

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por ley N° 25265)

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



TESIS

**Diseño de red de comunicaciones, con radioenlace
microondas para telefonía e internet en la empresa minera
IRL Unidad Corihuarmi**

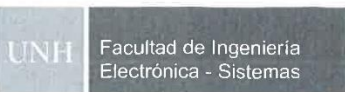
**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR:
Roil Flider, ROJAS YAURI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**HUANCAVELICA, PERÚ
2024**

ACTA DE SUSTENTACIÓN:



Jr. La Mar N° 755 Pampas – Tayacaja, Celular N° 967-684-062

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho".

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ingeniería Electrónica - Sistemas, a los 25 días del mes de JUNIO, a horas 11:00 A.M. del año 2024, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 0380-2022-FIES-UNH de fecha 01 de DICIEMBRE de 2022, conformado de la siguiente manera:

1. PRESIDENTE : Dr. Marco Aurelio ROSARIO VILLARREAL
 ORCID : 0000-0003-0250-9137
 DNI N° : 18189058
2. SECRETARIO : Mg. Raúl PAOLA SANCHEZ
 ORCID : 0000-0001-7720-9193
 DNI N° : 23274132
3. VOCAL : Dr. Javier Camilo POMA PALACIOS
 ORCID : 0000-0002-8527-809X
 DNI N° : 0000-0002-8527-809X

Con la finalidad de llevar a cabo el acto académico de sustentación de tesis, titulado: "DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES, CON RADIOENLACE MICROONDAS PARA TELEFONÍA E INTERNET EN LA EMPRESA MINERA IRL UNIDAD CORIHUARI".

Aprobado mediante Resolución de Consejo de Facultad N° 154-2024-FIES-UNH, de fecha 29 de MAYO de 2024, donde fija la hora y fecha para el mencionado acto.

SUSTENTANTE (s):

Nombres y Apellidos : Raúl Flider ROJAS YAUPE
 D.N.I. N° : 40812915

Nombres y Apellidos : _____
 D.N.I. N° : _____

ASESOR (a):

Nombres y Apellidos : Dr. Javier Camilo POMA PALACIOS
 ORCID : 0000-0002-8527-809X
 D.N.I. N° : _____

Luego de haber absuelto las preguntas que fueron formuladas por los Miembros del Jurado, se procede con la deliberación con el resultado de:

Nombres y Apellidos del Autor : Raúl Flider ROJAS YAUPE

APROBADO DESAPROBADO POR UNANIMIDAD.

Nombres y Apellidos del Autor : _____

APROBADO DESAPROBADO POR _____

Para constancia se expide la presente acta, en la ciudad de Pampas a los 25 días del mes de JUNIO del año 2024.

[Signature]
 PRESIDENTE

[Signature]
 SECRETARIO

[Signature]
 VOCAL

CERTIFICADO DE SIMILITUD:



UNH

Vicerrectorado de Investigación

Dirección de Innovación y Transferencia tecnológica

Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Por medio del presente y de acuerdo al siguiente detalle:

- Trabajo de investigación, titulado:
"DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES, CON RADIOENLACE MICROONDAS PARA TELEFONÍA E INTERNET EN LA EMPRESA MINERA IRL UNIDAD CORIHUARMI"
- Presentado por:
ROJAS YAURI, ROIL FLIDER
- Docente asesor (a):
POMA PALACIOS, JAVIER CAMILO
- Para obtener:
EI TÍTULO PROFESIONAL: INGENIERO(A) ELECTRÓNICO

La Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio, **certifica que es un trabajo de investigación original**, se encuentra dentro del porcentaje permitido de coincidencia por la Universidad Nacional de Huancavelica.

Por tanto, en cumplimiento del Art.4° del Reglamento del Software Anti plagio de la Universidad Nacional de Huancavelica, se dictamina que el trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio **TURNITIN** (realizado por el docente Asesor), se expide el presente.

ORIGINALIDAD	SIMILITUD
86%	14%

El Certificado se expide el 20 de enero de 2025.



Firmado digitalmente por ESPINOZA
QUISPE Carlos Enrique FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21/01/2025 16:25:29 -05:00



Verificar la autenticidad del presente documento en el siguiente QR.

TÍTULO:

Diseño de red de comunicaciones, con radioenlace microondas para telefonía e internet en la empresa minera IRL Unidad Corihuarmi

AUTOR:

Roil Flider, ROJAS YAURI

ASESOR:

Dr. Javier Camilo, POMA PALACIOS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8527-809X>

DNI: N° 07072546

DEDICATORIA

A quién me da la razón de vivir, Dios; al amor fraterno Gabino y Martha; a las tres mujeres de mi vida Bertha, Oshin y Sahory.

De los días tristes cuando un endurecido pan era un caro manjar, a mi hermano Saúl.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida, sabiduría y fuerza para poder persistir y hacer logros en este mundo.

A mis padres, por sus esfuerzos que realizaron para apoyarme moral y económicamente en la culminación satisfactoria de mis estudios superiores, por motivarme a seguir adelante para ser vencedor dentro de la sociedad y, finalmente, por confiar en mí.

A todos los catedráticos de la Escuela Académico Profesional de Electrónica de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), por impartir una formación humana científica y tecnológica durante los cinco años académicos.

A la empresa Minera IRL SA Unidad Corihuarmi por permitirme realizar el trabajo de investigación

El Autor.

TABLA DE CONTENIDO

ACTA DE SUSTENTACIÓN:	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD:	iii
TÍTULO:	iv
AUTOR:	v
ASESOR:	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I:	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Descripción del problema	18
1.2. Formulación del Problema	20
1.3. Objetivos	21
1.4. Justificación	22
1.5. Limitaciones.....	23
CAPÍTULO II:	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Antecedentes	24
2.2 Bases Teóricas	30
2.3. Definición de términos	62
2.4. Variables	64

2.5. Operacionalización de variables	65
CAPÍTULO III:	66
MATERIALES Y MÉTODOS	66
3.1. Ámbito temporal y espacial	66
3.2. Tipo de investigación	66
3.3. Nivel de investigación	66
3.4. Diseño de investigación	67
3.5. Método de investigación	67
3.6. Población y muestra	67
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	69
CAPITULO IV:.....	70
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
4.1. Análisis de información	70
4.2. Discusión de los resultados	90
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
Bibliografía	113
ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Velocidad de Internet en la Unidad Minera Corihuarmi.....	19
Tabla 2 Velocidad de Internet en la Unidad Minera Corihuarmi.....	19
Tabla 3 Velocidad de Internet en la Unidad Minera Corihuarmi.....	20
Tabla 4 Número de usuarios de telefonía e Internet	30
Tabla 5 Valores de ganancia de antenas de tipo parabólica con foco en su centro	37
Tabla 6 Confiabilidad y tiempo de interrupción	38
Tabla 7 Bandas de radiofrecuencia determinada por la UIT.....	43
Tabla 8 Operacionalización de las variables	65
Tabla 9 Población total.....	68
Tabla 10 Muestra de estudio total	68
Tabla 11 Datos geográficos de las estaciones	70
Tabla 12 Cálculo de Ancho de Banda requerido para 95 usuarios	81
Tabla 13 Resultados de pruebas en el Enlace 1 estación TDP (Huancayo) hasta Torre 02	91
Tabla 14 Resultados de pruebas en el Enlace estación TDP (Huancayo) hasta Torre 02.	94
Tabla 15 Resultados de pruebas en el Enlace de Torre 02 hasta Torre 01.....	97
Tabla 16 Resultados de pruebas en el Enlace Torre 02 hasta Torre 01	100
Tabla 17 Resultados de pruebas en el Enlace Torre 01 hasta Data Center Corihuarmi.....	103
Tabla 18 Resultados de pruebas del Enlace Torre 01 hasta Data Center Corihuarmi.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la estación satelital VSAT.	18
Figura 2 Representación de Zona de Fresnel	32
Figura 3 Antena con reflector parabólico.	35
Figura 4 Esquema básico de un radioenlace	40
Figura 5 Esquema general de un Radioenlace	40
Figura 6 Espectro radioeléctrico	41
Figura 7 Espectro de ondas electromagnéticas	42
Figura 8 Dimensiones ancho de canal.....	53
Figura 9 Diagrama de bloque de la Modulación adaptativa ACM	55
Figura 10 Representación Line of Sight	56
Figura 11 Representación de Near Line of Sight.....	57
Figura 12 Representación Non Line of Sight.....	57
Figura 13 Esquema del Hardware IP sec	60
Figura 14 Interfaz de usuario de Google Earth	61
Figura 15 Interfaz de usuario de Software Link Planner	62
Figura 16 Localización geográfica completa	72
Figura 17 Perfil topográfico del enlace 1	72
Figura 18 Perfil topográfico del enlace 2.....	73
Figura 19 Perfil topográfico del enlace 3.....	73
Figura 20 Enlace completo de estaciones TDP con las Oficinas Corihuarmi	76
Figura 21 Enlace 1 aplicando Master TPD.	82
Figura 22 Enlace en TPD Huancayo a Torre 02	82
Figura 23 Enlace 1 aplicando Master Torre 02.....	83
Figura 24 Enlace en Torre 02 a TPD Huancayo	84
Figura 25 Enlace 2 aplicando Master Torre 02 hacia Torre 01	85
Figura 26 Enlace en Torre 02 con Torre 01	85
Figura 27 Enlace 2 aplicando Master Torre 01 hacía Torre 02	86
Figura 28 Enlace en Torre 01 a Torre 02	86
Figura 29 Enlace 3 aplicando Master Torre 01 hacía Oficina Corihuarmi.....	87

Figura 30 Enlace 3 en Torre 01 con Oficina Corihuarmi	88
Figura 31 Enlace 3 aplicando Master Data Center Corihuarmi hacia Torre 01	89
Figura 32 Enlace 3 desde Oficina Corihuarmi con Torre 01	89
Figura 33 Total, de pruebas en la Potencia de TDP (altura de torre vs. potencia de recepción).	92
Figura 34 Total, de pruebas en el ancho de banda para TDP.....	92
Figura 35 Total, de pruebas en la disponibilidad de TDP.....	93
Figura 36 Total, de pruebas en la entrada TDP.....	93
Figura 37 Total de pruebas en Potencia de Torre 2	95
Figura 38 Total, de pruebas en el ancho de banda para la Torre 2	95
Figura 39 Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 2	95
Figura 40 Total, de pruebas en la entrada Torre 2	96
Figura 41 Total, de pruebas en la Potencia de Torre 1	98
Figura 42 Total, de pruebas en el ancho de banda para la Torre 1	98
Figura 43 Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 1	99
Figura 44 Total, de pruebas en la entrada de Torre 1	99
Figura 45 Total, de pruebas en Potencia de Torre 2	101
Figura 46 Total de pruebas en el ancho de banda para la Torre 2	101
Figura 47 Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 2	101
Figura 48 Total de pruebas en la entrada de Torre 2	102
Figura 49 Total de pruebas en la Potencia de Torre 1	104
Figura 50 Total de pruebas en el ancho de banda para la Torre 1	104
Figura 51 Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 1	105
Figura 52 Total de pruebas en la entrada de Torre 1	105
Figura 53 Total, de pruebas en la Potencia de la Oficina Corihuarmi	107
Figura 54 Total, de pruebas en el ancho de banda para la Oficina Corihuarmi.....	107
Figura 55 Total, de pruebas en la disponibilidad de Oficina Corihuarmi.....	108
Figura 56 Total, de pruebas en la entrada de la Oficina Corihuarmi	108

RESUMEN

En el sector minero, los centros de operación por su ubicación en zonas de difícil acceso presentan dificultades a la conexión de servicio de telefonía e internet. Por esta razón, la Unidad Corihuarmi perteneciente a la empresa minera IRL presenta inconvenientes con la velocidad de transmisión de datos y comunicación óptima entre sus oficinas y sucursales.

Al respecto, la investigación presentada, tiene características de tipo aplicativo , ya que se plantea como objetivo principal la realización del diseño de un red de telecomunicaciones, a través de radioenlace microondas dedicado utilizando una conexión simétrica, 40Mbps tanto de subida como de bajada, de 80 Mbps de ancho de banda a fin de que el servicio de telefonía e Internet posea la suficiente capacidad y garantice el nivel de comunicación óptimo de los empleados, obreros y contratistas de la citada empresa.

La infraestructura de la red propuesta consiste en un nodo principal, localizado en la ciudad de Huancayo, que suministra el servicio de telefonía e internet (Telefónica del Perú), realizando tres saltos (Estación TDP, Estación Torre 01, Estación Torre 02 y Oficina Corihuarmi).

Para el diseño de la red de comunicaciones, se utiliza el software Link Planner, este software permite la realización de una simulación con personalización propia, es muy utilizado para elaborar diseños y configuraciones de enlaces punto a punto (PTP), esta herramienta trabaja apoyada en las aplicaciones de Google (Maps y Earth)

Las estaciones repetidoras Torre 01 y Torre 02 serán torres de 50 metros de altura de acuerdo a los resultados obtenidos en el software Link Planner.

Finalmente se propone la energía que suministrará a cada repetidor es sistema fotovoltaico y se considerará el sistema de seguridad y el sistema puesta a tierra para equipos y pararrayo.

Palabras clave: Red de Comunicaciones, Radioenlace, Microondas, Servicio, Telefonía, Internet, Empresa Minera.

ABSTRACT

In the mining sector, operation centers due to their location in areas with difficult access present difficulties in connecting telephone and internet service. For this reason, the Corihuarmi Unit belonging to the IRL mining company has problems with the speed of data transmission and optimal communication between its offices and branches.

In this regard, the research presented has application-type characteristics, since its main objective is to carry out the design of a telecommunications network, through a dedicated microwave radio link using a symmetrical connection, 40Mbps both up and down, 80 Mbps of bandwidth so that the telephone and Internet service has sufficient capacity and guarantees the optimal level of communication for the employees, workers and contractors of the aforementioned company.

The infrastructure of the proposed network consists of a main node, located in the city of Huancayo, which supplies the telephone and internet service (Telefónica del Perú), making three hops (TDP Station, Torre 01 Station, Torre 02 Station and Corihuarmi Office).

For the design of the communications network, the Link Planner software is used. This software allows carrying out a simulation with its own customization. It is widely used to develop designs and configurations of point-to-point links (PTP). This tool works supported by Google applications (Maps and Earth)

The Tower 01 and Tower 02 repeater stations will be 50 meter high towers according to the results obtained in the Link Planner software.

Finally, the energy that will be supplied to each repeater is proposed as a photovoltaic system and the security system and the grounding system for equipment and lightning rods will be considered.

Key Words: Communications Network, Radio Link, Microwave, Service, Telephony, Internet, Mining Company.

INTRODUCCIÓN

La solución a las problemáticas y las distintas necesidades de la sociedad actual están dadas gracias al avance de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC).

Dentro de territorio peruano, en las zonas con difícil acceso, es decir, las zonas rurales y del sector minero, se carece de un servicio óptimo de telefonía e Internet. Atendiendo a ello, este estudio pretende diseñar una red de comunicaciones con radioenlace microondas con capacidad suficiente de transferir servicio de telefonía e Internet para la empresa Minera IRL unidad Corihuarmi; estableciendo las especificaciones técnicas, atendiendo a las normas ITU- T, ITU-R, lo establecido en la ley de Telecomunicaciones del Perú, así como respetando las normas técnicas aplicables y vigentes en el país.

El sistema de comunicación a través de radioenlace microondas es una solución más ágil para transferir información de telefonía e Internet a los lugares de difícil acceso por medios alámbricos por la geografía accidentada.

El trabajo de investigación es de nivel descriptivo, ya que en el trabajo se va describir las características de los elementos que componen un radioenlace microondas, el tipo de investigación presentada en la tesis está catalogado dentro del tipo de investigación aplicada porque se necesita evidenciar la eficiencia y estabilidad de los sistemas de radioenlaces microondas.

La estructura de la investigación es la siguiente:

El primer capítulo presenta los apartados de: formulación de la problemática del sector, planteamiento de objetivos para la solución de un problema, y la justificación de estos.

El segundo capítulo, se encuentran temas referentes al marco teórico, antecedentes (a nivel internacional, a nivel nacional y local), teóricas que fundamentan la investigación, definiciones de términos específicos y variables.

El tercer capítulo detalla el tipo de investigación empleado es aplicada, nivel de

investigación descriptiva, diseño de investigación experimental y el método utilizado en la investigación es el ensayo – error; también se describe el conjunto poblacional y muestra; así mismo se presenta el origen de los datos recolectados, procesados y analizados con las respectivas herramientas e instrumentos de investigación.

Finalmente, en el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos, la discusión de los datos obtenidos previamente, y las referencias bibliográficas consultadas.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Actualmente la comunicación es de vital importancia para empresas, instituciones u otras organizaciones. Por tal motivo, la evolución de las tecnologías inalámbricas es una excelente alternativa para alcanzar coberturas que difícilmente se logran con redes alámbricas. La empresa Minera IRL Unidad Corihuarmi, por su ubicación geográfica, actualmente cuenta con servicio de telefonía e Internet mediante el sistema satelital VSAT, mismo que presenta dificultades en servicios de telefonía e Internet, debido a su baja capacidad de ancho de banda, 3 Mbps, el cual no es suficiente para la comunicación óptima de los empleados, obreros y contratistas de la citada empresa, sumado a ello el costo de operación y de mantenimiento de sistemas satelitales son costosos.

Figura 1

Ubicación de la estación satelital VSAT.



Como evidencia de ello, se tiene la Tabla 1, la cual sintetiza las pruebas de velocidad del servicio de internet a través del sistema VSAT, que fueron realizadas mediante un proceso de investigación y visitas a la Unidad Minera Corihuarmi, utilizando la herramienta online Speedtest.net

Tabla 1*Velocidad de Internet en la Unidad Minera Corihuarmi.*

Ítem	Fecha	Hora	Condición climática	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Kbps)
1	24/02/2021	7:00 a 8:00	Nublado	1.50	160
2	24/02/2021	8:00 a 9:00	Nublado	1.54	177
3	24/02/2021	9:00 a 10:00	Nublado	1.68	201
4	24/02/2021	10:00 a 11:00	Normal	2.26	206
5	24/02/2021	11:00 a 12:00	Normal	1.98	203
6	24/02/2021	12:00 a 13:00	Normal	2.54	243
7	24/02/2021	13:00 a 14:00	Nublado	1.19	316
8	24/02/2021	14:00 a 15:00	Nublado	1.52	330
9	24/02/2021	15:00 a 16:00	Nublado	1.92	266
10	24/02/2021	16:00 a 17:00	Nublado	1.97	349
11	24/02/2021	17:00 a 18:00	Nublado	1.80	277
12	24/02/2021	18:00 a 19:00	Nublado	1.45	266

Tabla 2*Velocidad de Internet en la Unidad Minera Corihuarmi.*

Ítem	Fecha	Hora	Condición climática	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Kbps)
1	27/02/2021	07:00 a 08:00	Nublado	1.84	161
2	27/02/2021	08:00 a 09:00	Nublado	1.51	160
3	27/02/2021	09:00 a 10:00	Nublado	1.68	190
4	27/02/2021	10:00 a 11:00	Normal	2.26	203
5	27/02/2021	11:00 a 12:00	Normal	2.50	203
6	27/02/2021	12:00 a 13:00	Normal	2.54	243
7	27/02/2021	13:00 a 14:00	Normal	2.19	316
8	27/02/2021	14:00 a 15:00	Nublado	1.50	200
9	27/02/2021	15:00 a 16:00	Nublado	1.90	266
10	27/02/2021	16:00 a 17:00	Nublado	1.97	349
11	27/02/2021	17:00 a 18:00	Lluvia	1.80	160
12	27/02/2021	18:00 a 19:00	Lluvia	1.44	155

Tabla 3

Velocidad de Internet en la Unidad Minera Corihuarmi.

Ítem	Fecha	Hora	Condición climática	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Kbps)
1	29/02/2021	07:00 a 08:00	Lluvia	1.52	152
2	29/02/2021	08:00 a 09:00	Lluvia	1.94	167
3	29/02/2021	09:00 a 10:00	Lluvia	1.68	101
4	29/02/2021	10:00 a 11:00	Normal	2.26	207
5	29/02/2021	11:00 a 12:00	Normal	2.84	204
6	29/02/2021	12:00 a 13:00	Normal	2.51	243
7	29/02/2021	13:00 a 14:00	Normal	1.19	119
8	29/02/2021	14:00 a 15:00	Nublado	1.50	133
9	29/02/2021	15:00 a 16:00	Nublado	1.92	166
10	29/02/2021	16:00 a 17:00	Nublado	1.97	149
11	29/02/2021	17:00 a 18:00	Lluvia	1.45	166
12	29/02/2021	18:00 a 19:00	Lluvia	1.34	189

Nota. Esta tabla muestra las velocidades de subida y bajada del servicio de internet en la unidad Minera Corihuarmi, de igual manera presenta fecha, hora y condición climática.

1.2. Formulación del Problema

Al no tener un sistema de comunicaciones con la capacidad suficiente de satisfacer la necesidad de los usuarios de la unidad minera. ¿será posible mejorar el servicio de telefonía e Internet a través de radioenlace microondas para telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi? Para que pueda desarrollarse eficientemente en toda su actividad productiva.

En la actualidad, la tecnología de redes inalámbricas es vital para el funcionamiento óptimo de toda la empresa. Al respecto, (González, Perez, Daza, & Carrillo, 2012) explican que el uso de estas tecnologías está motivado por el costo reducido de su instalación, que además posibilita su reutilización en obras subsiguientes, ya que no involucran un trabajo de cableado.

1.2.1. Problema General

¿Cómo diseñar un sistema de red de comunicaciones con radioenlace microondas que entregue calidad de servicios de telefonía e internet para la empresa minera IRL unidad Corihuarmi?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el ancho de banda requerido del radioenlace microondas para cubrir las necesidades del servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?
- ¿Cuál será el nivel de potencia de recepción del radioenlace microondas para garantizar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?
- ¿Cuál será la disponibilidad del radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?
- ¿Cuál será el margen de desvanecimiento del radioenlace microondas para certificar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?
- ¿Tendrá línea de vista libre el radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una red de comunicaciones con radioenlace microondas utilizando el programa Link Planner que entregue calidad de servicios de telefonía e internet para la empresa Minera IRL unidad Corihuarmi.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el ancho de banda requerido del radioenlace microondas para cubrir las necesidades del servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.
- Determinar la potencia de recepción del radioenlace microondas para garantizar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.
- Determinar la disponibilidad del radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.
- Determinar el margen de desvanecimiento del radioenlace microondas para certificar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.
- Comprobar la línea de vista libre del radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Social

El presente trabajo beneficiará a 120 usuarios de telefonía e Internet de la minera IRL unidad Corihuarmi, ya que permitirá mejorar la comunicación con su sede, ubicada en Lima, y podrá elevar la interacción que mantiene con sus clientes.

De igual forma se beneficiarán las comunidades, ya que posibilitará un mejor acceso a Internet, generando así un impacto en el desarrollo de la población y la calidad de vida, debido al acceso a la información en sectores de comercio, salud, trabajo, educación, entre otros.

1.4.2. Justificación tecnológica

Con el avance de las tecnologías inalámbricas PTP Cambium Networks que operan en un espacio de rango de frecuencia de 5 GHz, esto debido a que esta frecuencia mundialmente es de uso libre, y al contar con un rango amplio de MHz,

generalmente se utilizan las frecuencias de 5.2 GHz a 5.8 GHz, tiene una extensa oferta de canales permitiendo el desarrollo radios de bajo costo con soluciones de capacidad en Gigabit de alta velocidad, que sean flexibles y confiables en el rendimiento del enlace para aplicaciones de rango medio y de largo alcance de hasta 122 millas. Tiene su base en el protocolo 802.11 ac Wave 2 y su implementación se realiza con tecnología MIMO.

1.4.3. Justificación económica

En aspecto económico, un radioenlace microondas con ancho de banda y potencia de recepción adecuado resulta una alternativa atractiva respecto a otras tecnologías, por cuestiones de distancia y presencia de proveedores de servicio en la zona. La implementación y mantenimiento del radio enlace microondas, frente a enlaces satelitales y de medio guiado por fibra óptica, presentan precios más competitivos.

1.5. Limitaciones

La principal limitación que se presentó en la investigación en primera instancia fue la coordinación de visita a la minera, implicando retraso e inversión de más tiempo de lo requerido.

De igual forma se encontró un vacío en la literatura en los estudios que combinaron las dos variables de estudio (red de comunicaciones y radioenlace de microondas) una misma investigación que pertenezcan al rubro de la minería. Este vacío se llenó mediante la revisión de información de fuentes confiables a escala global, nacional y local para respaldar la ejecución del estudio.

Por último, para comprender cómo se comportan las variables utilizadas en esta investigación en otros contextos, se recomienda realizar más investigaciones sobre este tema y temas relacionados porque mejorará el acceso a Internet, lo que tendrá un impacto en el crecimiento poblacional y la calidad de vida.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

La investigación de (Llanos, 2019) donde se propone el diseño de un sistema de telecomunicaciones a través del uso de enlaces de radiofrecuencias entre las ciudades de Bogotá, Bucaramanga, Medellín y Cali, cuyo principal objetivo fue ilustrar el modelamiento de un sistema de comunicaciones por enlaces de radiofrecuencias de microondas terrestres en las principales ciudades Colombianas para facilitar y contribuir al conocimiento de conceptos de las telecomunicaciones y llevarlos a la práctica, mediante la ejecución de cálculos, procedimientos y usos de programas de ingeniería.

Los puntos que tomaron en cuenta fueron las condiciones del diseño de su estudio; entre ellas están la interconexión de las ciudades (Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga), el establecimiento de canales radioeléctricos, en virtud de las bandas de frecuencia y el despejo del 100% de la zona de Fresnel; la designación de sitios, perfiles de terreno y plan de frecuencias; la evolución de zonas de Fresnel, de pérdidas por terreno libre; la contabilidad de la altura de las torres, con bajas en el enlace más extenso y las especificaciones de los equipos que utilizaron. El autor concluye que, el proceso de diseño se debe administrar de forma correcta, ya que las bandas de frecuencias pueden llegar a ser un tanto tediosas; respecto a la caracterización de pérdidas de espacio libre, se evidencia que se puede compensar debido a la distancia de los enlaces.

El proyecto de (Gonzalez, 2018) que consistió en el diseño de radioenlaces para el sector industrial, tuvo como finalidad la creación de un sistema de conexión por radio comunicación entre dos pabellones situados en pueblos contiguos. Para ello, se planteó utilizar una red interna, cuyos costes de transmisión eran reducidos, es decir,

un sistema de radioenlace de microondas, con el cual ya no sería necesario pagar un alquiler a una empresa de servicios y supondría una mejoría en la velocidad de transmisión de datos.

Además, se dispuso a emplear softwares especializados, tales como Google Earth y Radio Mobile, con los cuales se realizó una simulación del sistema de radio comunicación, obteniendo parámetros específicos de la antena receptora, que supondrían un diseño de radioenlace mínimamente satisfactorio. En conclusión, la red de comunicación mejoró, pues la velocidad de bits aumentó en un 400%, se redujo el coste del sistema y quedó evidenciado la facilidad de su instalación.

Este estudio está correlacionado con el objetivo de investigación debido a que propone un diseño para el sistema de telecomunicaciones por medio de radioenlaces para el sector industrial, es importante para que haya un mejor servicio, debido a que las transmisiones de radioenlace con microondas aceleran el proceso de conectividad y se optimice la realización de negociaciones digitales.

En el trabajo de investigación de (Caamaño & Rubio, 2017) tuvo como propósito la resolución de la problemática en la conectividad a internet, entre la municipalidad Sampués y el centro educativo “San Francisco El Paki”, para lo cual planteó analizar y rediseñar el sistema de radioenlace. Debido al costo elevado de la oferta de los operadores de internet móvil y la ubicación geográfica de la institución educativa, la cobertura con fibra óptica es inexistente, por lo que, a través de su estudio, proponen implementar una comunicación de radioenlace microondas que permita el acceso a internet.

En cuanto a su propuesta, planearon que el canal de conectividad sea desarrollado, en sus inicios, en la vereda de la municipalidad Sampués y, posterior a ello, redireccionar hacia la escuela indígena, asegurando un enlace exclusivo y estable con accesibilidad a internet. Asimismo, determinaron que el cronograma era eficaz para dar inicio a la cobertura del servicio, los recursos a destinar, la capacitación al personal, entre otros; y que su ejecución permitirá mayor aprendizaje y amplias posibilidades para los alumnos y profesores, en cuanto a interacción con las TIC.

Este estudio posee una estrecha relación con la investigación que se viene realizando, debido a que el estudiar y diseñar de un radioenlace, dentro de una empresa o institución educativa, es significativa para que tengan mayor acceso a las conexiones digitales y para el aumento de la competitividad y conexión con otras personas, al relacionarse de manera interactiva a través del radioenlace.

La investigación de (Céspedes, 2015) presentó el contexto actual de los sistemas de telecomunicaciones a través de enlaces de radiofrecuencias de la empresa Promarisco S. A., a fin de hallar las situaciones que intervienen en las intermitencias de las comunicaciones que existen entre las oficinas de Quiñonez y Bellavista. El método de indagación fue de campo, esto para obtener una perspectiva lo más realista posible, que constata el deterioro de algunos equipos a causa del clima.

La principal conclusión que se obtuvo del estudio fue que, de la muestra de 50 personas, el 100% estaba insatisfecha con el servicio de conectividad y comunicación del sistema de la empresa. Las recomendaciones fueron elaborar un plan de mantenimiento semianual o anual al radioenlace, usar frecuencias privadas (para evitar interferencias) del golfo de Guayaquil, instalación de pararrayos y cambiar a equipos UbiquitiRocket M5 (para tener una señal estable).

El estudio se encuentra vinculado con el objetivo planteado dentro de la investigación que se está realizando debido a que al realizar un análisis del funcionamiento actual del sistema de telecomunicaciones por radioenlace de la empresa y al tener recomendaciones de optimización de este se puede lograr una mejoría en el QoS de las participaciones de los beneficiarios al obtener una comunicación y servicio adecuados.

2.1.2. A nivel nacional y local

En el estudio realizado por (Ballon, 2020) quien plantea brindar servicios de conectividad a internet a las comunidades de Apurímac, Ayacucho y Huancavilca mediante la implementación de sistemas de comunicaciones vía microondas con enlaces punto – punto y punto – multipunto, estuvo enfocado en presentar el diseño de una red híbrida entre inalámbrica, radioenlace, y Fibra óptica, con el fin de cubrir la

necesidad que tiene la población de Apurímac en la conectividad a internet, en escuelas, institutos, universidades, entre otros.

Para el diseño utilizó equipos Punto a Multipunto, modelo PTP450i, equipos Acces Point modelo ePMP1000 SYNC, Antena Sectorial modelo ePMP1000 y equipos suscriptor modelo Force 180, realizando transmisiones en las frecuencias libres para la red, sin dejar de cumplir con los requerimientos de ancho de banda, necesario para la red implementada, disponibilidad de la misma, margen de desvanecimiento, entre otros factores requeridos para el funcionamiento adecuado de la red. Asimismo, utilizó la herramienta de diseño de enlaces Link Planner; mediante este software planificó los enlaces microondas, calculó los enlaces radioeléctricos PTP y el diseño de redes inalámbricas.

El estudio es importante para la investigación presentada, pues guarda relación con la propuesta de diseño de radioenlaces. Asimismo, la conclusión al cual llegó el autor, esto es, que los enlaces PTP diseñados lograron alcanzar capacidades de hasta 300 Mbps con disponibilidades de 99.99, pudiendo instalar un total de 452 enlaces PTP (5GHz) en Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

La publicación de (Córdova, 2019) quien propone el diseño de radioenlaces para los sectores con dificultad de acceso y que se encuentren en las zonas más alejadas del distrito Tambogrande, se basó en el diseño de un modelo de red inalámbrico con enlaces de radiofrecuencias en el orden de las microondas con la finalidad de proveer de servicio de internet a las zonas mencionadas dentro del distrito de Tambogrande, ya que muchos de estos distritos, presentan carencias respecto a accesibilidad vial y educacional. El diseño que realizó estuvo conformado por una estructura de red que incorpora un nodo central, un nodo secundario, cuatro nodos de distribución, cinco radioenlaces PTP y siete radioenlaces punto multi punto.

Para lograr la comunicación de los nodos, aplicó enlaces tipo PTP, que a su vez están conformados por equipos PTP650. Asimismo, hizo uso de enlaces PMP, que son los enlaces intermedios, encargados de distribuir el servicio a los usuarios del distrito, propagando la señal a través del equipo ePMP1000, con lo que mediante los equipos

ePMP Force180 y 200, los usuarios captan la señal de la red.

El estudio es pertinente, ya que guarda relación con el diseño y modelamiento de un sistema de telecomunicaciones a través de una red de radioenlaces microondas y comprobó el rendimiento de estos, mediante el uso de un software especializado, Link Planner, mediante el cual se ingresaron datos de alturas de árboles, estructuras, técnicos, entre otros y se aplicó una cobertura que requirió contar con una capacidad de de 50 Mbps.

La publicación de (Sernaqué, 2018) donde se estudia y propone un diseño de comunicaciones inalámbricas mediante el uso de enlaces microondas para los usuarios de medio y bajo Piura del sector hidráulico, cuyo principal objetivo fue analizar y diseñar un sistema comunicaciones inalámbricas para la reducción de los tiempos necesarios para la transmisión de información entre los usuarios y las comisiones de la junta del sector hidráulico. Para la evaluación del sistema se estimó una muestra probabilística de 38 trabajadores, donde el 54% supo manifestar que no está satisfecho con el funcionamiento actual de la red implementada. Así mismo, el 83% de la muestra aseguraron no estar satisfechos con la forma de administrar red.

En conclusión, era muy necesario hacer el rediseño del sistema de radioenlace. Para este efecto, se recomienda utilizar los equipos con los que se realizaron los análisis de factibilidad; se propone dos mantenimientos preventivos al año, así como también contratar personal calificado en telecomunicaciones que supervise el desempeño del sistema de radioenlaces. El trabajo guarda vinculación con el objetivo de la investigación, debido a que estudiar y diseñar un sistema de radioenlace inalámbrico es necesario para que los usuarios logren un acceso a la red de manera rápida y eficiente en materia de telecomunicaciones hacia el sitio donde se desea hacer los contactos para obtener el beneficio que se requiere.

El proyecto de (Castro, 2017) pretende estudiar la situación técnica y geográfica para mejorar el sistema de comunicación entre la central hidroeléctrica de Matucana y la sede Santa Rosa, por medio del enlace microondas. Esto debido a que diversos fenómenos meteorológicos provocan cortes en los servicios de datos, así

como constantes caídas del servicio de conectividad. Esto traerá beneficios a la Hidroeléctrica de Cerro Pulmón, pues con el sistema de respaldo se podrá trabajar sin pérdidas de información.

Para ese caso, ya no es necesaria la instalación de fibra óptica, sino de una antena de 1.8 m en la torre de comunicaciones, además de la instalación y configuración de la radio Aviat. El autor concluye que el estudio realizado fue eficiente y el enlace llegó a la sede Santa Rosa, sin ningún tipo de obstáculo. Además, la implementación del radioenlace microondas de respaldo fue establecido para poder tener comunicación en los casos de caída de enlace (bajo el otro sistema anterior) y así administrar la hidroeléctrica desde una central remota. El estudio presentado posee relación con el objetivo de la investigación realizada debido a que se propone implementar un sistema de comunicaciones a través de enlace microondas para una empresa hidroeléctrica es muy significativa para que todos los usuarios puedan relacionarse a partir de una larga distancia y poder tener un servicio adecuado sin dificultad alguna.

La investigación de (Díaz R. , 2015) que propone un radio enlace entre la isla San Lorenzo y el Campus PUCP, tuvo como objetivo trazar un formato de radioenlace que guarde relación y sea adecuado al contexto de Lima, el cual ostenta anchos de banda de frecuencia saturadas y ambientes climáticos variable, así como altos niveles de humedad. Además, se buscó que la comunicación de radioenlace permita un avance en el estudio de los fenómenos electromagnéticos, relacionados a sucesos sísmicos, lo cual serviría como un método fiable para su predicción.

Para dicho fin, se dispuso a aplicar un modelo de telecomunicaciones inalámbrica que logre enlazar de manera confiable y segura los puntos descritos, el centro de investigación perteneciente al instituto de radioastronomía y la estación PM-06 ubicada en los predios de la Isla San Lorenzo. Finalmente, el autor concluye que la banda más ventajosa es la de 5.8 GHz, puesto que resulta más económico al existir fácil adquisición de equipos y no necesitar permisos de operación por ser una frecuencia de uso libre. También que el sistema de microondas tiene un costo menor en comparación a los demás (fibra óptica, red móvil, satélite).

Ahora bien, el estudio guarda correspondencia con el objetivo de la investigación que se está realizando, debido a que el diseño de radioenlace microondas es una frecuencia liberada y un medio para poder comunicarse de manera inmediata a largas distancias, además de que es uno de los diseños que menos costo tiene en cuanto adquisición de equipos e implementación, por ello las empresas prefieren usar este tipo de diseño.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Infraestructura tecnológica

La empresa Minera IRL unidad Corihuarmi cuenta con 120 usuarios de telefonía e Internet de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 4

Número de usuarios de telefonía e Internet

	Internet			Telefonía		Total
	PC	Celular	VPN y SAP	Analógica	IP	
Usuarios	45	40	10	15	10	120

2.2.2. Propagación de sistemas de microondas

2.2.2.1. Microondas. Ondas electromagnéticas cuyas frecuencias de trabajo se encuentran en un rango desde lo 300MHz a 300GHz, su ciclo de oscilación supone alrededor de los 3 nanosegundos (ns) y 3 picosegundos (ps), según la frecuencia en la que se estén transmitiendo, con una longitud de onda que pueden encontrarse desde 1m a 1mm (Hernández & Parrao, 2007).

2.2.2.2. Importancia de las microondas. Los enlaces microondas terrestres cumplen un rol de suma importancia en el área de las telecomunicaciones, estos constituyen una forma de comunicación, establecida a través de dos puntos que están ubicados en distancias distintas. Para los sistemas WAN los enlaces de características punto – punto se han convertido en un sistema de comunicación que presenta alta efectividad (*Hernández & Parrao, 2007*).

2.2.2.3. Ventajas y desventajas de las microondas

Ventajas:

- No se necesitan cables.
- Posee múltiples canales disponibles.
- Utilizan un ancho de banda que se encuentra en el rango desde los 2GHz a 2.4GHz.
- Las frecuencias empleadas en este tipo de radioenlace tienen un comportamiento de haz de luz, lo que permite el direccionamiento mediante el uso de antenas parabólicas, y tienen la capacidad de ser reflejadas mediante la utilización de reflectores pasivos.

Desventajas:

- Poseen una característica denominada LOS, que es el campo de vista, mismo que se ve afectado si se atraviesa algún obstáculo como construcciones nuevas, árboles y demás.
- Son propensas a presentar atenuaciones por el efecto de absorción dada por la atmosfera terrestre.
- Sujeto a interferencias electromagnéticas.

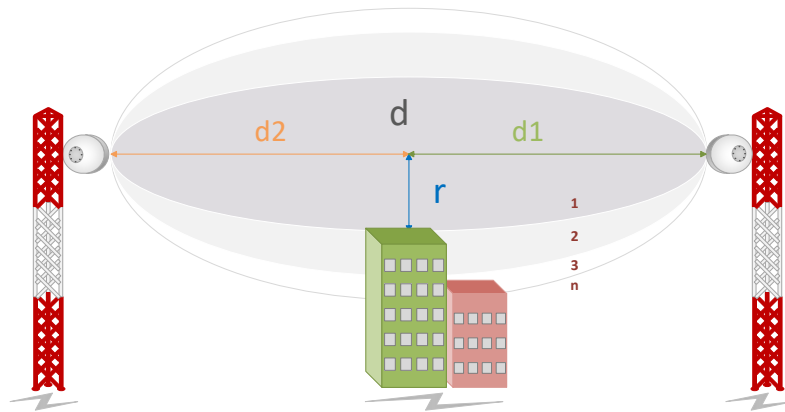
2.2.3. Zona de Fresnel

(Chapoñan & Vidaurre, 2016) la definen como un grupo de elipsoides, que son generados mediante un enlace inalámbrico, donde las antenas o equipos (emisor y receptor) se encuentran a gran distancia; a este se le conoce como la región cercana. El primer elipsoide, se lo denomina la zona inicial de Fresnel, donde se concentra la mayor densidad de potencia del enlace dirigida hacia el receptor y, debido a la

curvatura de la tierra y las perturbaciones por los escollos geográficos es esta zona la que tiene mayor relevancia.

Figura 2

Representación de Zona de Fresnel



Nota. La gráfica representa el diagrama de enlace, con su respectiva zona de Fresnel.

A continuación, se detalla la fórmula para hallar la zona de Fresnel:

$$rn = 17,32 \sqrt{\frac{d1d2}{df}}$$

Donde:

rn : Radio de la zona de Fresnel (m)

$d1, d2$: Distancia existente entre la antena y un obstáculo (Km)

d : Distancia de enlace, distancia entre ambas antenas (Km)

f : Frecuencia de trabajo (GHz).

2.2.3.1. Corrección de perfil. La representación gráfica de la trayectoria se lo conoce como perfil de trayectoria, dispuesta entre dos sitios adyacentes de radioenlace que están situados en dos dimensiones. El perfil, principalmente, garantiza que la trayectoria del haz este exento de obstrucciones (*Hernández & Parrao, 2007*).

2.2.3.2. Curvatura de la tierra. El radio efectivo del planeta se obtiene multiplicando el radio terrestre y la variación equivalente del factor K en la atmósfera. La curvatura de la tierra no es más que el resultado de dicha operación, desligada de

la cantidad aproximada de la curvatura del haz de microondas (Hernández & Parrao, 2007).

2.2.3.3. Desvanecimiento. Según (Tomasi, 2003) el término refiere a la pérdida de intensidad de señal que llega al receptor. Esto puede deberse a las condiciones meteorológicas o al terreno y la trayectoria misma, la posición de la antena, nieblas bajas, entre otras causas. Como resultado, del fenómeno explicado, se obtiene el aumento de los valores de pérdida en todas las bandas de frecuencias dentro de la trayectoria del enlace.

El cambio del haz luz en la antena receptora por desacoplamiento causado por la variación de gradiente de refractividad y/o formación de ductos ocasiona un desvanecimiento de potencia.

2.2.3.4. Ductos. Este fenómeno se origina cuando una corriente de aire caliente recorre la tierra fría evaporando la humedad de esta y forma capas definidas que generan estos “ductos”, mismos que atrapan las señales simulando una guía de onda.

2.2.3.5. Atenuación. Este fenómeno genera pérdidas en la intensidad de señal debido al distanciamiento de las antenas del radioenlace, es decir, a medida que las ondas se alejan del emisor disminuye la cantidad de ondas por unidad de área. Cabe recalcar que este fenómeno no disipa la potencia de transmisión, la densidad de potencia posee una proporcionalidad inversa al área de expansión, es decir, a mayor distancia de cobertura menor densidad, conocido también como atenuación de la onda (Ramos, 2017).

Atenuación por gases y vapores atmosféricos

Este fenómeno se presenta en transmisiones cuyas trayectorias son de orden troposféricos, donde las moléculas de los gases O₂ y H₂O poseen características de absorción de los campos electromagnéticos generadas por las ondas transmitidas, este tipo de atenuación pueden llegar a tener altos índices para ciertas frecuencias. La misma, tiene relevancia cuando supera los 10 GHz (Hernández & Parrao, 2007).

Atenuación por lluvia

(Hernández & Parrao, 2007) señalan que la intensidad de la lluvia mantiene una relación directa con la atenuación o pérdida de potencia provocada por este fenómeno meteorológico. Además, se estima que la absorción atmosférica se torna más severa cuando las frecuencias de operación rondan los 10 GHz; sin embargo, debajo de dicha cantidad la absorción pierde su intensidad.

Atenuación por vegetación

La atenuación por vegetación ocurre cuando el ambiente en donde se encuentra el receptor de un sistema de telecomunicaciones por radioenlaces se caracteriza por contener un alto índice de vegetación, específicamente especies arbóreas. Cuando las ondas atraviesan o intentan penetrar este terreno, se produce una pérdida de estas (Hernández & Parrao, 2007).

Atenuación por líneas de transmisión

El cable coaxial y guías de onda son los dos tipos líneas de transmisión existentes usadas en los terminales de los sistemas de telecomunicaciones por radioenlace. La instalación del cable coaxial es sencilla, pero con la emisión de la frecuencia tienden a ser desaprovechadas exponencialmente, provocando que 2-3 GHz sea el rango limitado de su aplicación. Esta disminución difiere de acuerdo con la cantidad de temperatura que se dispone; la cantidad de referencia establecida es 24°C. Por consiguiente, el cable coaxial no suele emplearse cuando existen atenuaciones, en particular a grandes frecuencias, ya que las guías de onda resultan mejor en este tipo de casos (Hernández & Parrao, 2007).

2.2.4. Antenas de microondas

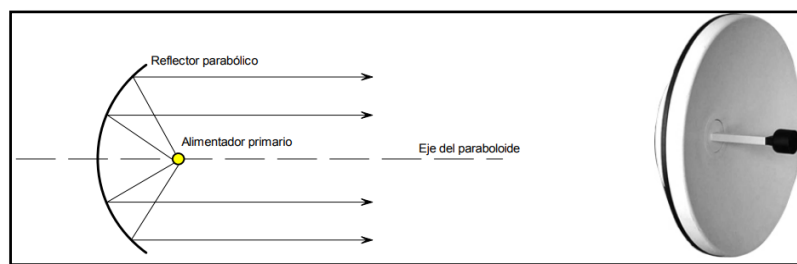
Es importante recalcar que las antenas para microondas (1-100 GHz) deben poseer una característica esencial, ser direccionales. Cabe mencionar que, la ganancia de una antena está dada de acuerdo a la concentración del haz de transmisión, mientras más delgado mayor potencia tendrá, por ende, el ángulo de apertura debe ser menor para aumentar su ganancia (Rábanos, Tomas, & Salis, 2013). La antena de microondas,

entonces, en lugar de desperdiciar, se dispone a almacenar el haz de comunicación que, no obstante, disminuye su ganancia y emisión cuando es apertura do.

2.2.4.1. Antena de reflector parabólico. Este tipo de antenas son las que mayor ganancia y directividad poseen debido al reflector parabólico, estas son las más utilizadas para las comunicaciones de largas distancias y satelitales, mejorando las características de radiación. El elemento activo, conocido como mecanismo de alimentación, y el reflector parabólico son los dos componentes primordiales de este tipo de antenas (*Ramos, 2017*).

Figura 3

Antena con reflector parabólico.



Nota. La gráfica representa Antena con reflector parabólico, por Constantino Pérez Vega, 2008.

2.2.4.2. Abertura de una señal en una antena de tipo parabólica. La gráfica de radiación de una antena posee un lóbulo mayor donde se encuentra la mayor concentración de potencia de emisión. Esta potencia está dada por la apertura del haz de la onda, ángulo de separación entre el punto A y B. Es importante resaltar que la ganancia que se pueda obtener en una antena posee una proporcionalidad inversa a la separación angular del haz de la onda, es decir mientras mayor ganancia posea, menor será la apertura del haz de la señal. Las antenas parabólicas que poseen un ángulo de apertura de 1° en su haz son el mejor ejemplo para verificar esta información (*Ramos, 2017*).

2.2.4.3. Eficiencia de una antena parabólica. Según (Rodríguez, 2018) la eficiencia cumple un rol fundamental en el diseño de la antena parabólica, asimismo, indica que para conseguir que esta sea máxima, se requiere de un severo control de su amplitud, polarización, entre otras exigencias, esta característica es afectada por los factores mencionados a continuación:

- El subreflector y su estructura de bloqueo
- La eficiencia de la iluminación
- Una potencia radiada desde los lóbulos laterales
- Defectos en simetría y dimensiones del reflector principal

2.2.4.4. Ganancia de potencia de una antena parabólica. (Tomasi, 2003) menciona que la ganancia de potencia de una antena de tipo parabólica posee una característica de proporcionalidad inversa al cuadrado de la longitud de onda (p.404).

$$Ap = n \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

Ap: Ganancia.

D: Diámetro reflector parabólico.

n: Eficiencia.

λ: Longitud de onda.

Así mismo, añade que, frecuentemente, que el área eléctrica del reflector parabólico está citada de acuerdo a la longitud de onda. De acuerdo al criterio mencionado, se puede definir que a mayor área eléctrica se incrementa la longitud de onda, por ende, mayor es la ganancia de potencia, ver Tabla 5.

Tabla 5

Valores de ganancia de antenas de tipo parabólica con foco en su centro

Diámetro	9 cm	12 cm	15 cm	18 cm	22 cm	28 cm
Frecuencia	10.90GHz hasta 12.80GHz					
Ganancia						
(Frecuencia 11 GHz)	39.1	41.6	43	44.80	46.40	48.3
Dist. Focal	3.84cm	5.12cm	6.3cm	7.55cm	9.25cm	11.9cm
Espesor	0.2 cm	0.2cm	0.2cm	0.3cm	0.3cm	0.3cm
Peso	6kg	11kg	45kg	58kg	112kg	273kg

Nota. La tabla muestra la ganancia de antenas parabólicas. Adaptado de:

2.2.5. Repetidores

Se caracterizan por cubrir distancias de enlaces microondas, quienes a su vez amplifican la señal; se establecen en dos tipos, según el tratamiento de señal (Prescornituiu, 2019)

2.2.5.1. Repetidores pasivos

Se caracterizan por limitarse a retransmitir las señales que reciben, intercambiando las frecuencias de subida a las de bajada, sin llegar a realizar alguna modificación sobre la señal (Prescornituiu, 2019).

Estos se dividen en repetidores de espejo, de espalda-espalda o *back to back* y repetidores activos, los cuales serán definidos a continuación (Hernández & Parrao, 2007).

Repetidores a espejo

También denominado reflector, poseen la característica de reflexión de la señal entre las antenas de las estaciones, tanto receptor como transmisor, para evitar los disturbios o interrupciones que se presentan durante la trayectoria y cambiando la dirección del campo (Chicaiza, 2012).

Repetidores espalda – espalda (back to back)

La característica principal es que estas presentan cable coaxial o guía de ondas para realizar la conectividad de dos antenas que se encuentran separadas por una corta distancia (Chicaiza, 2012).

Repetidores activos

Son los más comunes porque presentan espacios para albergar equipos de radio, baterías, entre otros. Su característica principal es la captación de señales en la frecuencia receptora, para ser transportada a una frecuencia intermedia, realizar una amplificación de la onda y retransmitirla según su salida en términos de frecuencia y la información llevada no es procesada (Chicaiza, 2012).

2.2.5.2. Diversidad. (Sánchez & Vargas, 2018) señalan que se usan para mitigar los efectos de interrupciones o desvanecimientos durante la multi trayectoria, con el propósito de incrementar la confiabilidad y efectividad del sistema, logrando aumentar su disponibilidad.

Tabla 6

Confiabilidad y tiempo de interrupción

Confianza	Porcentaje de interrupción	Años	Tiempo de interrupción	Días
0%	100%	8760 h	720 h	24 h
50%	50%	4380 h	360 h	12 h
80%	20%	1752 h	144 h	4.8 h
90%	10%	876 h	72 h	2.4 h
95%	5%	438 h	36 h	1.2 h
98%	2%	175 h	14 h	29 min
99%	1%	88 h	7 h	14.4 min
99.9%	0.1%	8.8 h	43 min	1.44 min
99.99%	0.01%	53 min	4.3 min	8.6 s
99.999%	0.001%	5.3 min	26 s	0.86 s

99.9999%	0.0001%	32 s	2.6 s	0.086 s
----------	---------	------	-------	---------

Nota. La tabla muestra el porcentaje de confiabilidad y el tiempo de interrupción por mes, representado en horas. Adaptado de *Sistemas de Comunicaciones electrónicas*, por Wayne Tomasi, 2003.

Diversidad hot-standby

La configuración hot-standby en los dos sistemas de telecomunicaciones por radioenlace, solo se usa un par de frecuencia. Por lo tanto, la posibilidad de realizar transmisiones simultaneas por ambos sistemas, es completamente nula (Tomasi, 2003).

Diversidad de frecuencia

(Sánchez & Vargas, 2018) mencionan que, este tipo de diversidad radica en modulación y transmisión de dos distintas portadoras de radiofrecuencia, con la misma información de Frecuencias Intermedias. De modo que, las dos portadoras viajan al mismo lugar, y la que produzca mejor señal es la que se emplea.

Diversidad de espacio

(Díaz & Romero, 2020) señalan que es una de las soluciones al problema de desvanecimiento de señal, al igual que la diversidad de frecuencias. Se caracteriza por proteger a los radioenlaces para que se pueda traspasar la información y son muy utilizadas cuando es necesario crear un enlace Backup.

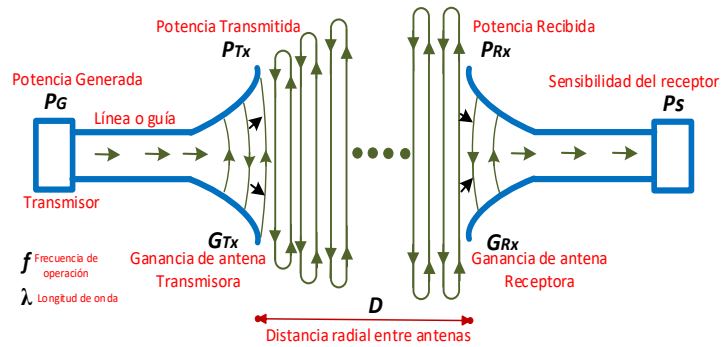
2.2.6. Radioenlaces en microondas

2.2.6.1. Radioenlace. Se denomina así al tipo de interconexión que realizan los terminales de telecomunicación, a través de ondas electromagnéticas y de un medio no guiado conocido como STL, Studio Transmitter Link (Enlace Estudio de Transmisor).

Además, trabajan con frecuencias de 300 MHz a 300 GHz (González, s.f.).

Figura 4

Esquema básico de un radioenlace



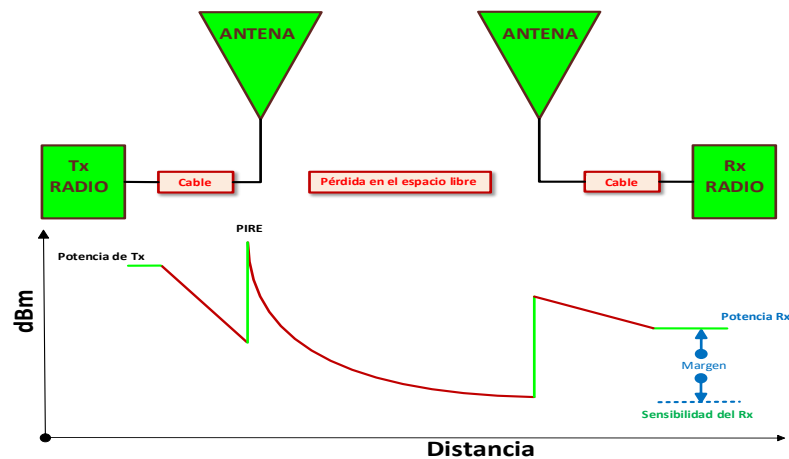
Nota. El gráfico representa el esquema de un radioenlace, desde la potencia generada a partir de la sensibilidad del receptor. Adaptado de Electromagnetismo con Aplicaciones, por Jhon D. Kraus y Daniel A. Fleisch, 2000.

2.2.6.2. Componentes de un radioenlace. Los radioenlaces están conformados por 4 elementos principales básicos:

- Transmisor (Tx)
- Antenas de Tx y Rx
- Línea de transmisión
- Receptor (Rx)

Figura 5

Esquema general de un Radioenlace



Nota. El gráfico representa la secuencia de radioenlace.

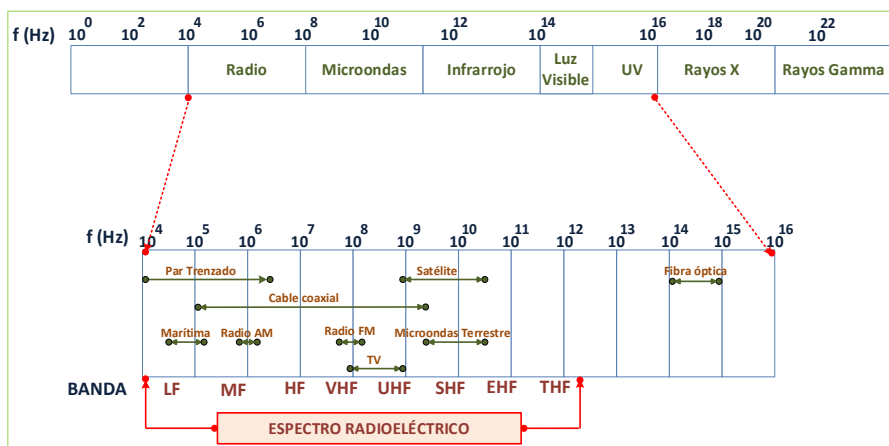
2.2.7. Espectro radioeléctrico

Concepto primordial para el área de telecomunicaciones y hace referencia a las comunicaciones inalámbricas, este espectro pertenece al espectro electromagnético, está constituido por ondas hertzianas que tienen las propiedades de ser transmitidas en el espacio sin la necesidad de un medio guiado. Se puede definir que el espectro radioeléctrico también es parte de la atmósfera por donde las ondas electromagnéticas viajan. Según (Hernández & Parrao, 2007) el espectro está conformado por un grupo de frecuencias por el cual se puede brindar servicios de telecomunicaciones que influyen o afectan de manera directa al desarrollo socio-económico de un país.

Las condiciones de propagación de las bandas, así como la cantidad de información dispuestas para enviar a estas son rasgos propios del espectro radioeléctrico.

Figura 6

Espectro radioeléctrico



Nota. El gráfico representa la transportación de información por medio de la emisión de ondas. Adaptado del trabajo de Hernández y Parrao, Enlaces terrestres con línea de vista.

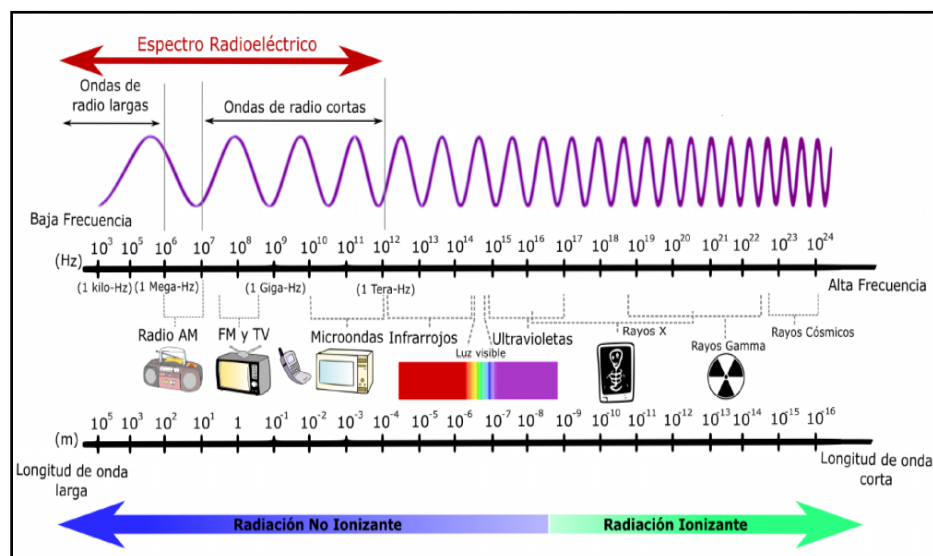
2.2.8. Espectro de ondas electromagnéticas

Un sistema de telecomunicaciones tiene como objetivo primordial la transmisión o intercambio de información entre varios lugares. Esto se hace posible

con la conversión de la fuente primaria en energía electromagnética, lo que permite su transmisión y una vez que llegue a su lugar de destino se debe realizar una conversión inversa a su fuente original. La energía electromagnética tiene la propiedad de poder ser propagada en forma de corriente y voltaje a través del espacio libre, así como también su distribución en los intervalos de frecuencias requeridos dentro del espectro electromagnético. Según el colectivo del proyecto de investigación uruguayo (Esopo, 2018) este espectro es el conjunto de frecuencias sobre el cual se puede producir algún tipo de radiación electromagnética, considerando que no existen frecuencias negativas, por lo tanto, se puede establecer que la frecuencia mínima es 0Hz y no posee un valor máximo definido.

Figura 7

Espectro de ondas electromagnéticas



Nota. La gráfica representa el espectro radioeléctrico con su respectiva frecuencias y longitudes de onda, donde es posible apreciar que estas dos características guardan una relación inversamente proporcional, ya que, a mayor frecuencia, la longitud de onda disminuye. Adaptado de *Espectro electromagnético*, (Esopo, 2018).

El espectro electromagnético de frecuencia representado en la Figura 5, es posible observar desde las frecuencias muy bajas, denominada subsónicas, hasta una frecuencia alta de 1022 Hz, denominado rayos cósmicos. Cabe recordar que este

espectro se encuentra seccionado por bandas. La regulación del uso de bandas frecuenciales del espectro radioeléctrico está supervisado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés) y estas pueden variar dependiendo del lugar.

Las designaciones y distribución de banda a nivel mundial las realiza el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR), a fin de evitar interferencias y/o que se monopolicen.

Tabla 7

Bandas de radiofrecuencia determinada por la UIT

# de banda	Símbolo	Frecuencias	Longitud de onda
1	ELF	3 – 30 Hz	10000 – 100000 km
2	SLF	30 – 300 Hz	1000 – 10000 km
3	ULF	300 – 3000 Hz	100 – 1000 km
4	VLF	3 – 30 kHz	10 – 100 km
5	LF	30 – 300 kHz	1 – 10 km
6	MF	300 – 3000 kHz	100 – 1000 m
7	HF	3 – 30 MHz	10 – 100 m
8	VHF	30 – 300 MHz	1 – 10 m
9	UHF	300 – 3000 MHz	10 – 100 cm
10	SHF	3 – 30 GHz	1 – 10 cm
11	EHF	30 – 300 GHz	1 – 10 mm
12	THF	300 – 3000 GHz	0.1 – 1 mm

Nota. La tabla ilustra el rango de frecuencias y longitud de onda desde la extra baja hasta la extra alta. Adaptado del Plan de atribuciones de frecuencias PNAF, por (MTC, 2019)

2.2.8.1. Perfil topográfico. Según (*Caballero, 2019*) un perfil topográfico es la representación que se obtiene como resultado de un realizar un corte transversal de las líneas dibujadas en un mapa. Es decir, este tipo de perfil permite conocer el relieve de una sección geográfica determinada.

2.2.8.2. Características de la ubicación de los puntos y alturas de las torres

Características:

- Uso de edificios altos como torres naturales.
- Efecto de reflexión de ondas por edificaciones cercanas.
- Compatibilidad de energía electromagnética dificultosa, generalmente con otros emisores cercanos y a la emisión industrial.
- Respecto a la propagación, los puntos terminales deben ubicarse en los grandes edificios para usuarios, utilizándolos a manera de torres naturales.
- Puntos de repetición que son afectados significativamente por el terreno, la cima de una montaña es una buena opción para la ubicación de los repetidores; los puntos deben estar en zigzag. La estimación de la altura de una torre para repetición debe considerar que, si se coloca un punto en la cima de una montaña, esta no debe ser de mayor altura.

Altura de las torres

Para evitar los accidentes de la superficie terrestre como valles, montañas, colinas, edificaciones entre otros es necesario que la antena posea la altura justa y requerida, logrando de esta manera que el haz hertziano no se vea afectado por estas situaciones y no exista interrupción en las comunicaciones establecidas. Durante la etapa de desarrollo de perfil de trayectoria, es importante dibujar a escala los posibles inconvenientes con los que se podría encontrar el enlace de comunicación, lo que recae en la imperiosidad del uso de mapas topográficos de la región.

Asimismo, para marcar cada obstáculo, se dibuja símbolo (número o letra) sobre la escala horizontal, posterior a esto se procede a determinar un punto superior

al nivel del mar. Seguidamente, después de establecer la referencia de altitud, se otorga diversos márgenes de tolerancia adicionales y si la vegetación (específicamente árboles) representa un obstáculo, se debe dejar márgenes de tolerancia adicionales debido al crecimiento de estos, lo cuales son 10 pies (Toapanta, Vacacela, & Vera, 2018).

La refracción atmosférica genera la desviación o alejamiento de la tierra, por lo que se considera un factor K, lo cual es equivalente a la diferencia del radio de la tierra con el radio real de la tierra. Esto se determina a través de la siguiente fórmula:

$$hn = 0.078 d1d2/k$$

Donde:

d1: representa la distancia entre el punto más cercano y el obstáculo.

d2: representa la distancia entre el terminal con mayor distancia y el obstáculo.

k: un factor determinado

Si $k > 1$, existe una desviación del haz de comunicación hacia la tierra, además se cumple que horizonte de radio $>$ horizonte óptico.

Si $k < 1$, se cumple que horizonte de radio $<$ horizonte óptico.

En suma, la zona Fresnel es uno de los factores que se debe tener en cuenta al momento de calcular la altura, recordando que este viene dado por las teorías de ondas electromagnéticas, donde se determina la propiedad de expansión del haz y frente de onda y dan como resultado reflexiones y transiciones de fases cuando la onda pasa sobre un obstáculo (Toapanta, Vacacela, & Vera, 2018). La siguiente ecuación define el radio del elipsoide correspondiente a la zona inicial de Fresnel.

$$rn = 17,32 \sqrt{\frac{d1d2}{df}}$$

Donde:

f = frecuencia (GHz) de trabajo

d1= distancia (Km) entre el obstáculo y la antena de transmisión.

d2= distancia (Km) entre el obstáculo y la antena de recepción

d= la suma de d1 y d2

Repetidor

Cuando la altura de la torre sobrepasa los 120 m se crea la necesidad de colocación de un punto de repetición el lugar donde se encuentre la mayor densidad de obstrucción para el enlace. Originando de esta forma dos subenlaces: el primero transmisor – repetidor; y el segundo repetidor – receptor (Tomasi, 2003).

Ganancia del sistema

(Ladino & Parra, 2018) manifiestan que la ganancia de un sistema de transmisión debe ser mayor a la sumatoria de las ganancias y pérdidas de la propagación de una señal. De igual manera delimita la disparidad entre la salida del transmisor (potencia nominal) y receptor (potencial real).

$$G_s = P_{tx} - C_{min}$$

Donde:

G_s : representa la ganancia del sistema de transmisión (dB)

P_{tx} : medición de salida del transmisor (potencia en dBm)

C_m : medición de entrada del receptor (potencia mínima en dBm)

Y donde:

$$P_{tx} - C_{min} \geq \text{pérdidas} - \text{Ganancias}$$

A continuación, se presenta la descripción matemática de la ganancia de un sistema con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} G_s &= P_{tx} - C_{min} \\ &\geq F_m + L_p + L_f + L_b - G_{tx} \\ &\quad - G_{rx} \end{aligned}$$

Donde:

F_m : desvanecimiento (dB)

L_p : atenuación por transmisión en espacio libre entre antenas

L_f : atenuación por alimentación de guía de onda (dB)

L_b : atenuación por efectos de ramificación (dB)

G_{tx} : ganancia en la transmisión de una antena (dB)

G_{rx} : ganancia en la recepción de una antena (dB)

2.2.8.3. Pérdidas por transmisión en el espacio libre. Según (Tomasi, 2003) es la disminución provocada cuando en el vacío y mediante una línea recta, se propaga una onda electromagnética, que no ostenta reflexión ni energías de absorción a causa de la presencia de objetos cercanos a su ubicación. La fórmula para determinarla es la siguiente:

$$Lp = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi f D}{c}\right)^2$$

Donde:

Lp : pérdida de la transmisión por trayectoria dentro del espacio libre.

D : distancia (m)

f : frecuencia de trabajo (Hz)

λ : longitud de la onda (metros)

c : constante (velocidad de luz)

Al convertir las magnitudes de la ecuación (12) a dB se obtiene:

$$Lp_{dB} = 92.4 + 20\log(fGHz) + 20\log(DKm)$$

2.2.8.4. Margen de desvanecimiento. (Tapias & Camacho, 2019)

definen al desvanecimiento como el valor que se obtiene del resultado de la diferencia entre la potencia y el umbral del receptor, mismo que genera un rango de valores que al realizar la diferencia de la potencia del receptor ocasiona la existencia de una señal, y está definida por la siguiente ecuación:

$$Fm = P_{rx} [dBm] - S [dBm][dB]$$

Siendo:

Fm : desvanecimiento (dB)

P_{rx} : potencia en el receptor (dBm)

S : umbral o sensibilidad del receptor

2.2.8.5. Sensibilidad o Umbral del receptor. De acuerdo con (Peñaherrera, 2019) se denomina el umbral de recepción que, en el mínimo valor de señal de radio frecuencia, debe ser captado por el receptor al momento de ingresar, con el que además aún generará un aviso de información demodulada que podría aprovecharse.

Asimismo, la decodificación de bits lógicos y la obtención de la tasa de bits está dada por la distinción del valor mínimo de potencia que realiza la sensibilidad del receptor. Por tal razón, el radio microondas se vuelve mejor, sobre todo, cuando la sensibilidad se vuelve baja y cuando el valor del umbral de recepción típico se encuentra entre -70 y -80 dB (Peñaherrera, 2019).

2.2.8.6. Potencia de recepción. (Tapias & Camacho, 2019) indican que la diferencia entre la potencia de transmisión y sus atenuaciones dan como resultado la potencia de recepción del sistema de comunicaciones, sumadas a las ganancias de las antenas. Algunos ejemplos de atenuaciones son las guías de onda, cables coaxiales, espacios libres, entre otros.

A continuación, se señala la fórmula de la operación descrita para hallar la potencia de recepción:

$$P_{RX} = ([dBm] + G_A[dB] - L_P[dB] - L_f[dB] - L_S[dB]) [dBm]$$

Donde:

P_{RX} : potencia de la estación receptora [dBm]

G_A : ganancia de antenas

L_P : atenuación por transmisión de trayectoria en el espacio libre

L_f : atenuaciones por uso de terminales de cable coaxial

L_S : atenuaciones inherentes por la línea de transmisión

Potencia de transmisión

(Tapias & Camacho, 2019) manifiestan que esta es definida como la potencia denominada “salida del transmisor” y que, generalmente, viene especificada por el fabricante. Una característica importante de resaltar es que mientras el valor de la potencia sea mayor, más fácil será llegar al receptor.

2.2.9. Parámetros de las antenas

2.2.9.1. Antenas. Dispositivos conductores metálicos, que se caracterizan por transportar y recibir potencias mediante ondas electromagnéticas de campo eléctrico, utilizando al aire como interfaz de transmisión (*Fernández, 2020*).

Frecuencia: se refiere al rango del espectro donde la antena logra operar; se pueden usar antenas que ejecuten bandas 2.4 GHz, 5.2 GHz, 5.8 GHz, entre otras (Tapias & Camacho, 2019).

Eficiencia de una antena: generada por la relación existente entre las potencias entregada – irradiada de la antena, la cual es determinada por la frecuencia de la operación. Cabe recalcar que, la eficiencia será mayor a medida que la relación R/r sea mayor, donde se representan la resistencia de radiación de una antena y la disipación óhmica propia de esta con las letras R y r , respectivamente (Tapias & Camacho, 2019).

2.2.9.2. PIRE (Potencia Isotrópico Radiada Equivalente). Responsable de repartir una proporción semejante de potencia en todas las direcciones, es decir, representa la concentración de la potencia que se permite en una antena isotrópica. Además, posibilita la cuantificación de la potencia legítima y los valores electromagnéticos presentes en su campo, así como también toma en consideración tanto las pérdidas de los conectores y líneas de transmisión, como las ganancias de las antenas (Varo, 2021).

$$PIRE = P_T - L_C + G_\alpha$$

Donde:

P_T = potencia de salida del sistema de comunicaciones en el transmisor

L_C = atenuaciones del cable (dB) en el sistema de comunicaciones

G_α = ganancia intrínseca de la antena utilizada en el sistema de comunicaciones

La ley de telecomunicaciones del Perú que modifica la R.M. N.º 777-2005-MTC/03, donde se definen los condicionantes para las técnicas del servicio de telecomunicaciones modificando el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias,

requiere del cumplimiento de las disposiciones indicadas en la Ley N.º 29022, donde se logra el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones, su reglamento y posteriores modificatorias. Asimismo, a través del informe N.º 0633-2021-MTC/26 de la Dirección General de Políticas y Regulación en Comunicaciones, se propone que la radiación de una antena isotrópica en relación a su potencia deberá cumplir con las siguientes características: para las bandas comprendidas en los rangos de 916 - 928 MHz, 2 400 - 2 483,5 MHz y 5 725 - 5 850 MHz, la PIRE máxima utilizada no debe exceder los 36 dBm (4 W) (Ley N.º 28278, 2021).

2.2.9.3. Ganancias de antenas. (Peñaherrera, 2019) indica que se refiere a todo valor que incremente la potencia en un sistema de radioenlace. Así también refiere que existen dos tipos de ganancias como se menciona a continuación:

Ganancia directiva: Es un rasgo propio de la antena, la cual detalla cómo llega la potencia en el espacio, que fue entregada por ella misma. Asimismo, refleja el importe de potencia que fue irradiado en una dirección fraccionada entre su valor irradiado hacia el punto común, empleando la misma antena de referencia.

$$D = \frac{P}{P_{ref}}$$

Donde:

D= ganancia de tipo directiva

P= potencia (watts/m²)

Pref= potencia (referencial expresada en W/m²)

Ganancia de potencia

Es aquella ganancia que no toma la existencia de pérdidas para emplear la totalidad de la potencia que energiza la antena como resultado de la ganancia directiva.

$$Ap = Dn$$

Del mismo modo, (Toapanta, Vacacela, & Vera, 2018) señalan que, la ganancia en una antena parabólica que trabaja a una frecuencia determinada su ganancia está definida

por el área efectiva y se la establece mediante la siguiente fórmula:

$$G = 10 \log \log (4 A)$$

Donde:

G= ganancia (propia de la antena expresada en dB).

A= área de cobertura (apertura) de antena.

2.2.9.4. Pérdidas por espacio libre. (Peñaherrera, 2019) indica que la transmisión de una señal electromagnética con trayectoria dentro del espacio libre genera pérdida y esta tiene una relación directamente proporcional entre la frecuencia de trabajo y la distancia recorrida.

$$L_{bf} = 32,4 + 20(MHz) + 20(Km)|dB|$$

2.2.9.5. Tecnología MIMO. Denominado así por sus siglas en inglés, Multiple Inputs Multiple Outputs, ya que está conformado por un sistema de propagación multicamino de varios receptores y transmisores. Este se manifiesta cuando a la antena denominada “receptora” le llegan señales de diferentes caminos por el medio de transmisión. Además, la tecnología MIMO, contribuye al aprovechamiento de las señales, a través de un array de antenas de recepción y transmisión, pudiendo llegar hasta centenas de Mbits/s (García, 2021).

2.2.10. Ley de telecomunicaciones del Perú

El Decreto Supremo N° 013-93-TCC que aprueba la ley de telecomunicaciones del Perú, sujeto al art. 47 del texto púnico Ordenado de la ley de telecomunicaciones, donde establece que la única entidad que puede otorgar a una persona natural o jurídica los permisos correspondientes para la prestación de servicios públicos, es el Estado.

Es importante resaltar que el artículo 34 de la Ley de Telecomunicaciones describe que los servicios públicos pretendidos a ofrecer deberán ser asistidos a través de solicitudes y prosiguiendo los tramites que se establecen de acuerdo a la ley. De esta manera, el mencionado artículo se adecua a lo estipulado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para el cumplimiento de asignaciones a través de un

concurso público, con lo que las bases y modificación estarán bajo el cargo de la Dirección General de Telecomunicaciones.

El artículo 3 de la Ley N.º 26821, fue establecido para servicios que requieran de la utilización del espectro radioeléctrico. Ahora bien, mediante la Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, así como el artículo 57, se establece que es un recurso de carácter natural y de dimensiones limitadas, que es parte de nuestro patrimonio, cuya aplicación o uso se realizará siguiendo los lineamientos descritos en el referido texto y reglamento.

De modo que los artículos 122 y 123 del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones establecen normativas y reglamentaciones para la asignación y permisos de usos del espacio radioeléctrico. Estos pueden ser solicitados de carácter individual o en la modalidad de concurso público, donde el último es obligatorio la presentación y cumplimiento de los requisitos citados por el artículo 123.

En contexto, el artículo 207-A, refiere al impulso de las nuevas tecnologías a través de las asignaciones temporales del espectro radioeléctrico. De esta manera, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante la Dirección General de Programas y Proyectos de Comunicaciones, promueve la realización de proyectos pilotos impulsando el uso de nuevas tecnologías para el desarrollo del sector de las telecomunicaciones, mediante convocatoria para la asignación de las frecuencias de transmisión en el espectro radioeléctrico.

2.2.11. Ancho de Canal

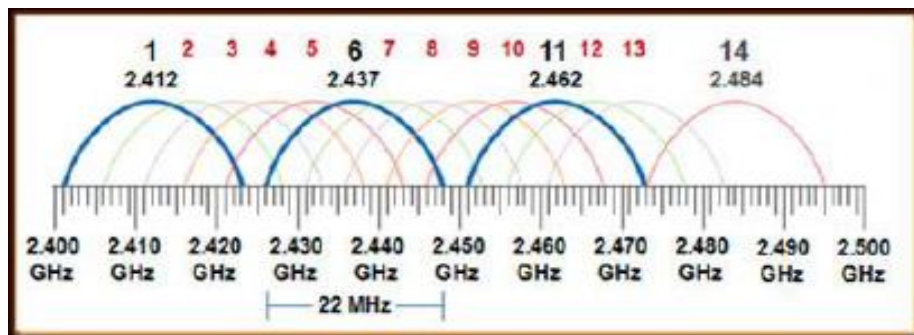
Es el espacio requerido para el enlace de una transmisión radioeléctrica, que favorece la estabilidad de este; sin embargo, su capacidad queda modificada y se reduce en el ancho de banda otorgado (Martínez, 2019). Posee la característica de ser directamente proporcional con la capacidad de enlace; sin embargo, a medida que se hace mayor, se ve más afectada.

Para el cumplimiento de los criterios necesarios para el diseño de cada enlace es necesario la configuración de estos conforme a las características y el ancho de banda

requerido (Ballon, 2020) En suma, la flexibilidad que posee el ancho del canal admite la configuración de manera independiente de los canales de transmisión (frecuencias), para así poder ubicarlas indiferentemente dentro la banda de radio asignada, a fin de evitar interferencias con otras frecuencias que ya se encuentren en uso por alguna otra estación o sistema. De igual manera es posible realizar la programación de ciclos para los enlaces de subida y bajada (Lavado & Robles, 2019).

Figura 8

Dimensiones ancho de canal



Nota. La gráfica representa las características del ancho de canal. Adaptado de Canales wifi en 2,4 GHz, por Mathias Saury Echagüe, 2021.

2.2.12. Modulación

2.2.11.1. **Modulación PSK.** Es conocida como Modulación por desplazamiento de fase (PSK), donde la característica principal es la alteración de la señal portadora (referente a la fase de esta sin realizar afectaciones o modificaciones en su amplitud). En el caso de la modulación M-PSK (conocida también como una modulación de multiniveles), la señal PSK tiene la capacidad de mantener diferentes valores de fase, representados mediante símbolos que se tengan vigilados en la “constelación I-Q”. Cada símbolo vigilado estará compuesto de un componente denominado “en fase” y otro componente “en cuadratura”, debido a que cada una de las señales existe una diferencia de $2\pi/m$ radianes en la fase, estableciéndose que p sea un valor constante, mientras que m represente al número de símbolos posibles (Cuya & Solis, 2021)

2.2.12.1. **Modulación QAM.** Es conocido como Modulación en Amplitud por

Cuadratura (QAM) y se caracteriza por presentar un esquema de modulación de tipo multinivel, a través del cual se remiten señales con diversas combinaciones tanto de amplitud como de fase.

Es posible la transmisión por conjuntos de bits, asignando un símbolo por cada grupo, esto debido a que tiene modulación en varios niveles tanto en amplitud como en fase. Este tipo de modulaciones es conocido porque tiene como característica primordial la realización del proceso con la mitad de los símbolos y la frecuencia, por lo tanto, la otra mitad de los recursos siempre estará desfasada en 90° . Luego, el resultado se suma, originándose la señal QAM, misma que permite, a través de una transmisión ortogonal respecto a la otra, la transmisión por dos canales de forma simultánea (Cuya & Solis, 2021).

2.2.12.2. Adaptive Coding and Modulation (ACM, Modulación adaptativa). Se utiliza el siguiente término en las comunicaciones inalámbricas para observar cómo se llega a adecuar la modulación, la codificación y la señal a las condiciones del radioenlace.

Las modulaciones digitales presentan la desventaja de ser sistemas fácilmente afectados, dependiendo del tipo de ruido presente y el nivel de modulación que se obtenga. El ejemplo más claro sería el caso del ítem anterior “QAM”, en este caso el nivel de modulación es más alto y se aumentan las probabilidades de recibir erróneos en los bits, por lo cual se puede definir que el ruido en el medio de transmisión es bastante elevado y afecta al esquema. Debido a esto y con la intención de mantener una relación señal – ruido (SNR) estable y cuantificable, es necesario que las diferentes técnicas para modular y decodificar señales se adapten al proceso de desvanecimiento en canal (Sanchez, 2016).

Por consiguiente, la eficiencia de este tipo de técnicas para los sistemas de transmisión espectral depende de la variabilidad de las características del canal en el tiempo, es decir a mayor variabilidad tenga más eficiente será la técnica utilizada. La implementación de la técnica ACM tiene su base en el reconocimiento de respuestas sobre el canal del receptor y lograr enviar las estimaciones del transmisor obtenidas

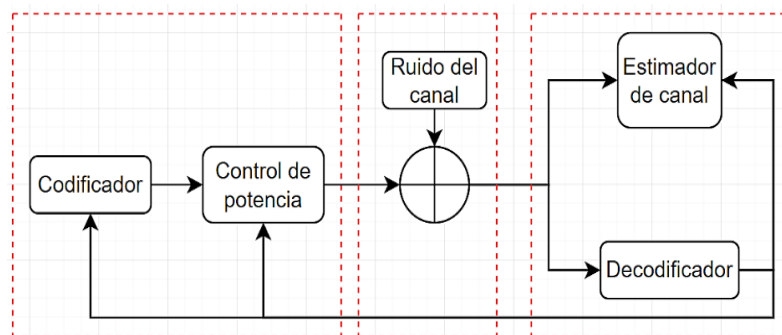
del sistema con feedback, mediante el uso de un canal con el único objetivo de que el sistema de recepción tenga la capacidad de determinar de manera autónoma el nivel de modulación requerido, de esta manera cuando el radioenlace sea ineficiente este pueda variar el bitrate o la potencia del transmisor (Sanchez, 2016).

La figura 11 ilustra un diagrama de bloques donde se representan las unidades más importantes y básicos de un sistema de modulación adaptativa. Mientras que a continuación, se realiza la explicación del funcionamiento de este sistema.

Existen varias técnicas de modulación adaptativa, sin embargo, los modelos más sencillos son las que se realizan mediante la modificación de uno solo de sus parámetros mencionados con anterioridad (Sanchez, 2016).

Figura 9

Diagrama de bloque de la Modulación adaptativa ACM



Nota. Adaptado de Modulación adaptativa ACM (Adaptive Coding and Modulation), por (Sanchez, 2016).

2.2.12.3. Codificación adaptativa. La correcta codificación es referente a la eficiencia de los datos que se logran conseguir mediante la adaptación a la necesidad o pedido de estos, mediante estadísticas. En una completa información, las estadísticas de los datos no son continuas, sino que diferentes regiones de los resultados poseen características informativas distintas, entonces, si el codificador es capaz de identificar estas características locales y adaptarse para codificarlas de manera óptima, se estará consiguiendo una codificación totalmente eficiente.

La adaptación se puede dar en cualquiera de los tres procesos principales de la

codificación típica mediante la transformada: transformación y cuantificación de los coeficientes transformados o la codificación entrópica (Cruz, 2012).

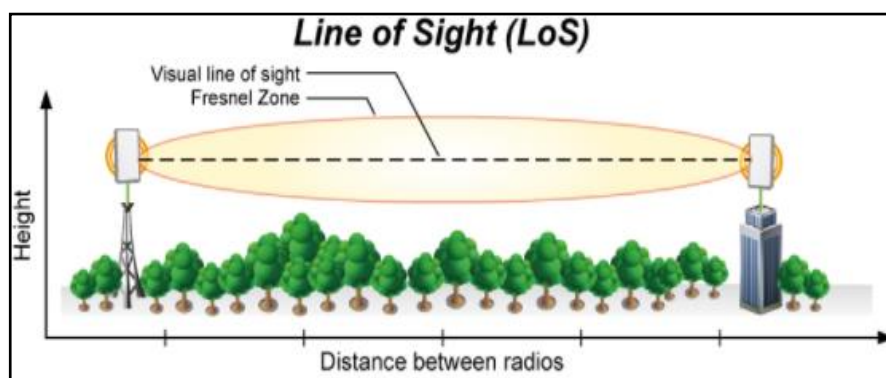
Cada uno de los casos de ACM tienen sus propias técnicas para cada caso en específico, para ambas situaciones estas técnicas fueron implementadas en un algoritmo. El principal objetivo de aplicar estas técnicas de modulación es el mejorar el rendimiento del canal de transmisión con base en la potencia transmitida, para lograrlo el transmisor debe ir cambiando los niveles de potencia de transmisión (Clemente, 2013).

2.2.13. Line of Sight (LOS)

Línea de vista o LOS (*Line of Sight*), es una característica de un radioenlace, el cual establece que entre un punto 'a' y punto 'b' debe haber una línea recta. Del mismo modo, se caracteriza por ser la ruta entre dos antenas, la zona de Fresnel es un fenómeno electromagnético por donde las señales de radio se producen o doblan, a raíz de objetos sólidos alrededor de su trayectoria (Bernal, Bocanegra, & Colorado, 2021).

Figura 10

Representación Line of Sight



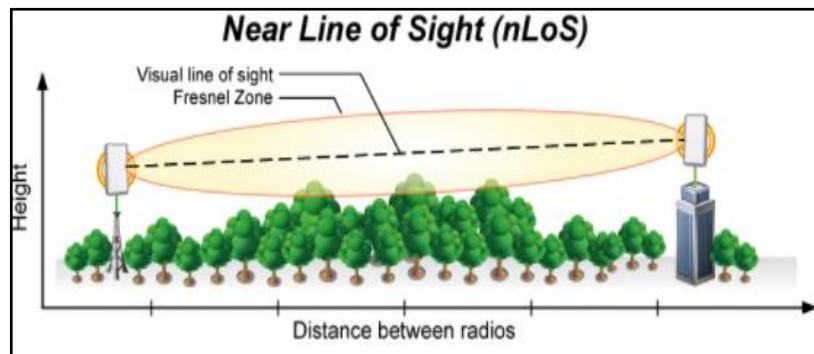
Nota. La gráfica representa el diagrama donde se visualiza la línea de visión sin ninguna obstrucción. Adaptado de Rutas de líneas de vista en un Radio Enlace, por (Tarango, 2022).

2.2.13.1. Near Line of Sight (nLOS). Se denomina así debido a que se incluyen obstrucciones parciales, tales como las copas de los árboles entre las dos

antenas. De modo que, el enlace puede implantarse con un rendimiento inferior, pero puede no ser estable (Tarango, 2022)

Figura 11

Representación de Near Line of Sight

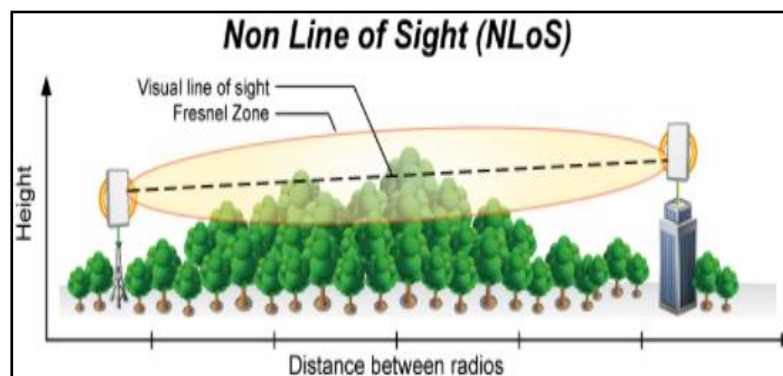


Nota. La gráfica muestra el diagrama donde se visualiza a los árboles obstruyendo la línea de visión. Adaptado de Rutas de líneas de vista en un Radio Enlace, por Víctor Tarango, 2022.

2.2.13.2. Non-Line of Sight (nLOS). Se denomina así cuando existen obstrucciones totales entre las dos antenas, ocasionando que el enlace sea difícil de establecer (Tarango, 2022).

Figura 12

Representación Non Line of Sight



Nota. La gráfica muestra el diagrama donde se visualiza a los árboles obstruyendo en mayor magnitud a la línea de visión. Adaptado de Rutas de líneas de vista en un Radio Enlace, por (Tarango, 2022)

2.2.14. Estándares básicos de Wifi

La reglamentación para ejecución de procesos que da fin a prestaciones que se ajustan a un propósito, tiene sus bases en un conjunto de normas y requerimientos que son inherentes a un grupo de terminologías, clasificación de elementos. En suma, son reglamentaciones que no podemos desacatar, sino que, por el contrario, debe tenerse en cuenta y respetar sus bases, pues estos están descritos para cumplir paso a paso (Cevallos, 2017).

A continuación, se describirán los estándares más importantes.

2.2.14.1. Estándar IEEE 802.11. El Estándar 802.11, tiene la característica principal por ser una red de tipo inalámbrica cuya frecuencia de trabajo es de 2.4 GHz, además posee de 1 a 2 Mbit/s como reglamentación, este tipo de redes también tienen un método de acceso al medio denominado Medium Access Mechanism es por medio de la escucha, pero sin encontrar algún tipo de colisión (Cevallos, 2017).

Los estatutos de la rama 802.x delimitan la tecnología de redes locales conocidas también como (LAN) y redes metropolitanas conocidas también como (MAN), mismas que incorporan la tecnología Ethernet (IEEE 802.3) y WiFi (IEEE 802.11) (Cevallos, 2017).

2.2.14.2. IEEE 802 LAN/MAN. En este tipo de estándar se restringe a todo tipo de redes que conducen paquetes de volúmenes variables, o por el contrario con las redes en celdas de volumen uniforme, conocidas como *ATM Asynchronous Transfer Mode* 'Modo de transferencia asíncrona'. En suma, los protocolos realizados por la IEEE 802.11 se centran en las superficies más bajas del modelado OSI, siendo la superficie física y superficie de enlace.

2.2.14.3. Norma IEEE 802.11 ac. Una mejora del estándar IEEE 802.11n está definida por la estandarización IEEE 802.11ac. La cual consiste en el mejoramiento de la tasa de transmisión aumentándola hasta 433 Mbps en el flujo de datos. Para esta normativa se considera que la banda de operación debe ser de 5GHz, mímimo que puede ampliar el ancho de banda hasta los 160 MHz, utilizando 8 flujos de

información basados en tecnología MIMO y modulación 256 QAM considerada de alta densidad.

Estándar ITU-R-530-17

Esta recomendación tiene como característica la posibilidad de predecir los efectos inherentes de la propagación, efectos que deben tenerse en cuenta durante el diseño de enlaces digitales fijos con línea de vista, esta recomendación se hace tanto para enlaces en condiciones de cielo despejados como en condiciones de lluvias.

2.2.15. Hardware IPsec

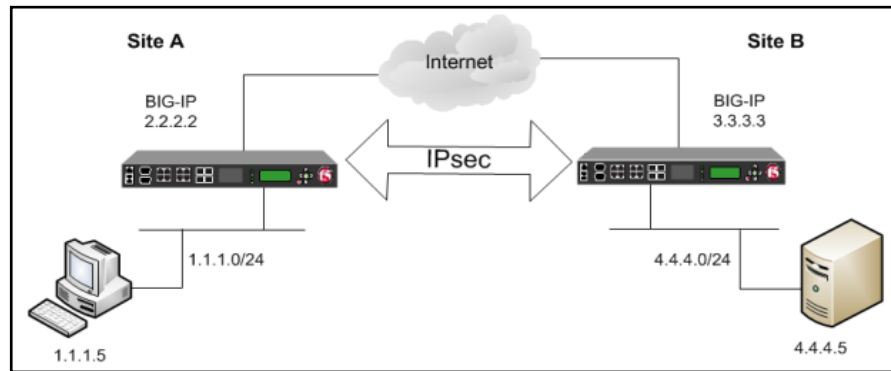
Es un tipo de sistema que fue diseñado para garantizar la seguridad del transporte de extremo a extremo del tráfico de información, de tal modo, que se mantengan las conexiones cifradas entre el ordenador por donde sale la información y el ordenador quien la recibe.

Se emplean diversos niveles de autenticación para acceder a la red privada, que se realizan por medio de llaves de acceso, para comprobar y ratificar la identidad del usuario. De modo que, se resalta la importancia de este hardware, ya que otorga un alto nivel de seguridad, que resulta conveniente para garantizar la protección de la transferencia de información entre los PCs de nivel, denominado brigada o superior (Martínez, 2019).

Por consiguiente, la utilización de hardware Ipvsec contribuyen a que la conexión sea más segura a la red de Internet y a los equipamientos de punta, con la aplicación de tecnologías de equipos que permiten la intercomunicación como, por ejemplo, las de mpls, o radioenlaces que posibilitan la conectividad de manera simplificada a las bases de datos centralizadas (Serrano, n.d.).

Figura 13

Esquema del Hardware IP sec



Nota. La gráfica muestra la representación del IP sec en equipos tecnológicos. Adaptado del Manual de configuración de IPsec en modo túnel.

2.2.16. Solicitud automática de repetición híbrida (H-ARQ)

Se refiere a los retrasos que se encuentran en la realimentación del canal, originando una adaptación incorrecta del enlace. Los defectos en la capa de enlace logran corregirse haciendo uso de una solicitud; sin embargo, diversas retransmisiones conllevan a producir retrasos irreparables.

Asimismo, también se le conoce como un estatuto de control de defectos o errores, que da inicio automáticamente a volver a transmitir cualquier conjunto de datos imperfecto, si el transmisor no acepta una señal de confirmación de la información que recibió, este vuelve a transmitir la información después de un tiempo de espera definido con anterioridad y procede a repetir el proceso hasta que el dispositivo de transmisión reciba la señal de “recibido”.

En suma, es una técnica avanzada de retransmisión, donde grandes cantidades de estas, pero defectuosas, logran ser combinadas para poder rescatar eficazmente las deficiencias en el menor tiempo. A esto se le conoce como Chase Combinig HSPDA, proceso donde cada retransmisión proporciona correcciones suplementarias de codificación. Las retransmisiones de la capa se producen entre el Nodo-B y el equipo del usuario que es comparado con el W-CSMA que se efectúa entre el RNC y el equipo

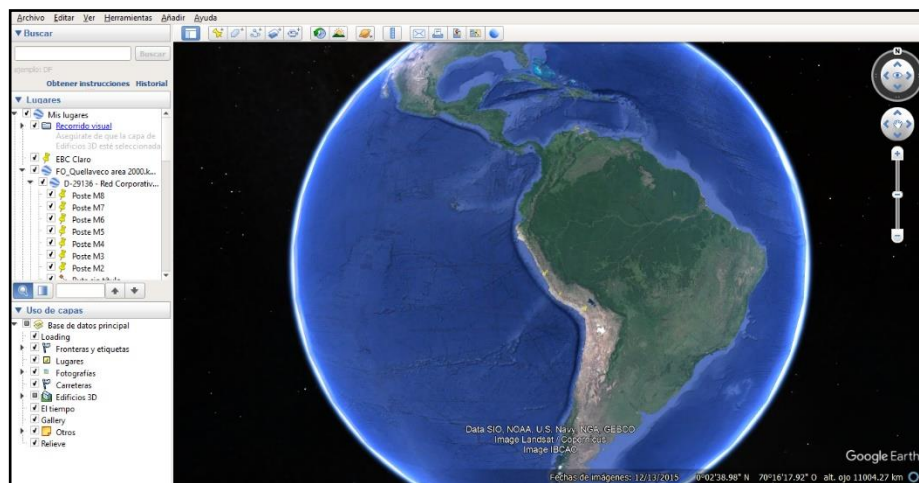
del usuario (Ruiz & Gutierrez, 2020).

2.2.17. Google Earth

Es un software creado por la corporación Keyhole Inc., en el cual se muestra un globo terráqueo virtual. Cabe mencionar que el mapa de la herramienta “Google Earth” está conformado por un conjunto superpuesto de imágenes, mismas que han sido obtenidas con el uso de sistemas satelitales, imágenes aéreas, modelado de datos geográficos SIG de todo el mundo, entre otros. En suma, permiten transmitir datos y resultados desde un punto de vista global intuitivo tridimensional (3D) (López, 2019).

Figura 14

Interfaz de usuario de Google Earth



Nota. El gráfico muestra las características del uso del software Google Earth.

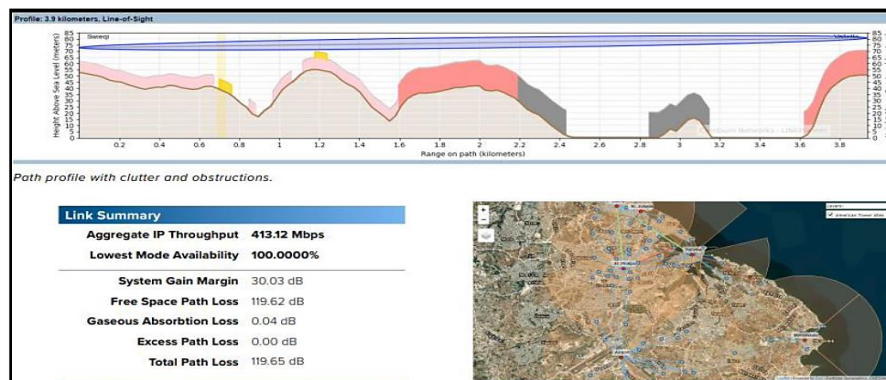
2.2.18. Link Planner

Este software permite la realización de una simulación con personalización propia, es muy utilizado para elaborar diseños y configuraciones de enlaces punto a punto (PTP), esta herramienta trabaja apoyada en las aplicaciones de Google (Maps y Earth). Resultando una herramienta útil para la extensión de servicio de la empresa Cambium Networks, reconocidos por ser líderes en brindar soluciones de enlaces Punto – Punto y Punto – Multipunto en banda ancha. Asimismo, mediante este software es posible realizar simulaciones referentes, a los diferentes factores

requeridos para realizar enlaces óptimos como distancia, potencias de transmisión de las radios bases, alturas de requeridas para las antenas de transmisión, entre otros, con la única finalidad de optimizar del rendimiento de los sistemas de telecomunicaciones (Peña, 2021).

Figura 15

Interfaz de usuario de Software Link Planner



Nota. La gráfica representa la simulación del software Link Planner para cálculos de radioenlaces. Adaptado del trabajo de Peña Minga.

2.3. Definición de términos

Radio enlace: Se denomina a la interconexión de equipos con capacidades de comunicarse mediante el uso de ondas electromagnéticas con la finalidad de formar un sistema de telecomunicaciones.

Microondas: Son aquellas ondas electromagnéticas que se desplazan dentro del espacio radioeléctrico (frecuencias de 300 MHz a 300 GHz), sus ciclos de oscilaciones pueden llegar a tener periodos que van desde los 3 nanosegundos (ns) a 3 pico (ps) segundos, mientras que su longitud de onda puede variar de 1m a 1mm, estas características serán determinadas según la frecuencia en la que se estén transmitiendo.

Ancho de banda: Se puede definir como la cantidad de información que se puede transmitir entre dos puntos en un periodo de tiempo de un segundo a través de un medio de comunicación, su magnitud está dada por bits por segundos (bps) (Dionicio, Cumapa, & Vicente, 2018).

Ancho de banda analógico: La unidad de medida es el Hz, es decir, la cantidad de ciclos por segundos, está definida como la medición en la cantidad de saturación del espectro magnético en cada una de las señales. Se usan diversos múltiplos de esta unidad de medida base para anchos banda analógicos (Dionicio, Cumapa, & Vicente, 2018).

Velocidad: Se define la velocidad a la máxima transferencia de datos expresada en Kbps.

Internet: Es una infraestructura de información altamente difundida, donde su influencia alcanza, además de los campos técnicos informáticos, también a toda la sociedad.

Teléfono: Consiste en un sistema de telecomunicaciones donde la característica principal es la transmisión de la voz y el sonido a largas distancias, se realiza a través de un medio guiado, generalmente cobre, eléctrico o electromagnético.

VSAT: Consiste en un tipo de antena que realiza las funciones de emisor y receptor de datos, posee terminales que pueden ser instalados en varios sitios y conectarse a un concentrador central o HUB a través de un satélite. El termino VSAT significa *Very Small Aperture Terminal* (Terminal de Apertura muy Pequeña) (Guevara, 2002).

LOS: *Line of Sight* (LOS, denominado así por sus siglas en inglés), es una característica de un radioenlace, el cual establece que entre dos puntos donde existir línea recta (Bernal, Bocanegra, & Colorado, 2021).

2.4. Variables

La variable identificada es la siguiente la Red de comunicaciones con radioenlace microondas. Y esta se presenta los siguientes indicadores.

- Potencia de Recepción
- Ancho de Banda
- Disponibilidad del enlace
- Margen de desvanecimiento
- Línea de vista

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 8

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Indicadores	Definición operacional	Unidad
Red de comunicaciones con radioenlace microondas	La comunicación con radioenlace microondas se da mediante ondas de radio, que permiten transmitir datos entre dos ubicaciones topográficamente separadas. Es una conectividad inalámbrica, que transporta canales de Internet en la banda ancha entre los nodos de conexión (Vásquez, 2011).	Potencia de Recepción	Es la diferencia entre la potencia de transmisión y sus atenuaciones dan como resultado la potencia de recepción del sistema de comunicaciones, sumadas a las ganancias de las antenas según (Tapias & Camacho, 2019)	dBm
		Ancho de Banda	Se puede definir como la cantidad de información que se puede transmitir entre dos puntos en un periodo de tiempo de un segundo a través de un medio de comunicación (bps) (Dionicio, Cumapa, & Vicente, 2018).	Mbps
		Disponibilidad del enlace	La calidad de un radioenlace representa el grado en que éste está en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha diseñado	%
		Margen de desvanecimiento	(Tapias & Camacho, 2019) definen al desvanecimiento como el valor que se obtiene del resultado de la diferencia entre la potencia y el umbral del receptor.	dB
		Línea de vista	Línea de vista o LOS (Line of Sight), es una característica de un radioenlace, el cual establece que entre un punto 'a' y punto 'b' debe haber una línea recta. (Bernal, Bocanegra, & Colorado, 2021).	

CAPÍTULO III:

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

La mina de oro Corihuarmi está ubicada a casi 5000 m s. n. m., en la Cordillera de los Andes a 160 Km, aproximadamente, de la capital peruana entre las regiones de Junín y Huancavelica.

El estudio se realiza en el territorio donde se encuentra ubicado la empresa Minera IRL unidad Corihuarmi y al rededor; este será el foco del estudio a fin de mejorar la conexión y señales de red emitidas a través de radioenlaces microondas.

3.2. Tipo de investigación

La investigación presentada en la tesis está catalogada dentro del tipo de investigación aplicada porque se necesita evidenciar la eficiencia y estabilidad de los sistemas de radioenlaces microondas.

“La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo” (Lozano, 2014).

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, ya que en el trabajo de investigación se va describir las características de los elementos que componen un radioenlace de microondas

“Una investigación descriptiva consiste en presentar la información tal cual es, indicando cual es la situación en el momento de la investigación analizando, interpretando, imprimiendo, y evaluando lo que se desea” (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2014).

3.4. Diseño de investigación

El tipo de diseño es el experimental, con este tipo de diseño se pretende realizar una serie de acciones y después mediante la observación ver los efectos que produjo. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista, (2014) “Un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen”.

3.5. Método de investigación

El método empleado en la investigación es del ensayo – error, ya que se van a probar distintos valores de los indicadores de la variable y se va observar el comportamiento en la red de radioenlace. “El método de observación consiste en observar las características esenciales de algún hecho o realidad a través de fichas” (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2014).

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

La población sobre la que se desarrolló la presente tesis está conformada por todos los elementos de estaciones, torres y estaciones terminales (PCs, Internet Celular, VPN y SAP, Telefonía Analógica e IP), que estén distribuidas en la zona de influencia. Según MTC, en su emisión del listado de estaciones autorizadas en 2019, en la región de Junín cuentan con 338 radioenlaces y de acuerdo con el OSIPTel en el año 2019 la región contó con 946 antenas; mientras que conforme con el INEI, durante el 2017 la región de Junín tuvo 300 estaciones de torres autorizadas.

De acuerdo con (Hernandez & Fernandez, Metodología de la investigación, 2019) mencionaron que la población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones, asimismo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones

Lo mencionado se puede apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9

Población total

Población	Cantidad
Estaciones de torres	300
Radioenlaces	338
Antenas	946
Total	1284

Nota. La tabla muestra los elementos de radio que conforman la población de estudio

3.6.2. Muestra

(Silvestre & Huaman, 2019) mencionaron que es el subconjunto de la población seleccionado por métodos diversos, a fin de que el grupo seleccionado represente de manera apropiada a toda la población. Asimismo, la muestra de la presente tesis es dirigida por lo que está representada por 4 estaciones de torres, 6 radios y 6 antenas, tal y como se muestra en la Tabla 10. El muestreo fue intencional, debido a que la muestra fue elegida intencionalmente, estuvo compuesta por los elementos que se consideraron más prácticos y representativos, de acuerdo con (Hernandez & Fernandez, Metodología de la investigación, 2019) indicaron que el muestreo intencionado el investigador procede a seleccionar la muestra en forma intencional eligiendo aquellos elementos que considera convenientes y cree que son los más representativos.

Tabla 10

Muestra de estudio total

Población	Cantidad
Estaciones de torres	04
Radios	06
Antenas	06
Total	16

Nota. La tabla detalla la muestra a utilizarse durante la realización de este trabajo de investigación

3.7. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

Para la recolección de datos se empleó la técnica de la observación, de acuerdo (Hernandez & Mendoza, 2019) mencionaron que es un paso crucial en cualquier proceso de investigación e implica prestar mucha atención al hecho o caso, para recopilar información y registrarla para su posterior análisis. Asimismo, el instrumento que se empleó para el estudio fue la guía de observación, de acuerdo con (Valderrama & Jaimes) sostuvieron que es la herramienta que permite al observador posicionarse sistemáticamente dentro de lo que realmente es el objeto de investigación y es el método utilizado para recolectar datos e información respecto de un hecho o fenómeno.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó el software Link Planner de Cambium Networks y Google Earth, el cual fue instalado en una laptop, a fin de simular y corroborar los parámetros del radioenlace microondas y posteriormente exportar a un reporte de ingeniería.

CAPITULO IV:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1. Diseño de la investigación

4.1.1.1. Modelación e implementación de la red de comunicaciones. La red modelada de radioenlaces microondas está conformada por una infraestructura física que será la encargada de transportar los datos de información la fuente (Huancayo) hasta el punto final (Minera IRL Unidad Corihuarmi). Esta red de radioenlace que se dispone a diseñar tiene la capacidad de throughput (tasa de transferencia efectiva) de 40 Mbps de subida y 40 Mbps de bajada, la cual busca brindar el servicio de telefonía e Internet, con velocidades que garanticen el buen funcionamiento y, sobre todo, ofrecer un servicio de buena calidad al usuario.

4.1.1.2. Datos geográficos de las estaciones. Los siguientes datos básicos fueron obtenidos en el campo con aplicativo Visor GNSS y empleados para realizar los cálculos de enlace y la evaluación de la factibilidad de la red.

Tabla 11

Datos geográficos de las estaciones

Estación	Latitud	Longitud	Altitud
TDP Huancayo	12° 04' 15.57" S	75° 12' 32.67" O	3051 msnm.
Torre 02	12° 11' 41.96" S	75° 15' 54.46" O	4428 msnm.
Torre 01	12° 34' 51.50" S	75° 34' 09.20" O	4912 msnm.
Oficina Corihuarmi	12° 34' 38.01" S	75° 34' 23.65" O	4780 msnm.

Nota. La tabla muestra los datos geográficos de las estaciones de estudio.

4.1.1.3. Implementación del diseño en programas con Enlaces de Microondas. Este enlace (estación TDP - Oficinas Corihuarmi) se diseñó con la idea

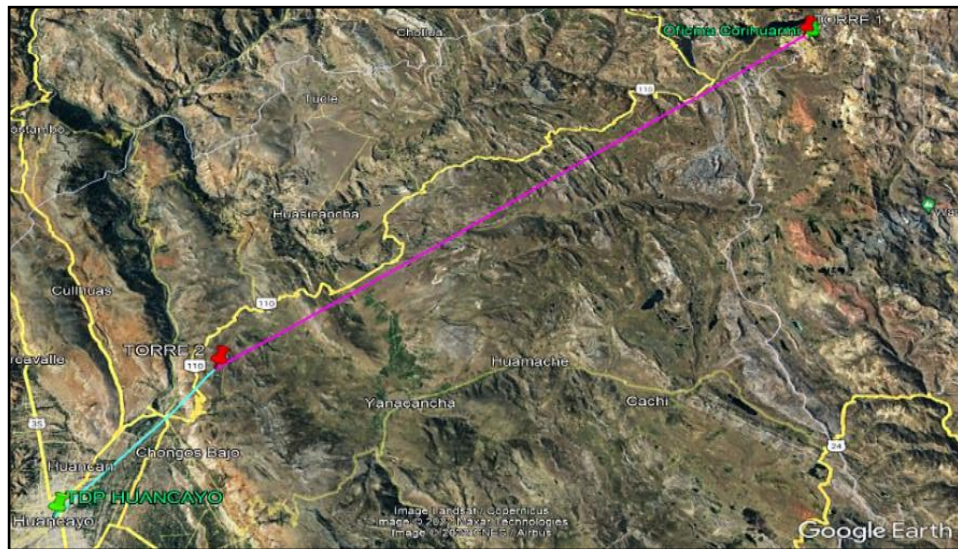
de una comunicación óptima, sin cortes en la comunicación. En las simulaciones de los enlaces se está considerando como altura de la antena a las edificaciones, las cuales serán instaladas en las torres simuladas como se muestra en la Figura 18, donde se establece el total del enlace y es desde ahí que se muestra cada parte del enlace del total de la transmisión.

4.1.1.4. Identificación de la línea de vista (LOS) y la distancia entre las antenas de transmisión y recepción. Al lograr enlazar dos puntos que se encuentran a distancias de gran tamaño, se tuvo en cuenta el parámetro LOS, es decir, es necesario que las antenas (emisor y receptor) se lleguen a observar, debido a que al momento de realizar el enlace se puede encontrar con diferentes obstáculos en la trayectoria del haz de comunicación y estos nos permitan la recepción de la onda emitida.

Para obtener la distancia entre las antenas de recepción y transmisión, en la línea de vista dispuesta para realizar la transmisión de ambas (como se muestra en la Figura 18), se ingresó la localización de los puntos donde se ubicarían las antenas en Google Earth (aplicación gratuita y fácil de usar), resultando así la distancia de transmisión existente entre las torres de conexión.

Figura 16

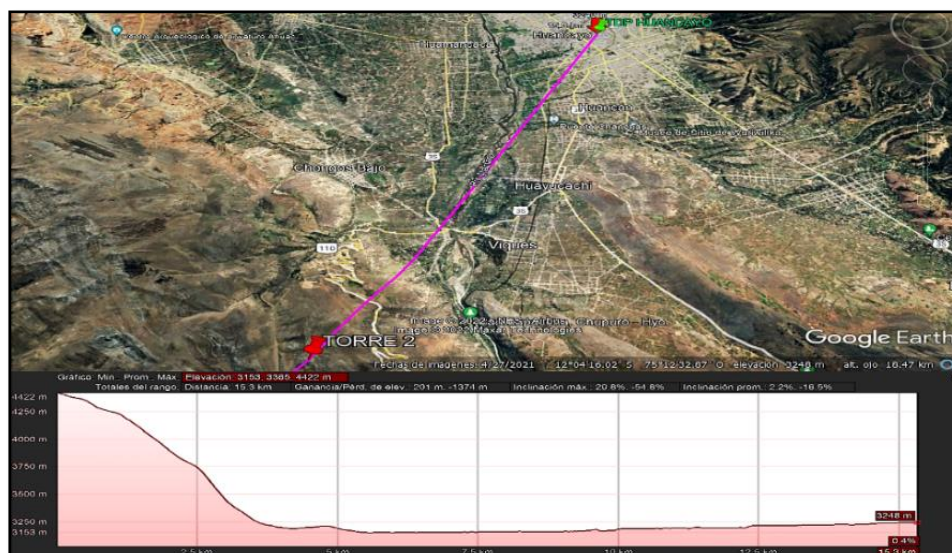
Localización geográfica completa



Nota. La gráfica presenta la ubicación geográfica y enlace completo desde la ciudad de Huancayo hacia la oficina Corihuarmi con los repetidores (Torre 02 y Torre 01), a través de Google Earth.

Figura 17

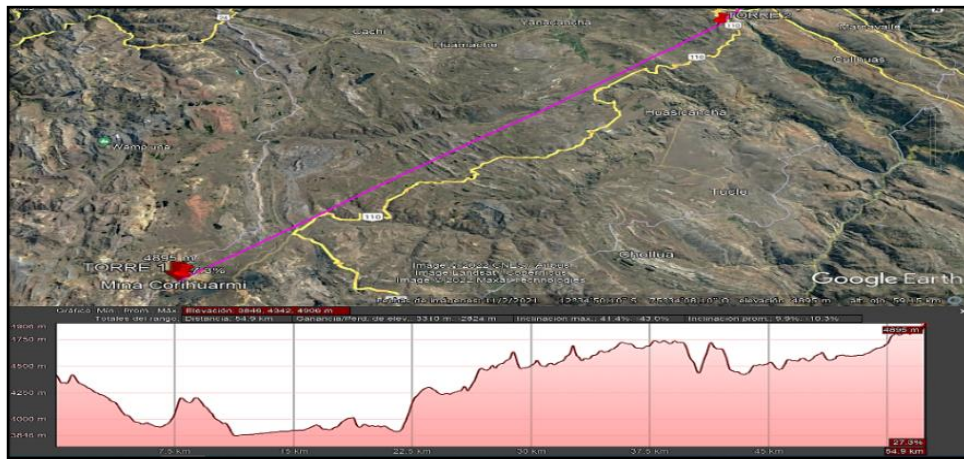
Perfil topográfico del enlace 1



Nota. La gráfica presenta la ubicación geográfica y enlace 1 desde la ciudad de Huancayo hacia la Torre 02, utilizando Google Earth.

Figura 18

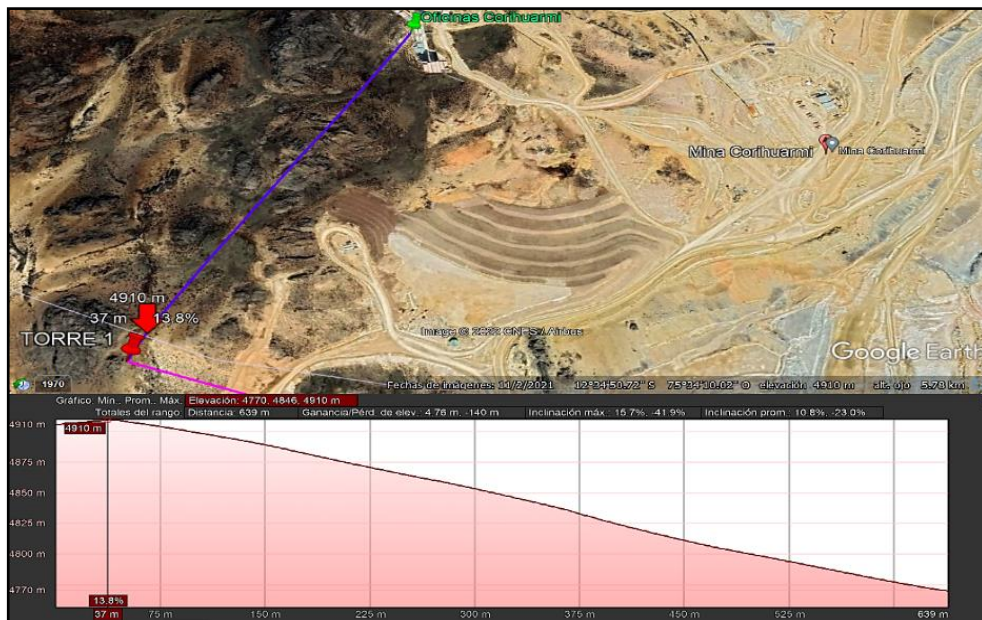
Perfil topográfico del enlace 2



Nota. La gráfica representa el enlace 2 en la ubicación geográfica de la Torre 02 hacia la Torre 01 a través de Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Perfil topográfico del enlace 3



Nota. La gráfica presenta el enlace 3 en la ubicación geográfica de la ciudad de la torre 01 hacia las oficinas de Corihuarmi, a través de Google Earth.

4.1.1.5. Estación TDP (telefónica del Perú) Huancayo. La empresa Telefónica del Perú actualmente ofrece servicios de telefonía fija e internet mediante fibra óptica en la ciudad de Huancayo. Para este proyecto se realizó la contratación del servicio de telefonía e internet de 80 Mbps y agregado de línea dedicada de 40 Mbps de subida y de 40 Mbps de bajada, para lo cual se realizó el diseño de radioenlace con tres saltos desde Huancayo hasta Unidad Corihuarmi. Adicionalmente, como la estación TDP cuenta con una torre de 60 metros y un sistema de energía estabilizada, se estipuló solicitar las facilidades para la instalación de los equipos en su infraestructura existente.

4.1.1.6. Estación Torre 02. Este punto es la estación repetidora activa que se encuentra en el cerro, donde se implementó una torre ventada de 45 metros de altura, paneles solares, gabinete, controladores solares, inversores, banco de baterías, sistema puesto a tierra y cerco perimétrico

4.1.1.7. Estación Torre 01. Este punto es la estación repetidora activa que se encuentra en el cerro repetidor radio VHF cuenta con una torre ventada de 45 metros de altura, y se plantea la implementación de paneles solares, gabinete, controladores solares, inversores, banco de baterías, sistema puesto a tierra

4.1.1.8. Estación oficinas Corihuarmi. Este punto es la estación terminal se encuentra en las oficinas de Corihuarmi, se plantea la implementó una torre ventada de 15 metros de altura.

4.1.1.9. Enlace estación TDP con estación Torre 02. Desde el DCE (Data Communication Equipment) de telefónica del Perú se realizó un puente mediante cable Ethernet UTP Categoría (Cat 6A) hasta el Router Mikrotik RB95Ui de donde se envía la señal hacia el Radio Cambium Networks PTP 550 5.8GHz mediante cable Ethernet SFTP (Screened Foiled Twisted Pair) de Cat 6A, la Radio con ayuda de una antena de 29.1 dBi de ganancia realizará la transmisión en RF hacia la estación repetidora torre 02.

La estación repetidora torre 02 realiza la recepción de la señal con Radio Cambium Networks PTP 550 5.8GHz con una antena (Cambium Network

RDH4508C) de 29.1 dBi de ganancia y lo envía la señal a través cable Ethernet SFTP (Screened Foiled Twisted Pair) de Cat 6A hacia el Router Mikrotik RB95Ui.

4.1.1.10. Enlace estación Torre 02 con Estación Torre 01. La estación repetidora Torre 02 desde el Router Mikrotik RB95Ui envía la señal hacia el Radio Cambium Networks PTP 550 5.8GHz, mediante cable Ethernet SFTP (Screened Foiled Twisted Pair) de Cat 6A, la Radio con ayuda de una antena de (Cambium Network 6ft Dual Polar Parabolic RDH4506C) 38.2 dBi de ganancia realiza la transmisión en RF hacia la estación repetidora torre 01.

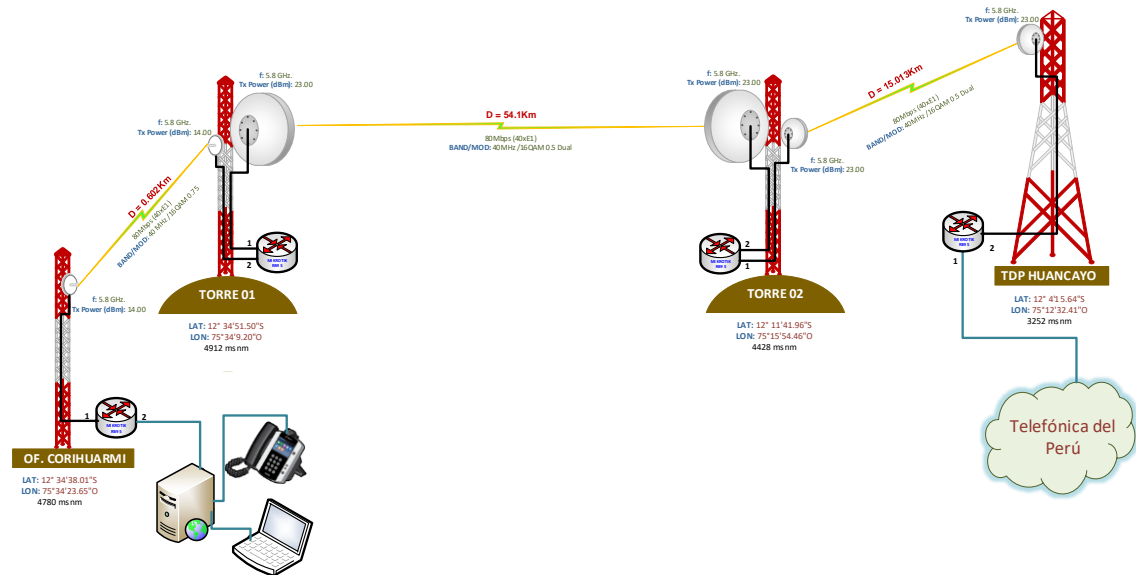
La estación repetidora torre 01 realiza la recepción de la señal con Radio Cambium Networks PTP 550 5.8GHz con una antena (Cambium Network 6ft Dual Polar Parabolic RDH4506C) de 38.2 dBi de ganancia y esta envía la señal, a través cable Ethernet SFTP (Screened Foiled Twisted Pair) de Cat 6A, hacia el Router Mikrotik RB95Ui.

4.1.1.11. Enlace estación Torre 01 con Estación Oficinas Corihuarmi. La estación repetidora Torre 01 desde el Router Mikrotik RB95Ui envía la señal hacia el Radio Cambium Networks e PMP Force 190 5.8GHz, mediante cable Ethernet SFTP (Screened Foiled Twisted Pair) de Cat 6A; la radio con ayuda de una antena de 21.6 dBi de ganancia realizará la transmisión en RF hacia la estación Oficina Corihuarmi. La estación Oficina Corihuarmi efectúa la recepción de la señal con Radio Cambium Networks e PMP Force 190 5.8GHz, con una antena de 21.6 dBi de ganancia, y envía la señal a través cable Ethernet SFTP (Screened Foiled Twisted Pair) de Cat 6ª hacia el Router Mikrotik RB95Ui.

4.1.1.12. Enlace completo desde la estación TDP (telefónica del Perú) Huancayo con Estación Oficinas Corihuarmi. Luego del diseño de cada enlace por partes, tendremos el enlace completo desde el DCE (Data Communication Equipment) de telefónica del Perú, que realizó una comunicación directa hacia las oficinas de la Minera IRL en CORIHUARMI, utilizando la aplicación del enlace microondas que se propone en la presente tesis.

Figura 20

Enlace completo de estaciones TDP con las Oficinas Corihuarmi



Nota. La gráfica muestra el enlace completo desde la Estación TDP con la Estación de las Oficinas en Corihuarmi. Elaboración propia.

4.1.2. Cálculos teóricos del radioenlace

Cálculo de la distancia entre Estación TDP con estación Torre 02

Calculando la distancia entre los dos puntos y tomando como referencia los siguientes datos:

$$RT: 4964.03 \text{ Km}$$

$$\alpha = 12.0709917$$

$$\beta = 12.1948972$$

Se considera la siguiente fórmula:

$$d = \frac{2\pi RT}{360} x [\text{seno } \alpha x \text{ seno } \beta + \text{coseno } \alpha x \text{ coseno } \beta x \text{ coseno } (\alpha - \beta)]$$

Donde:

$$[\text{seno } \alpha x \text{ seno } \beta + \text{coseno } \alpha x \text{ coseno } \beta x \text{ coseno } (\alpha - \beta)] =$$

$$[\text{seno } 12.07 x \text{ seno } 12.19 + \text{coseno } 12.07 x \text{ coseno } 12.19 x \text{ coseno } (12.07 - 12.19)] =$$

$$0.173282775$$

Sustituyendo:

$$d = \frac{2\pi \times 4964.03}{360} \times 0.173282775$$

$$d = 15.01298879 \text{ km}$$

Cálculo de la distancia entre la Torre 02 y la Torre 1

Calculando la distancia entre los dos puntos y tomando como referencia los siguientes datos:

$$RT: 5743.66 \text{ Km}$$

$$\alpha = 12.1948972$$

$$\beta = 12.5809722$$

Se considera la siguiente fórmula:

$$d = \frac{2\pi RT}{360} \times [\text{seno } \alpha \times \text{seno } \beta + \text{coseno } \alpha \times \text{coseno } \beta \times \text{coseno } (\alpha - \beta)]$$

Donde:

$$[\text{seno } \alpha \times \text{seno } \beta + \text{coseno } \alpha \times \text{coseno } \beta \times \text{coseno } (\alpha - \beta)] =$$

$$[\text{seno } 12.19 \times \text{seno } 12.58 + \text{coseno } 12.19 \times \text{coseno } 12.58 \times \text{coseno } (12.19 - 12.58)] =$$

$$0.539673293$$

Sustituyendo:

$$d = \frac{2\pi \times 5743.66}{360} \times 0.539673293$$

$$d = 54.09996918 \text{ km}$$

Cálculo de la distancia entre la Torre 01 y la Estación Oficinas Corihuarmi

Calculando la distancia entre los dos puntos y tomando como referencia los siguientes datos:

$$RT: 6587.99 \text{ Km}$$

$$\alpha = 12.5809722$$

$$\beta = 12.577225$$

Se considera la siguiente fórmula:

$$d = \frac{2\pi RT}{360} \times [\text{seno } \alpha \times \text{seno } \beta + \text{coseno } \alpha \times \text{coseno } \beta \times \text{coseno } (\alpha - \beta)]$$

Donde:

$$[\text{seno } \alpha \times \text{seno } \beta + \text{coseno } \alpha \times \text{coseno } \beta \times \text{coseno } (\alpha - \beta)] =$$

$$[\text{seno } 12.58 \times \text{seno } 12.57 + \text{coseno } 12.58 \times \text{coseno } 12.57 \times \text{coseno } (12.58 - 12.57)] = 0.005236$$

Sustituyendo:

$$d = \frac{2\pi \times 6587.99}{360} \times 0.005236$$

$$d = 0.601999553 \text{ km}$$

4.1.3. Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

$$d1: 15.013 \text{ Km}$$

$$d2: 54.01 \text{ Km}$$

$$d: 69.023 \text{ Km}$$

$$f: 5.8 \text{ GHz}$$

$$r_n = 17,32 \sqrt{\frac{d1d2}{df}} = 17,32 \sqrt{\frac{15.013 \times 54.01}{69.023 \times 5.8}} = 142.96 \text{ m}$$

4.1.4. Cálculo de perfil de enlace de TDP Huancayo a Torre 02

Cálculo de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)

$$PIRE = P_{tx} + G_{tx} - L_c$$

$$PIRE = 23 \text{ dBm} + 29 \text{ dBi} - 1 \text{ dB}$$

$$PIRE = 51 \text{ dBm}$$

Cálculo perdido de trayectoria en el espacio libre (**Lp**)

$$L_p = 92.4 + 20 \log(f \text{ GHz}) + 20 \log(D \text{ Km})$$

$$L_p = 92.4 + 20 \log(5.8 \text{ GHz}) + 20 \log(15.013 \text{ Km})$$

$$L_p = 92.4 + 15.2686 + 23.5294$$

$$L_p = 131.198 \text{ dB}$$

Cálculo de potencia de recepción (**PRx**)

$$PR_x = P_{Tx} + G_{tx} - L_c - L_p + G_{rx} - L_c$$

$$PR_x = 23 + 29 - 1 - 131.198 + 29 - 1$$

$$PR_x = -52.198 \text{ dBm}$$

Cálculo de margen de desvanecimiento (**Fm**)

$$F_m = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$F_m = 30 \log(15.013 \text{ Km}) + 10 \log(6 * 0.25 * 0.125 * 5.8) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$Fm = 35.2941 - 0.3641 - (-40) - 70$$

$$Fm = 4.93 \text{ dBm}$$

Cálculo de margen de umbral (**Mu**)

$$Mu = PRx - \text{Sensibilidad de Rx}$$

$$Mu = -52.198 - (-81)$$

$$Mu = 28.802$$

4.1.5. Cálculo de perfil de enlace de Torre 02 a Torre 01

Cálculo de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)

$$PIRE = Ptx + Gtx - Lc$$

$$PIRE = 23 \text{ dBm} + 38.2 \text{ dBi} - 1 \text{ dB}$$

$$PIRE = 60.2 \text{ dBm}$$

Cálculo perdido de trayectoria en el espacio libre (**Lp**)

$$Lp = 92.4 + 20 \log(f \text{ GHz}) + 20 \log(D \text{ Km})$$

$$Lp = 92.4 + 20 \log(5.8 \text{ GHz}) + 20 \log(54.1 \text{ Km})$$

Cálculo de potencia de recepción (PRx)

$$Lp = 92.4 + 15.2686 + 34.6640$$

$$Lp = 142.3326 \text{ dB}$$

Cálculo de potencia de recepción (PRx)

$$PRx = PTx + Gtx - Lc - Lp + Grx - Lc$$

$$PRx = 23 + 38.2 - 1 - 142.3326 + 38.2 - 1$$

$$PRx = -44.9326 \text{ dBm}$$

Cálculo de margen de desvanecimiento (**Fm**)

$$Fm = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$Fm = 30 \log(54.1 \text{ Km}) + 10 \log(6 * 0.25 * 0.125 * 5.8)$$

$$- 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$Fm = 51.9960 - 0.3641 - (-40) - 70$$

$$Fm = 21.6319 \text{ dBm}$$

Cálculo de margen de umbral (Mu)

$$Mu = PRx - \text{Sensibilidad de Rx}$$

$$Mu = -44.9326 - (-81)$$

$$Mu = 36.0674$$

4.1.6. Cálculo de perfil de enlace de Torre 01 a Oficina Corihuarmi

Cálculo de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)

$$PIRE = Ptx + Gtx - Lc$$

$$PIRE = 14 \text{ dBm} + 21.6 \text{ dBi} - 1 \text{ dB}$$

$$PIRE = 34.6 \text{ dB}$$

Cálculo pérdida de trayectoria en el espacio libre (**Lp**)

$$Lp \text{ dB} = 92.4 + 20 \log(f \text{ GHz}) + 20 \log(D \text{ Km})$$

$$Lp = 92.4 + 20 \log(5.8 \text{ GHz}) + 20 \log(1.0 \text{ Km})$$

$$Lp = 92.4 + 15.2686 + (-4.4081)$$

$$Lp = 103.2605 \text{ dB}$$

Cálculo de potencia de recepción (**PRx**)

$$PRx = PTx + Gtx - Lc - Lp + Grx - Lc$$

$$PRx = 14 + 21.6 - 1 - 103.2605 + 21.6 - 1$$

$$PRx = -48.0605 \text{ dBm}$$

Cálculo de margen de desvanecimiento (**Fm**)

$$Fm = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$Fm = 30 \log(0.602 \text{ Km}) + 10 \log(6 * 0.25 * 0.125 * 5.8)$$

$$- 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$Fm = -6.6122 - 0.3643 - (-40) - 70$$

$$Fm = -36.9765 \text{ dB}$$

Cálculo de margen de umbral (**Mu**)

$$Mu = PRx - \text{Sensibilidad de Rx}$$

$$Mu = -48.0605 - (-89)$$

$$Mu = 40.395$$

4.1.7. Cálculo del ancho de banda

Requerimiento promedio de un dispositivo para navegar y enviar correo electrónico se necesita un ancho de banda de 100 a 500 Kbps (CenturyLink, 2022).

Para un dispositivo que utiliza servicios de nube o intercambio de información en sistemas como ERP o CRM se necesita un ancho de banda de 500 Kbps a 2 Mbps.

Para un dispositivo que emplea servicio de videoconferencia HD, conferencias web y streaming se necesita un ancho de banda de 2 Mbps a más.

Para teléfonos IP básico de solo voz se necesita un ancho de banda de 100 Kbps.

Para teléfonos IP con mayor cantidad de líneas simultáneas se necesita un ancho de banda de 100 a 500 Kbps.

En la tabla 10, se calcula la totalidad del ancho de banda para satisfacer el requerimiento de los usuarios de la Unidad Minera, según nuestro cálculo el Ancho de Banda requerido es de 69 Mbps por lo que nuestro radioenlace microondas a diseñar

debe tener la capacidad de transportar el servicio agregado mayor a 69 Mbps de Ancho de Banda.

Tabla 12

Cálculo de Ancho de Banda requerido para 120 usuarios

		Cantidad	Requerimiento de BW (Kbps)	Sub Total (Mbps)
Internet	PC	45	500	22.5
	Celular	40	500	20
	VPN y SAP	10	2000	20
	Telefonía			
	Analógico	15	100	1.5
	IP	10	500	5
Total, de Ancho de Banda (Mbps)				69

Nota: Tomando como referencia valores de proveedor de servicios (CenturyLink, 2022).

4.1.8. Simulación de enlaces

Después de realizar la factibilidad del enlace, mediante el cálculo matemático, se realizó la justificación del diseño de radioenlace con el software Link Planner propietario de Cambium Network. Esto a fin de sustentar que el enlace sea viable, que existe línea de vista y comparar los cálculos realizados teóricamente, además de verificar que los valores sean confiables para la implementación de este.

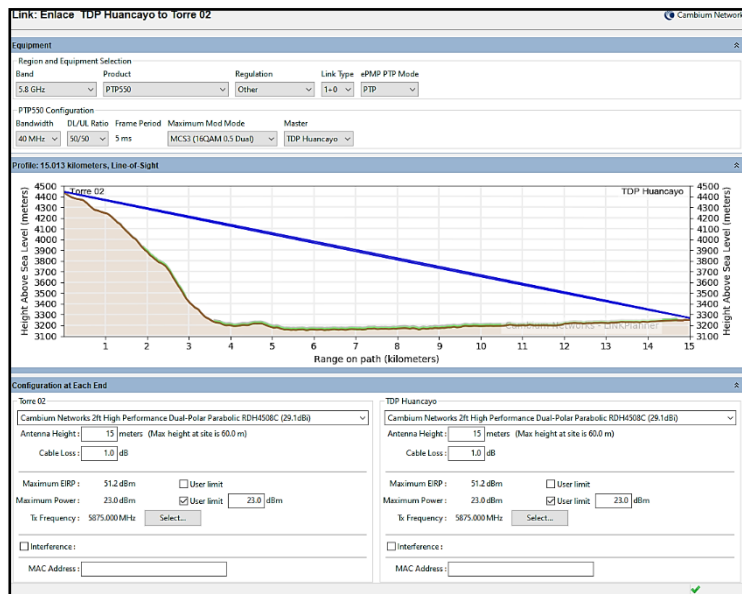
Es indispensable contar con los principales parámetros de un radioenlace como son las coordenadas geográficas, las alturas en la cual se instalarán las antenas propuestas en el análisis teórico, las frecuencias y el ancho de banda asignados por el operador Telefónica del Perú, tipos de equipos a instalar (IDU, ODU, IDU, COUPLER) y los parámetros de los equipos.

Simulación de enlace TDP a Torre 02

Se inició con la evaluación del perfil del enlace generado por el software Link Planner. Se ingresaron los datos de las alturas de las torres donde serán instaladas las antenas, el programa calculó la distancia entre ambos sitios y, posteriormente, se obtuvo el perfil de elevación dándole la opción Master al otro punto de conexión.

Figura 21

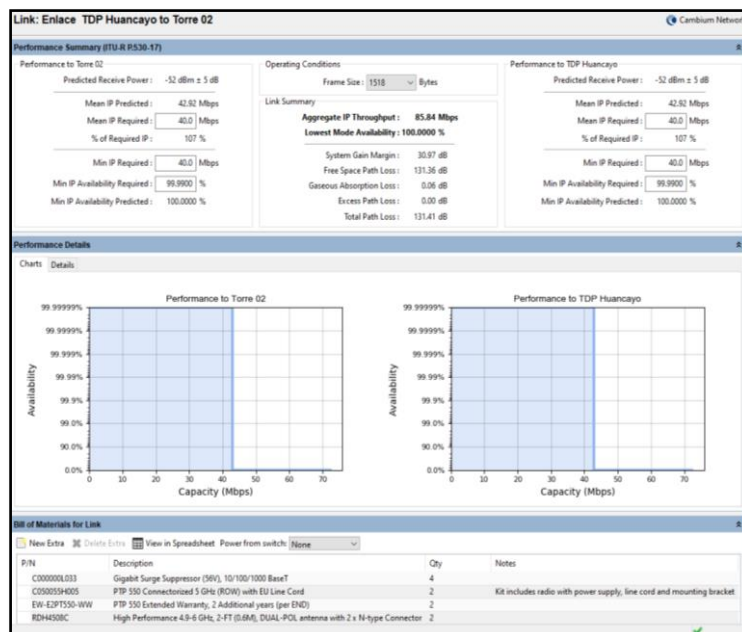
Enlace 1 aplicando Master TPD.



Nota. La gráfica presenta la simulación en Cambium Networks del enlace 1 desde TDP Huancayo a Torre 02. Fuente: Elaboración propia

Figura 22

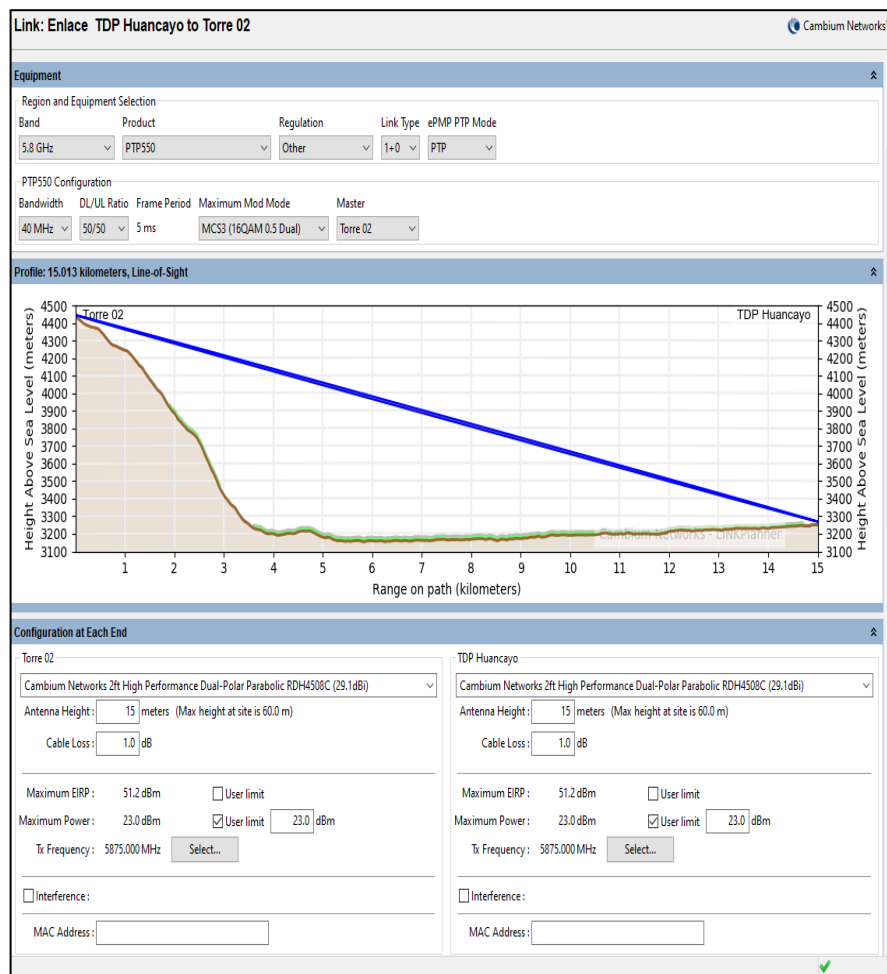
Enlace en TPD Huancayo a Torre 02



Nota. La gráfica presenta los parámetros de la simulación en Cambium Networks del enlace 1 desde TDP Huancayo a Torre 02. Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Enlace 1 aplicando Master Torre 02



Nota. La gráfica presenta la simulación en Cambium Networks del enlace 1 desde TDP Huancayo a Torre 02. Fuente. Elaboración propia

Figura 24

Enlace en Torre 02 a TPD Huancayo



Nota. La gráfica presenta los parámetros de la simulación en Cambium Networks del enlace 1 desde Torre 02 a TDP Huancayo. Fuente: Elaboración propia.

Simulación de enlace Torre 02 a Torre 01

Se ingresaron los datos de las alturas donde fueron instaladas las antenas, el programa calculó la distancia en ambos puntos y posteriormente se obtuvo el perfil de elevación.

Figura 25

Enlace 2 aplicando Master Torre 02 hacia Torre 01



Nota. La gráfica presenta la simulación en Cambium Networks del enlace 2 desde Torre 02 a Torre 01. Fuente: Elaboración propia

Figura 26

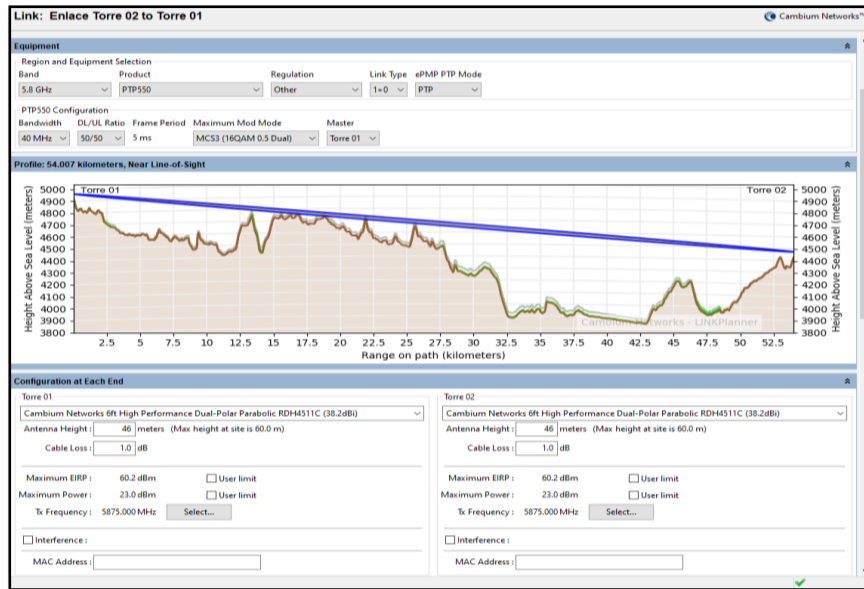
Enlace en Torre 02 con Torre 01



Nota. La gráfica presenta los parámetros de la simulación en Cambium Networks del enlace 2 desde Torre 02 a Torre 01.

Figura 27

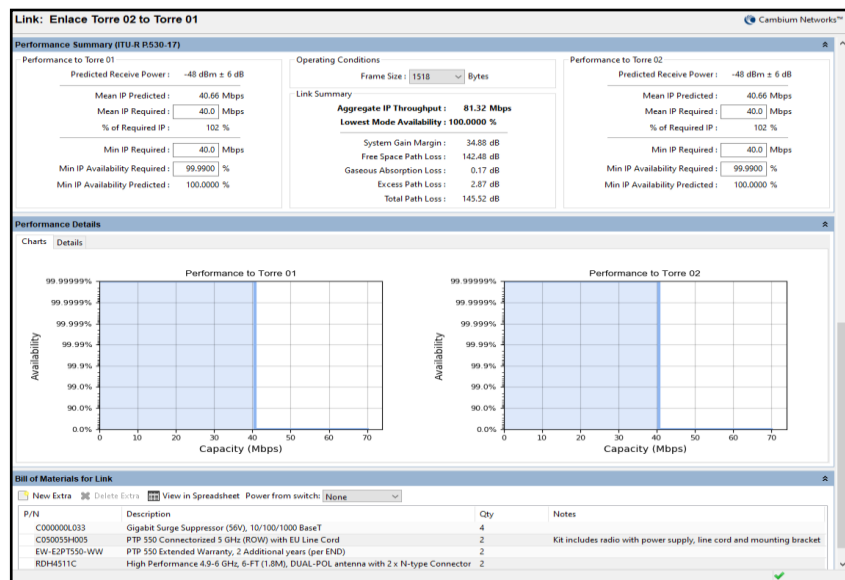
Enlace 2 aplicando Master Torre 01 hacia Torre 02



Nota. La gráfica presenta la simulación en Cambium Networks del enlace 2 desde Torre 01 a Torre 02.

Figura 28

Enlace en Torre 01 a Torre 02



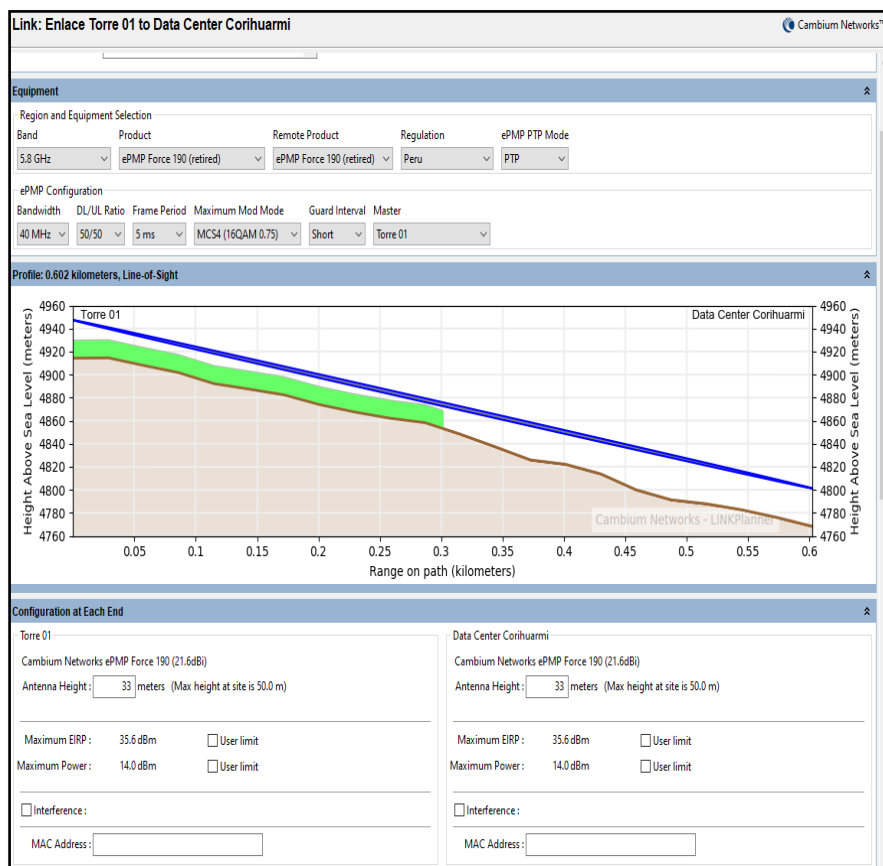
Nota. La gráfica presenta los parámetros de la simulación en Cambium Networks del enlace 2 desde la Torre 01 hasta la Torre 02. Fuente: Elaboración propia.

Simulación de enlace Torre 01 a Oficina Corihuarmi

Se ingresaron los datos de las alturas en el lugar que serán instaladas las antenas, el programa calculó la distancia entre ambos lugares y, posteriormente, se adquirió el perfil de elevación.

Figura 29

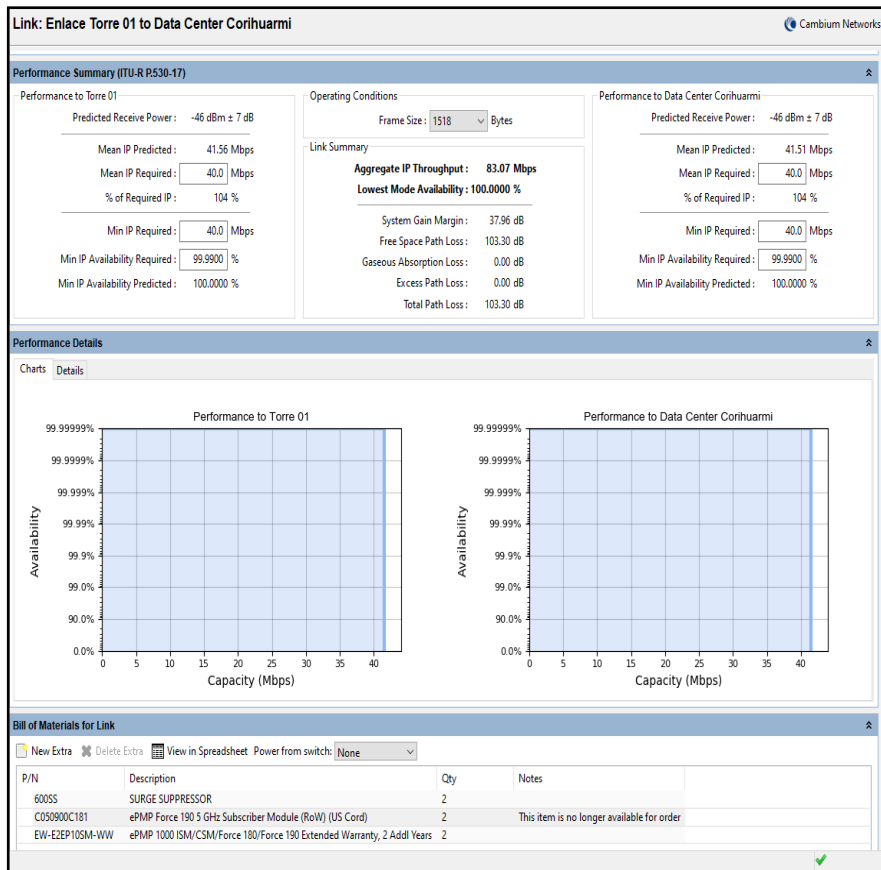
Enlace 3 aplicando Master Torre 01 hacia Oficina Corihuarmi



Nota. La gráfica presenta la simulación en Cambium Networks del enlace 3 desde Torre 01 a Oficinas Corihuarmi.

Figura 30

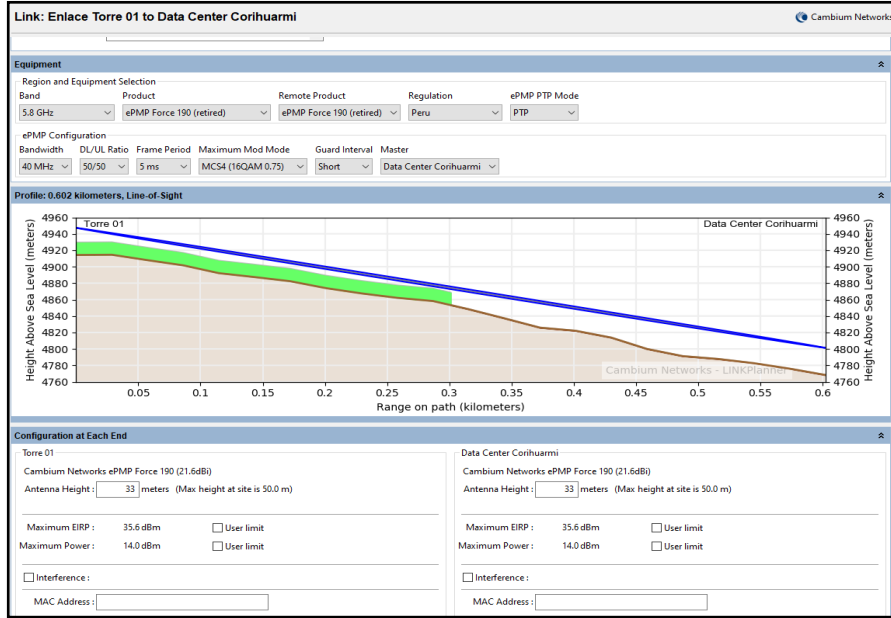
Enlace 3 en Torre 01 con Oficina Corihuarmi



Nota. La gráfica presenta los parámetros de la simulación en Cambium Networks del enlace 3 desde Torre 01 a Oficina Corihuarmi.

Figura 31

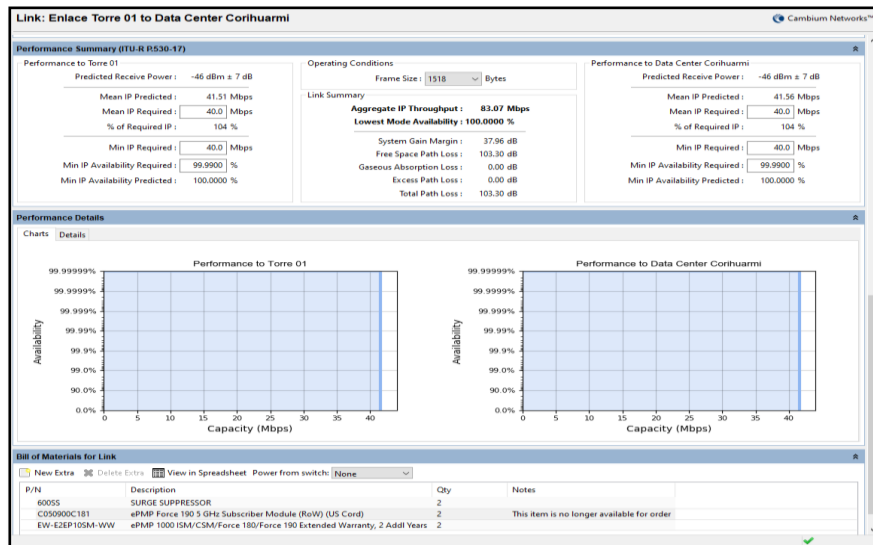
Enlace 3 aplicando Master Data Center Corihuarmi hacia Torre 01



Nota. La gráfica presenta la simulación en Cambium Networks del enlace 3 desde Oficinas Corihuarmi a Torre 01.

Figura 32

Enlace 3 desde Oficina Corihuarmi con Torre 01



Nota. La gráfica presenta los parámetros de la simulación en Cambium Networks del enlace 3 desde Oficina Corihuarmi a Torre 01.

Una vez que terminada la simulación se corrobora que los enlaces son factibles, por lo que se puede iniciar con la implementación de la red.

Mediante el software Link Planner, se registraron los datos de la potencia de transmisión, umbral del receptor y la frecuencia de operación, todos ellos obtenidos de las fichas técnicas del equipamiento. Además, se apreció en el perfil de elevación que existe línea de vista para cada enlace, en el cual se usó como dato a las alturas mínimas en la que se instala la antena en ambas estaciones y al mismo tiempo.

4.2. Discusión de los resultados

El análisis de los resultados se realizará por enlace, desde el punto de vista de radiofrecuencias, partiendo de que la ley de Telecomunicaciones del Perú (Comunicaciones, 2019) establece que no se debe sobrepasar los 36 dBm en frecuencias con las siguientes características: para las bandas 916 - 928 MHz, 2 400 - 2 483,5 MHz y 5 725 - 5 850 MHz.

- 15 Km de distancia

Los resultados teóricos del enlace de 15 Km, arrojan una potencia de recepción de -52.198 dbm, con potencia de transmisión de 23dBm, en frecuencia de 5.8 GHz, frente a una recepción de -52dBm +- 5 dB, resultante de la simulación.

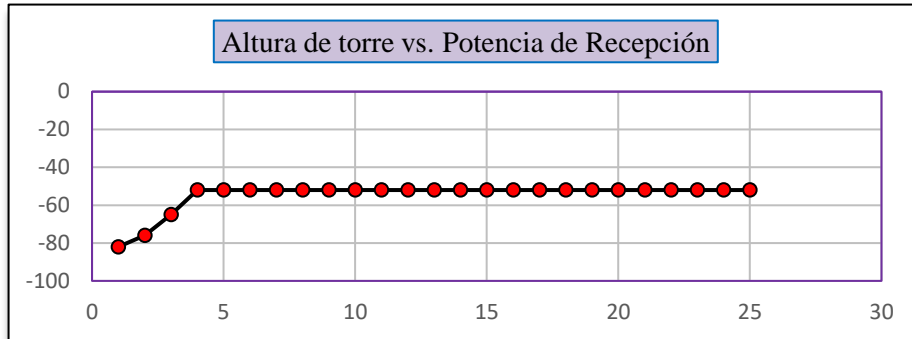
Tabla 13*Resultados de pruebas en el Enlace 1 estación TDP (Huancayo) hasta Torre 02*

N° de pruebas	CONSTANTE					VARIABLE	RESULTADO				
	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Tamaño de Antena (m)	Altura de Torre (m)	Potencia de Recepción (dBm)	Ancho de Banda (Mbps)	Disponibilidad %	Fade Margin (dB)	Línea de vista (LOS)
1						1	(- 82)	9.00	58.7201	-6.17	No
2						2	(- 76)	9.00	99.2138	0.63	No
3						3	(- 65)	9.00	100.00	11.25	No
4						4	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si
5	15.00	5.8	40	23	0.60	5	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si
6						6	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si
7						7	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si
8						8	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si
9						9	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si
10						10	(- 52)	43.00	100.00	23.97	Si

Nota. La tabla muestra los datos con los valores más relevantes de las pruebas en Cambium Network, se observa que desde el tamaño de torre (4 metros) donde se resalta (Rojo) se obtiene una disponibilidad óptima con tamaño de antena de 0.60 m

Figura 33

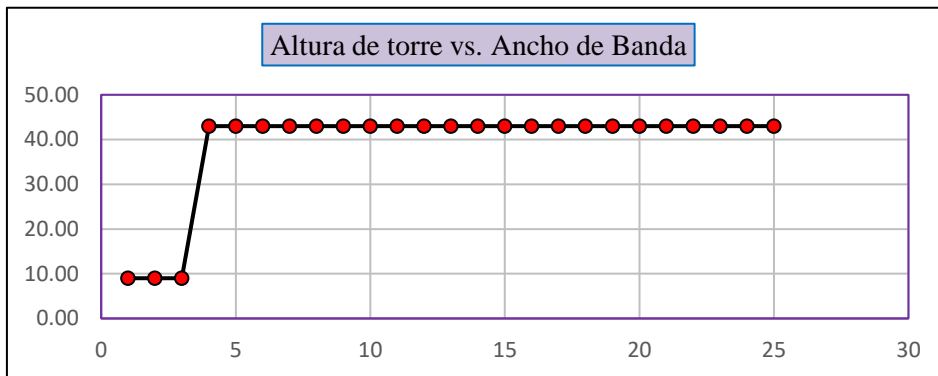
Total, de pruebas en la Potencia de TDP (altura de torre vs. potencia de recepción).



Nota. La gráfica representa las simulaciones de pruebas realizadas en la potencia de recepción con la altura de la torre en TDP del Enlace 1.

Figura 34

Total, de pruebas en el ancho de banda para TDP



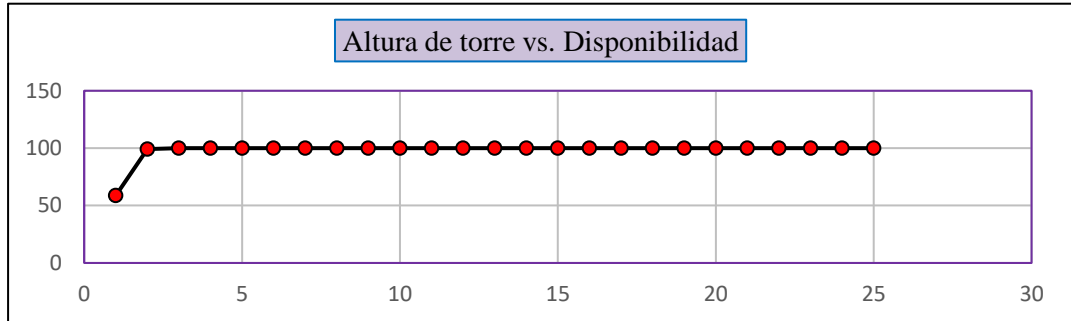
Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en el ancho de banda con la altura de la torre en TDP del Enlace 1. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, luego de un ajuste para hacer frente a las condiciones climáticas por la zona y en aras de lograr una mayor tasa de transferencia, se varía la altura de la antena hasta 4 m, lográndose -45 dB, mejorando el resultado teórico de forma apreciable.

De igual forma, al variar la altura de la antena, como se aprecia en la Figura 35, se aprecia que a partir de 4 m se alcanza una tasa de transferencia de 42 Mbps de forma sostenida, valor que cumple con el requerimiento de ancho de banda del sistema.

Figura 35

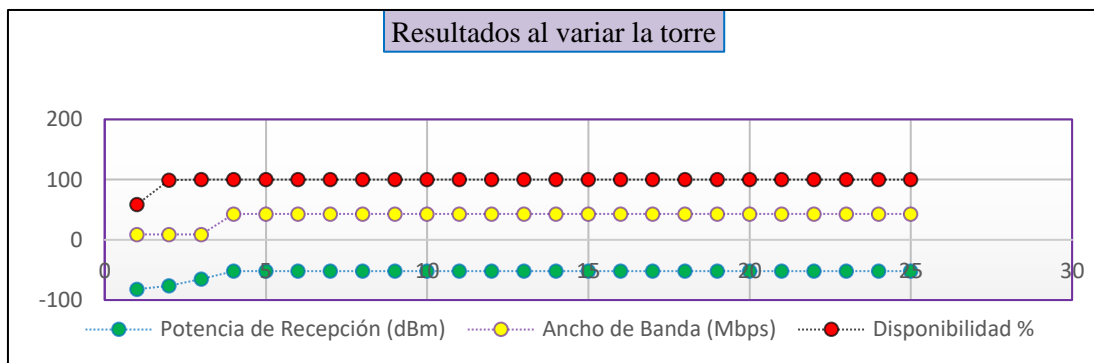
Total, de pruebas en la disponibilidad de TDP



Nota. La gráfica representa las simulaciones de pruebas realizadas en la disponibilidad (Porcentaje) con la altura de la torre en TDP del Enlace 1.

Figura 36

Total, de pruebas en la entrada TDP



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de las pruebas realizadas en la entrada TDP del Enlace 1.

Tabla 14

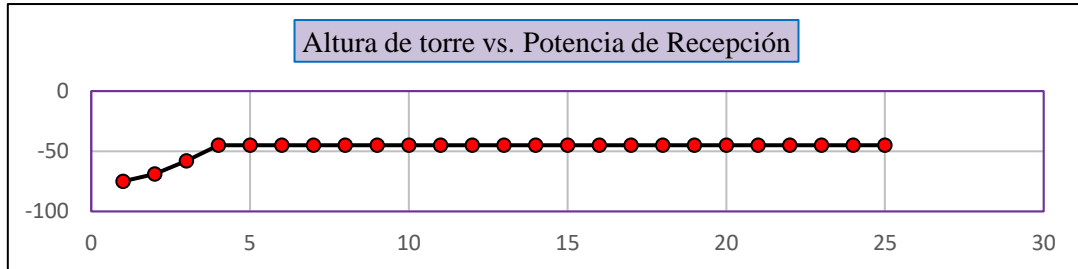
Resultados de pruebas en el Enlace estación TDP (Huancayo) hasta Torre 02.

N° de pruebas	CONSTANTE					VARIABLE	RESULTADO				
	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Tamaño de Antena (m)	Altura de Torre (m)	Potencia de Recepción (dBm)	Ancho de Banda (Mbps)	Disponibilidad %	Fade Margin (dB)	Línea de vista (LOS)
1						1	(- 75)	9.00	99.2093	-2.67	No
2						2	(- 69)	9.00	99.9961	3.13	No
3						3	(- 58)	9.00	100.00	15.75	No
4						4	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si
5	15.00	5.8	40	23	0.90	5	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si
6						6	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si
7						7	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si
8						8	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si
9						9	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si
10						10	(- 45)	43.00	100.00	27.47	Si

Nota. La tabla muestra los datos con los valores más relevantes de las pruebas en Cambium Network, se observa que desde el tamaño de torre (4 metros) donde se resalta (Rojo) se obtiene una disponibilidad óptima con tamaño de antena de 0.9 m.

Figura 37

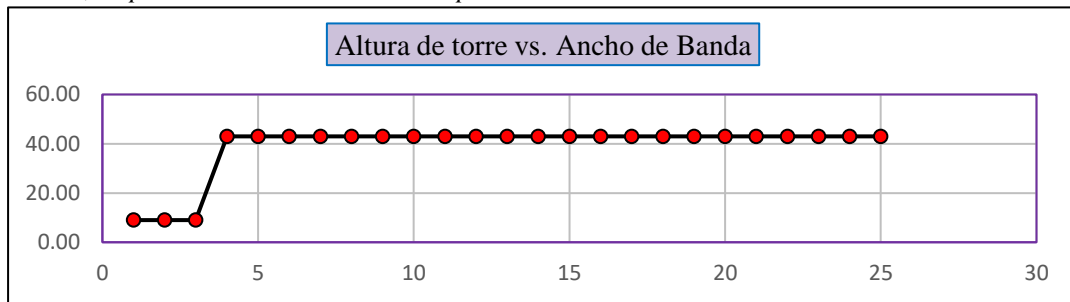
Total de pruebas en Potencia de Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la potencia de recepción con la altura de la Torre 2 del Enlace 1.

Figura 38

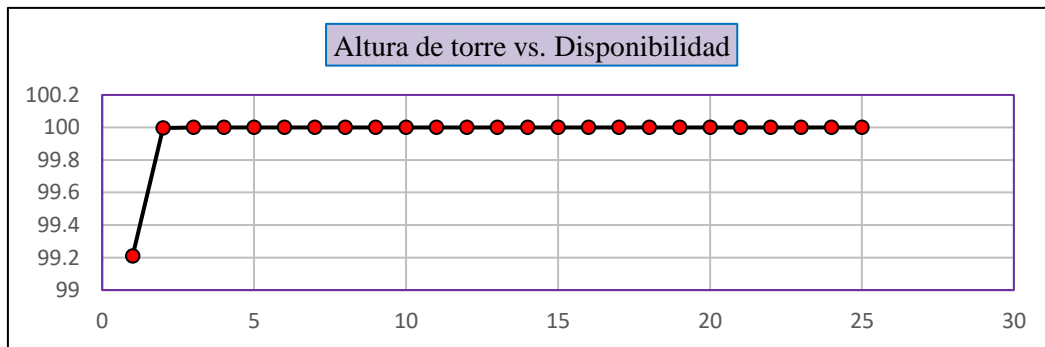
Total, de pruebas en el ancho de banda para la Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en el ancho de banda con la altura de Torre 2 del Enlace 1.

Figura 39

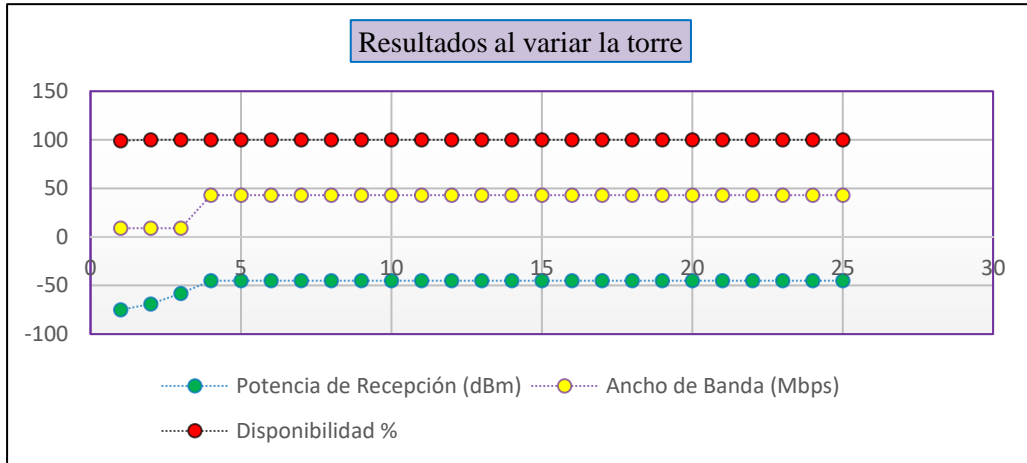
Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la Disponibilidad (Porcentaje) con la altura de la Torre 2 del Enlace 1

Figura 40

Total, de pruebas en la entrada Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la Torre 2 del Enlace 1.

- 54 Km de distancia

Para el enlace de 54km de distancia se logra una potencia de recepción de -44.9 dBm con potencia de transmisión de 23dBm en frecuencia de 5.8 GHz en valores teóricos, frente a una recepción de -48dBm +- 6 dB, resultante de la simulación.

Para el caso en particular de esta investigación se planteó el diseño de red de comunicaciones con radioenlace microondas en zona sierra por encima de los 4900 msnm, en esta zona el fenómeno meteorológico es extremo por las fuertes lluvias con tormentas eléctricas, neblina y la temperatura por debajo de 0°C; los equipos Cambium Network trabajan bajo la tecnología de técnica MIMO y está diseñada para operar en zonas de climas extremos.

Ajustando la altura de la antena hasta 44 metros, se obtienen -56 dB, arrojando resultados similares.

Tabla 15

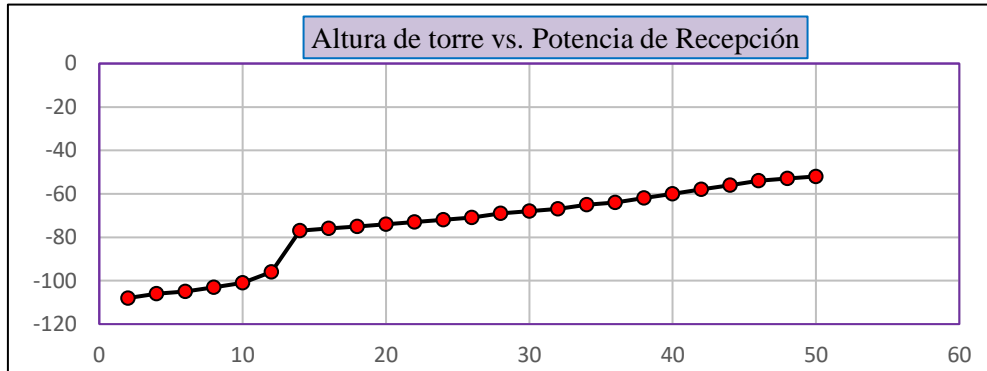
Resultados de pruebas en el Enlace de Torre 02 hasta Torre 01

N° de pruebas	CONSTANTE					VARIABLE	RESULTADO				
	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Tamaño de Antena (m)	Altura de Torre (m)	Potencia de Recepción (dBm)	Ancho de Banda (Mbps)	Disponibilidad %	Fade Margin (dB)	Línea de vista (LOS)
1						2	(- 108)	0.00	0.00	-31.63	No
2						4	(- 106)	0.00	0.00	-30.49	No
3						6	(- 105)	0.00	0.00	-29.12	No
4						8	(- 103)	0.00	0.00	-27.37	No
5						10	(- 101)	0.00	0.00	-24.87	No
6						12	(- 96)	0.00	0.00	-20.02	No
7						14	(- 77)	9.00	98.9991	-0.51	No
8						16	(- 76)	9.00	99.5444	0.28	No
9						18	(- 75)	9.00	99.8184	1.14	No
10						20	(- 74)	9.00	99.9373	2.06	No
11						22	(- 73)	9.00	99.9817	3.05	No
12						24	(- 72)	9.00	99.9956	4.12	No
13	54.00	5.8	40	23	1.20	26	(- 71)	9.00	99.9992	5.28	No
14						28	(- 69)	9.00	99.9999	6.53	No
15						30	(- 68)	9.00	100.00	7.86	No
16						32	(- 67)	41.00	99.3656	9.29	No
17						34	(- 65)	41.00	99.809	10.81	No
18						36	(- 64)	41.00	99.9581	12.41	No
19						38	(- 62)	41.00	99.9934	14.10	No
20						40	(- 60)	41.00	99.9993	15.85	No
21						42	(- 58)	41.00	99.9999	17.68	No
22						44	(- 56)	41.00	100.00	19.56	Si
23						46	(- 54)	41.00	100.00	21.50	Si
24						48	(- 53)	41.00	100.00	23.49	Si
25						50	(- 52)	41.00	100.00	24.38	Si

Nota. La tabla muestra los datos con los valores más relevantes de las pruebas en Cambium Network, se observa que, desde la torre de (44 metros), resaltado de rojo, existe una disponibilidad óptima con tamaño de antena 1.20 m de diámetro.

Figura 41

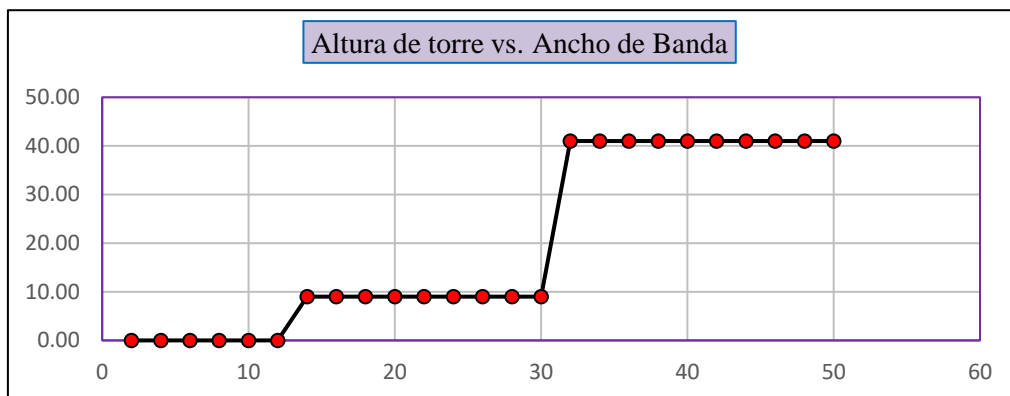
Total, de pruebas en la Potencia de Torre 1



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la potencia de recepción con la altura de la Torre 1 del Enlace 2.

Figura 42

Total, de pruebas en el ancho de banda para la Torre 1

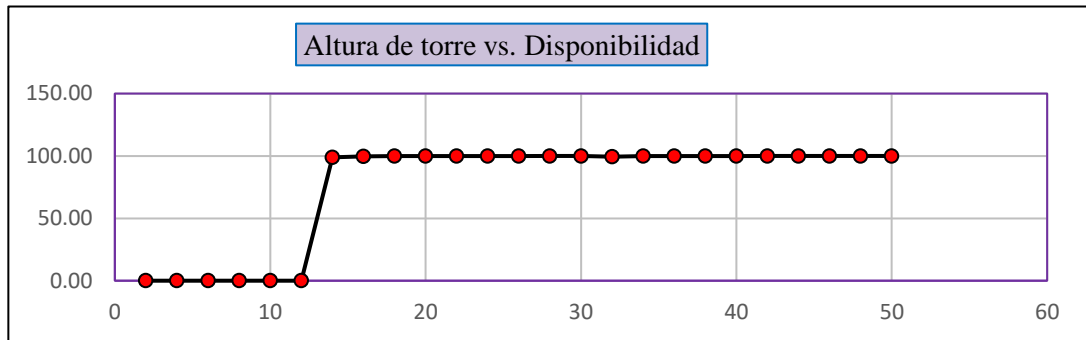


Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en el ancho de banda con la altura de la Torre 1 del Enlace 2.

Luego de un ajuste similar al realizado anteriormente, para hacer frente a las condiciones climáticas de la zona y en aras de comparar las tasas de transferencia, se varía la altura de la antena hasta 44 m, lográndose -45 dB, mejorando el resultado teórico de forma apreciable. De igual forma, al variar la altura de la antena, como se aprecia en la Figura 35, se aprecia que a partir de 32 m se alcanza una tasa de transferencia de 42 Mbps de forma sostenida, valor que cumple con el requerimiento de ancho de banda del sistema. Para satisfacer potencia recibida y ancho de banda, con la mínima altura necesaria, se determina la instalación en 44 m.

Figura 43

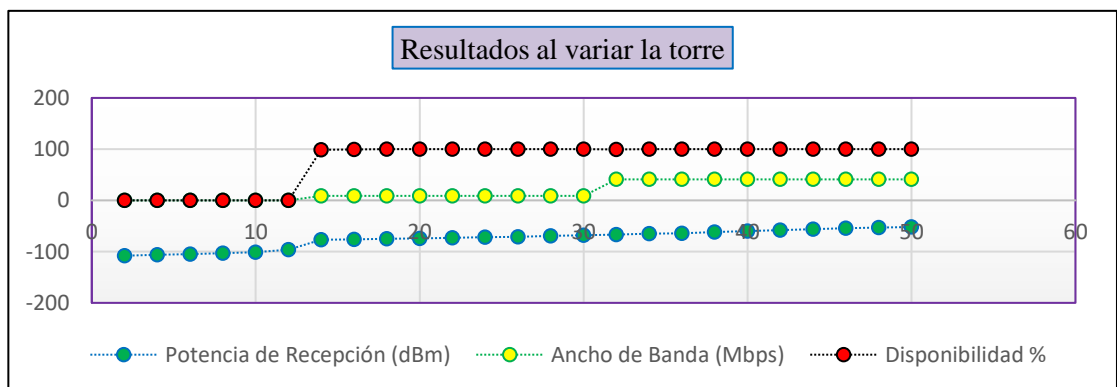
Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 1



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la Disponibilidad (Porcentaje) con la altura de la Torre 1 del Enlace 2.

Figura 44

Total, de pruebas en la entrada de Torre 1



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la entrada de Torre 1 del Enlace 2.

Tabla 16

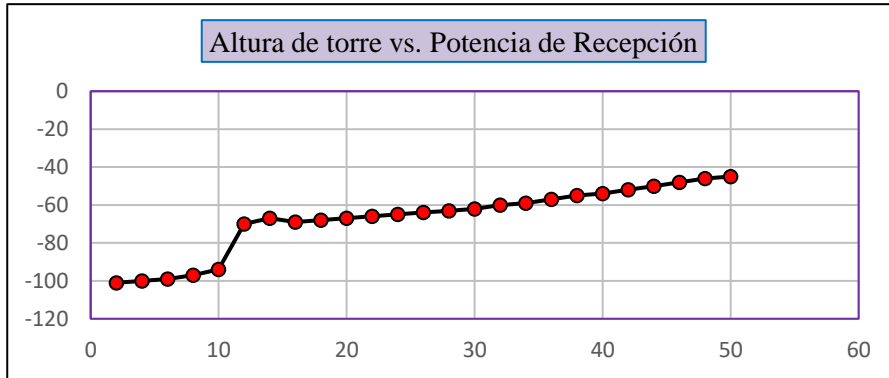
Resultados de pruebas en el Enlace Torre 02 hasta Torre 01

N° de pruebas	CONSTANTE					VARIABLE	RESULTADO				
	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Tamaño de Antena (m)	Altura de Torre (m)	Potencia de Recepción (dBm)	Ancho de Banda (Mbps)	Disponibilidad %	Fade Margin (dB)	Línea de vista (LOS)
1						2	(- 101)	0.00	0.00	-25.25	No
2						4	(- 100)	0.00	0.00	-24.11	No
3						6	(- 99)	0.00	0.00	-22.74	No
4						8	(- 97)	0.00	0.00	-20.99	No
5						10	(- 94)	0.00	0.00	-18.49	No
6						12	(- 70)	0.00	0.00	-13.64	No
7						14	(- 67)	9.00	99.9932	5.87	No
8						16	(- 69)	9.00	99.997	6.66	No
9						18	(- 68)	9.00	99.9989	7.52	No
10						20	(- 67)	9.00	99.9996	8.44	No
11						22	(- 66)	9.00	99.9999	10.43	No
12						24	(- 65)	9.00	100.00	11.50	No
13	54.00	5.8	40	23	1.80	26	(- 64)	41.00	99.0866	11.66	No
14						28	(- 63)	41.00	99.5456	12.91	No
15						30	(- 62)	41.00	99.8009	14.24	No
16						32	(- 60)	41.00	99.9283	15.67	No
17						34	(- 59)	41.00	99.979	17.19	No
18						36	(- 57)	41.00	99.9956	18.79	No
19						38	(- 55)	41.00	99.9993	20.48	No
20						40	(- 54)	41.00	99.9999	22.23	No
21						42	(- 52)	41.00	100.00	24.06	Si
22						44	(- 50)	41.00	100.00	25.94	Si
23						46	(- 48)	41.00	100.00	27.88	Si
24						48	(- 46)	41.00	100.00	29.87	Si
25						50	(- 45)	41.00	100.00	30.76	Si

Nota. La tabla muestra los datos con los valores más relevantes de las pruebas en Cambium Network, se observa que desde el tamaño de torre (42 metros) donde se resalta (Rojo) se obtiene una disponibilidad óptima con una antena de tamaño de 1.80 m de diámetro

Figura 45

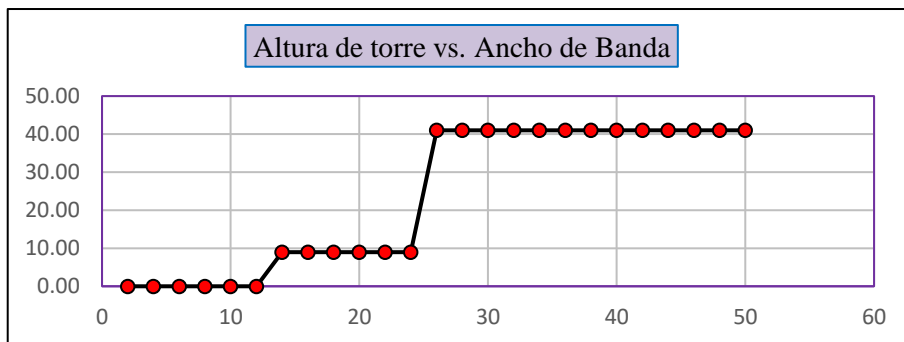
Total, de pruebas en Potencia de Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la potencia de recepción con la altura de la Torre 2 del Enlace 2.

Figura 46

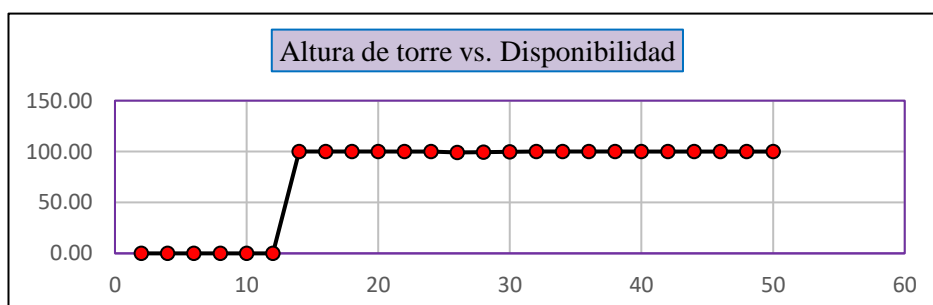
Total de pruebas en el ancho de banda para la Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en el ancho de banda con la altura de la Torre 2 del Enlace 2.

Figura 47

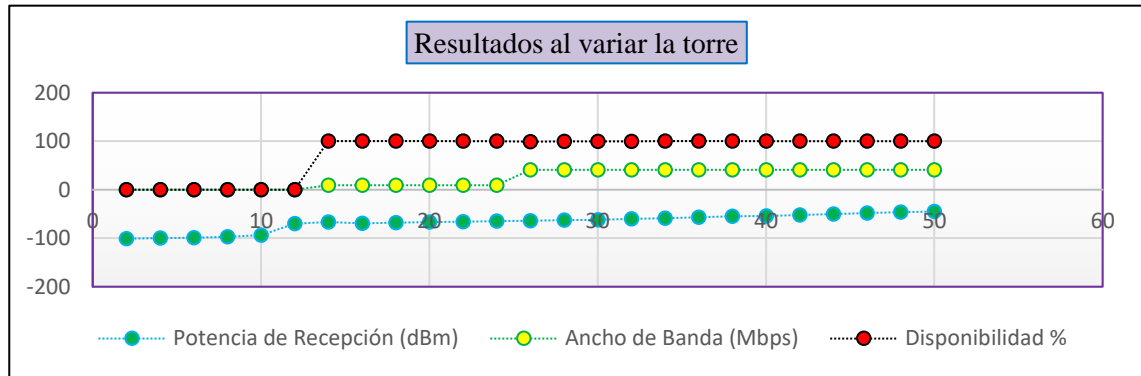
Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la Disponibilidad (Porcentaje) con la altura de la Torre 2 del Enlace 2.

Figura 48

Total de pruebas en la entrada de Torre 2



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la entrada de Torre 2 del Enlace 2.

- 0.60 km de distancia

En un análisis del enlace de 0.6 Km distancia, los resultados teóricos brindan una potencia de recepción de - 48.06dBm, con potencia de transmisión de 23dBm, en frecuencia de 5.8 GHz, frente a una recepción de -46dBm +- 7 dB, resultante de la simulación.

De igual forma, por las condiciones climáticas y en aras de lograr una mayor tasa de transferencia, se varía la altura de la antena hasta 30 m, lográndose -53 dB, resultado relativamente similar a los cálculos teóricos.

Tabla 17

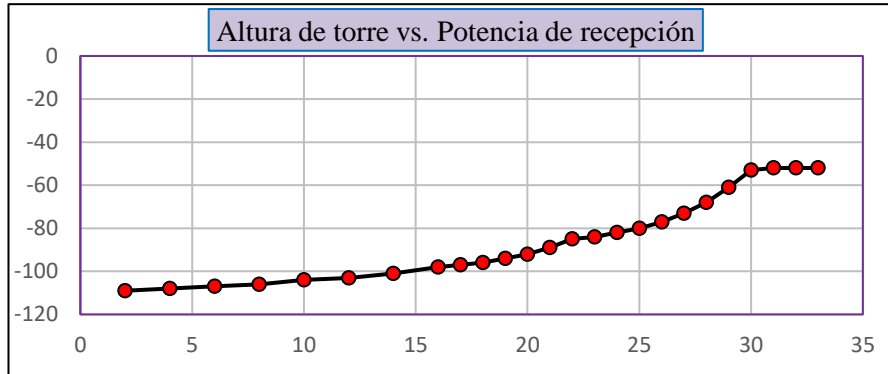
Resultados de pruebas en el Enlace Torre 01 hasta Data Center Corihuarmi

N° de pruebas	CONSTANTE					VARIABLE	RESULTADO				
	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Tamaño de Antena (m)	Altura de Torre (m)	Potencia de Recepción (dBm)	Ancho de Banda (Mbps)	Disponibilidad %	Fade Margin (dB)	Línea de vista (LOS)
1						2	(- 109)	0.00	0.00	-35.91	No
2						4	(- 108)	0.00	0.00	-35.01	No
3						6	(- 107)	0.00	0.00	-34.00	No
4						8	(- 106)	0.00	0.00	-32.84	No
5						10	(- 104)	0.00	0.00	-31.48	No
6						12	(- 103)	0.00	0.00	-29.83	No
7						14	(- 101)	0.00	0.00	-27.69	No
8						16	(- 98)	0.00	0.00	-25.32	No
9						18	(- 97)	0.00	0.00	-22.86	No
10	0.60	5.8	40	14	0.30	20	(- 96)	0.00	0.00	-19.10	No
11						22	(- 94)	0.00	0.00	-12.48	No
15						24	(- 84)	14.00	15.1498	-9.24	No
18						26	(- 77)	14.00	96.9001	-4.26	No
20						28	(- 68)	14.00	100.00	4.84	No
21						29	(- 61)	28.00	100.00	11.87	No
22						30	(- 53)	42.00	100.00	20.18	Si
23						31	(- 52)	42.00	100.00	20.54	Si
24						32	(- 52)	42.00	100.00	20.54	Si
25						33	(- 52)	42.00	100.00	20.54	Si

Nota. La tabla muestra los datos con los valores más relevantes de las pruebas en Cambium Network, se observa que desde el tamaño de torre (30 metros), donde se resalta (Rojo) se obtiene una disponibilidad óptima con una antena de tamaño 0.30 m de diámetro

Figura 49

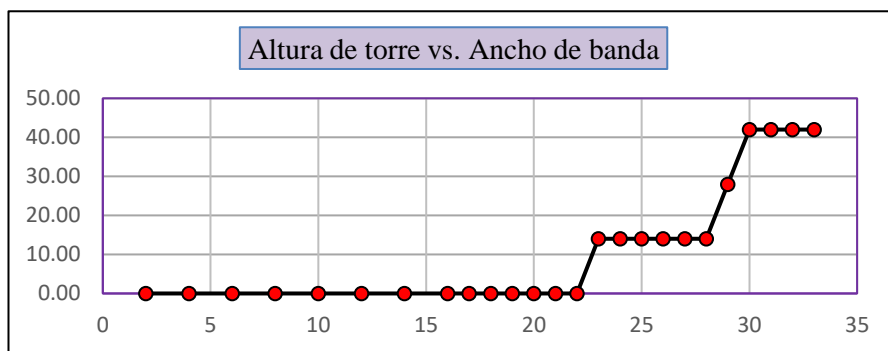
Total de pruebas en la Potencia de Torre 1



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la potencia de recepción con la altura de la Torre 1 del Enlace 2.

Figura 50

Total de pruebas en el ancho de banda para la Torre 1



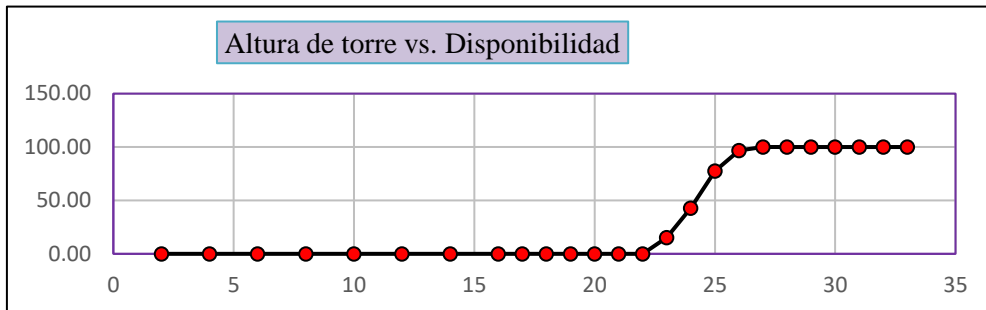
Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en el ancho de banda con la altura de la Torre 1 del Enlace 2.

Realizando ajustes en la altura de la antena y en aras de comparar las tasas de transferencia, se varía dicha distancia, lográndose -53 dB, mejorando el resultado teórico de forma apreciable.

De igual forma, al variar la altura de la antena, como se aprecia en la Figura 35, se aprecia que a partir de 30 m se alcanza una tasa de transferencia de 42 Mbps de forma sostenida, valor que cumple con el requerimiento de ancho de banda del sistema.

Figura 51

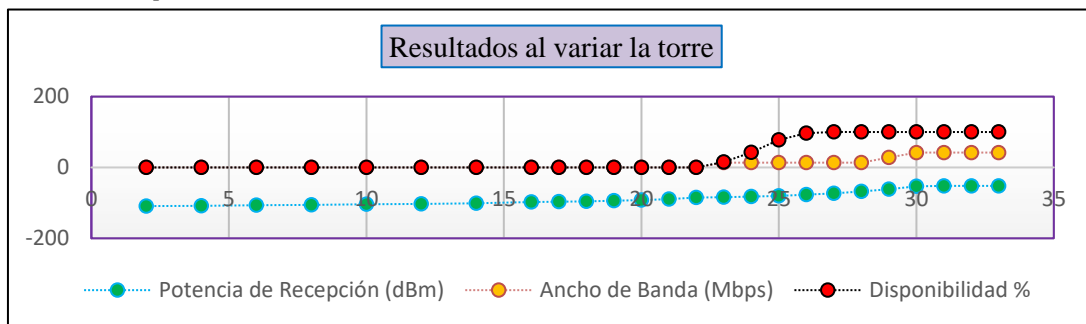
Total, de pruebas en la disponibilidad de Torre 1



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la Disponibilidad (Porcentaje) con la altura de la Torre 1 del Enlace 2.

Figura 52

Total de pruebas en la entrada de Torre 1



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la entrada de Torre 1 del Enlace 2.

Tabla 18

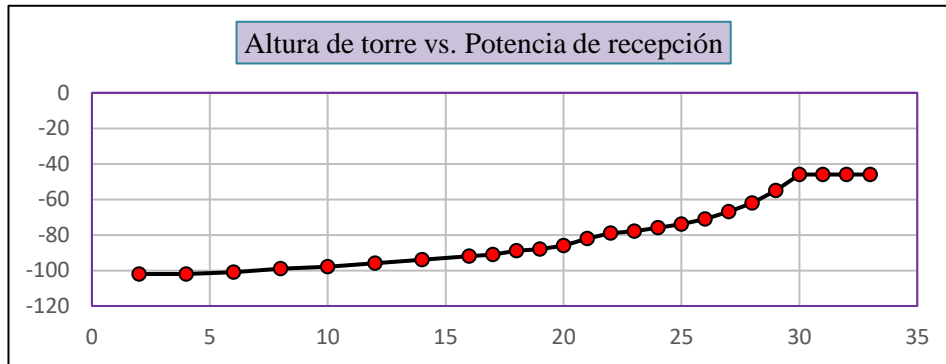
Resultados de pruebas del Enlace Torre 01 hasta Data Center Corihuarmi

N° de pruebas	CONSTANTE					VARIABLE	RESULTADO				
	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Tamaño de Antena (m)	Altura de Torre (m)	Potencia de Recepción (dBm)	Ancho de Banda (Mbps)	Disponibilidad %	Fade Margin (dB)	Línea de vista (LOS)
1						2	(- 102)	0.00	0.00	-25.65	No
2						4	(- 102)	0.00	0.00	-24.65	No
3						6	(- 101)	0.00	0.00	-23.74	No
4						8	(- 99)	0.00	0.00	-22.58	No
5						10	(- 98)	0.00	0.00	-21.22	No
6						12	(- 96)	0.00	0.00	-19.57	No
7						14	(- 94)	0.00	0.00	-17.43	No
8						16	(- 92)	0.00	0.00	-15.06	No
10						18	(- 89)	0.00	0.00	-12.60	No
12	0.60	5.8	40	14	0.60	20	(- 86)	14.00	18.4471	-8.84	No
14						22	(- 79)	14.00	94.2236	-2.22	No
16						24	(- 76)	14.00	99.4001	1.20	No
18						26	(- 71)	14.00	99.9937	6.00	No
20						28	(- 62)	28.00	100.00	15.10	No
21						29	(- 55)	42.00	100.00	22.13	Si
22						30	(- 46)	42.00	100.00	30.44	Si
23						31	(- 46)	42.00	100.00	30.80	Si
24						32	(- 46)	42.00	100.00	30.80	Si
25						33	(- 46)	42.00	100.00	30.80	Si

Nota. La tabla muestra los datos con los valores más relevantes de las pruebas en Cambium Network, se observa que desde el tamaño de torre (29 metros) donde se resalta (Rojo) se obtiene una disponibilidad óptima con una antena de tamaño de 0.60 m de diámetro

Figura 53

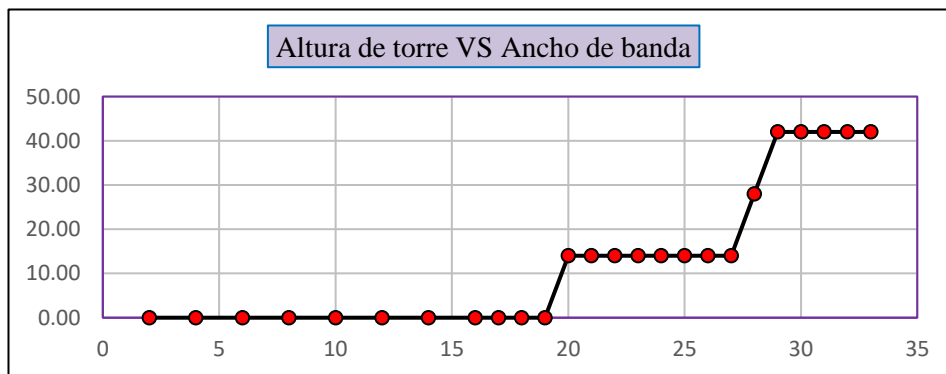
Total, de pruebas en la Potencia de la Oficina Corihuarmi



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la potencia de recepción con la altura de la Oficina Corihuarmi en el Enlace 3.

Figura 54

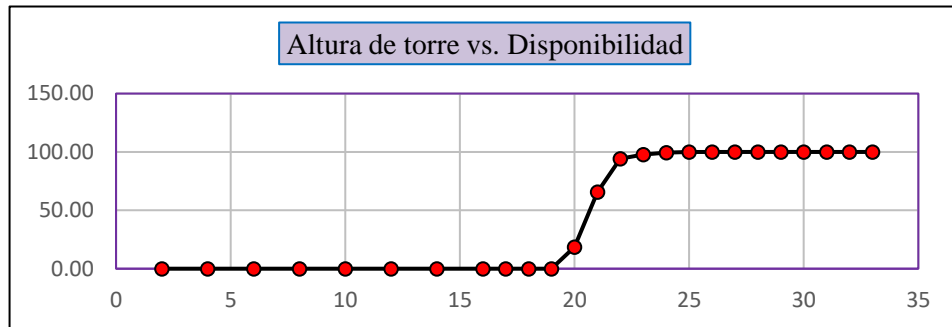
Total, de pruebas en el ancho de banda para la Oficina Corihuarmi



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en el ancho de banda con la altura de la torre de la Oficina Corihuarmi en el Enlace 3.

Figura 55

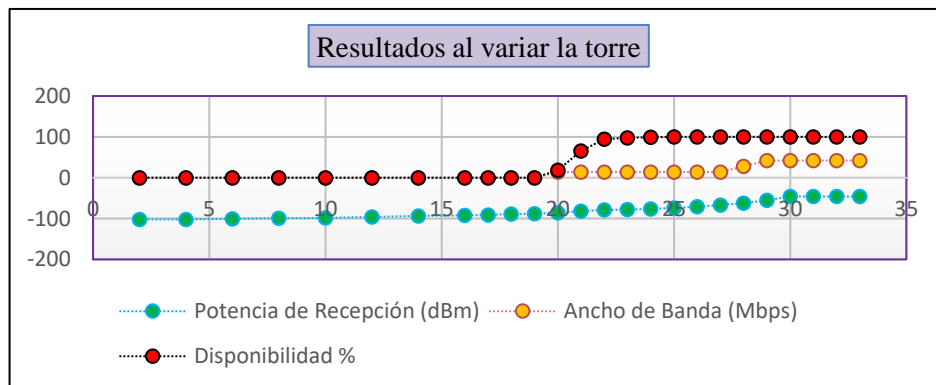
Total, de pruebas en la disponibilidad de Oficina Corihuarmi



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la Disponibilidad (Porcentaje) con la altura de la torre en la Oficina Corihuarmi en el Enlace 3.

Figura 56

Total, de pruebas en la entrada de la Oficina Corihuarmi



Nota. La gráfica representa todas las simulaciones de pruebas realizadas en la entrada de la Oficina Corihuarmi en el Enlace 3.

Con los ajustes en las alturas de las antenas realizadas se logra un radioenlace estable, que permite una tasa de transferencia extremo a extremo de 42 Mbps(carga)/42 Mbps(decarga), lo que satisface los requerimientos planteados por la muestra de estudio, de 44.06 Mbps, suponiendo 95 usuarios conectados de forma simultánea generando los tráficos seleccionados, situación que normalmente no es común evidenciar.

CONCLUSIONES

Se procedió a considerar a la zona beneficiaria, la mina de oro Corihuarmi ubicada a casi 5000 msnm en la cordillera de los andes del centro de Perú, entre las regiones de Lima, Junín y Huancavelica con coordinada geográfica latitud 12°34'37.85"S longitud 75°34'23.76"O altitud 4775 msnm, con clima variado desde -5°C hasta 11°C, cuenta con 120 usuarios de telefonía e Internet.

Tras el estudio para los 120 usuarios de telefonía e Internet de la minera, se concluyó se requiere un mínimo de 69 Mbps como ancho de banda agregado; para esta investigación se consideró un ancho de banda de 80 Mbps agregado simétrico con 40 Mbps (tanto de carga como de descarga) fundamentando el crecimiento a futuro.

En esta tesis se efectuó la identificación de los lugares con el software "Google Earth" para el modelamiento de la red de radioenlace microondas, constituida por cuatro torres de comunicaciones; una torre principal existente como maestro Telefónica Del Perú ubicada (latitud 12°4'15.64", longitud 75°12'32.41" y altitud 3252 msnm), estación Torre 02 ubicada (latitud 12°11'41.96", longitud 75°15'54.46" y altitud 4428 msnm), estación Torre 01 ubicada (latitud 12°34'51.50", longitud 75°34'9.20" y altitud 4912 msnm) estas dos estaciones se desempeñan como repetidores y estación Oficina Corihuarmi como esclavo ubicada (latitud 12°34'38.01", longitud 75°34'23.65" y altitud 4780 msnm).

En el presente estudio se calculó las alturas de las torres de comunicaciones con el software de simulación Link Planner propietario de Cambium Network, logrando demostrar para la estación Torre 01 y Torre 02 se requiere construir torres de 45 metros de altura como mínimo para conseguir línea de vista libre de la zona de Fresnel alcanzando así un enlace óptimo.

En el presente proyecto de modelamiento de un sistema de telecomunicaciones a través de radioenlaces vía microondas se concluyó que se empleará seis antenas parabólicas direccionales; dos antenas Cambium Networks RDH4509C (32.6dBi) para

el enlace estación TDP hacia estación Torre 02, dos antenas Cambium Networks 6ft RDH4511C (38.2dBi) para el enlace de estación Torre 02 hacia estación Torre 01 y dos antenas Cambium Networks ePMP Forece 190 (21.6dBi).para el enlace de estación Torre 01 hacia estación Corihuarmi.

En síntesis, al ser tedioso los cálculos matemáticos el software Link Planner se considera como una aplicación complementaria para diseño de enlaces microondas PTP (Punto a Punto) determinando los cálculos de potencia de recepción (PRx), ancho de banda (BW), disponibilidad del sistema, la altura en la torre en donde se instalará la antena

Finalmente se concluye con los datos obtenidos mediante el software link Planner el enlace es factible, por lo que se puede iniciar con la implementación de la red en la empresa minera, específicamente, con una red de comunicación de enlace microondas.

Este proyecto, en particular, queda a disposición de la empresa Minera IRL SA unidad Corihuarmi en el aspecto de la recomendación al implementar la red de telecomunicaciones cuando se desee mejorar en un futuro y al término de la implementación se obtendrá una para mejor comunicación y rapidez, es preciso el continuo monitoreo del proyecto, esto permitirá solucionar rápidamente el problema que se pueda presentar en cualquier situación en un determinado momento dependerá mucho de la cantidad de información que tengamos a nuestra disposición, con respecto al diseño en la red de comunicación.

RECOMENDACIONES

Para determinar las coordenadas de los sitios se recomienda utilizar equipo GPS (sistema de posicionamiento global) que tiene una constelación con un mínimo de 24 satélites es por ello permite diferentes rangos de precisión. Los receptores de GPS Garmin tienen una precisión 5 a 10 metros (16 a 33 pies) en condiciones normales.

Estudiar la implementación del radioenlace utilizando la banda de 6 Ghz en caso de ser liberada, para lograr mayores capacidades.

Implementar un sistema de vigilancia mediante cámaras de video, para la protección de estaciones remotas, utilizando para ello el radio enlace principal existente.

Para la construcción de estructura de torre de comunicaciones se recomienda considerar en el diseño el cálculo estructural de acuerdo a las normas de la asociación de la industria de Telecomunicaciones de la industria electrónica (TIA/EIA 222-G).

Se recomienda para diseñar una red de radioenlace microondas se debe tener en cuenta la cantidad de usuarios de servicio de telefonía e Internet, de acuerdo este dato se debe calcular el bitrate deseado; realizado esto, se debe definir, la frecuencia, ancho de canal, marca de equipos, ganancia, sensibilidad y codificación de los equipos seleccionados. Asimismo, se debe considerar la definición estratégica de la ubicación de las torres de telecomunicaciones con el objetivo de evitar inconvenientes en el diseño, obteniendo así una correcta línea de vista, lo cual conlleva el establecimiento de una comunicación continua con una velocidad eficiente.

En la tecnología de los equipos que se usen para radioenlaces microondas se debe considerar las características de una buena ganancia y el soporte de frecuencia prudente de las antenas, adaptándolas hacia la mejor conexión cuando inicialmente se pueda definir la distancia, pero en caso de que suceda algún tipo de extremo, como una alta intensidad de fenómeno natural u obstáculos que puedan comprometer la red de comunicación en el equipo y, por lo tanto, no permitan obtener la conexión del

enlace microondas correcta, se debe tomar en cuenta las observaciones que contemplen estos inconvenientes, adhiriéndose de la mejor manera a la continuidad del servicio y cambiando las alturas para los repetidores.

Como recomendación final, ninguna implementación es fácil, ya que el desarrollo de la parte teórica de un proyecto es diferente a la realización de la práctica, porque es donde surgen los problemas y las soluciones de ellas mismas.

Realizar el mantenimiento preventivo a las torres de comunicaciones, a los equipos de radioenlace, sistema de energía y sistema puesta a tierra lo que permitirá que el servicio se mantenga en un estado óptimo en cuanto a su funcionamiento y no presente fallas a futuro.

Las actividades de instalación y mantenimiento deben ser realizadas por personal capacitado y certificado.

Bibliografía

- Ballon. (2020). *Diseño del subsistema de microondas para una red Punto a Punto y Punto a Multipunto para brindar los servicios de Internet e Intranet en las regiones de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica*. Tesis de titulación, Universidad Católica San Pablo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucsp.edu.pe/items/cc6d875c-5d7b-4fb5-a51f-b849798ca6fe>
- Bernal, J., Bocanegra, J., & Colorado, L. (2021). *Diseño y simulación de un enlace terrestre punto a punto para un cliente privado ubicado en el centro zonal de Leticia*. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de México, Mexico. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu.co/handle/20.500.12962/2014>
- Caamaño, J., & Rubio, S. (2017). *Estudio y diseño de un radio enlace entre el municipio de Sampués y la Institución Educativa Indígena San Francisco el Paki*. Institución Politécnica Gran Colombiano, Colombia. Obtenido de https://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/926/Caamano_Rubio_Opcion_Grado_II.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Caballero, C. (2019). *Creando Perfiles Topográficos*. Obtenido de <https://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/CT-ICT/PerfilesTopograficos.html>
- Castro, J. (2017). *Implementación De Un Enlace Microondas Para Una Empresa Hidroeléctrica Entre El Distrito De Chosica-Huarochirí Cerro Pulmón Y El Distrito San Juan De Lurigancho Sede–Santa Rosa*. Tesis de titulación, Perú. Obtenido de <https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/handle/123456789/420>
- CenturyLink. (2022). *¿Qué velocidad de internet necesito?* Obtenido de <https://espanol.centurylink.com/home/help/internet/what-internet-speed-do-i-need.html#:~:text=La%20FCC%20recomienda%20una%20velocidad,frecuente%20o%20simult%C3%A1nea%20en%201%C3%ADnea>.
- Céspedes, C. (2015). *Análisis de la red actual de radio enlace de la Empresa Promarisco y recomendaciones de optimización en las comunicaciones y agilidad de sus servicios*. Tesis de titulación, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20260>
- Cevallos, J. (2017). *Estudio de factibilidad para la aplicación de estándares de seguridad en redes locales inalámbricas de la carrera de Ingeniería en Sistemas computacionales de la Universidad Estatal del sur de Manabí*. Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur Manabí, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/977>
- Chapoñan, C., & Vidaurre, D. (2016). *Diseño de una red de telemetría para supervisar la red hidrometeorológica del proyecto especial Olmos Tinajones*. Tesis de titulación, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/468>
- Chicaiza, P. (2012). *Rediseño del arreglo de antenas Back-to-Back del radioenlace de microonda entre las estaciones de San Juan y Chiriboga, del SOTE en la banda de 7 Ghz*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4531/1/CD-4148.pdf>
- Clemente, M. (2013). *Modulación Adaptativa y diversidad en canales de comunicaciones acústicas subacuáticas*. Tesis doctoral, Universidad de Málaga, España. Obtenido de <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/5802>
- Comunicaciones, M. T. (2019). *Plan Nacional de Atribuciones de frecuencias*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/721712-mtc-publica-el-plan-nacional-de-atribuciones-de-frecuencias-actualizado-al-2023>
- Córdova, J. (2019). *Diseño de red de radioenlaces vía microondas para acceso al servicio*

- de Internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambogrande*. Tesis de titulación, Universidad Nacional de Piura, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1575/ELE-COR-SAN-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz, V. (2012). *Diseño de un codificador de imágenes adaptativo multitransformada mediante el uso de la transformada Karhunen-Loève*. Tesis de grado, Universidad Carlos III de Madrid, España. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17187>
- Cuya, J., & Solis, R. (2021). *Diseño de una red microondas con servidor de contenidos para el uso de TICS en el distrito de Padre Abad, Ucayali, 202*. Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/4549>
- Díaz, H., & Romero, D. (2020). *Diseño de un sistema radioeléctrico para la empresa Ecuatronix en el sector de Cayambe*. Tesis de titulación, Universidad Politecnica Salesiana, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1575/ELE-COR-SAN-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, R. (2015). *Diseño de radioenlace microondas isla San Lorenzo-Campus PUCP para el proyecto Perú Magneto*. Tesis de titulación, Pontifica Universidad Catolica del Perú, Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7038>
- Dionicio, G., Cumapa, E., & Vicente, P. (2018). *Diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHZ para el monitoreo y control de estaciones de Sedapal en el esquema Cieneguilla*. Tesis de titulación, Universidad Nacional del Callao. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3436>
- Esopo. (2018). *Espectro electromagnético*. . Obtenido de <https://es.scribd.com/document/528083617/Espectro-electromagnetico-EsOpo>
- Fernández, M. (2020). *Manual para la correcta selección de antenas en proyectos de telefonía móvil, a través de la correcta comparación de sus parámetros básicos y la simulación de su patrón de radiación por Software*. Tesis de titulación, Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/15306>
- García, R. (2021). *Diseño e Implementación de Antenas MIMO*. Tesis de grado , Universidad Autonoma de Madrid, España. Obtenido de <https://repositorio.uam.es/handle/10486/693343>
- Gonzalez, G. (2018). *Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial*. Tesis de grado, Universidad Abierta de Cataluña, España. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria.pdf>
- González, R., Perez, V., Daza, D., & Carrillo, J. (2012). Soluciones para la monitorización de trabajadores en obra mediante tecnologías inalámbricas. *Revista Seguridad y Ambiente, 1*(125), 10-21. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/23421/Soluciones%20para%20la%20monitorizacion%20de%20trabajadores%20en%20obra%20Gonzalez%20Carvajal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara, J. (2002). *Sistemas de comunicación orientadas a la descentralización de las entidades públicas del país* . Tesis de titulación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/ingenie/guevara_j_j/Guevara_J_J.htm
- Hernández, J., & Parrao, E. (2007). *Diseño de enlace terrestre por línea de vista*. Tesis de titulación, Instituto Politecnico Nacional, Mexico. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5860>

- Hernandez, R., & Fernandez, C. (2019). *Metodología de la investigación*. Editorial Mc Graw Hill.
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2019). *Metodología de la investigación* (1 ed.). Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw Hill.
- Ladino, E., & Parra, B. (2018). *Diseño y simulación de una antena en frecuencia de microondas para la proyección de un radioenlace entre la Universidad Católica de Colombia y la Universidad de los Andes*. Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/c343590f-e5bc-472d-b8c7-dc5d33c999e9/content>
- Lavado, V., & Robles, C. (2019). *Diseño de la plataforma digital de monitoreo inteligente con tecnología NAS-RAID para el distrito de Punchana*. Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2608>
- Legla, C. (2019). *Propuesta de rediseño de red de datos de la empresa Cobrafacil*. Tesis de grado, Universidad Politecnica Salesiana, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16686>
- Llanos, J. (2019). *Diseño de radioenlaces de microondas terrestres entre las Ciudades de Bogotá y Cali*. Tesis de titulación, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Colombia. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/16294>
- López, S. (2019). *Desarrollo de una nueva funcionalidad de cálculo de radioenlaces para la herramienta RadioEarth*. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/7569/tfg-lop-des.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lozano, J. (2014). Investigación Aplicada. *Revista Ciencia America*, 3(1), 47-52.
- Martínez, A. (2019). *Configuración segura de radioenlaces IP para la unión de puestos de mando*. Tesis de grado, Universidad de Zaragoza, España. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/96780?ln=es>
- MTC. (2019). *Estaciones autorizadas de radiodifusión sonora*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344298-estaciones-autorizadas-de-radiodifusion-dgat-mtc>
- Oppenheimer, P. (2011). *Top-down Network Design*. Cisco Press.
- Peña, J. (2021). *Diseño de una red de banda ancha inalámbrica para los anexos del distrito de Puquina departamento de Moquegua*. Tesis de titulación, Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2506>
- Peñaherrera, J. (2019). *Desarrollo de una aplicación informática, para el análisis y balance de un radioenlace, bajo el software Matlab*. Tesis de titulación, Universidad de Israel, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2192>
- Prescornitoiu, B. (2019). *Estudio y diseño de constelaciones de nanosatélites en el marco de las comunicaciones IoT Universidad Carlos III de Madrid*. Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid, España. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/29810>
- Rábanos, J., Tomas, L., & Salis, J. (2013). *Transmisión por radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Ramos, M. (2017). *Sistema de Telemetría para el monitoreo de nivel del canal Norte entre las estaciones Cayetano, Amotape y presa Sullana del Proyecto Especial Chira Piura*. Tesis de titulación, Universidad Nacional de Piura, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1027/Cie-Ram-Rui->

- 17.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, J. (2018). *Alimentador Vivaldi de antenas parabólicas en la banda de 2,4 GHz*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba. Obtenido de <https://1library.co/document/q2nkoweq-alimentador-vivaldi-antenas-parabolicas-banda-ghz.html>
- Ruiz, B., & Gutierrez, O. (2020). *Análisis y comparación de la interfaz de radio de las redes de comunicación móviles celulares de 4G y 5G*. Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/25598>
- Sanchez, J. (2016). *Modulación adaptativa ACM (Adaptative Coding and Modulation)*. Obtenido de <https://telecomundo.wordpress.com/2016/10/16/modulacion-adaptativa-acm-adaptative-coding-and-modulation/>
- Sánchez, M., & Vargas, J. (2018). *Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura*. Tesis de titulación, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2017>
- Sernaqué, N. (2018). *Estudio y diseño de radioenlace inalámbrico para el ámbito de la junta de usuarios del sector hidráulico medio y bajo Piura; 2016*. Tesis de titulación, Universidad Católica Los Angeles de Chimbote, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/2590?show=full>
- Silvestre, I., & Huaman, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria*. Editorial San Marcos.
- Tapias, J., & Camacho, R. (2019). Caracterización de radioenlaces para interconectar el nuevo hospital de La Candelaria con sus puestos de salud en Purificación para el desarrollo de la telemedicina. *Cuaderno Activa*, 11(1), 121-136.
- Tarango, M. (2022). *Rutas de líneas de vista en un Radio Enlace*. Obtenido de <https://soporte.syscom.mx/es/articles/3616425-rutas-de-lineas-de-vista-en-un-radio-enlace>
- Toapanta, K., Vacacela, A., & Vera, J. (2018). *Sistema de radioenlace de la Estación Terrena Guayaquil*. Tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/42465>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. (Cuarta ed.). Person Educación.
- Valderrama, C., & Jaimés, S. (s.f.). *El desarrollo de la tesis descriptiva, correlaciona y cuasiexperimental* (1 ed.). San Marcos.
- Vázquez, F. (2011). *Diseño de una Red Inalámbrica Privada con Tecnología IP para el Servicio de Comunicaciones entre el Municipio de Ambato y sus Parroquias Rurales*. Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/68>
- Varo, R. (2021). *Simulación de comunicaciones vía satélite con HTZ*. Universidad de Sevilla, España. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11441/125975>

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

Título: DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES, CON RADIOENLACE MICROONDAS PARA TELEFONÍA E INTERNET EN LA EMPRESA MINERA IRL UNIDAD CORIHUARMI

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN		MÉTODO
		VARIABLES	OPERACIÓN DE VARIABLES	
¿Cómo diseñar un sistema de red de comunicaciones con radioenlace microondas que entregue calidad de servicios de telefonía e internet para la empresa minera IRL unidad Corihuarmi?	Diseñar una red de comunicaciones con radioenlace microondas utilizando el programa Link Planner que entrega calidad de servicios de telefonía e internet para la empresa Minera IRL unidad Corihuarmi.	<p>Red de comunicaciones con radioenlace microondas.</p> <p>Indicadores Potencia de Recepción Ancho de Banda Disponibilidad del enlace Margen de desvanecimiento. Línea de vista</p>	<p>La comunicación con radioenlace microondas se da mediante ondas de radio, que permiten transmitir datos entre dos ubicaciones topográficamente separadas. Es una conectividad inalámbrica, que transporta canales de Internet en la banda ancha entre los nodos de conexión.</p>	<p>Tipo de investigación Aplicativo.</p> <p>Nivel de investigación Descriptivo</p> <p>Diseño de investigación Experimental</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		<p>Potencia de recepción. - Es la</p>	<p>Método de investigación Ensayo-Error</p>

¿Cuál es el ancho de banda requerido del radioenlace microondas para cubrir las necesidades del servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?

Determinar el ancho de banda requerido del radioenlace microondas para cubrir las necesidades del servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.

¿Cuál será el nivel de potencia de recepción del radioenlace microondas para garantizar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?

Determinar la potencia de recepción del radioenlace microondas para garantizar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.

¿Cuál será la disponibilidad del radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?

Determinar la disponibilidad del radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.

¿Cuál será el margen de desvanecimiento del radioenlace microondas para certificar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?

Determinar el margen de desvanecimiento del radioenlace microondas para certificar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.

¿Tendrá línea de vista libre el radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi?

Comprobar la línea de vista libre del radioenlace microondas para asegurar el servicio de telefonía e internet en la minera IRL unidad Corihuarmi.

diferencia entre la potencia de transmisión y sus atenuaciones dan como resultado la potencia de recepción del sistema de comunicaciones, sumadas a las ganancias de las antenas según.

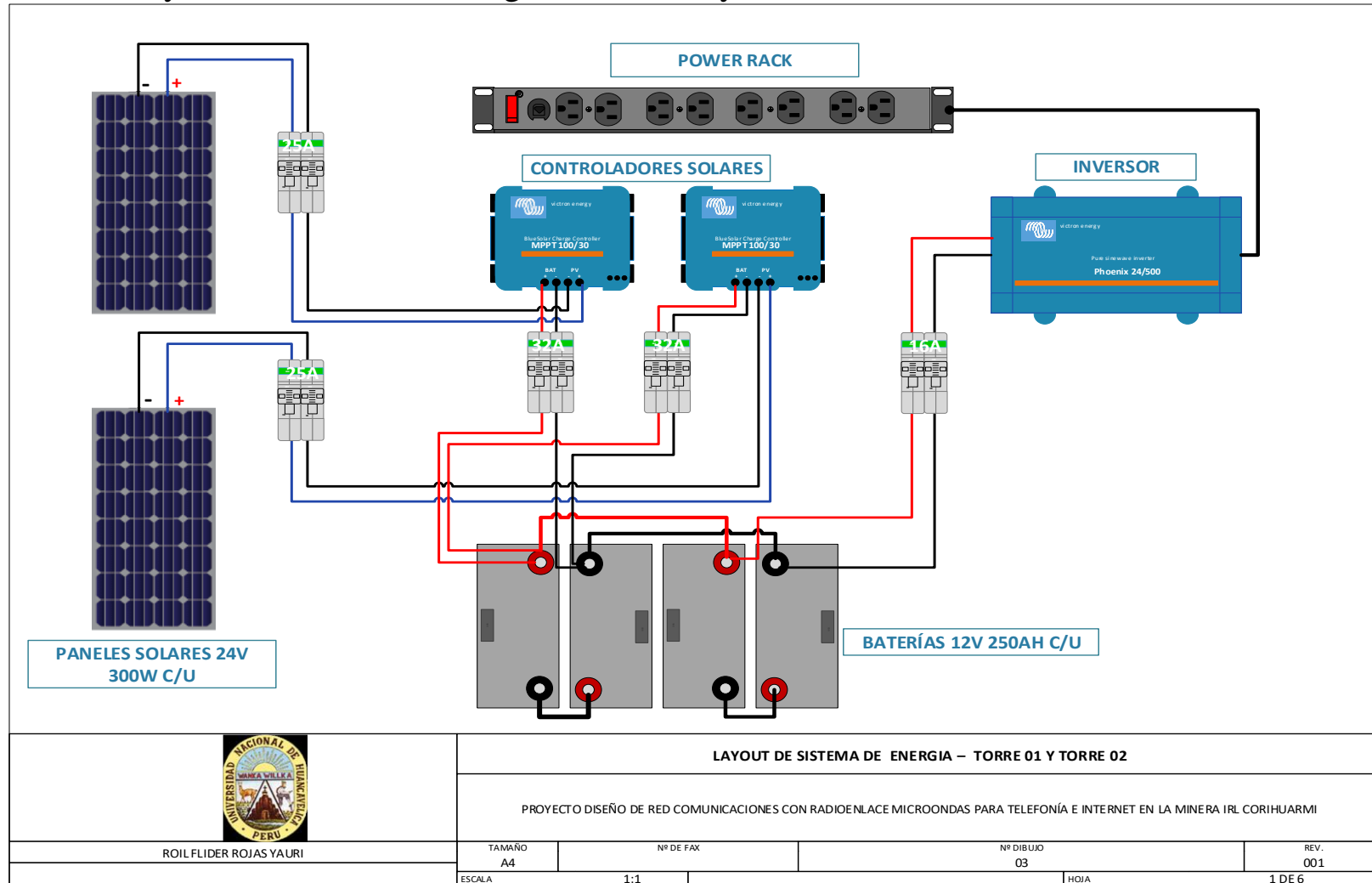
Ancho de Banda. - Se puede definir como la cantidad de información que se puede transmitir entre dos puntos en un periodo de tiempo de un segundo a través de un medio de comunicación (bps).

Disponibilidad. - La calidad de un radioenlace representa el grado en que éste está en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha diseñado.

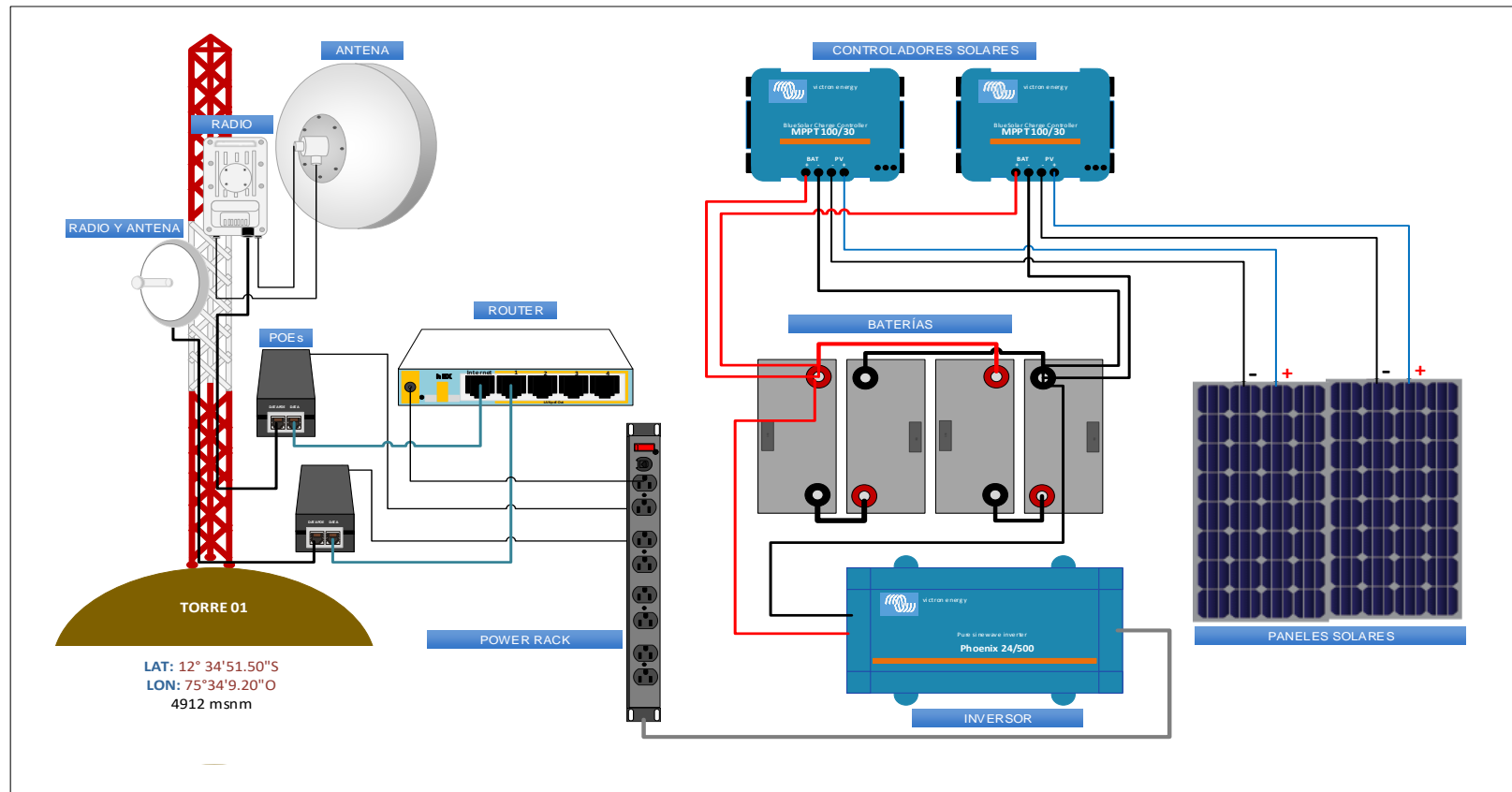
Margen de desvanecimiento. - definen al desvanecimiento como el valor que se obtiene del resultado de la diferencia entre la potencia y el umbral del receptor.

Línea de vista. - Línea de vista o LOS (Line of Sight), es una característica de un radioenlace, el cual establece que entre un punto 'a' y punto 'b' debe haber una línea recta

ANEXO 2. Layout de sistema de energía – Torre 01 y Torre 0

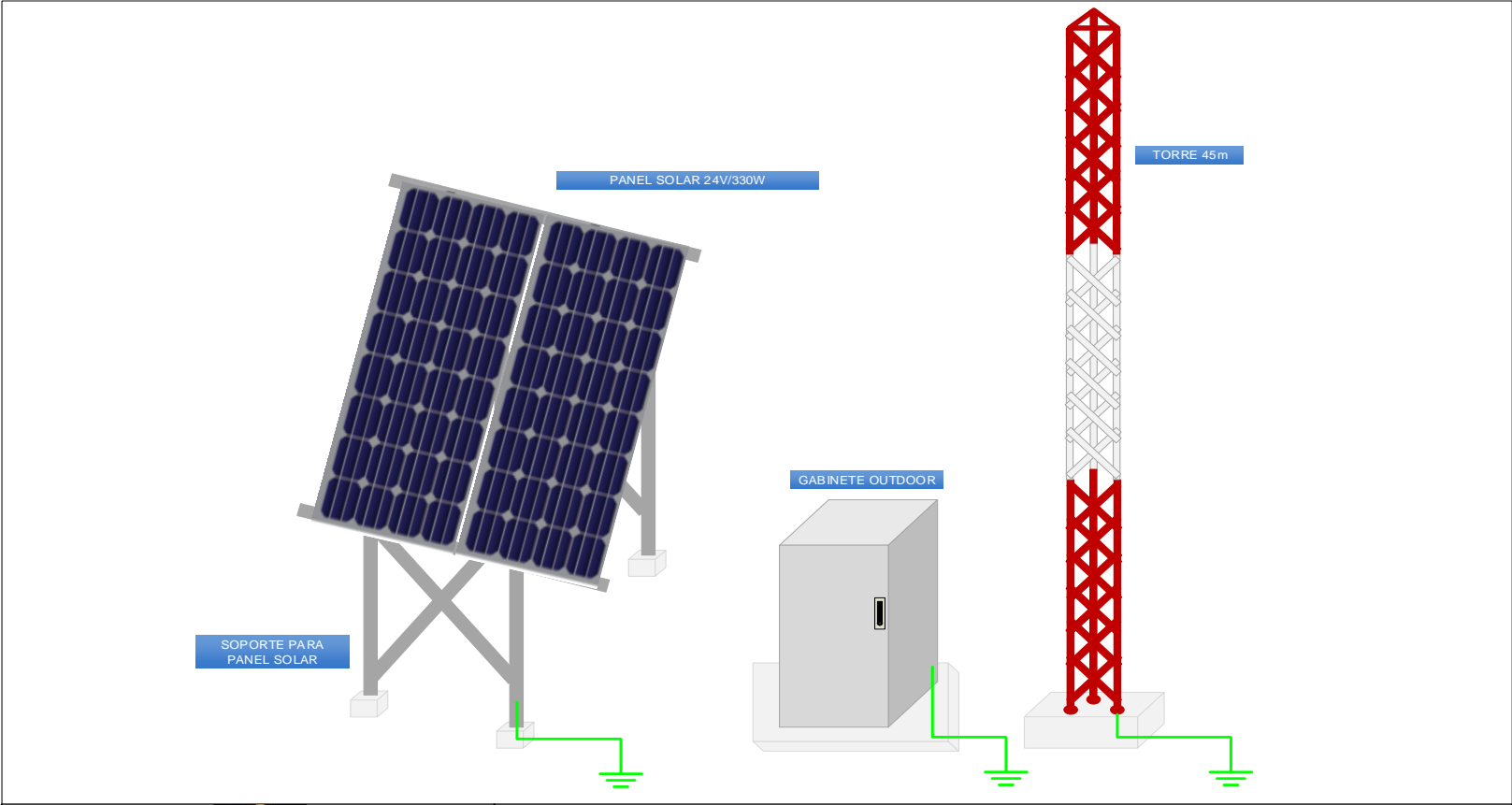


ANEXO 3. Layout de sistema de energía y Red Torre 01 y Torre 02



	LAYOUT DE SISTEMA DE ENERGIA Y SISTEMA RADIANTE			
	PROYECTO DISEÑO DE RED COMUNICACIONES CON RADIOENLACE MICROONDAS PARA TELEFONÍA E INTERNET EN LA MINERA IRL CORIHUARMÍ			
ROILFLIDER ROJAS YAURI	TAMAÑO A4	Nº DE FAX	Nº DIBUJO 03	REV. 001
	ESCALA 1:1		HOJA	1 DE 6

ANEXO 4. Layout de sistema infraestructura en las estaciones Torre 01 y Torre 02



	LAYOUT DE UBICACIÓN DE PANEL SOLAR, GABINETE Y TORRE DE COMUNICACIONES			
	PROYECTO DISEÑO DE RED COMUNICACIONES CON RADIOENLACE MICROONDAS PARA TELEFONÍA E INTERNET EN LA MINERA IRL CORIHUARMI			
ROIL FLIDER ROJAS YAURI	TAMAÑO A4	Nº DE FAX	Nº DIBUJO 03	REV. 001
	ESCALA 1:1		HOJA	1 DE 6

ANEXO 5. Layout de distribución de equipos en gabinete en estaciones Torre 01 y Torre 02

