquegua”, a través de la secretaria técnica del FITEI, que es el ente que administra el fondo de inversión en telecomunicaciones (FITEI), siendo esta la unidad formuladora de proyectos en telecomunicaciones y está adscrita al Ministerio de Transportes y Comunicaciones del estado peruano.

En el año 2017 la empresa Orocom es adjudicada con el proyecto “Instalación de Banda Ancha para la conectividad Integral y Desarrollo Social de las Regiones Junín, Puno, Moquegua, y Tacna”.

Con fecha 10 de mayo del 2018 se dio inicio al proyecto “Instalación de Banda Ancha para la conectividad Integral y Desarrollo Social de la Región Moquegua”, con un plazo de ejecución de 1391 días calendarios, cuya fecha de culminación comprende el 28 de febrero del 2022. Al 31 de noviembre del 2021 se tiene un avance físico de 74,83 %, de esta manera el diseño propuesto para dar cobertura las Instituciones Educativas rurales del Distrito de Torata se hace viable con el planteamiento de la presente tesis denominada “Diseño de un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha para mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las Instituciones Educativas rurales del distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua, año 2022”

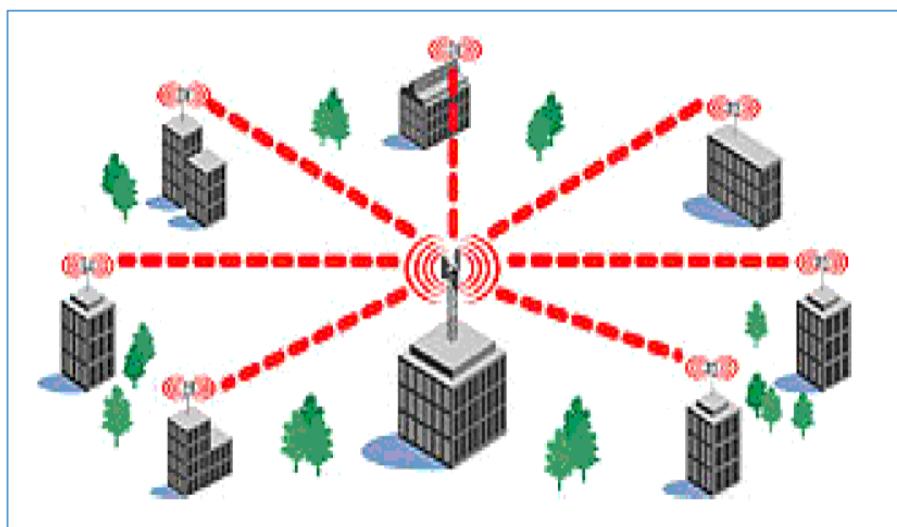
Para el diseño se tomó en cuenta los nodos existentes instalados por la empresa Orocom el primer nodo se encuentra ubicado en el centro poblado de Yacango y el siguiente se encuentra en el centro poblado de Quele.

Estos nodos son de conexión y de distribución permitiendo conectarse a los usuarios para establecer una conexión de internet wifi y los enlace para el diseño se estable como enlace punto a punto y enlace punto multipunto, tal como se muestra en las figuras 5 y 6.

Figura 5*Enlace Punto a Punto*

Nota. Tomado de Internet por Radio Enlace Wifi: Qué es y cómo funciona.

Disponible en: <https://cutt.ly/ISkwtHq>

Figura 6*Enlace Punto a Multipunto*

Nota. Tomado de Enlace Inalámbrico Punto a Multipunto. Disponible en:

<https://cutt.ly/bSkeSGu>

En el presente trabajo de investigación se planteó el diseño de radioenlaces para el acceso a los servicios de tele - educación digital con internet inalámbrico, para dar cobertura a las instituciones educativas rurales del Distrito de Torata. En la primera etapa del diseño se identificó las Instituciones educativas rurales por medio

del sistema Escale del ministerio de Educación el cual permite localizar el Distrito de Torata, la Institución Educativa, el centro poblado, entre otros datos.

En tal sentido, se detalla el proceso seguido para la obtención de las Instituciones Educativas de la localidad de Torata, que formaron parte de la zona de estudio de la presente tesis:

- Primero: Se realizó la filtración de las instituciones educativas rurales del Distrito de Torata.
- Segundo: El sistema Escale nos proporciona la data de las instituciones educativas rurales para lo cual exportamos el archivo de nombre listado_iiee que está en formato xls, donde nos proporciona características plasmado en columnas con nombres de Código Modular, Anexo, Nombre de SS.EE., Ubigeo, Departamento, Provincia, Distrito, Código DRE/UGEL, DRE/UGEL, Centro Poblado, Código de Centro Poblado, Código Local, Dirección, Nivel/Modalidad, Gestión/Dependencia, Latitud, Longitud, Altitud, Fuente de coordenadas.
- Tercero: Con los datos proporcionados por el sistema Escale del Ministerio de Educación se realizó los filtros respectivos para ubicar las Instituciones educativas en el ámbito Distrital de Torata excluyendo las Instituciones educativas que están ubicadas en el área de la zona minera, ver Figura 7.
- Cuarto: El sistema Escale cuenta con una base de datos donde se encuentra la ficha de datos del año 2020 de cada institución educativa. Dentro de la información que allí se encontró, se observó el mapa de ubicación de la I.E., el nombre del director de la I.E., el número telefónico de la I.E, además un cuadro estadístico de los alumnos matriculados en el periodo del 2014 al periodo del 2020, tal como se muestran en las Figuras 8 y 9.
- Quinto: Con los datos descargados de las instituciones educativas rurales mediante el sistema Escale del Ministerio de Educación, se tomó como referencia para ubicar las coordenadas geográficas, el nivel educativo, el centro poblado, el número de alumnos que sirvió para el cálculo del ancho de banda por institución educativa. Ver figura 10.

Figura 7

Mapa de escuelas rurales del Distrito de Torata

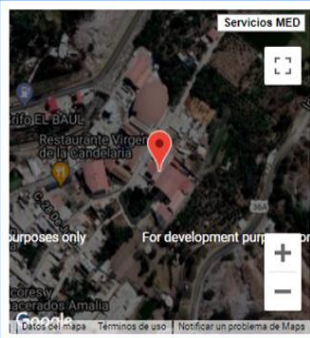


Nota. Escale es una herramienta interactiva para la ubicación de las Instituciones educativas en cada localidad del Perú. Disponible en: <http://sigmed.minedu.gob.pe/mapaeducativo/>

Figura 8

Ficha de datos de una institución educativa de Torata

ESCALE		2020		JOSE CARLOS MARIATEGUI	
FICHA DE DATOS					
JOSE CARLOS MARIATEGUI					
Código modular	0550319	Dirección	Calle Alfonso Ugarte S/N		
Anexo	0	Localidad	TORATA		
Código de local	758592	Centro Poblado	TORATA		
Nivel/Modalidad	Secundaria	Área geográfica	Rural		
Forma	Escolarizado	Distrito	Torata		
Género	Mixto	Provincia	Mariscal Nieto		
Tipo de Gestión	Pública de gestión directa	Departamento	Moquegua		
Gestión / Dependencia	Sector Educación	Código de DRE o UGEL que supervisa el S. E.	180001		
Director(a)	Herrera Jimenez Wilson Raul	Nombre de la DRE o UGEL que supervisa el S.E.	UGEL Mariscal Nieto		
Teléfono	953985744	Característica (Censo Educativo 2020)	No Aplica		
Correo electrónico		Latitud	-17.07578		
Página web		Longitud	-70.84205		
Turno	Continuo sólo en la mañana				
Tipo de programa	No aplica				
Estado	Activo				



Fuentes de información
Padrón de Instituciones Educativas, Censo Educativo 2020, Carta Educativa del Ministerio de Educación- Unidad de Estadística Educativa y cartografía de Google Maps.

Nota. Hoja técnica de la información de la I.E José Carlos Mariátegui de Torata. Disponible en: <https://cutt.ly/MSkoJnP>

Figura 9

Cuadro estadístico de alumnos en las instituciones educativas de Torata

ESTADÍSTICA																	
Las celdas en blanco indican que la institución educativa no reportó datos o no funcionó en el año respectivo.																	
Matrícula por grado y sexo, 2020																	
Nivel	Total		1° Grado		2° Grado		3° Grado		4° Grado		5° Grado						
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M					
Secundaria	74	61	12	9	27	24	17	11	10	8	8	9					
Matrícula por periodo según grado, 2004-2020																	
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	128	123	127	139	143	158	151	148	150	139	138	153	140	123	139	147	135
1° Grado	24	35	35	36	38	37	35	35	38	28	33	36	19	22	38	49	21
2° Grado	25	23	33	39	30	45	38	29	29	24	32	35	22	20	36	51	
3° Grado	25	22	20	24	30	21	31	37	31	30	31	24	34	32	22	17	28
4° Grado	26	25	16	23	22	32	21	25	25	28	28	36	19	28	26	17	18
5° Grado	28	18	23	17	23	23	26	22	27	24	22	25	33	19	31	28	17
Docentes, 2004-2020																	
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	10	11	11	10	10	13	11	13	13	13	13	18	16	16	16	17	
Secciones por periodo según grado, 2004-2020																	
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	6	6	6	6	6	7	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1° Grado	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2
2° Grado	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
3° Grado	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2
4° Grado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1
5° Grado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1
Cantidad promedio de Alumno por Sección, 2020																	
ALUMNO/S/SECCIÓN																	
Total	16.58																
Consideraciones para el uso de datos																	
<ul style="list-style-type: none"> Los datos de ubicación de las instituciones educativas registrados en el Padrón son proporcionados por las DRE/GRE y UGEL. La cartografía de límites distritales, corresponde a los límites censales del INEI, y no indica pertenencia a una jurisdicción político-administrativa determinada. La clasificación de Área geográfica de ESCALE utiliza el criterio utilizado en el Censo de Población y Vivienda del INEI. Su actualización anual obedece a la naturaleza dinámica de la variable y a las fuentes de datos disponibles. 																	

Nota. El cuadro presenta la cantidad de alumnos de las instituciones educativas de Torata entre los años 2004 al 2020. Disponible en:

<https://cutt.ly/MSkoJnP>

Figura 10

Coordenadas geográficas de las instituciones educativas de Torata

✓	Cod. Modular	Nombre de S.E.E.	Ubigeo	Departamento	Provincia	Distrito	Cod. Cen. Pobl.	Centro Poblado	Cod. Local	Nivel	Gestión / Dep.	Altitud	Latitud	Longitud	Fuente de coordenadas	Detalle
✓	0543710	43132	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	114904	ARONDAIVA ARANDANE	987859	Primaria	Pública - Sector Educación	3615	-17.009	-70.8318	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	1262425	SAN JOSE DE CALENTES	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	549851	CALENTES	827018	Primaria	Pública - Sector Educación	2808	-17.1353	-70.7418	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	0308988	43009	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	863025	COSCORI	987810	Primaria	Pública - Sector Educación	3087	-17.1213	-70.73916	UBICACION_WEB (LOCAL)	
✓	0308988	43010	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	127100	ILUBAYA	987821	Primaria	Pública - Sector Educación	2811	-17.0599	-70.8427	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	1019873	350	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	110883	OTORA	894723	Inicial - Jardín	Pública - Sector Educación	2809	-17.02681	-70.85189	UBICACION_WEB (LOCAL)	
✓	0322283	43021	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	110883	OTORA	987835	Primaria	Pública - Sector Educación	2810	-17.0207	-70.8517	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	1034950	SAN JUAN SAN JUNE	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	874490	POROBAYA	707282	Inicial - Jardín	Pública - Sector Educación	3182	-18.985138	-70.832458	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	1034708	SAN JUAN SAN JUNE	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	874490	POROBAYA	707282	Primaria	Pública - Sector Educación	3182	-18.985138	-70.832458	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	0308939	43004	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	235959	QUELE	987779	Primaria	Pública - Sector Educación	2469	-17.0422	-70.854	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	0308954	43008	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	124830	TALA	987784	Primaria	Pública - Sector Educación	3281	-17.02681	-70.8328	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	0228505	151 SANTA TERESITA	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	126800	TORATA	387722	Inicial - Jardín	Pública - Sector Educación	2228	-17.0744	-70.84917	UBICACION_WEB (LOCAL)	
✓	0559119	JOSE CARLOS MARIATEGUI	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	126800	TORATA	765892	Secundaria	Pública - Sector Educación	2221	-17.07573	-70.84205	UBICACION_WEB (LOCAL)	
✓	0322222	JOSE CARLOS MARIATEGUI	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	126800	TORATA	765892	Primaria	Pública - Sector Educación	2221	-17.07578	-70.84205	UBICACION_WEB (LOCAL)	
✓	0837419	43198	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	536015	TORATA ALTA	987884	Primaria	Pública - Sector Educación	2505	-17.07808	-70.828172	GPS_OTRAS_FUENTES (LOCAL)	
✓	0559814	2881 SANTA ROSA DE LIMA	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	524428	VILLA BOTFLACA	987897	Inicial - Jardín	Privada - Fiscalizada	3062	-9.11120821	-77.84174502	UBICACION_WEB (LOCAL)	
✓	0559818	FISCALIZADO DANIEL ALCIDES CARRION	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	524428	VILLA BOTFLACA	987915	Secundaria	Privada - Fiscalizada	3328	-17.09628	-70.78927	UBICACION_WEB_MED (LOCAL)	
✓	0527948	FISCALIZADO DANIEL ALCIDES CARRION	150108	MOQUEGUA	MARISCAL NETO	TORATA	524428	VILLA BOTFLACA	987915	Primaria	Privada - Fiscalizada	3328	-17.09628	-70.78927	UBICACION_WEB_MED (LOCAL)	

Nota. Hoja técnica del sistema Escale. Disponible en:

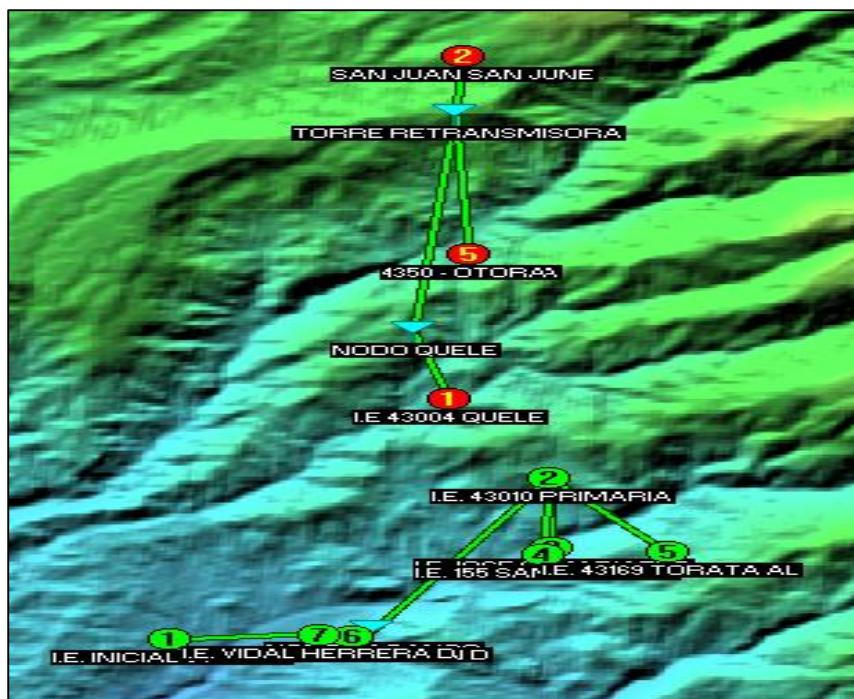
<http://sigmed.minedu.gob.pe/mapaeducativo/>

4.2. Ubicación de la zona

La zona de estudio para el diseño del sistema de radioenlaces está ubicada en el Distrito de Torata Provincia de Mariscal Nieto Departamento de Moquegua para lo cual se realizó el enlace, ver figura 11.

Figura 11

Ubicación del sistema de radioenlaces en la zona de estudio



Nota. La gráfica muestra la distribución geográfica del sistema de radioenlaces en la localidad de Torata. Imagen generada con el software RadioMobile.

Descripción de la zona de estudio

El Distrito de Torata es uno de los seis distritos de la provincia de Mariscal Nieto en la Región Moquegua. Está ubicado a una distancia de 24 km de la ciudad de Moquegua, se sitúa a 2 193 metros de altitud sobre el nivel del mar.

La figura 12 muestra la ubicación geográfica del distrito de Torata dentro de la región Moquegua.

Figura 12

Ubicación geográfica del distrito de Torata



Nota. El distrito de Torata se encuentra en la provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua. Disponible en: <https://cutt.ly/kSxDkum>

Con referencia al clima, según el website de pronósticos de tiempo Weather Spark, indica que las condiciones del clima de Torata son:

Los veranos son largos, cómodos, áridos y mayormente nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 20 °C y rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más de 22 °C.

En Torata, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía *considerablemente* en el transcurso del año.

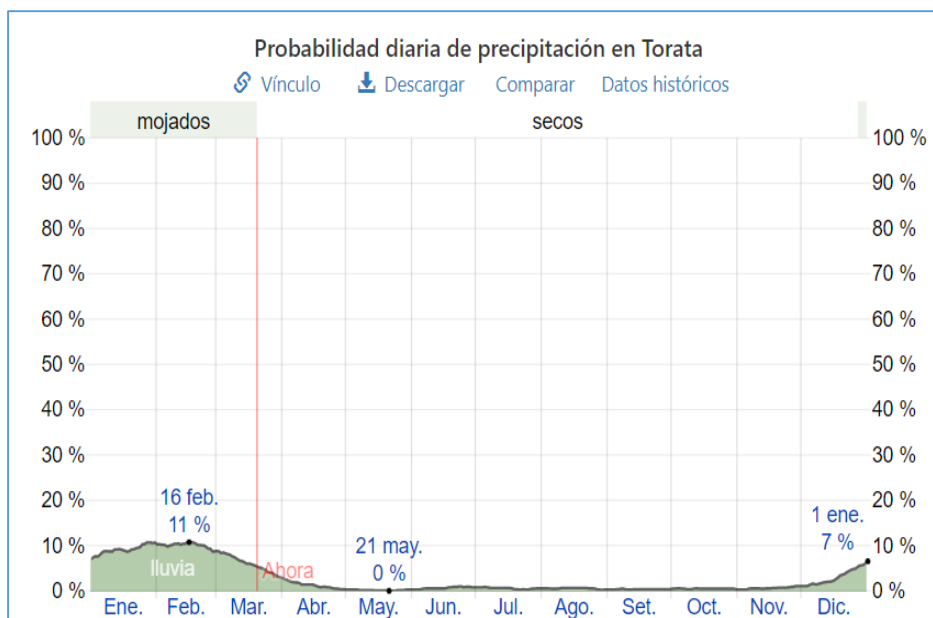
La parte más despejada del año en Torata comienza aproximadamente el 15 de abril; dura 6,6 meses y se termina aproximadamente el 2 de noviembre.

Llueve durante el año en Torata. El mes con más lluvia en Torata es febrero, con un promedio de 11 milímetros de lluvia. El mes con

menos lluvia en Torata es mayo, con un promedio de 0 milímetros de lluvia.

Figura 13

Probabilidad diaria de lluvia en Torata



Nota. La gráfica muestra la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días. Disponible en: <https://cutt.ly/RSnelXi>

Selección de las instituciones educativas en la zona rural de Torata

Según el sistema Escale reportado por el Ministerio de Educación se tiene la cantidad de alumnos matriculados en el año 2020 declarada por la Dirección Regional de Educación Moquegua (DREMO), por institución educativa rural en el Distrito de Torata en el nivel inicial, primaria y secundaria,

Para el presente diseño se tomaron en cuenta 11 instituciones educativas rurales pertenecientes al del distrito de Torata, tal como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7*Relación de Instituciones Educativas rurales de Torata*

N°	Institución educativa	Centro poblado	Nivel	Latitud	Longitud	Altitud
1	43010	Ilubaya	Primaria	-17,0599	-70,8427	2 611
2	350	Otora	Inicial - Jardín	-17,00981	-70,85189	2 609
3	43021	Otora	Primaria	-17,0097	-70,8517	2 610
4	San Juan San June	Porobaya	Inicial - Jardín	-16,965138	-70,852465	3 192
	San Juan San June	Porobaya	Primaria	-16,965138	-70,852465	3 192
5	43004	Quele	Primaria	-17,0422	-70,854	2 499
6	155, Santa Teresita	Torata	Inicial - Jardín	-17,07744	-70,84317	2 226
7	José Carlos Mariátegui	Torata	Secundaria	-17,07578	-70,84205	2 221
	José Carlos Mariátegui	Torata	Primaria	-17,07578	-70,84205	2 221
8	43169	Torata alta	Primaria	-17,076808	-70,828712	2 506
9	243, San Martín de Porras	Yacango	Inicial - Jardín	-17,0959	-70,8654	2 100
10	349	Yacango	Inicial - Jardín	-17,09663	-70,88644	2 005
11	Vidal Herrera Díaz	Yacango	Secundaria	-17,0957	-70,8691	2 048
	Vidal Herrera Díaz	Yacango	Primaria	-17,0957	-70,8691	2 048

Nota. Extraída de la hoja técnica del sistema Escala del MINEDU, para la zona rural del distrito de Torata, Región Moquegua. Disponible en: <http://sigmed.minedu.gob.pe/mapaeducativo/>

Efectuado la selección de las instituciones educativas de la localidad de Torata, se procedió a efectuar el Estudio de Campo en la zona de estudio, para el levantamiento topográfico del perfil del terreno.

4.3. Levantamiento del perfil del terreno

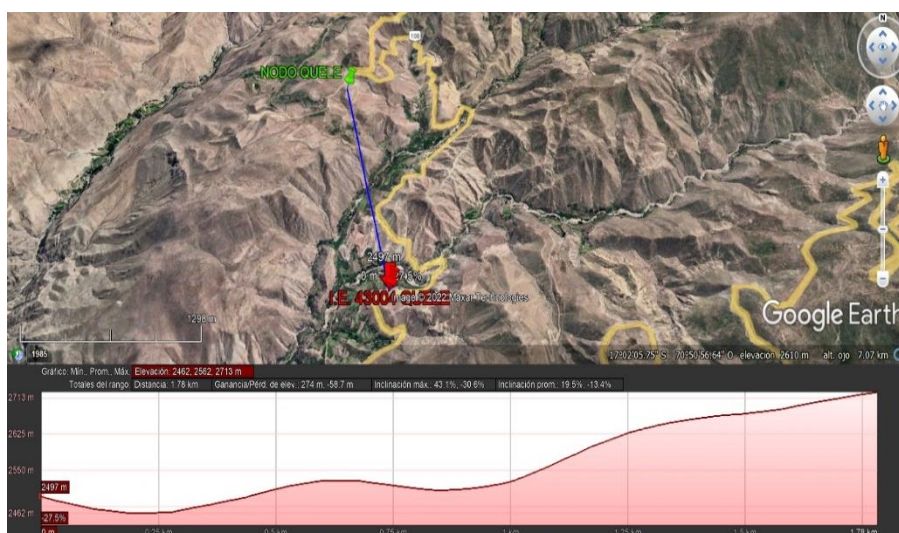
Se efectuó una visita de campo, para verificar la ubicación geográfica de las 11 instituciones educativas de las zonas rurales de Torata. Se hizo un levantamiento de datos de la zona de estudio, verificando la existencia de acceso vehicular o peatonal a cada punto de comunicación del sistema de radioenlaces propuesto. Así mismo, se verificó si los puntos de comunicación contaban con sistema de energía eléctrica convencional o si requerían de sistema de energía alternativo.

Para realizar el levantamiento del perfil del terreno para cada uno de los radioenlaces, se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) Google Earth, que se encuentra disponible en su website on line, cuyas herramientas son de suma utilidad. Por consiguiente, los puntos elegidos variarán de acuerdo a la altitud y posición de cada área, en donde se consideró el terreno más elevado para cada radioenlace, auxiliándose del software antes mencionado, con la finalidad de obtener línea de vista entre las antenas.

La figura 14 muestra de modo simultaneo la ruta seguida por el radioenlace y el resultado de su perfil topográfico, verificando que existe líneas de vista.

Figura 14

Perfil de un radioenlace utilizando Google Earth PRO



Nota. La gráfica muestra la ruta seguida por un radioenlace y su perfil topográfico en la localidad de Torata. Imagen generada desde la website de Google Earth PRO.

4.4. Tecnología e infraestructura para el diseño del sistema

Los criterios seguidos para la selección de los equipos radioeléctricos de transmisión y recepción empleados en el diseño de nuestro sistema son los siguientes:

- Capacidad de información o ancho de banda a transmitir.
- Las pérdidas por conexiones físicas e instalación de los equipos de transmisión y recepción son prácticamente nulas.

Para determinar el ancho de banda se deben conocer dos factores: el tipo de información a transmitir y el número de clientes que se le lleva el servicio.

Por lo tanto, la información a transmitir fueron los datos a través de internet. Estos datos destacan voz, video, acceso a todo tipo de páginas web, acceso a correos electrónicos y acceso a redes sociales.

Nuestros clientes fueron las instituciones educativas de las zonas rurales de Torata. Cada institución educativa cuenta con una cantidad de alumnos, los cuales determinaron la velocidad de transmisión y el ancho de banda empleada por cada institución.

A continuación, se muestra el equipamiento seleccionado para nuestro proyecto. Con respecto a la infraestructura de telecomunicaciones, ver el Anexo 2.

4.4.1. Access Point

El Access Point crea una red de área local inalámbrica (WLAN) para dar cobertura con una señal WIFI, para el acceso a internet de los alumnos de las instituciones educativas de las zonas rurales de Torata.

El equipo seleccionado es un WLAN Access Point modelo cnPilot e700 Outdoor Omni del fabricante Cambium Networks. Trabaja a la frecuencia de operación de la banda no licenciada ICM de 5 GHz, y velocidad de transmisión de hasta 1.16 Gbps, que garantiza la operatividad del acceso a internet en cada institución educativa. La figura muestra 15 al Acceso Point del fabricante Cambium Networks.

En la tabla 8 se muestran las especificaciones técnicas del equipo Access Point seleccionado.

Tabla 8*Datos técnicos de Access Point*

Parámetros	Dimensionamiento
Frequency Bands	2,4 GHz: 2,4 – 2,4835 GHz Channels 1 – 13 (ETSI/CE). Channels 1 – 11 (US) 5 GHz: 5,15 – 5,85 GHz
Ssid security	WPA-2 (802.11i): WPA2-Enterprise (802.1x/EAP) & WPA2-Preshared-keys, Open
SSID Security	WPA-2 (802.11i): WPA2-Enterprise (802.1x/EAP) & WPA2-Preshared-keys, Open
Max SSIDs	16
Max Concurrent Clients	512
Max Data Rates	2,4 GHz: 300 Mbps. 5 GHz: 867 Mbps. Max combined rate: 1.16 Gbps
Ethernet Ports	Dual Gigabit Ethernet ports (2 x 10/100/1000Base-T)
Antenna	Dual polarized. 2x2 MIMO. Integrated Omni (360°) antenna
Antenna Gain	8 dBi (2,4 GHz and 5 GHz)
Power Supply	56V/30W Gigabit passive PoE injector
POE Out	Aux port: capable of 802.3af out or Canopy power (for supported Cambium ePMP or PMP450 SMs)
Transmit Power	25 dBm @ 2,4GHz 28 dBm @ 5 GHz
Power Consumed	Typical: 8W Max: 12,95W (no auxiliary device connected)

Nota. Extraída de la hoja técnica del equipo cnPilot e700 Outdoor Omni. Del fabricante Cambium Networks. Disponible en: <https://cutt.ly/6SYfjp5>

Figura 15

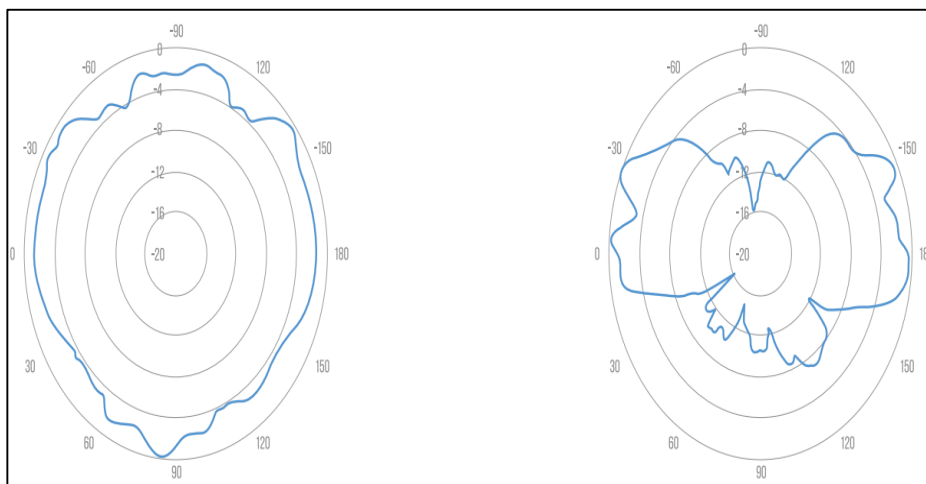
Equipo WLAN Access Point de exterior seleccionado



Nota. Equipo Access Point de exterior que opera a 5 GHz. Disponible en: <https://cutt.ly/jSnmZ1e>

Figura 16

Patrones de radiación del Access Point (horizontal-vertical) a la frecuencia de 5 GHz



Nota. La *Nota.* La gráfica muestra la distribución del campo eléctrico en el plano azimutal del equipo Access Point de exterior que opera a 5 GHz. Disponible en: <https://cutt.ly/jSnmZ1e>

4.4.2. Antena sectorial

La antena sectorial seleccionada modelo Airmax del fabricante Ubiquiti, tiene las siguientes especificaciones técnicas, que se muestran en la tabla 9. La figura 17 muestra la imagen de la antena seleccionada.

Tabla 9

Datos técnicos de antena sectorial

Descripción	Rangos
Rango de Frecuencia	5,15-5,85 GHz
Ganancia	18,6-19,1 dBi
Polarización	Dual Lineal
Aislamiento de Polarización	28 dB min
Max VSWR	1,5:1
Apertura Hpol (6dB)	123 deg
Apertura Vpol (6dB)	123 deg
Apertura Elevación (6dB)	4 °
Downtilt Eléctrico	2 °
Resistencia al viento	160 mph

Nota. Extraída de la hoja técnica del equipo Rocket Airmax modelo AM-5G19-120 del fabricante Ubiquiti. Disponible en: <https://cutt.ly/DSnZICU>

Figura 17

Antena sectorial de 5,8 GHz, 19 dBi a 120° modelo Rocket Airmax



Nota. Disponible en: <https://cutt.ly/DSnZICU>

4.4.3. Estación base

El Rocket M5, es la solución de Ubiquiti con modulación TDMA para la banda de frecuencia de 5 GHz. Irradia una potencia de hasta 27 dBm (500mW) que utiliza el estándar IEEE 802.11n. El Rocket M5 es un equipo robusto, de alta potencia, con radios MIMO 2X2. Esta característica le permite obtener un gran alcance (hasta 50+km) y una elevada velocidad de transferencia (300 Mbps brutos y más de 100 Mbps reales en TCPI/IP).

Ha sido diseñado para realizar enlaces PtP y PTMP y funcionar con estaciones base AirMax. Viene con la V.5 del firmware AirOs. La tabla 10 muestra las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 10

Datos técnicos de estación base

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tipo procesador	Atheros MIPS 4KC, 400 MHz
Memoria	64 MB SDRAM, 8 MB Flash
Interfaz de red	1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface
Cumple con RoHS	Sí
RX Sensitivity	-96 dBm (máx)
Antena	No tiene antena integrada, tiene 2 conectores SMA RP Hembra
TCP/IP Throughput	150Mbps
Consumo máximo	8W
Fuente alimentación	24 V, 1 A (24 Watts). Supply and injector included
Tipo alimentación	POE (pairs 4,5+; 7,8 return)
Rango de frecuencia	Programable, 5 470 – 5 600, 5 650 – 5 725, 5 725 – 5 850 MHz

4.4.4. Radio backhaul

Las consideraciones técnicas tomadas del radio backhaul del fabricante Ubiquiti que se tomaron en cuenta para su selección.

- Cuenta con una eficiencia espectral verdadera de hasta 1 Gbps, con tecnología para enlaces PtP resistentes al ruido del entorno y específicamente diseñado para servicios WISP.
- La radio puede funcionar en diferentes frecuencias para TX y RX, lo que permite una gran flexibilidad para evitación de interferencias.
- Modulación adaptativa Se admiten tasas de hasta 4096 QAM.
- La potencia de transmisión de la radio. puede ser programado hasta alcanzar los +29 dBm.

Las especificaciones técnicas del equipo radio backhaul se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Especificaciones técnicas del radio backhaul

Especificaciones	
Conectores RF	RP-SMA resistente a la intemperie (CH0, CH1) SMA resistente a la intemperie (GPS)
Antena GPS	Base externa magnética
Fuente de alimentación	Adaptador PoE 24V, 1A Gigabit (Incluido)
Consumo de energía máximo	12W
Rango de voltaje soportado	+18 a +54VDC
Montaje	Air Fiber X Mount (Compatible con Rocket Mount). Montaje en poste de GPS
Procesador	Air Fiber LTU IC
Máximo rendimiento	1.34 Gbps
Rango máximo	100 km
Latencia	1.5 ms - 3.5 ms
Sistema Operativo	airOS LTU
Puerto de datos	1 x 10/100/1000 Ethernet
Puerto de gestión	1 x 10/100/1000 Ethernet Bluetooth v4.0
Precisión de frecuencia	< 2 ppm

Figura 18

Estación base modelo Ligo DLB PRO 5-90-20

5 GHz Model





airFiber 5X

Model	Frequency	Antenna Compatibility
AF-5X	5 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • AF-5G23-S4S • AF-5G30-S4S • AF-5G34-S4S • RD-5G30* • RD-5G34*

* Additional performance available with RockerDish to airFiber Conversion Kit

Model	Frequency	Gain
AF-5G30-S4S	5 GHz	30 dBi

The AF-5G30-S4S offers 30 dBi of gain in a 650-mm diameter size. It is compatible with the IsoBeam™ (model ISO-BEAM-620), an optional isolator radome that delivers superior noise immunity in co-location deployments.

Model	Frequency	Gain ¹	Radome ¹
AF-5G30-S4S	4.9 - 5.9 GHz	26 - 30 dBi	ISO-BEAM-620

The AF-5G30-S4S offers up to 30 dBi of gain in a 650-mm diameter size.

Nota. Equipo radio backhaul y antena con que trabaja. Disponible en:

<https://cutt.ly/GSmryQX>

4.4.5. Guía de onda

Las guías de ondas se utilizan para la transmisión de señales radioeléctricas en el rango de las frecuencias de microondas. La guía de onda elíptica es la más utilizada para las alimentaciones de los sistemas de antenas. Por lo tanto, las guías de ondas circulares se utilizan en lugares donde se requieren valores muy bajos de atenuación.

El cableado a utilizar debe tener las características necesarias para trabajar en el rango de las frecuencias establecidas en este enlace, por lo tanto, se eligió una guía de onda elíptica modelo EW52, que opera en el rango frecuencia 5,6 – 6,425 GHz.

La tabla 12 muestra las características eléctricas de la guía de onda elíptica seleccionado.

Tabla 12

Características eléctricas de la guía de onda elíptica

Modelo	Rango de frecuencia (GHz)	Frecuencia (GHz)	Atenuación (dB/100m)
EW52, WP52, WP52S	4,6 – 6,425	5,925	3,96
		6,125	3,87
		6,425	3,80

Nota. Tomada de Guía 3: Guías de ondas por Sandro Constantini, Universidad Metropolitana Telecomunicaciones, Venezuela. Disponible en: <https://cutt.ly/5SUqiWg>

4.5. Cálculo del Ancho de banda de acceso a internet del sistema

4.5.1 Estimación del ancho de banda de los servicios de internet

Para determinar el ancho de banda de acceso a internet del sistema, primero se estimó cuanto ancho de banda consume cada uno de los servicios que se utilizan al acceder a internet.

La tabla 13 presenta los valores aproximados del consumo de ancho de banda de esos servicios.

Tabla 13

Ancho de banda estimado para los servicios de internet

Servicio	Ancho de banda por alumno (Kbps)	Ancho de banda por docente (Kbps)
Navegación web	209,84	209,84
Correo electrónico	29,67	59,33
Descarga de Documentos	29,26	87,78
Transferencia de archivos	9,57	47,85
Streaming video	1 200,00	2 000,00
Total	1 478,34	2 404,8

Por lo tanto, el ancho de banda asignado para acceder al Internet es:

- Ancho de banda asignado a cada estudiante = 1,5 Mbps
- Ancho de banda asignado a cada docente = 2,4 Mbps

En la tabla 14 se muestra la información de alumnos por cada institución educativa de Torata, que se encuentra en el sistema Escale del MINEDU.

Tabla 14

Cantidad de estudiantes y docentes por Institución Educativa

Item	Institución educativa	Numero de estudiante	N° de docentes
1	43010	1	1
2	350	6	1
3	43021	9	3
4	San Juan San June	7	1
	San Juan San June	11	2
5	43004	2	1
6	155, Santa Teresita	71	4
7	José Carlos Mariátegui	320	30
8	43169	4	1
9	243, San Martin de Porras	35	3
10	349	6	1
11	Vidal Herrera Diaz	182	17

Nota. Obtenido de la herramienta de búsqueda ESCALE (Estadística de la Calidad Educativa) del Ministerio de Educación. Disponible en:

<https://cutt.ly/XSUkx1a>

En las 11 Instituciones Educativas rurales se tienen 654 estudiantes y 65 docentes.

4.5.2 Cálculo del ancho de banda

Para determinar el ancho de banda a contratar para el acceso a internet de los alumnos y docentes de las 11 instituciones educativas de Torata comprendidas en la zona de estudio, se utilizó la siguiente expresión:

$$AB_{\text{contratar}} = AB_{\text{alumnos}} + AB_{\text{docentes}}$$

Donde:

$$AB_{\text{contratar}} = \text{Ancho de banda a contratar.}$$

$$AB_{\text{alumnos}} = \text{Ancho de banda de alumnos}$$

$$AB_{\text{docentes}} = \text{Ancho de banda de docentes}$$

Con los datos obtenidos por el sistema escale del número de estudiantes y docentes por institución educativa y el ancho de banda por estudiante y docente se pudo calcular el ancho de banda requerido por institución educativa rural. La contribución de los anchos de bandas de cada institución educativa determinó el ancho de banda a contratar.

- **Institución Educativa 43010 ubicado en el centro poblado de Ilubaya**

En estudiantes

$$\text{cantidad de estudiantes} = 1$$

$$\text{concurancia de personas} = 1$$

$$\text{ancho de banda a garantizar por usuario} = 1,5 \text{ Mbps}$$

$$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 1$$

$$AB = 1,5 \text{ Mbps}$$

En docentes

$$\text{cantidad de estudiantes} = 1$$

$$\text{concurancia de personas} = 1$$

$$\text{ancho de banda a garantizar por usuario} = 2,4 \text{ Mbps}$$

$$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 1$$

$$AB = 2,4 \text{ Mbps}$$

Ancho de banda a contratar

$$AB = AB_{\text{a contratar para estudiante}} + AB_{\text{a contratar para docente}}$$

$$AB = 1,5 \text{ Mbps} + 2,4 \text{ Mbps}$$

$$AB = 3,9 \text{ Mbps}$$

- **Institución Educativa 350 ubicado en la Junta vecinal de Otorá.**

En estudiantes

$$\text{cantidad de estudiantes} = 6$$

conurrencia de personas = 6

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 6$

$AB = 9 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 1

conurrencia de personas = 1

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 1$

$AB = 2,4 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

$AB = AB \text{ a contratar para estudiante} + AB \text{ a contratar para docente}$

$AB = 9,0 \text{ Mbps} + 2,4 \text{ Mbps}$

$AB = 11,4 \text{ Mbps}$

- **Institución Educativa 43021 ubicado en el centro poblado de Otorá**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 9

conurrencia de personas = 9

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 9$

$AB = 13,5 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 3

conurrencia de personas = 3

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 3$

$AB = 7,2 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

$AB = AB \text{ a contratar para estudiante} + AB \text{ a contratar para docente}$

$AB = 13,5 \text{ Mbps} + 7,2 \text{ Mbps}$

$AB = 20,7 \text{ Mbps}$

- **Institución Educativa San Juan San June ubicado en el centro poblado de Porobaya**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 18

concurancia de personas = 18

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 18$

$AB = 27,0 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 3

concurancia de personas = 3

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 3$

$AB = 7,2 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

$AB = AB \text{ a contratar para estudiante} + AB \text{ a contratar para docente}$

$AB = 27,0 \text{ Mbps} + 7,2 \text{ Mbps}$

$AB = 34,2 \text{ Mbps}$

- **Institución Educativa 43004 ubicado en el centro poblado de Quele**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 2

concurancia de personas = 2

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 2$

$AB = 3,0 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 1

concurancia de personas = 1

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 1$

$AB = 2,4 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

AB = AB a contratar para estudiante + AB a contratar para docente

AB = 3,0 Mbps + 2,4 Mbps

AB = 5,4 Mbps

- **Institución Educativa 155 Santa Teresita ubicado en el centro poblado de Torata**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 71

conurrencia de personas = 71

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

AB = 1,5 Mbps*71

AB = 106,0 Mbps

En docentes

cantidad de estudiantes = 4

conurrencia de personas = 4

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

AB = 2,4 Mbps*4

AB = 9,6 Mbps

Ancho de banda a contratar

AB = AB a contratar para estudiante + AB a contratar para docente

AB = 106,0 Mbps + 9,6 Mbps

AB = 115,6 Mbps

- **Institución Educativa José Carlos Mariátegui ubicado en el centro poblado de Torata**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 320

conurrencia de personas = 320

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

AB = 1,5 Mbps*320

AB = 480,0 Mbps

En docentes

cantidad de estudiantes = 30

conurrencia de personas = 30

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 30$

$AB = 72 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

$AB = AB \text{ a contratar para estudiante} + AB \text{ a contratar para docente}$

$AB = 480,0 \text{ Mbps} + 72 \text{ Mbps}$

$AB = 552,0 \text{ Mbps}$

- **Institución Educativa 43169 ubicado en el centro poblado de Torata Alta**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 4

conurrencia de personas = 4

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 4$

$AB = 6,0 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 1

conurrencia de personas = 1

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 1$

$AB = 2,4 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

$AB = AB \text{ a contratar para estudiante} + AB \text{ a contratar para docente}$

$AB = 6,0 \text{ Mbps} + 2,4 \text{ Mbps}$

$AB = 8,4 \text{ Mbps}$

- **Institución Educativa 243 San Martin de Porras ubicado en el centro poblado de Yacango**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 35

concurencia de personas = 35

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 35$

$AB = 52,5 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 3

concurencia de personas = 3

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 3$

$AB = 7,2 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

$AB = AB \text{ a contratar para estudiante} + AB \text{ a contratar para docente}$

$AB = 52,5 \text{ Mbps} + 7,2 \text{ Mbps}$

$AB = 59,7 \text{ Mbps}$

- **Institución Educativa 349 ubicado en el centro poblado de Yacango**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 6

concurencia de personas = 6

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

$AB = 1,5 \text{ Mbps} * 6$

$AB = 9,0 \text{ Mbps}$

En docentes

cantidad de estudiantes = 1

concurencia de personas = 1

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

$AB = 2,4 \text{ Mbps} * 1$

$AB = 2,4 \text{ Mbps}$

Ancho de banda a contratar

AB = AB a contratar para estudiante + AB a contratar para docente

AB = 9,0 Mbps + 2,4 Mbps

AB = 11,4 Mbps

- **Institución Educativa Vidal Herrera Diaz ubicado en el centro poblado de Yacango**

En estudiantes

cantidad de estudiantes = 182

conurrencia de personas = 182

ancho de banda a garantizar por usuario = 1,5 Mbps

AB = 1,5 Mbps*182

AB = 273,0 Mbps

En docentes

cantidad de estudiantes = 17

conurrencia de personas = 17

ancho de banda a garantizar por usuario = 2,4 Mbps

AB = 2,4 Mbps*17

AB = 40,8 Mbps

Ancho de banda a contratar

AB = AB a contratar para estudiante + AB a contratar para docente

AB = 273,0 Mbps + 40,8 Mbps

AB = 313,8 Mbps

Se determinó que el ancho de banda a contratar se obtuvo de la suma de los anchos de bandas determinado en cada institución educativa.

AB contratar = 1 136,5 Mbps

4.5.3 Cálculo de la velocidad de transmisión

En las instituciones educativas existe una jornada diurna, para el acceso al internet permite tener un 50% de simultaneidad. Se determinó que la velocidad de transmisión para un estudiante era de 1,5 Mbps, con un factor de compartición de 2 a 1 y con el 50% de simultaneidad. Por lo tanto, la velocidad de transmisión de datos

(Internet) para los estudiantes es igual a 1,5 Mbps, considerando cada estudiante con una computadora (654), dividido para el factor de compartición y multiplicado por la simultaneidad, se tendrá:

$$V_{tx} \text{ de datos total estudiante} = 1,5 \text{ Mbps} * 654 * 0,5 / 2$$

$$V_{tx} \text{ de datos total estudiante} = 245,25 \text{ Mbps.}$$

Mientras que la velocidad de transmisión necesaria para cada docente o un director acceda a Internet es de 2,4 Mbps, se observa que el número de docentes es igual a 65, por lo tanto, la velocidad de transmisión total será igual a:

$$V_{tx} \text{ de datos total Docente} = 2,4 \text{ Mbps} * 65 * 0,5 / 2$$

$$V_{tx} \text{ de datos total Docente} = 39,00 \text{ Mbps.}$$

La velocidad de transmisión que debe soportar la red es:

$$V_{tx} \text{ de datos Total} = 245,25 \text{ Mbps} + 39,00 \text{ Mbps.}$$

$$V_{tx} \text{ de datos Total} = 284,25 \text{ Mbps}$$

De los datos obtenidos se tiene una velocidad de transmisión de consumo simultáneo de 248,25 Mbps y un ancho de banda de 1 136,5 Mbps.

4.6. Cálculos de ingeniería para el diseño de los radioenlaces

Para el diseño de los radioenlaces del sistema, fue necesario definir parámetros importantes que ayuden a mejorar su comprensión.

Para los cálculos de ingeniería se contó con la aplicación Google Earth PRO para determinar los perfiles topográficos de cada trayectoria, verificando que exista línea de vista (LOS). Además, para determinar el margen del enlace (M_{link}), se empleó el software de simulación RadioMobile, donde se introducen datos y configuraciones requeridos.

Esquema del sistema de radioenlaces

A continuación, en la figura 19 se presenta el sistema de radioenlaces que se estableció en el trabajo de investigación y que comprendió establecer una red de comunicación para las 11 instituciones educativas de las zonas rurales del

Atenuación total debido a la lluvia

Considerando que el clima de Torata es seco y hay escasez de lluvia y según la figura 13 se observó que la acumulación de lluvia mayor se da en el mes de febrero con un acumulado de 11 mm de precipitación al mes, se asumió que la atenuación total debido a la lluvia es prácticamente nula.

$$A_{\text{rain}} = 0 \text{ dB}$$

Pérdida en la guía de onda ($L_{G.O}$)

Se utilizó la guía de onda EW52 del fabricante Flexwell, que opera en la frecuencia 4,6 a 6,425 GHz. Presenta pérdidas de inserción de 3,96/100 m. Considerando la longitud de la guía de onda de 0,5 m, la pérdida del cable obtenida fue de

$$L_{G.O} = (3,96 \text{ dB}/100 \text{ m}) * 5 \text{ m} = 0,195 \text{ dB.}$$

Pérdidas del equipo de Transmisión/recepción

Las pérdidas que introducen los equipos en el sistema de transmisión/recepción son las pérdidas causadas por acoplamiento de la ODU y la antena, pérdidas en el circulador y pérdidas en los filtros que se totalizan por la siguiente ecuación:

$$P_{T_x/R_x} = 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$$

Pérdidas en el cable alimentador (L_f)

De acuerdo a la ficha técnica del cable coaxial presenta una pérdida de 22 dB por cada 260 m. El factor de atenuación es de 0,085 dB/m. En ambos extremos del radioenlace se debe añadir 5 metros a la altura de la antena.

$$\text{Para } \ell_{\text{cable del enlace}} = (18 + 5) + (18 + 5) = 46 \text{ m.}$$

$$L_f = 3,91 \text{ dB}$$

$$\text{Para } \ell_{\text{cable del enlace}} = (18 + 5) + (12 + 5) = 40 \text{ m.}$$

$$L_f = 3,40 \text{ dB}$$

$$\text{Para } \ell_{\text{cable del enlace}} = (12 + 5) + (12 + 5) = 34 \text{ m.}$$

$$L_f = 2,89 \text{ dB}$$

Ganancia de antena Tx y Rx

La ganancia de la antena transmisora y receptora tienen una ganancia de 8 a 30 dBi a la frecuencia a 5 GHz según el fabricante y de acuerdo al enlace.

Potencia de transmisión (PTx)

La potencia de transmisión del equipo de radio, según el fabricante es de 27 dBm.

Potencia umbral o sensibilidad del receptor (Pu)

La potencia de transmisión del equipo de radio, según el fabricante es de - 96 dBm.

Potencia de recepción (PRx)

La potencia que está disponible en el receptor depende de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto del transmisor al receptor. Al considerar todas estas variables se tiene la siguiente ecuación que es conocida como ecuación general del radioenlace:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_{G.O} - P_{Tx/Rx} - A_{rain} - L_p - L_f$$

$$P_{Rx} = 27 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - 0,195 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - L_p - L_f$$

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

4.6.1. Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June

Es el enlace de la estación repetidora que es el nodo intermedio para enlazar la institución educativa de San Juan San June del centro poblado de Porobaya.

Estación Repetidora

Latitud: $16^{\circ}58'41,905'' = 16,978 \rightarrow X = 16,978$

Longitud: $70^{\circ}51'12,964'' = 70,853 \rightarrow Y = 70,853$

Altitud: 3 235,6 m s. n. m.

I.E de San Juan San June:

Latitud: $16^{\circ}57'54,497'' = 16,965 \rightarrow X1 = 16,965$

Longitud: $70^{\circ}51'8,874'' = 70,852 \rightarrow Y1 = 70,852$

Altitud: 3 185 m s. n. m.

Las figuras 20 y 21 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 20

Radioenlace: Estación Repetidora a I.E. San Juan San June



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 21

Perfil topográfico: Estación Repetidora a I.E. San Juan San June



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

La ubicación de la torre retransmisora se ubicó en un punto donde tuvo línea de vista al centro poblado de Porobaya, este punto de ubicación se

convirtió a números reales para demostración del cálculo de distancia, pérdida del espacio libre, azimut entre el punto Ubicado en el centro Poblado de Porobaya hasta la antena de la torre repetidora.

Longitud del enlace (d)

$$A = X - X1 = 16,978 - 16,965 = 0,013$$

$$A = 0,013$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = 0,013 * 111,32$$

$$A = 1,44716$$

$$B = Y - Y1 = 70,853 - 70,852 =$$

$$B = 0,001$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,001 * 111,32$$

$$B = 0,11132$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(1,44716)^2 + (0,11132)^2}$$

$$d = 1,46 \text{ km}$$

Pérdida en espacio libre

$$Lp = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$Lp = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (GHz)} + 20 \log 1,46 \text{ (km)}$$

$$Lp = 110,385 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{0,11132}{1,44716}\right)$$

$$\text{azimut} = 4,398$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 46 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,91 \text{ dB}$$

$$L_p = 110,385 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = 30 \text{ dBi}$$

$$G_{Rx} = 30 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 83,805 \text{ dBm} - 110,385 \text{ dB} - 3,91 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -30,375 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -30,375 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 65,625 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile:

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

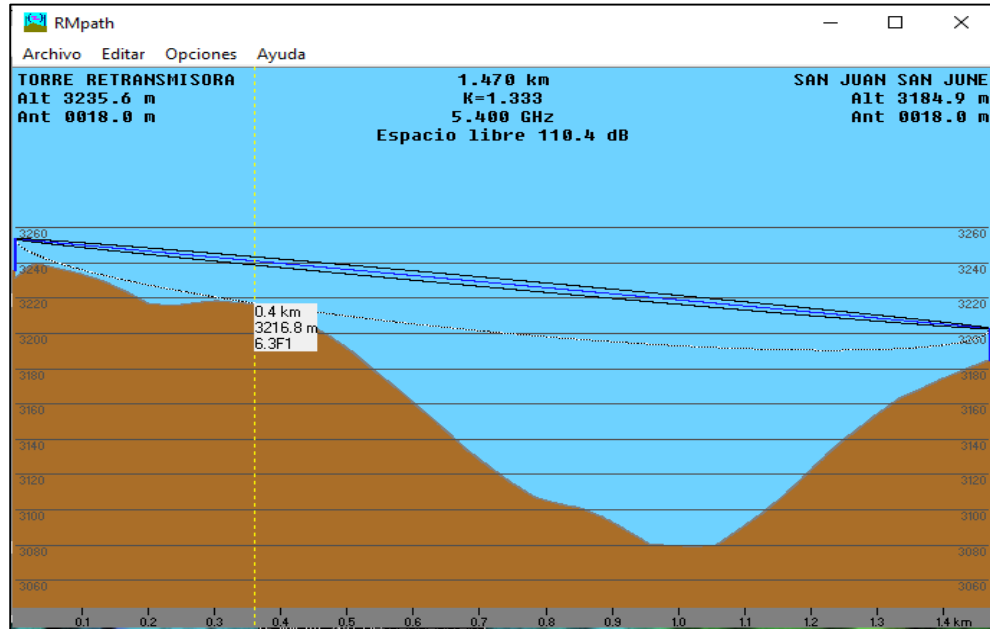
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 22 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Estación Repetidora - I.E. San Juan San June.

La figura 23 muestra la simulación del radioenlace Estación Repetidora-I.E. San Juan San June.

Figura 22

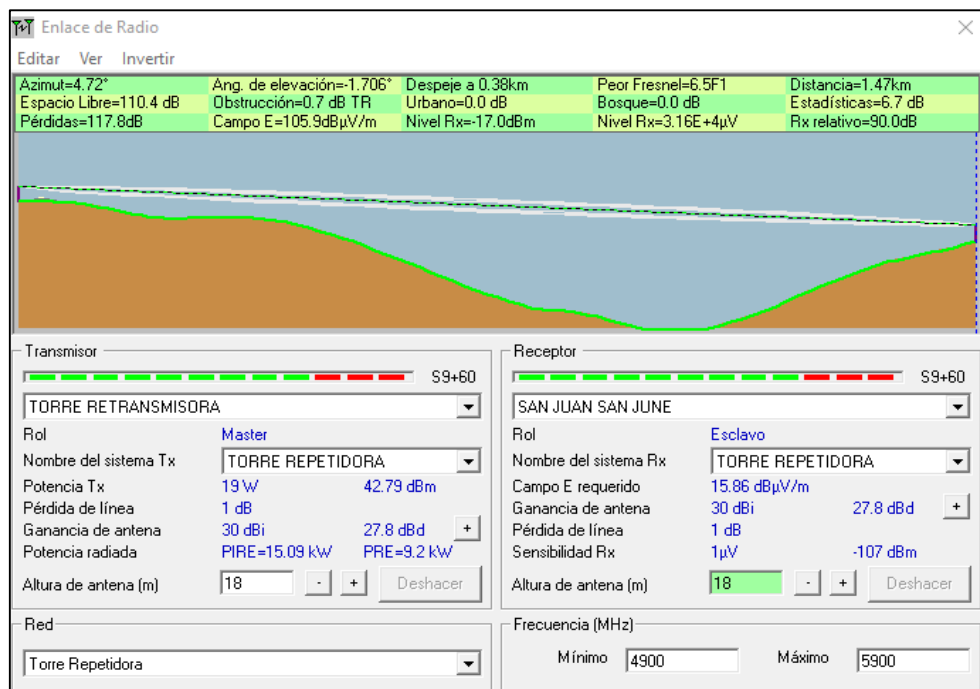
Simulación del perfil topográfico Estación Repetidora-I.E. San Juan San June



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 23

Simulación del radioenlace Estación Repetidora- I.E. San Juan San June



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.2 Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otorá

Es el enlace desde la estación repetidora hasta la I.E. 43021 del centro poblado de Otorá teniendo una distancia de 3,49 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Estación Repetidora

Latitud: $16^{\circ}58'41.905'' = 16,978307 \rightarrow X = 16,978307$

Longitud: $70^{\circ}51'12.964'' = 70,853601 \rightarrow Y = 70,853601$

Altitud: 3 235 m s. n. m.

I.E. 43021 Otorá

Latitud: $17^{\circ}0'34.92'' = 17,009700 \rightarrow X1 = 17,009700$

Longitud: $70^{\circ}51'6.12'' = 70,851700 \rightarrow Y1 = 70,851700$

Altitud: 2 618 m s. n. m.

Las figuras 24 y 25 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 24

Radioenlace: Estación Repetidora a I.E. 43021 Otorá



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 25

Perfil topográfico: Radioenlace: Estación Repetidora a I.E. 43021 Otorá



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace (d)

$$A = X - X1 = 16,978307 - 17,009700 = -0,031393$$

$$A = - 0,031393$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,031393 * 111,32$$

$$A = - 3,49466876$$

$$B = Y - Y1 = 70,853601 - 70,8521700 = 0,001901$$

$$B = 0,001901$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,001901 * 111,32$$

$$B = 0,21161932$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-3,49466876)^2 + (0,21161932)^2}$$

$$d = 3,5394515 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$Lp = 92,45 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$Lp = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (GHz)} + 20 \log 3,5394515 \text{ (km)}$$

$$Lp = 118,456 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{0,21161932}{-3,49466876}\right)$$

$$\text{azimut} = -3,46530873$$

$$\text{azimut} = 180 - 3,46530873$$

$$\text{azimut} = 176,534691^\circ$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 46 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,91 \text{ dB}$$

$$L_p = 118,456 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = 83,805 \text{ dBm} - 118,456 \text{ dB} - 3,91 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -38,446 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -38,446 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 57,554 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

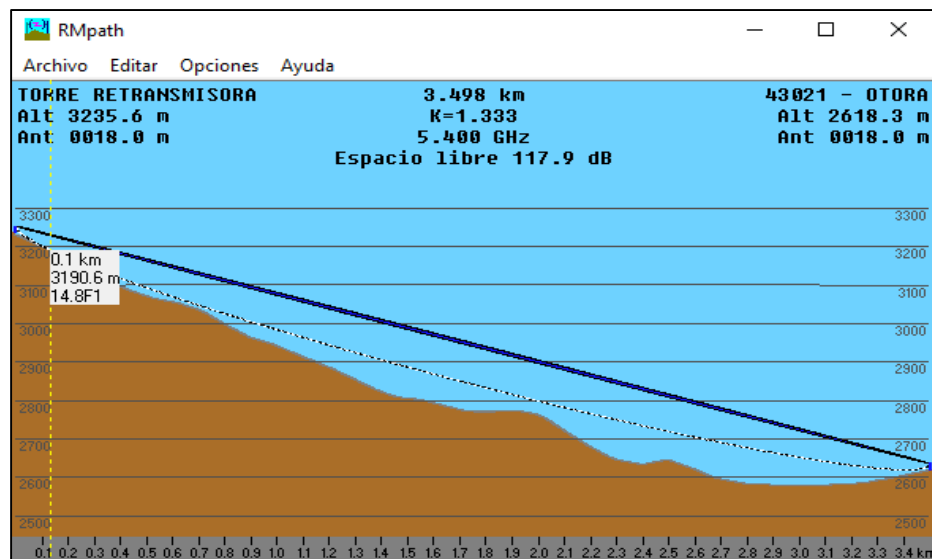
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 26 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Estación Repetidora - I.E. 43021 Otorá.

La figura 27 muestra la simulación del radioenlace Estación Repetidora- I.E. 43021 Otorá.

Figura 26

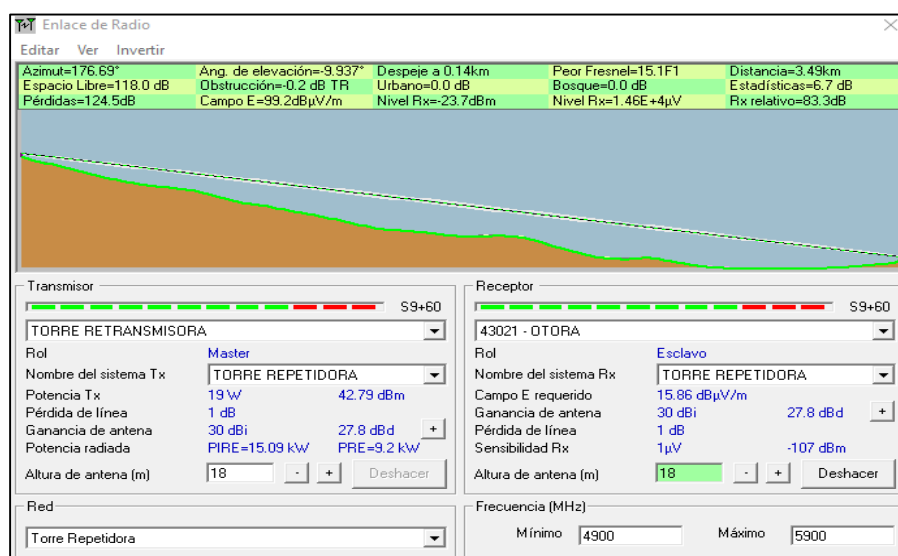
Simulación del perfil topográfico Estación Repetidora - I.E 43021 Otorá.



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 27

Simulación del radioenlace Estación Repetidora- I.E. 43021 Otorá



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.3. Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora

Es el enlace de la estación repetidora a la I.E. 350 del Centro Poblado de Otora teniendo una distancia de 3,51 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados

Estación Repetidora

Latitud: $16^{\circ}58'41.905'' = 16,978307 \rightarrow X = 16,978307$

Longitud: $70^{\circ}51'12.964'' = 70,853601 \rightarrow Y = 70,853601$

Altitud: 3 235 m s. n. m.

I.E. 350 Otora

Latitud: $17^{\circ}0'35,316'' = 17,009810 \rightarrow X1 = 17,009810$

Longitud: $70^{\circ}51'6,804'' = 70,851890 \rightarrow Y1 = 70,851890$

Altitud: 2 616,8 m s. n. m.

Las figuras 28 y 29 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 28

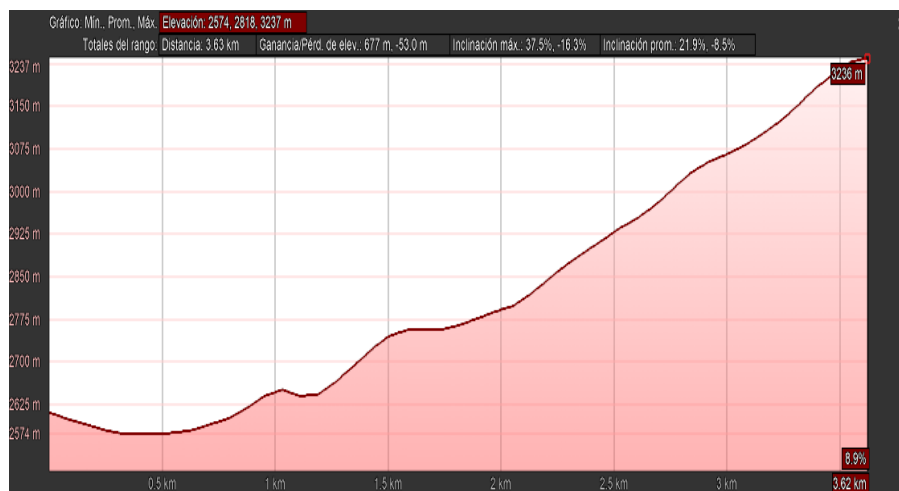
Radioenlace: Estación Repetidora a I.E. 350 Otora



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 29

Perfil topográfico: Radioenlace: Estación Repetidora a I.E. 350 Otorá



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 16,978307 - 17,009810 = - 0,031503$$

$$A = - 0,031503$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,031503 * 111,32$$

$$A = - 3,50691396$$

$$B = Y - Y1 = 70,853601 - 70,851890 = 0,001711$$

$$B = 0,001711$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111.32

$$B = 0,001711 * 111,32$$

$$B = 0,19046852$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-3,50691396)^2 + (0,19046852)^2}$$

$$d = 3,512 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$Lp = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$Lp = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 3,51208254 \text{ (km)}$$

$$Lp = 118,778 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$azimut = \tan^{-1}\left(\frac{0,19046852}{-3,50691396}\right)$$

$$azimut = -3,10881045$$

$$azimut = 180 - 3,10881045$$

$$\mathbf{azimut = 176,89119}$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 46 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,91 \text{ dB}$$

$$L_p = 118,778 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 30 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 83,805 \text{ dBm} - 118,778 \text{ dB} - 3,91 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -38,768 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -38,768 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 57,232 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

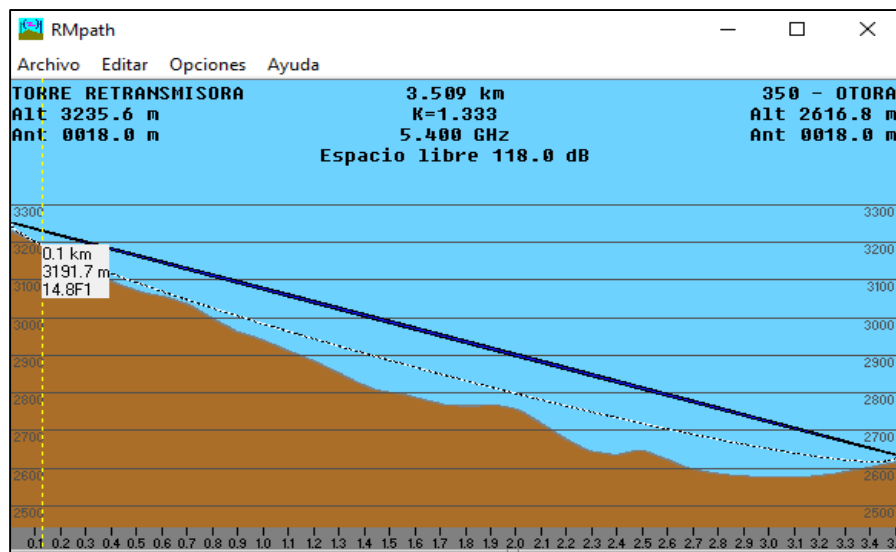
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 30 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Estación Repetidora - I.E. 350 Otorá.

La figura 31 muestra la simulación del radioenlace Estación Repetidora- I.E. 43021 Otorá.

Figura 30

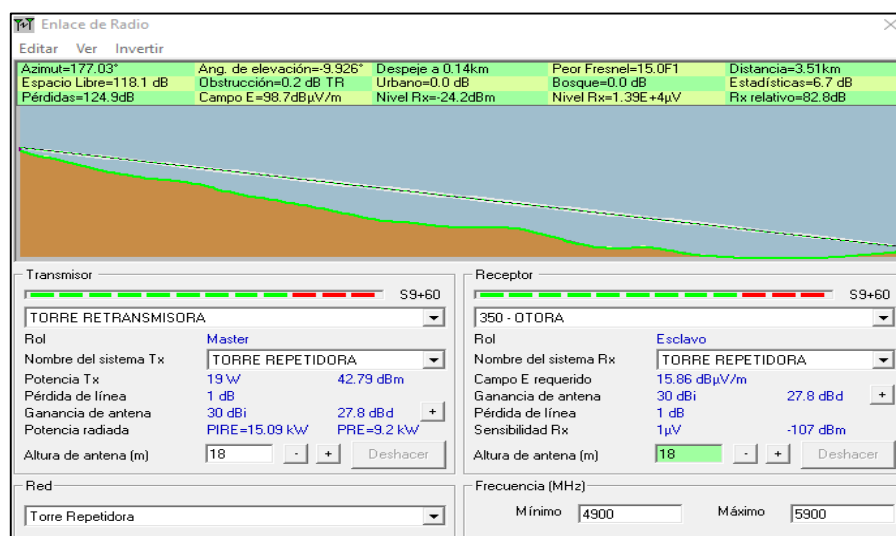
Simulación del perfil topográfico Estación Repetidora - I.E 350 Otorá.



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 31

Simulación del radioenlace Estación Repetidora- I.E. 350 Otorá



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.4. Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele

Es el enlace de la estación repetidora al Nodo Quele, teniendo una distancia de 5,46 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Estación Repetidora

Latitud: $16^{\circ}58'41.905'' = 16,978307 \rightarrow X1 = 16,978307$

Longitud: $70^{\circ}51'12.964'' = 70,853601 \rightarrow Y1 = 70,853601$

Altitud: 3 235 m s. n. m.

Nodo Quele

Latitud: $17^{\circ}1'37,65'' = 17,027125 \rightarrow X = 17,027125$

Longitud: $70^{\circ}51'29,812'' = 70,858281 \rightarrow Y = 70,858281$

Altitud: 2 709 m s. n. m.

Las figuras 32 y 33 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 32

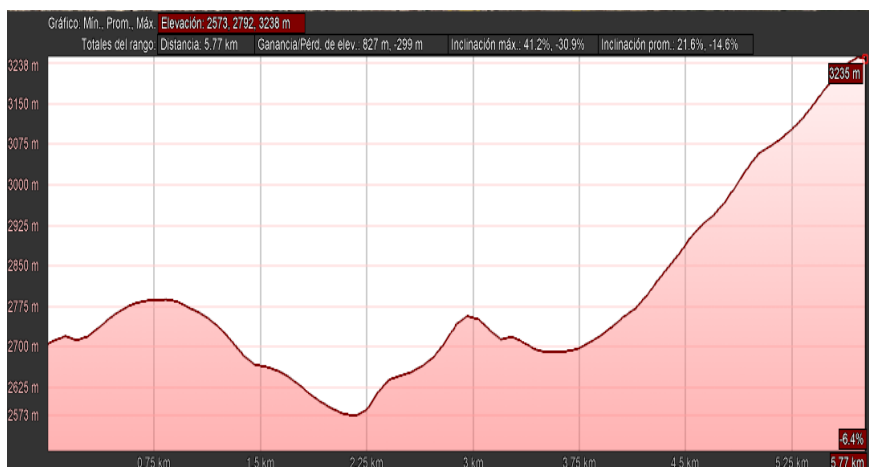
Radioenlace: Estación Repetidora a Nodo Quele



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 33

Perfil topográfico: Estación Repetidora a Nodo Quele



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,027125 - 16,978307 = 0,048818$$

$$A = 0,048818$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = 0,048818 * 111,32$$

$$A = 5,43441976$$

$$B = Y - Y1 = 70,858281 - 70,853601 = 0,00468$$

$$B = 0,00468$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,00468 * 111,32$$

$$B = 0,5209776$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(5,43441976)^2 + (0,5209776)^2}$$

$$d = 5,459 \text{ km}$$

Cálculo de perdida en espacio libre

$$Lp = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$Lp = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 5,45933474 \text{ (km)}$$

$$Lp = 122,609 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{0,5209776}{5,43441976}\right)$$

$$\text{azimut} = 5,47599865$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 46 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,91 \text{ dB}$$

$$L_p = 122,609 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 30 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 83,805 \text{ dBm} - 122,609 \text{ dB} - 3,91 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -42,599 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M_{link})

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -42,599 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 53,401 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

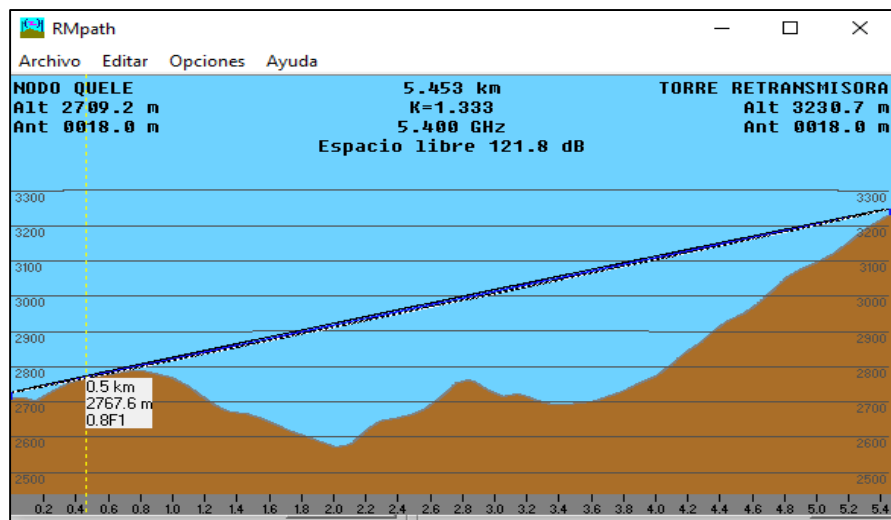
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 34 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Estación Repetidora -Nodo Quele.

La figura 35 muestra la simulación del radioenlace Estación Repetidora- Nodo Quele.

Figura 34

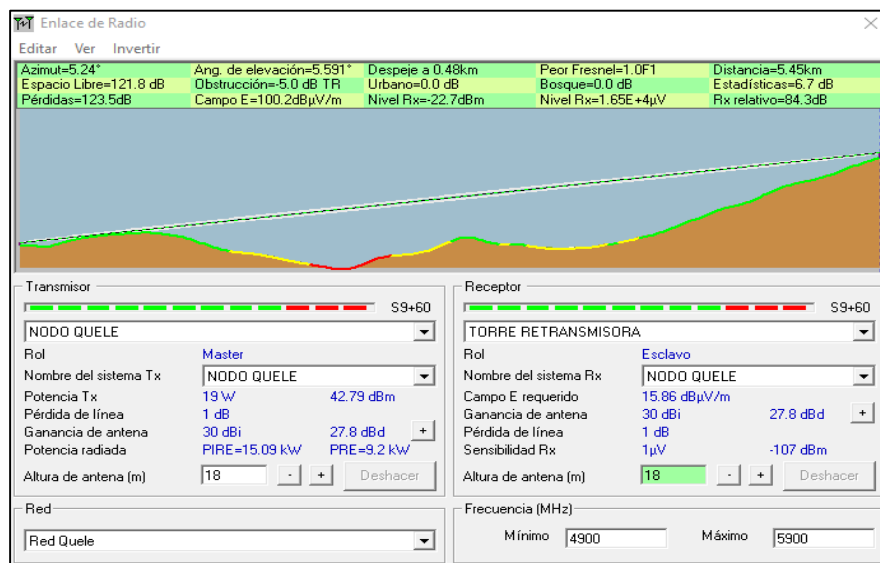
Simulación del perfil topográfico Estación Repetidora -Nodo Quele



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 35

Simulación del radioenlace Estación Repetidora- Nodo Quele.



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.5. Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele

Es el enlace del Nodo Quele a I.E. 43004 Quele, teniendo una distancia de 0,83 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Nodo Quele

Latitud: $17^{\circ}1'37,65'' = 17,027125 \rightarrow X = 17,027125$

Longitud: $70^{\circ}51'29,812'' = 70,858281 \rightarrow Y = 70,858281$

Altitud: 2 709 m s. n. m.

I.E. 43004 Quele

Latitud: $17^{\circ}2'31.9'' = 17.0422 \rightarrow X1 = 17,0422$

Longitud: $70^{\circ}51'14,40'' = 70,854 \rightarrow Y1 = 70,854$

Altitud: 2 499 m s. n. m.

Las figuras 36 y 37 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 36

Radioenlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 37

Perfil topográfico: Radioenlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,027125 - 17,0422 = -0,015075$$

$$A = -0,015075$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = -0,015075 * 111,32$$

$$A = -1,678149$$

$$B = Y - Y1 = 70,858281 - 70,854 = 0,004281$$

$$B = 0,004281$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,004281 * 111,32$$

$$B = 0,47656092$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-1,678149)^2 + (0,47656092)^2}$$

$$d = 0,828 \text{ km}$$

Cálculo de perdida en espacio libre

$$Lp = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$Lp = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 0,8288 \text{ (km)}$$

$$Lp = 106,236 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{0,47656092}{-1,678149}\right)$$

$$\text{azimut} = -15,854^\circ$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 46 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,91 \text{ dB}$$

$$L_p = 106,236 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 30 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 83,805 \text{ dBm} - 106,236 \text{ dB} - 3,91 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -26,226 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -26,226 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 69,774 \text{ dB}$$

4.6.6. Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay

Es el enlace del Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay, teniendo una distancia de 2,62 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Nodo Yacango

$$\text{Latitud: } 17^\circ 5' 40,61'' = 17,094614 \rightarrow X = 17,094614$$

$$\text{Longitud: } 70^\circ 51' 46,746'' = 70,862985 \rightarrow Y = 70,862985$$

$$\text{Altitud: } 2\ 174,5 \text{ m s. n. m.}$$

I.E. 349 Coplay

$$\text{Latitud: } 17^\circ 5' 47,868'' = 17,096630 \rightarrow X1 = 17,096630$$

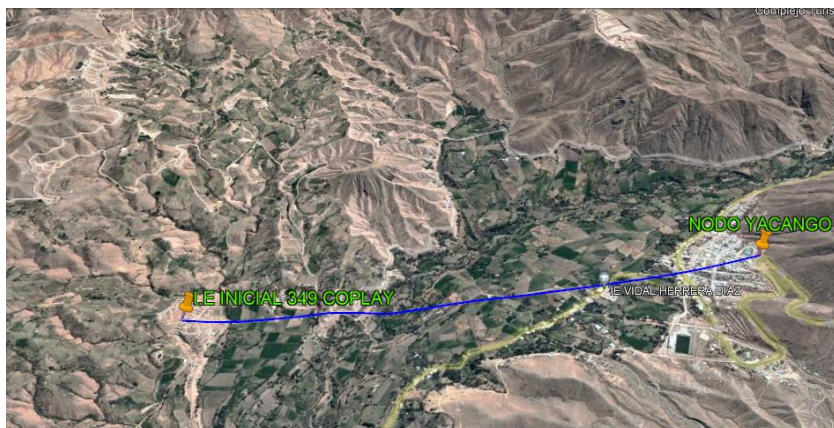
$$\text{Longitud: } 70^\circ 53' 11,184'' = 70,886440 \rightarrow Y1 = 70,886440$$

Altitud: 2 003,8 m s. n. m.

Las figuras 38 y 39 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 38

Radioenlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 39

Perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,094614 - 17,096630 =$$

$$A = - 0,002016$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,002016 * 111,32$$

$$A = - 0,22442112$$

$$B = Y - Y1 = 70,862985 - 70,886440 = - 0,023455$$

$$B = - 0,023455$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = - 0,023455 * 111,32$$

$$B = - 2,6110106$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-0,22442112)^2 + (-2,6110106)^2}$$

$$d = 2,620 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$Lp = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$Lp = 92,45 + 20 \log 5,40 \text{ (Ghz)} + 20 \log 2,62063755 \text{ (km)}$$

$$Lp = 116,235 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{-2,6110106}{-0,22442112}\right)$$

$$\text{azimut} = 85,0873972$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - Lp - Lf$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 46 \text{ m,}$$

$$Lf = 3,91 \text{ dB}$$

$$Lp = 116,235 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 30 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 83,92 \text{ dBm} - 116,235 \text{ dB} - 3,91 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = - 36,225 \text{ dBm}$$

$$P_u = - 96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{R_x} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -36,225 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 59,775 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: **SI**

Despeje de la 1° zona de Fresnel **60 %**

Margen de desvanecimiento > **10 dB**

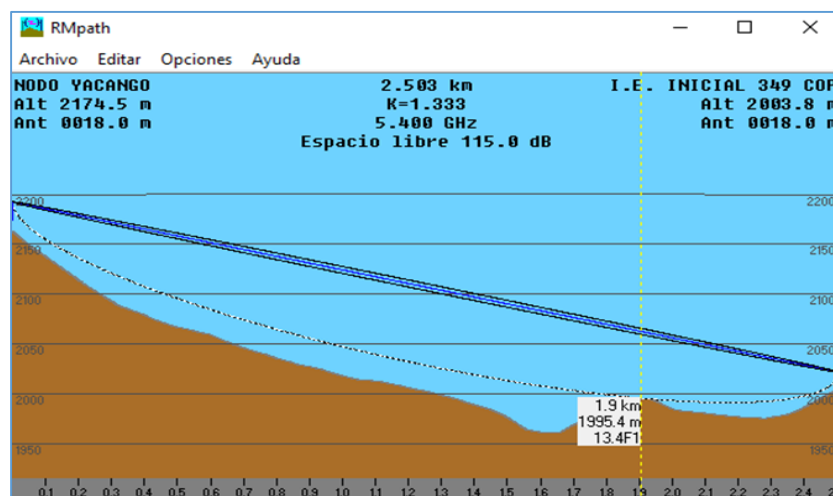
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 40 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay.

La figura 41 muestra la simulación del radioenlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay

Figura 40

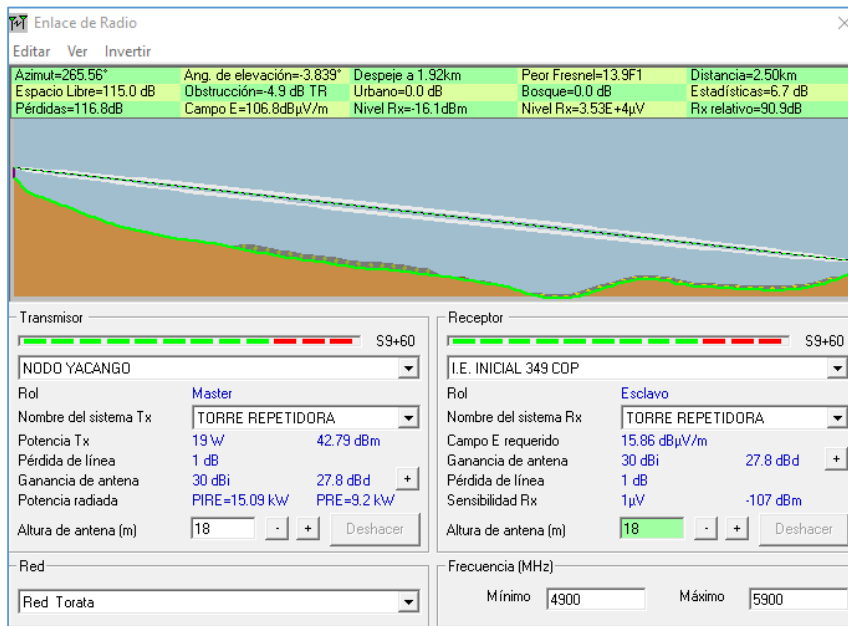
Simulación del perfil topográfico Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 41

Simulación del radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.7. Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz

Es el enlace del Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz, teniendo una distancia de 0,69 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Nodo Yacango

Latitud: $17^{\circ}5'40,61'' = 17,094614 \rightarrow X = 17,094614$

Longitud: $70^{\circ}51'46,746'' = 70,862985 \rightarrow Y = 70,862985$

Altitud: 2 174,5 m s. n. m.

I.E. Vidal Herrera Diaz

Latitud: $17^{\circ}5'44,52'' = 17,095700 \rightarrow X1 = 17,0955700$

Longitud: $70^{\circ}52'8,76'' = 70,869100 \rightarrow Y1 = 70,869100$

Altitud: 2 050,6 m s. n. m.

Las figuras 42 y 43 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 42

Radioenlace Nodo Yacango a I.E Vidal Herrera Diaz



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 43

Perfil topográfico: Radioenlace Nodo Yacango a I.E Vidal Herrera Diaz



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,094614 - 17,0955700 =$$

$$A = - 0,000956$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,000956 * 111,32$$

$$A = - 0,10642192$$

$$B = Y - Y1 = 70,862985 - 70,869100 = - 0,006115$$

$$B = - 0,006115$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = - 0,006115 * 111,32$$

$$B = -0,6807218$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-0,10642192)^2 + (-0,6807218)^2}$$

$$d = 0,68899042 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$L_p = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$L_p = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 0,68899042 \text{ (km)}$$

$$L_p = 104,631 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{-0,6807218}{-0,10642192}\right)$$

$$\text{azimut} = 81,1144819$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 40 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,4 \text{ dB}$$

$$L_p = 104,631 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = 30 \text{ dBi}$$

$$G_{Rx} = 8 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 61,805 \text{ dBm} - 104,631 - 3,4 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -46,226 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -46,226 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 49,774 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

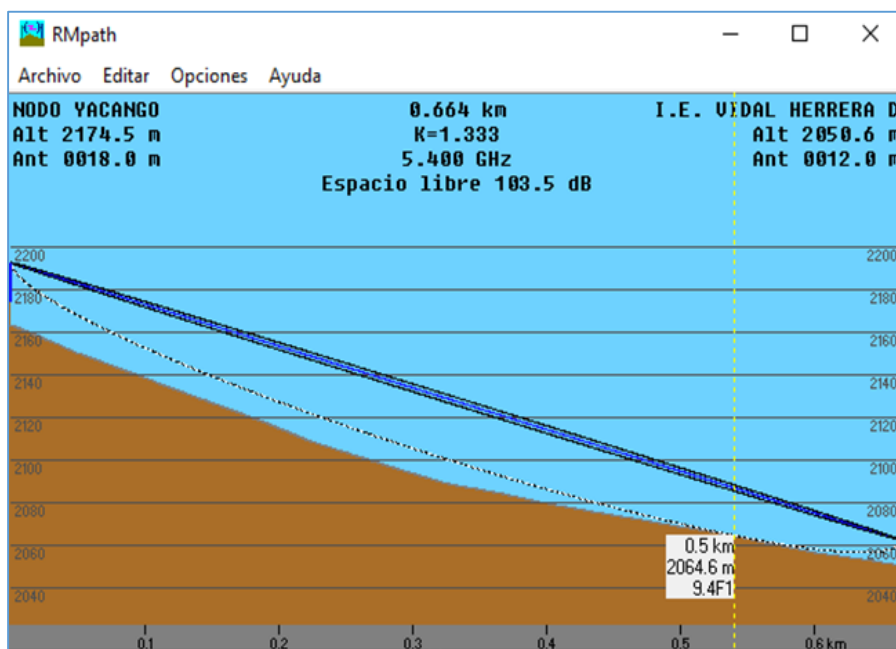
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 44 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Nodo Yacango a I.E. Inicial Vidal Herrera Diaz.

La figura 45 muestra la simulación del radioenlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz

Figura 44

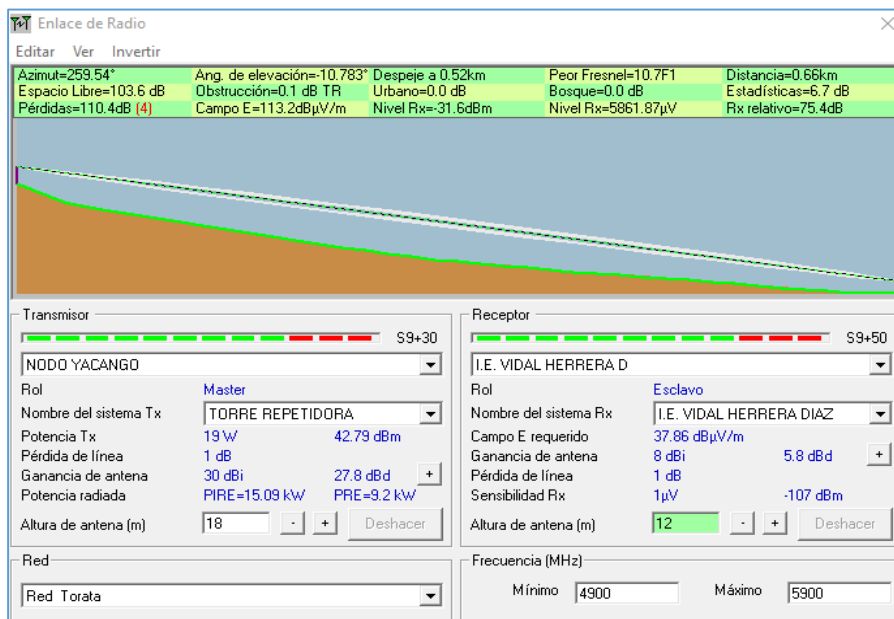
Simulación del perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 45

Simulación del radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.8. Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras

Es el enlace del Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras, teniendo una distancia de 0,305 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Nodo Yacango

Latitud: $17^{\circ}5'40,61'' = 17,094614 \rightarrow X = 17,094614$

Longitud: $70^{\circ}51'46,746'' = 70,862985 \rightarrow Y = 70,862985$

Altitud: 2 174,5 m s. n. m.

I.E. San Martín de Porras

Latitud: $17^{\circ}5'45,24'' = 17,095900 \rightarrow X1 = 17,095900$

Longitud: $70^{\circ}51'55,44'' = 70,865400 \rightarrow Y1 = 70,865400$

Altitud: 2 101,2 m s. n. m.

Las figuras 46 y 47 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 46

Radioenlace: Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 47

Perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,094614 - 17,095900 = -0,001286$$

$$A = -0,001286$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = -0,001286 * 111,32$$

$$A = -0,14315752$$

$$B = Y - Y1 = 70,862985 - 70,865400 = -0,002415$$

$$B = -0,002415$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = -0,002415 * 111,32$$

$$B = -0,2688378$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-0,14315752)^2 + (-0,2688378)^2}$$

$$d = 0,30457813 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$L_p = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$L_p = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 0,30457813 \text{ (km)}$$

$$L_p = 97,541 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{-0,2688378}{-0,14315752}\right)$$

$$\text{azimut} = 61,9644677$$

Potencia de recepción

$$P_{R_x} = 23,805 \text{ dBm} + G_{T_x} + G_{R_x} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 40 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,4 \text{ dB}$$

$$L_p = 97,541 \text{ dB}$$

$$G_{T_x} = 30 \text{ dBi}$$

$$G_{R_x} = 8 \text{ dBi}$$

$$P_{R_x} = 61,805 \text{ dBm} - 97,541 - 3,4 \text{ dB}$$

$$P_{R_x} = -39,136 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{R_x} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -39,136 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 56,864 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

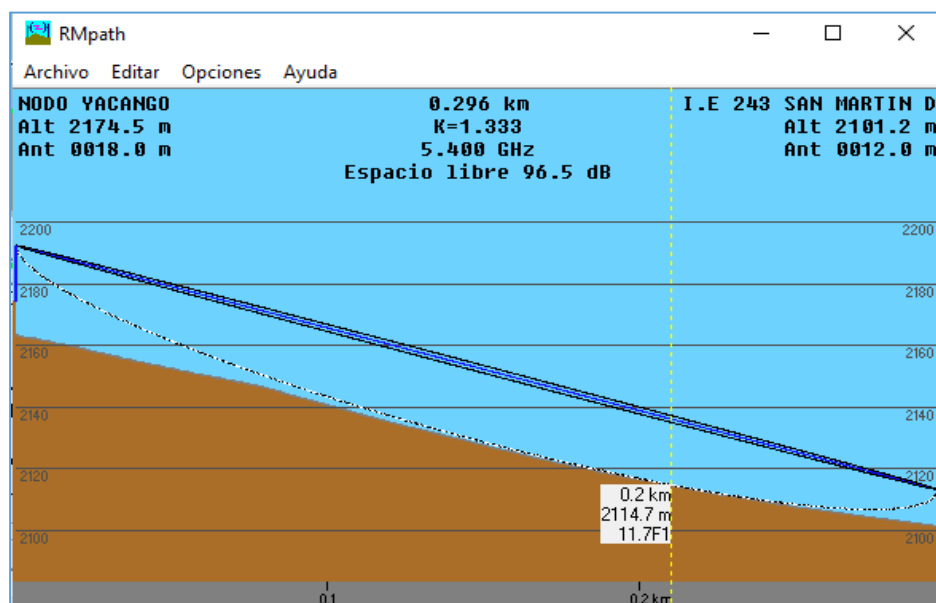
Margen de desvanecimiento > 10 dB

Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 48 muestra la simulación del perfil topográfico del Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras. La figura 49 muestra la simulación del radioenlace Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras

Figura 48

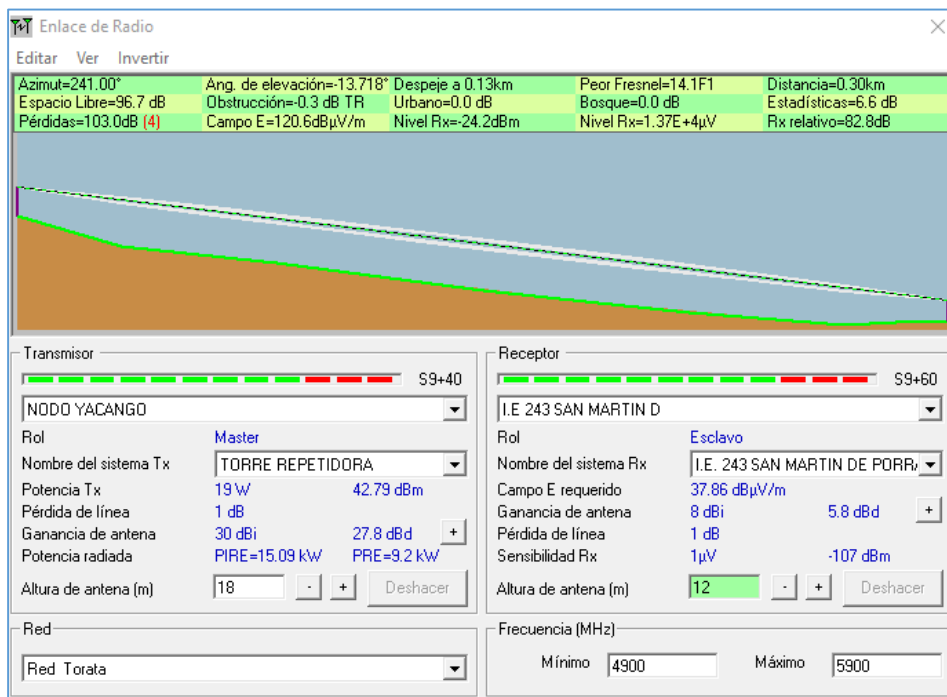
Simulación perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 49

Simulación del radioenlace: Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.9. Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya

Es el enlace del Nodo Yacango a I.E. Ilubaya, teniendo una distancia de 4,132 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados.

Nodo Yacango

Latitud: $17^{\circ}5'40,61'' = 17,094614 \rightarrow X = 17,094614$

Longitud: $70^{\circ}51'46,746'' = 70,862985 \rightarrow Y = 70,862985$

Altitud: 2 174,5 m s. n. m.

I.E. 43010 Ilubaya

Latitud: $17^{\circ}3'36,151'' = 17,060042 \rightarrow X1 = 17,060042$

Longitud: $70^{\circ}50'33,457'' = 70,842627 \rightarrow Y1 = 70,842627$

Altitud: 2 603,1 m s. n. m.

Las figuras 50 y 51 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 50

Radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 51

Perfil topográfico: Radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,094614 - 17,060042 = 0,034572$$

$$A = 0,034572$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,034572 * 111,32$$

$$A = 3,84855504$$

$$B = Y - Y1 = 70,862985 - 70,842627 = 0,020358$$

$$B = 0,020358$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,020358 * 111,32$$

$$B = 2,26625256$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(3,84855504)^2 + (2,26625256)^2}$$

$$d = 4,132 \text{ km}$$

Cálculo de perdida en espacio libre

$$L_p = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$L_p = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 4,1325087 \text{ (km)}$$

$$L_p = 120,191 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{2,26625256}{3,84855504}\right)$$

$$\text{azimut} = 30,4920458$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 40 \text{ m,}$$

$$L_f = 3,4 \text{ dB}$$

$$L_p = 120,191 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = 30 \text{ dBi}$$

$$G_{Rx} = 8 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 61,805 \text{ dBm} - 120,191 - 3,4 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -61,786 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -61,786 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 34,214 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

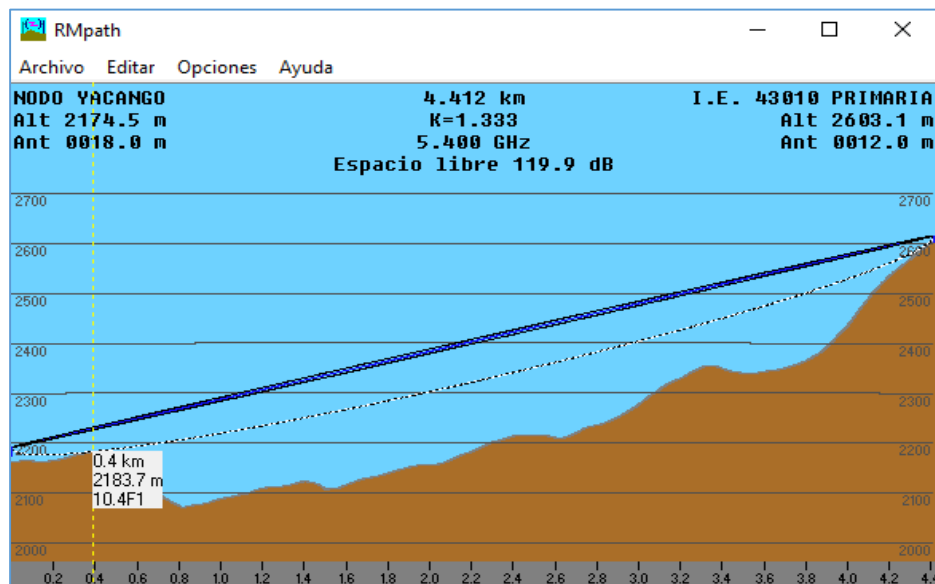
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 52 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya.

La figura 53 muestra la simulación del radioenlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya

Figura 52

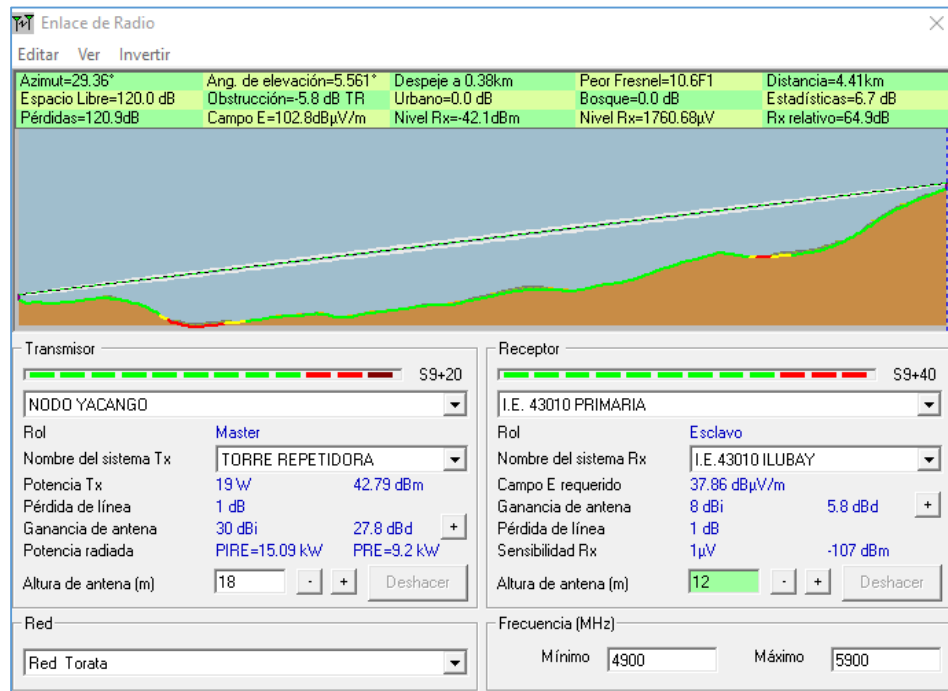
Simulación del perfil topográfico: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 53

Simulación del radioenlace: Nodo Yacango a I.E. Ilubaya



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.10. Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita

Es el enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita, teniendo una distancia de 2,029 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados

I.E. Ilubaya

Latitud: 17°3'36,151" = 17,060042 → X = 17,060042

Longitud: 70°50'33,457" = 70,842627 → Y = 70,842627

Altitud: 2 603,1 m s. n. m.

I.E. 155 Santa Teresita

Latitud: 17°4'38,784" = 17,077440 → X1 = 17,077440

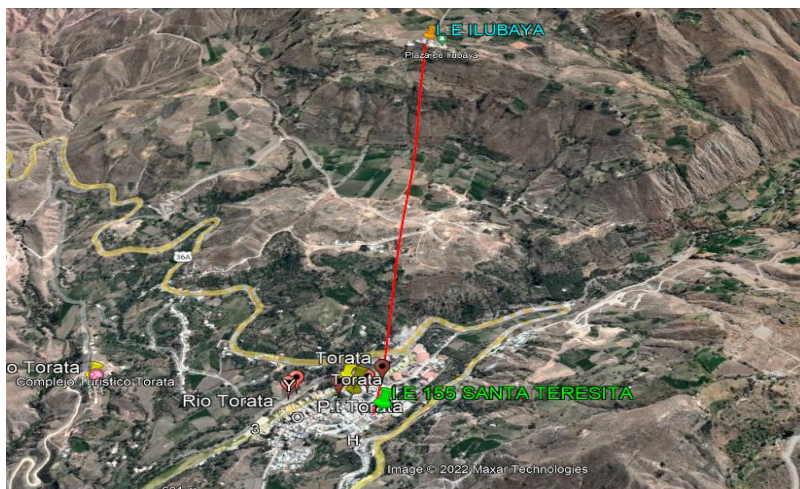
Longitud: 70°50'35,412" = 70,843170 → Y1 = 70,843170

Altitud: 2 231,0 m s. n. m.

Las figuras 54 y 55 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 54

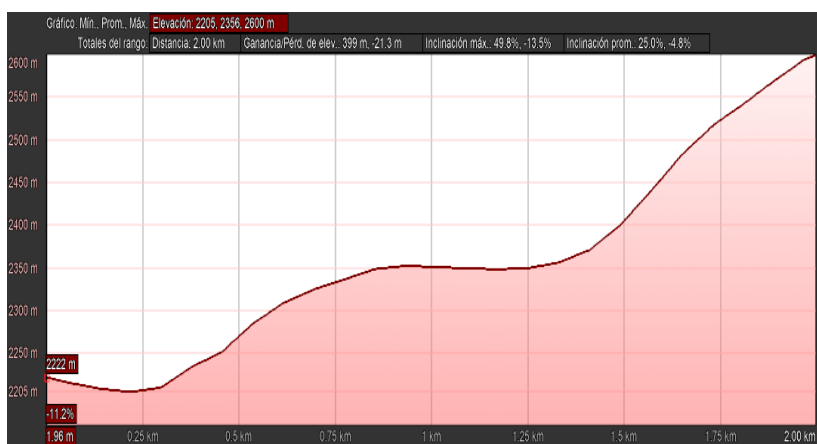
Radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 55

Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X_1 = 17,060042 - 17,077440 = - 0,017398$$

$$A = - 0,017398$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,034572 * 111,32$$

$$A = - 1,93674536$$

$$B = Y - Y_1 = 70,842627 - 70,843170 = - 0,000543$$

$$B = - 0,000543$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = -0,000543 * 111,32$$

$$B = -0,6044676$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-1,93674536)^2 + (-0,6044676)^2}$$

$$d = 2,029 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$L_p = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$L_p = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 2,02888237 \text{ (km)}$$

$$L_p = 114,012 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{-0,6044676}{-1,93674536}\right)$$

$$\text{azimut} = 17,3333956$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 34 \text{ m,}$$

$$L_f = 2,89 \text{ dB}$$

$$L_p = 114,012 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 8 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 39,805 \text{ dBm} - 114,012 \text{ dB} - 2,89 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -32,982 \text{ dBm}$$

$$P_u = -77,097 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{Rx} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -32,982 \text{ dBm} - (-77,097 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 44,115 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

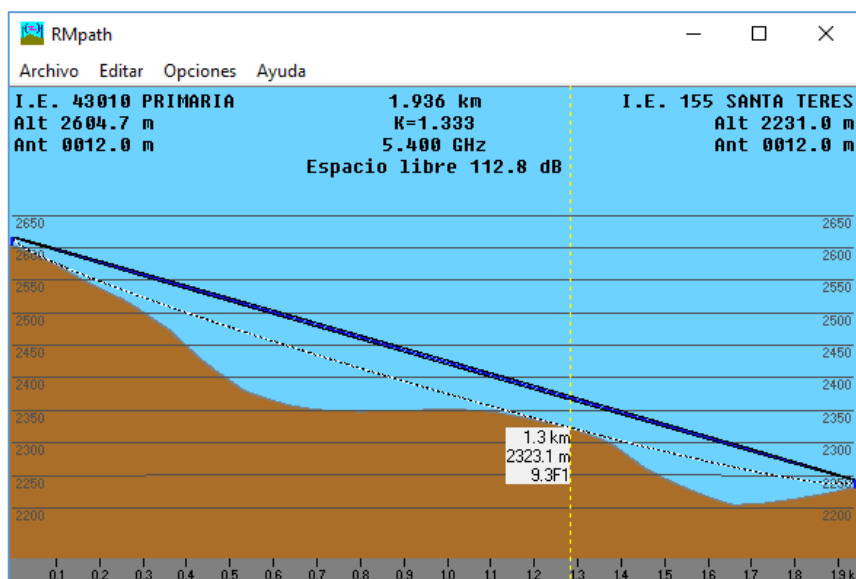
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 56 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita.

La figura 57 muestra la simulación del radioenlace *I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita*.

Figura 56

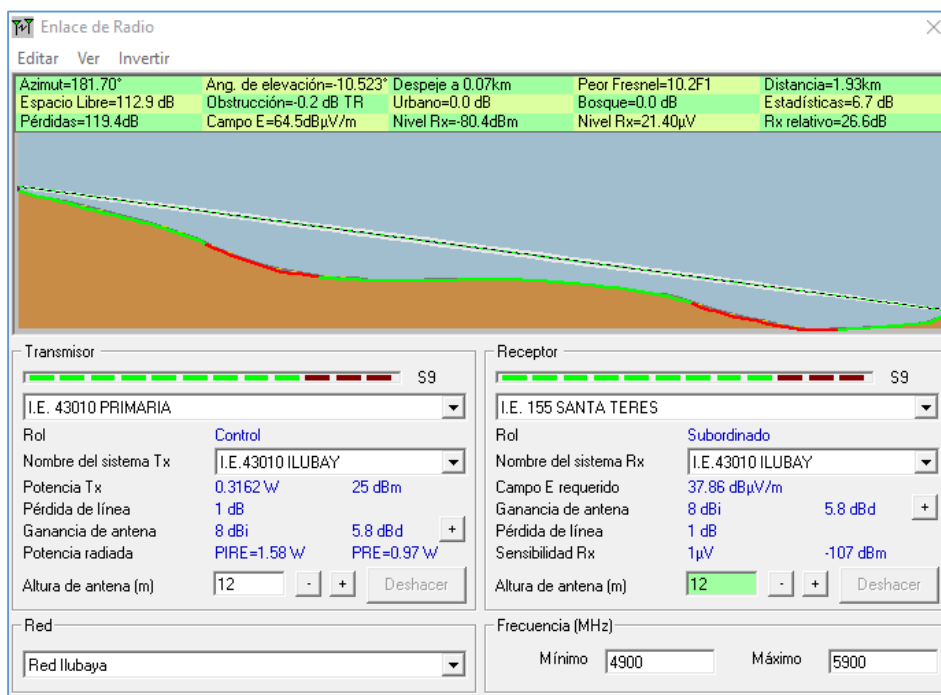
Simulación del Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 57

Simulación del radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.11. Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui

Es el enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui, teniendo una distancia de 1,753 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados

I.E. Ilubaya

Latitud: 17°3'36,151" = 17,060042 → X = 17,060042

Longitud: 70°50'33,457" = 70,842627 → Y = 70,842627

Altitud: 2 603,1 m s. n. m.

I.E. José Carlos Mariátegui

Latitud: 17°4'32,808" = 17,075780 → X1 = 17,075780

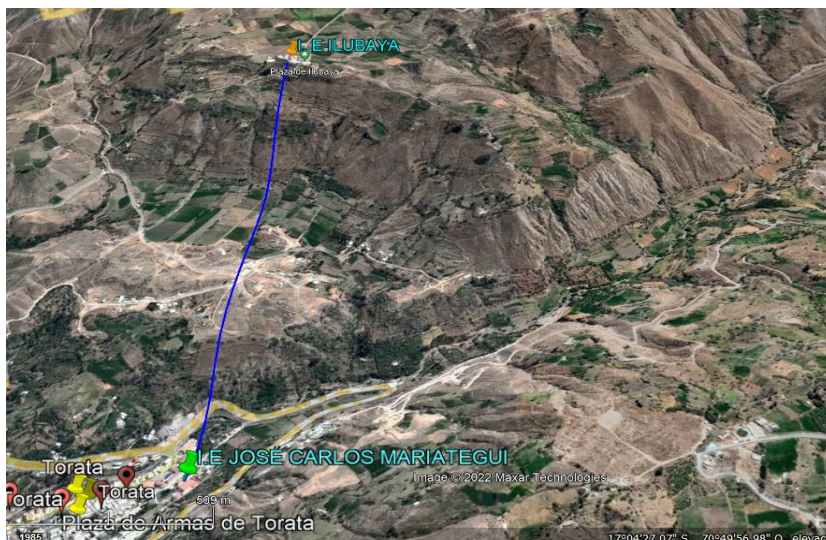
Longitud: 70°50'31,38" = 70,842050 → Y1 = 70,842050

Altitud: 2 225,9 m s. n. m.

Las figuras 58 y 59 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 58

Radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 59

Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,060042 - 17,075780 = - 0,015738$$

$$A = - 0,015738$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111.32

$$A = - 0,015738 * 111,32$$

$$A = - 1,75195416$$

$$B = Y - Y1 = 70,842627 - 70,842050 = 0,000577$$

$$B = 0,000577$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,000577 * 111,32$$

$$B = 0,06423164$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-1,75195416)^2 + (0,06423164)^2}$$

$$d = 1,753 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$L_p = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$L_p = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 1,75313122 \text{ (km)}$$

$$L_p = 112,743 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{0,06423164}{-1,75195416}\right)$$

$$\text{azimut} = -2,09968637$$

$$\text{azimut} = 180 - 2,09968637$$

$$\text{azimut} = 177,90031363$$

Potencia de recepción

$$P_{R_x} = 23,805 \text{ dBm} + G_{T_x} + G_{R_x} - L_p - L_f$$

$$\ell_{\text{cable del enlace}} = 34 \text{ m,}$$

$$L_f = 2,89 \text{ dB}$$

$$L_p = 112,743 \text{ dB}$$

$$G_{T_x} = G_{R_x} = 8 \text{ dBi}$$

$$P_{R_x} = 39,805 \text{ dBm} - 112,743 \text{ dB} - 2,89 \text{ dB}$$

$$P_{R_x} = -75,828 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M link)

$$M_{\text{link}} = P_{R_x} - P_u$$

$$M_{\text{link}} = -75,828 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{\text{link}} = 20,172 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento > 10 dB

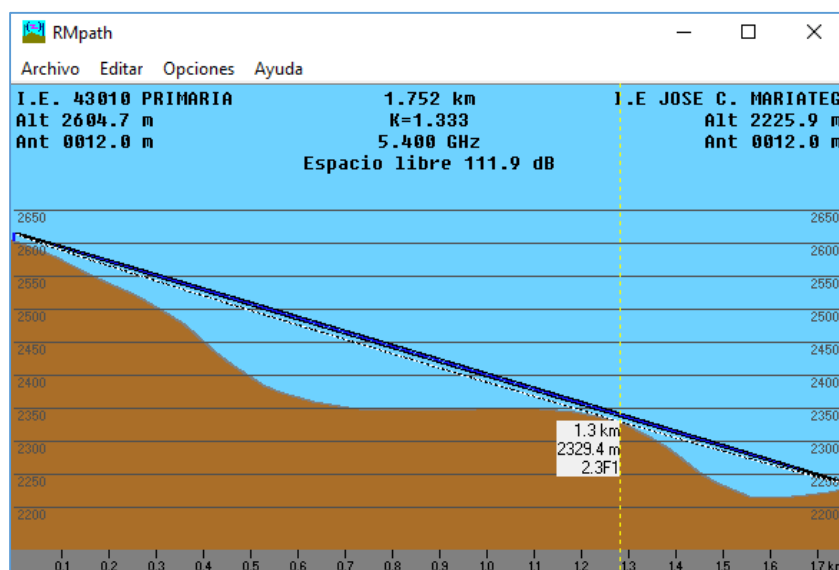
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 60 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui.

La figura 61 muestra la simulación del radioenlace I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui.

Figura 60

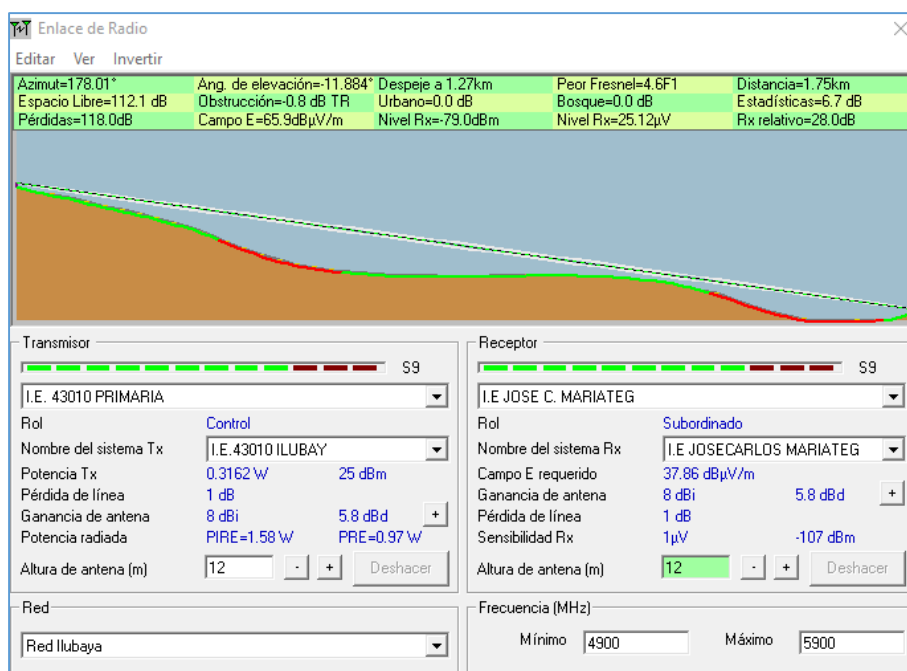
Simulación perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 61

Simulación del radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.6.12. Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta

Es el enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta, teniendo una distancia de 2,425 km. A continuación, se aprecia el enlace de radio con los cálculos demostrativos de los resultados

I.E. Ilubaya

Latitud: $17^{\circ}3'36.151'' = 17.060042 \rightarrow X = 17.060042$

Longitud: $70^{\circ}50'33.457'' = 70.842627 \rightarrow Y = 70.842627$

Altitud: 2 603,1 m s. n. m.

I.E. 43169 Torata Alta

Latitud: $17^{\circ}4'36.509'' = 17,076808 \rightarrow X1 = 17,076808$

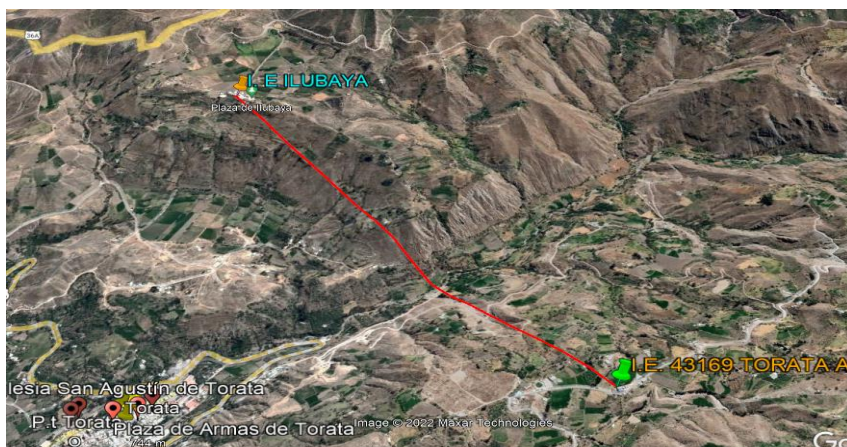
Longitud: $70^{\circ}49'43.363'' = 70,828712 \rightarrow Y1 =70,828712$

Altitud: 2 504,7 m s. n. m.

Las figuras 62 y 63 muestran la ruta y el perfil topográfico del radioenlace.

Figura 62

Radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Figura 63

Perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta



Nota. Imagen generada con el software GOOGLE EARTH PRO

Longitud del enlace

$$A = X - X1 = 17,060042 - 17,076808 = - 0,016766$$

$$A = - 0,016766$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$A = - 0,016766 * 111,32$$

$$A = - 1,86639112$$

$$B = Y - Y1 = 70,842627 - 70,828712 = 0,013915$$

$$B = 0,013915$$

Convirtiendo a km multiplicamos por 111,32

$$B = 0,013915 * 111,32$$

$$B = 1,5490178$$

Calculando la distancia

$$d = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$d = \sqrt{(-1,86639112)^2 + (1,5490178)^2}$$

$$d = 2,425 \text{ km}$$

Cálculo de pérdida en espacio libre

$$L_p = 92,45 + 20 \log f \text{ (Ghz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

$$L_p = 92,45 + 20 \log 5,90 \text{ (Ghz)} + 20 \log 2,42546325 \text{ (km)}$$

$$L_p = 115,563 \text{ dB}$$

Cálculo del azimut

$$\text{azimut} = \tan^{-1}\left(\frac{-1,5490178}{1,86639112}\right)$$

$$\text{azimut} = -2,09968637$$

$$\text{azimut} = 180 - 2,09968637$$

$$\text{azimut} = -39,6910948$$

$$\text{azimut} = 180 - 39,6910948$$

$$\text{azimut} = 140,3089052$$

Potencia de recepción

$$P_{Rx} = 23,805 \text{ dBm} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_p - L_f$$

ℓ cable del enlace = 34 m,

$$L_f = 2,89 \text{ dB}$$

$$L_p = 115,563 \text{ dB}$$

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 8 \text{ dBi}$$

$$P_{Rx} = 39,805 \text{ dBm} - 115,563 \text{ dB} - 2,89 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -78,648 \text{ dBm}$$

$$P_u = -96 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento del enlace (M_{link})

$$M_{link} = P_{Rx} - P_u = -78,648 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_{link} = 17,352 \text{ dB}$$

Simulación del radioenlace utilizando el programa Radio Mobile

Con la ayuda del software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, y asegurando valores mínimos de ciertos parámetros, se observará si la operatividad del radioenlace tiene éxito.

Parámetros y valores mínimos que debe cumplir el radioenlace obtenidos en la simulación:

Línea de vista directa: SI

Despeje de la 1° zona de Fresnel 60 %

Margen de desvanecimiento (M_{link}) > 10 dB

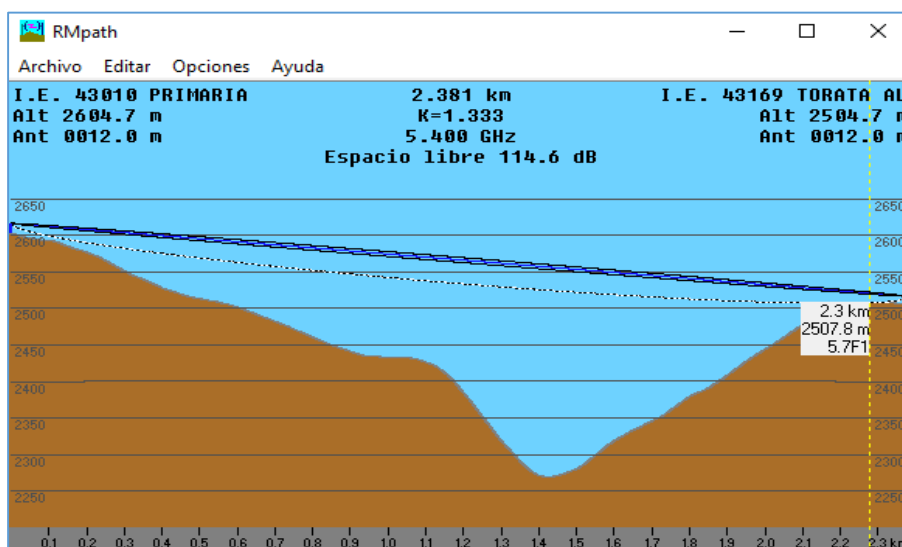
Datos generados por el programa Radio Mobile

La figura 64 muestra la simulación del perfil topográfico del radioenlace I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta.

La figura 65 muestra la simulación del radioenlace I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta.

Figura 64

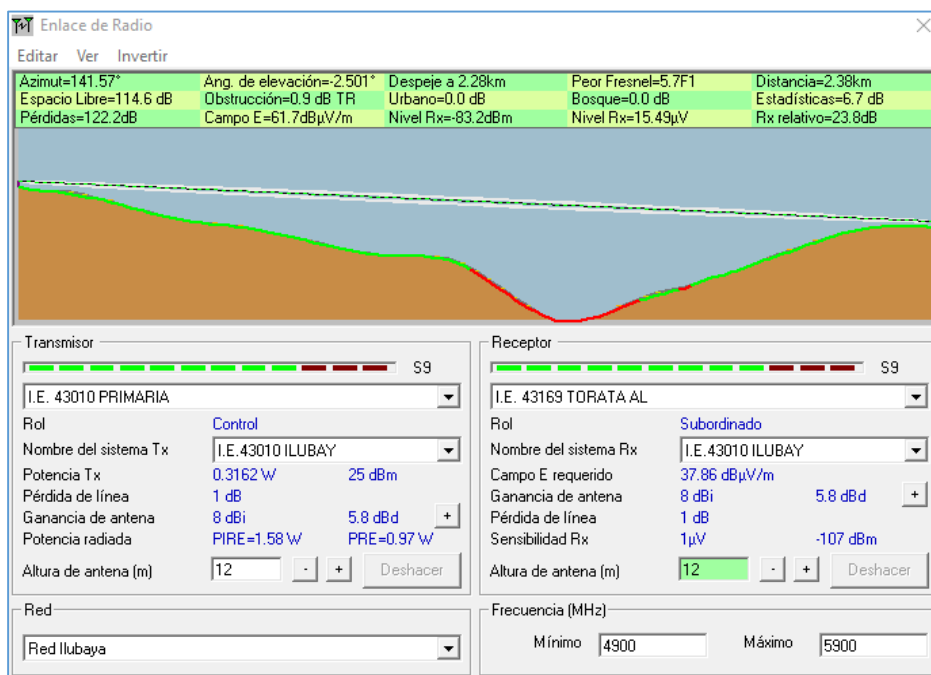
Simulación del perfil topográfico: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

Figura 65

Simulación del radioenlace: I.E. Ilubaya a I.E. I.E. 43169 Torata Alta



Nota. Imagen generada con el software RadioMobile

4.7. Determinación del margen de desvanecimiento de los enlaces

Los márgenes de desvanecimiento de los enlaces del sistema propuesto se obtuvieron por dos métodos:

1. Método del balance energético del radioenlace (teórico)
2. Método de simulación del radioenlace.

4.7.1. Cálculo matemático del balance energético del radioenlace

La tabla 15 muestra los valores calculados del margen de desvanecimiento (M_{link}) para cada uno de los radioenlaces desplegados en la zona de estudio.

Se efectuó un balance energético en base a la información técnica de los equipos y dispositivos seleccionados para nuestro proyecto.

Tabla 15*Valores obtenidos del M_{link} por cálculo matemático*

Item	Denominación del radioenlace	Longitud d (km)	Frecuencia f (MHz)	M link (dB)
1	Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	1,46	5900	65,625
2	Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	3,54	5900	57,554
3	Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	3,512	5900	57,232
4	Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	5,459	5900	53,401
5	Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	0,828	5900	69,774
6	Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	2,62	5900	59,775
7	Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	0,69	5900	49,774
8	Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras	0,305	5900	56,864
9	Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	4,132	5900	34,214
10	Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	2,029	5900	18,903
11	Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	1,753	5900	20,172
12	Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	2,425	5900	17,352

4.7.2. Valores obtenidos mediante la simulación del radioenlace

La tabla 16 muestra los valores obtenidos del margen de desvanecimiento (M link) para cada uno de los radioenlaces mediante su simulación con el software RadioMobile.

Tabla 16

Valores obtenidos del M_{link} mediante la simulación con el software RadioMobile

Item	Denominación del radioenlace	P_{Rx} (dBm)	P_u (dBm)	M_{link} (dB)
1	Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	-17,0	-107,0	90,0
2	Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	-23,7	-107,0	83,3
3	Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	-24,2	-107,0	82,8
4	Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	-22,7	-107,0	84,3
5	Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	-26,23	-107,0	80,77
6	Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	-16,1	-107,0	90,9
7	Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	-31,6	-107,0	75,4
8	Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras	-24,2	-107,0	82,8
9	Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	-42,1	-107,0	64,9
10	Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	-80,4	-107,0	26,6
11	Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	-79,0	-107,0	28,0
12	Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	-83,2	-107,0	23,8

4.8. Determinación de la Confiabilidad de los Radioenlaces

La confiabilidad (R) e indisponibilidad (P) de un radioenlace se calculó mediante las siguientes expresiones:

$$P = 6 \times 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-M_{link}/10}$$

$$R = 100 - P$$

Donde:

P = Disponibilidad (%)

R= Confiabilidad (%)

f = Frecuencia (MHz)

d = Distancia total del trayecto (Km)

MD = Margen de desvanecimiento (dB).

a = Variable del tipo de terreno del enlace.

b =Factor climático del lugar del enlace.

Los valores del factor de rugosidad se presentaron en la Tabla 1 y los valores del factor climático se presentaron en la tabla 2.

A continuación, se presenta la tabla 17, que contiene los valores del factor de rugosidad (a) y factor climático (b) para cada radioenlace.

Tabla 17

Valores obtenidos del factor de rugosidad y factor climático por radioenlace

Denominación del radioenlace	Factor de rugosidad (a)		Factor climático (b)	
	Tipo	Valor	Tipo	Valor
Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	Montañoso	0,25	Seco	0,125
Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	Montañoso	0,25	Seco	0,125
Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	Montañoso	0,25	Seco	0,125
Estación Repetidora a Nodo Quele	Montañoso	0,25	Seco	0,125
Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	Montañoso	0,25	Seco	0,125
Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	Suave	4,0	Seco	0,125
Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	Poco montañoso	1,0	Seco	0,125
Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras	Poco montañoso	1,0	Seco	0,125
Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	Montañoso	0,25	Seco	0,125
I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	Poco montañoso	1,0	Seco	0,125
I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	Poco montañoso	1,0	Seco	0,125
I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	Poco montañoso	1,0	Seco	0,125

4.8.1. Cálculo de la confiabilidad según el balance energético

La tabla 18 muestra los valores obtenidos para el porcentaje de indisponibilidad (P) y la confiabilidad (R) de los radioenlaces del sistema.

Tabla 18

Valores obtenidos de la confiabilidad de los radioenlaces según balance energético

Denominación del radioenlace	Indisponibilidad P (%)	Confiabilidad R (%)
Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	9,42783E-11	100,000000
Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	8,61912E-09	99,99999999138
Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	9,561E-09	99,99999999044
Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	8,22418E-08	99,99999991776
Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	6,61522E-12	99,99999999999
Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	3,35256E-08	99,99999996647
Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	1,5313E-09	99,99999999847
Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras	2,58472E-11	99,99999999997
Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	2,95756E-06	99,99999704244
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	4,75838E-05	99,99995241617
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	2,29118E-05	99,99997708821
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	0,000116104	99,99988389565

4.8.2. Cálculo de la confiabilidad utilizando software de simulación

La tabla 19 muestra los valores obtenidos para el porcentaje de indisponibilidad (P) y la confiabilidad (R) de los radioenlaces del sistema, utilizando los valores del margen de desvanecimiento del enlace (M_{link}) obtenidos por el software RadioMobile.

Tabla 19

Valores obtenidos de la confiabilidad de los radioenlaces según RadioMobile

Denominación del radioenlace	Indisponibilidad P (%)	Confiabilidad R (%)
Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	3,4428E-13	100,0000000000
Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	2,29542E-11	99,99999999998
Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	2,51488E-11	99,99999999997
Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	6,6864E-11	99,99999999993
Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	5,2595E-13	100,0000000000
Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	2,58748E-11	99,99999999997
Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	4,19238E-12	100,0000000000
Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras	6,5889E-14	100,0000000000
Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	2,52542E-09	99,99999999747
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	8,08648E-06	99,99999191352
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	3,77797E-06	99,99999622203
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	2,63056E-05	99,99997369438

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1. Análisis del margen de desvanecimiento del enlace

El objetivo de calidad se fijó en valores mayores a 10 dB. La tabla 20 compara los valores del Mlink calculados con el balance de energía, con el objetivo de calidad.

Tabla 20

Comparación del Mlink calculado con balance de energía con el objetivo de calidad

Denominación del radioenlace	M link (dB)	Objetivo de calidad
	Balance de energía	M link > 10 dB
Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	65,625	Cumple
Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	57,554	Cumple
Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	57,232	Cumple
Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	53,401	Cumple
Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	69,774	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	59,775	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	49,774	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras	56,864	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	34,214	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	18,903	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	20,172	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	17,352	Cumple

La tabla 21 compara los valores del Mlink simulados con el RadioMobile, con el objetivo de calidad.

Tabla 21

Comparación del Mlink obtenido por simulación con el objetivo de calidad

Denominación del radioenlace	M _{link} (dB)	Objetivo de calidad
	Simulación RadioMobile	M _{link} > 10 dB
Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	90	Cumple
Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otorá	83,3	Cumple
Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otorá	82,8	Cumple
Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	84,3	Cumple
Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	80,77	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	90,9	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Díaz	75,4	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras	82,8	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	64,9	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	26,6	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	28	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	23,8	Cumple

5.2. Análisis de la confiabilidad del enlace

El objetivo de confiabilidad $RT= 99,9664\%$ se obtuvo de la Recomendación UIT-R F.695. La tabla 22 compara los valores de R obtenido con el balance energético, con el objetivo de calidad RT.

Tabla 22

Comparación de los valores de confiabilidad R obtenido por simulación, con el objetivo de confiabilidad RT

Denominación del radioenlace	R (%)	Objetivo de calidad RT= 99,9664 %
	Balance energético	R > RT
Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	100,000000	Cumple
Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otora	99,99999999138	Cumple
Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otora	99,99999999044	Cumple
Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	99,99999991776	Cumple
Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	99,99999999999	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	99,99999996647	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Diaz	99,99999999847	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martin de Porras	99,99999999997	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	99,99999704244	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	99,99995241617	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	99,99997708821	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	99,99988389565	Cumple

La tabla 23 compara los valores de R obtenido con el software de simulación RadioMobile, con el objetivo de calidad RT

Tabla 23

Comparación de los valores de confiabilidad R obtenido por simulación, con el objetivo de confiabilidad RT

Denominación del radioenlace	R (%)	Objetivo de calidad RT= 99,9664 %
	Simulación RadioMobile	R > RT
Enlace Estación Repetidora a I.E. San Juan San June	100,0000000000	Cumple
Enlace Estación Repetidora a I.E. 43021 Otorá	99,9999999998	Cumple
Enlace de Estación Repetidora a I.E. 350 Otorá	99,9999999997	Cumple
Enlace Estación Repetidora a Nodo Quele	99,9999999993	Cumple
Enlace Nodo Quele a I.E. 43004 Quele	100,0000000000	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Inicial 349 Coplay	99,9999999997	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Vidal Herrera Díaz	100,0000000000	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. San Martín de Porras	100,0000000000	Cumple
Enlace Nodo Yacango a I.E. Ilubaya	99,9999999747	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 155 Santa Teresita	99,99999191352	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. José Carlos Mariátegui	99,99999622203	Cumple
Enlace de I.E. Ilubaya a I.E. 43169 Torata Alta	99,99997369438	Cumple

CONCLUSIONES

El diseño propuesto determinó que la velocidad de transmisión de consumo simultáneo fue de 248,25 Mbps, con un ancho de banda a contratar de 1,136.5 Mbps. Con estos valores se garantizará el acceso a internet y a los servicios interactivos que requieren los 654 estudiantes y 65 y docentes de las 11 instituciones educativas rurales del distrito de Torata.

El diseño propuesto cumple con los requerimientos específicos de las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Se utilizaron para el diseño del sistema, las Recomendación UIT-R P.530-13: Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa, la Recomendación UIT-R F.557-4: Objetivo de disponibilidad en sistemas de relevadores radioeléctricos para un circuito ficticio de referencia y un trayecto digital ficticio de referencia.

La planificación de radioenlaces apoyado con el software de simulación RadioMobile, facilitó el desarrollo de los cálculos. Los valores obtenidos de los márgenes de desvanecimiento Mlink en las tablas 21 y los valores obtenidos de la confiabilidad R en la tabla 23, permiten corroborar el cumplimiento de los objetivos de calidad y de confiabilidad para un radioenlace terrestre según el CCIR.

Al analizar los perfiles topográficos del terreno, se concluye que la tecnología inalámbrica WLAN más conveniente para realizar la interconexión 11 instituciones educativas rurales de la localidad de Torata, es el uso de radioenlaces basados en el estándar 802.11 n, que operan en la banda no licenciada de 5,8 GHz, Esta tecnología inalámbrica ofrece facilidad de instalación, flexibilidad para llegar a donde los sistemas cableados no llegan y cubre especialmente las necesidades de ancho de banda requerido para nuestro proyecto.

RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear equipos de los fabricantes mencionados en este proyecto o equipos de similares especificaciones técnicas, que sean robustos y que ofrezcan muy buenas prestaciones como un alto rendimiento, una buena calidad de servicio (QoS), un nivel de seguridad, con encriptación, entre otras.

Se debe tener en cuenta la flexibilidad del sistema de radioenlace propuesto con respecto a los otros beneficios que podrá brindar en el futuro como, por ejemplo, permitir que otras instituciones educativas de localidades colindantes, puedan utilizar la infraestructura desarrollada en este proyecto y transportar sus datos o hacer uso del acceso a internet.

Es importante tener en cuenta las recomendaciones de la UIT y del CCIR que regulan el diseño de los sistemas de telecomunicaciones y que garantizan la operación de los radioenlaces. Sin embargo, cuando se utilizan bandas no licenciadas, se requiere hacer un estudio de la incidencia de la interferencia co - canal, a fin de no producir interrupciones en el sistema. En muchos casos, es recomendable utilizar una banda de frecuencia licenciada exclusiva para la transmisión privada y sin interferencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA (2019) Guía de Norma APA, 7ª Edición.

Disponible en: <https://cutt.ly/9YEcpC3>

Andino, D. (2011). *“Diseño, implementación y puesta en marcha de un radioenlace digital entre la repetidora de Tres Cruces y la estación de bombeo El Salado, mediante un repetidor pasivo, para optimizar la operatividad del oleoducto transecuatoriano”*. [Tesis de título de ingeniero electrónico y telecomunicaciones], Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.

Disponible en: <https://cutt.ly/JSDancl>

Calvillo, A., Part, M., (2013). *“Estudio y diseño de una red WIMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural”*. [Tesis de grado], Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Disponible en: <https://cutt.ly/6SDainH>

Concha, M. (2017). *“Diseño e implementación de enlaces microondas y un nodo como solución a un problema de línea de vista para la planta agroindustrial de Jayanca, provincia de Chiclayo”*. [Tesis de título], Universidad Nacional Tecnológica Lima Sur, Lima, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/KSDscKv>

Conatanini S. (2013), *“Guía 3: Guías de ondas”*. Universidad Metropolitana de Telecomunicaciones, Caracas, Venezuela.

Disponible en: <https://cutt.ly/9SDc14o>

Cordova, A (2019), *“Diseño de red de radioenlaces vía microondas para acceso al servicio de internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambo Grande”*. [Tesis de título], Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/MSDsevj>

Diaz, R. (2015) *“Diseño de radioenlace microondas isla San Lorenzo – Campus PUCP para el Proyecto Perú Magneto”*. Tesis de título de ingeniero de las telecomunicaciones], Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/bSDjTk9>

Fernández, L., Sánchez, P. (2014). “Servicio de internet mediante fibra óptica y radio enlace en la institución educativa Tupac Amaru del distrito de Palca-Huancavelica”. [Tesis de título], Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/rSDdzXD>

Galeano, J. (2012), “*Análisis, diseño, simulación y presupuestación de un radio enlace punto a punto entre los municipios de Belén de Umbría y Quinchía en el departamento de Risaralda en Colombia*”.

Disponible en: <https://cutt.ly/xSDaJJx>

Guzmán, G. (2019). “Diseño de una red de banda ancha inalámbrica para las oficinas registrales del Reniec en Lima Metropolitana”. Tesis de título de ingeniero de redes y comunicaciones], Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/ASDkxxL>

Lopez, J., y Rey Daniel (2017). “*Proyecto radio enlace Vereda la Argentina (la Tebaida – Quindío)*”. Instituto Universitaria Politecnico Grancolombiano, Quindio, Colombia.

Disponible en: <https://cutt.ly/fSDpBM8>

Peña, J., (2021). “*Diseño de una Red de Banda Ancha Inalámbrica para los Anexos del Distrito de Puquina Departamento de Moquegua*”. [Tesis de título], Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/JSDs5of>

Ramos, Y., Sanabria, A. y Sulca, Q. (2012), “*Diseño del radioenlace Arequipa–Puquina–Omate*”. Universidad San Agustín, Arequipa, Perú.

Disponible en: <https://cutt.ly/XSDsK9F>

Tercero, M. y Rivera, R. (2013). “*Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname*”. [Tesis de título de ingeniero electrónico], Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

Disponible en: <https://cutt.ly/NSDzpRN>

(UIT) Unión Internacional de Telecomunicaciones (1997). *“Recomendación UIT-R F.557-4: Objetivo de disponibilidad en sistemas de relevadores radioeléctricos para un circuito ficticio de referencia y un trayecto digital ficticio de referencia”.*

Disponible en: <https://cutt.ly/mSDIUvc>

(UIT) Unión Internacional de Telecomunicaciones (1990). *“Recomendación UIT-R F.695: Objetivos de disponibilidad para enlaces de relevadores radioeléctricos digitales reales que forman parte de un circuito de "grado alto" de calidad dentro de una red digital de servicios integrados”.*

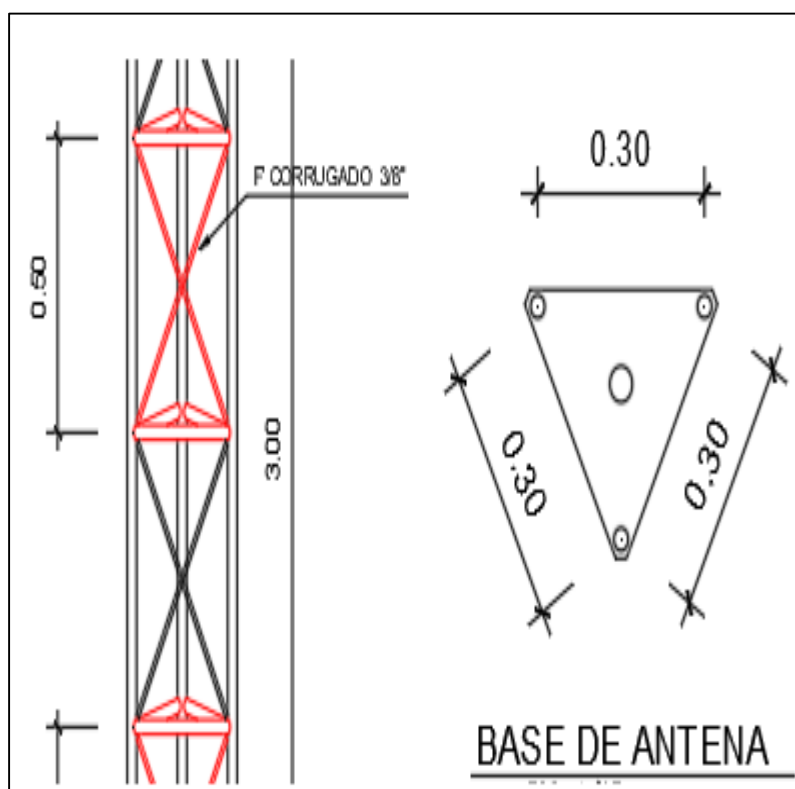
Disponible en: <https://cutt.ly/gSDI0lf>

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLE DE ESTUDIO	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL ¿En qué medida, el diseño de un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha, permitirá mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las instituciones educativas rurales del distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua, año 2022?</p> <p>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</p> <p>¿En qué medida, el empleo de las regulaciones del MTC y las recomendaciones internacionales de la UIT, inciden en la elaboración del estudio de propagación del sistema de radioenlaces digitales de banda ancha propuesto?</p> <p>¿En qué medida los resultados obtenidos referenciados al objetivo de calidad del CCIR mediante la simulación de los radioenlaces digitales a desplegar en la zona de estudio, garantizará su operatividad?</p> <p>¿En qué medida el cumplimiento de los requerimientos técnicos obtenidos en el estudio de radio-propagación, facilitará la evaluación de los equipos a seleccionar?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL Diseñar un sistema de radioenlaces digitales de banda ancha, que permita mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las instituciones educativas rurales del distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua, año 2022.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Elaborar un estudio de propagación del sistema de radioenlaces digitales de banda ancha propuesto, que cumpla las normas de regulación del MTC y las recomendaciones internacionales de la UIT-R.</p> <p>Simular el sistema de radioenlaces digitales a desplegar en la zona de estudio, cuyos resultados cumplan con los objetivos de calidad del CCIR y garanticen su operatividad.</p> <p>Evaluar que el equipamiento de banda ancha a seleccionar, cumpla con los requerimientos técnicos obtenidos en el estudio de radio-propagación.</p>	<p>Diseño de un sistema de radioenlaces digitales para mejorar el acceso a los servicios de tele - educación digital en las Instituciones Educativas rurales del distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua.</p> <p><u>DIMENSIÓN</u></p> <p>Ancho de banda asignado de acuerdo a la cantidad de alumnos.</p> <p>Asignación de velocidad de transmisión.</p> <p>Margen de desvanecimiento del enlace.</p> <p>Disponibilidad del enlace.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mbit/seg. • Mbit/seg • $M_{link} > 10$ dB • $R_T > 99,9664$ % 	<p>Cálculo del ancho de banda asignado para estudiantes y docentes de cada institución educativa.</p> <p>Cálculo de la velocidad de transmisión asignado para estudiantes y docentes de cada institución educativa.</p> <p>Balance energético del radioenlace</p> <p>Objetivo de disponibilidad en los radioenlaces de microondas</p>

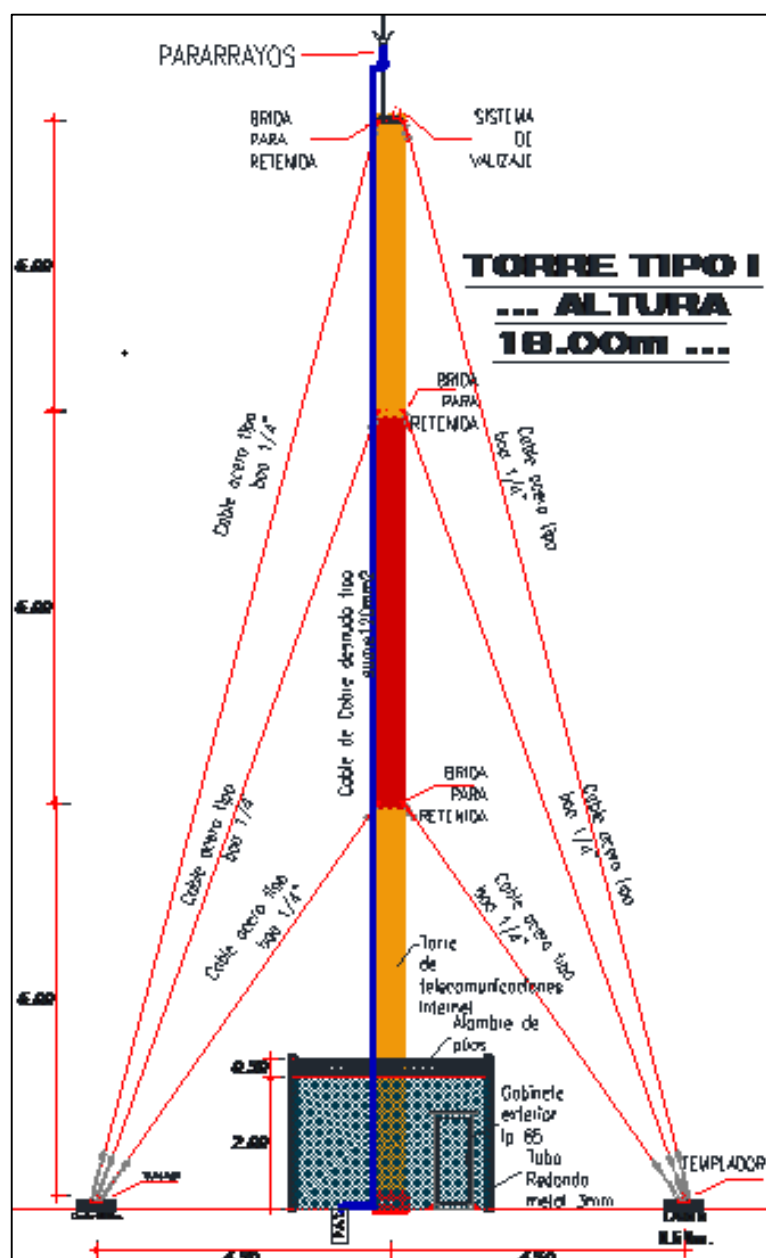
ANEXO 2: INFRAESTRUCTURA REQUERIDA**Torre de telecomunicaciones**

Para la transmisión de datos necesitamos una torre de comunicaciones debido a que no tiene línea de vista a las I.E. ubicados en el sector de Otorá y en el sector de Porobaya, esta torre de comunicaciones estará a una altura de 12 metros en su estructura está compuesta por fierro corrugado de 3/8" de base 30 x 30 como se muestra en la figura



Estructura de torre de telecomunicaciones

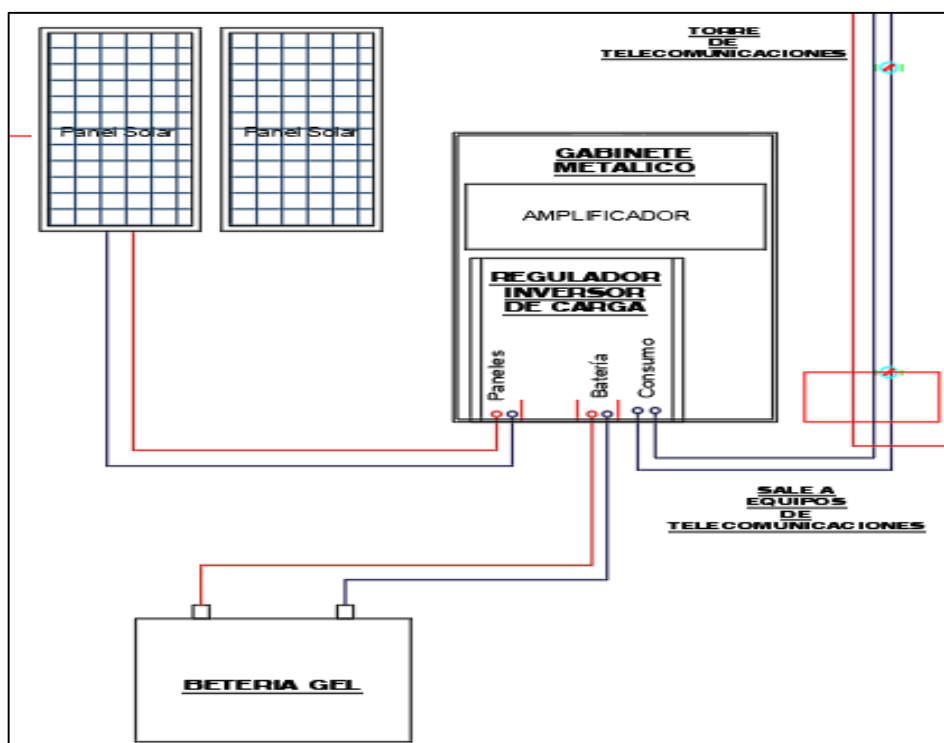
Fuente: Elaboración propia



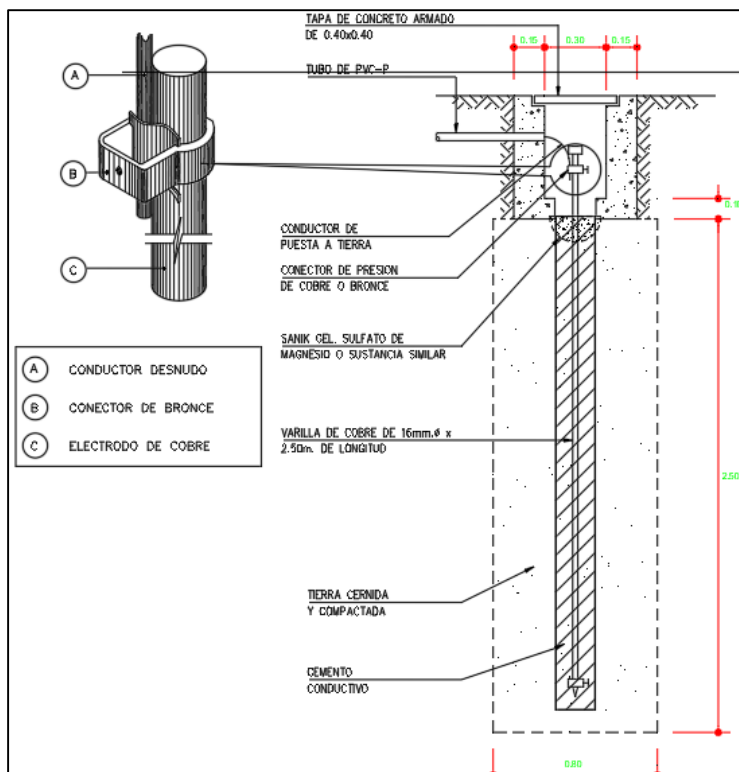
Cuadro de cargas

Cada una de las instituciones educativas o nodo que no cuente con energía eléctrica convencional se deberá instalar un sistema fotovoltaico para ello se calculara la capacidad del sistema fotovoltaico.

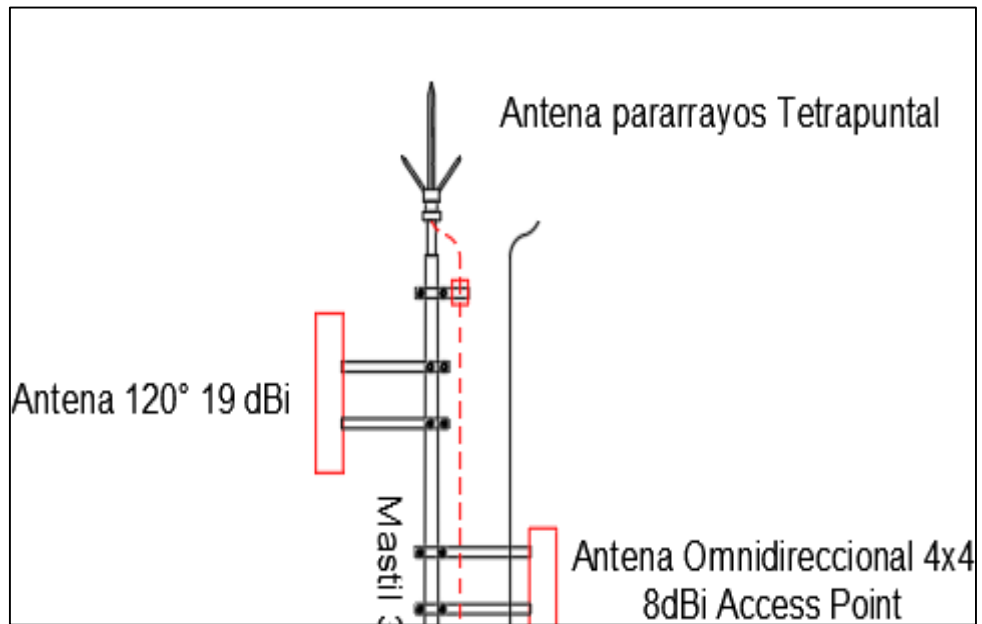
Sistema fotovoltaico



Sistema de puesta a tierra



Sistema de pararrayos



Cerco perimétrico

