



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR, PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA LOS
CUARTELES DEL CUERPO DE BOMBEROS COTACACHI”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software y cibersecurity (seguridad cibernética)

AUTOR:

Almeida Almeida Katherine Viviana

DIRECTOR:

Ing. Edgar Maya Alberto Olalla, MSc

Ibarra, 2025

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA
UNIVERSITARIA**

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003042098		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Almeida Almeida Katherine Viviana		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Luis Felipe Borja 21-22 y Víctor Gómez Jurado		
EMAIL:	kvalmeidaa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL	0982268555

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de un Sistema de Comunicaciones para los Cuarteles del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.
AUTOR (ES):	Almeida Almeida Katherine Viviana
FECHA:	12/02/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Telecomunicaciones
DIRECTOR:	MSc. Edgar Alberto Maya Olalla.
ASESOR:	MSc. Jorge Ricardo Benalcazar Gómez

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Katherine Viviana Almeida Almeida, con cédula de identidad Nro. 1003042098 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 12 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'KATHERINE ALMEIDA ALMEIDA', with a stylized flourish at the end.

Katherine Viviana Almeida Almeida

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días, del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink that reads "KATHERINE ALMEIDA". The signature is stylized with a large initial 'K' and a long, sweeping underline.

Katherine Viviana Almeida Almeida

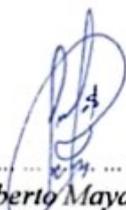
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 11 de febrero de 2025

Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



.....
Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSc.
C.C.: 1002702197

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Diseño de un Sistema de Comunicaciones para los cuarteles del Cuerpo de Bomberos Cotacachi" elaborado por Katherine Viviana Almeida Almeida, previo a la obtención del título de Ingeniera en Telecomunicaciones, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSc.
C.C.: 1002702197



.....
Ing. Jorge Ricardo Benalcazar Gómez, MSc.
C.C.: 1001632486

DEDICATORIA

A la memoria de mi amado padre, Edmundo Almeida, quien siempre será una fuente de inspiración en mi vida. Esta tesis está dedicada a su recuerdo, con la esperanza de honrar todo lo que me enseñó y el amor incondicional que siempre me brindó.

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, quiero agradecer a Dios por haberme brindado la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para superar los desafíos y alcanzar esta meta.

A mi padre y a mi madre, por estar siempre a mi lado, brindándome palabras de aliento y ánimo cuando más lo necesitaba.

También quiero expresar mi gratitud a mis amigos de esta travesía académica. Hemos compartido risas, desafíos y triunfos, y cada uno de esos momentos ha hecho que este viaje sea más llevadero y significativo.

Quiero manifestar mi agradecimiento al Ingeniero Edgar Maya, director de mi proyecto de titulación, y al Ingeniero Jorge Benalcázar, asesor del mismo. Su sabiduría y orientación fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Jaime Michilena, coordinador de la carrera de Telecomunicaciones, por su apoyo constante, su guía y dedicación.

Al Cuerpo de Bomberos Cotacachi, en especial al Cptn. (B) Giovanni Zamora Orbe, Jefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi, quiero expresar mi más sincero agradecimiento, esta tesis fue realizada con el objetivo de contribuir al noble trabajo que realizan diariamente. Su dedicación y compromiso para salvar vidas y proteger a la comunidad han sido una gran inspiración para mí. Gracias por permitirme ser parte de su equipo y por todo el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente, agradezco a la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas para una formación personal y profesional de calidad, brindándome muchas oportunidades y experiencias.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación aborda la problemática de la deficiente comunicación entre el cuartel central del Cuerpo de Bomberos Cotacachi y sus estaciones en zonas rurales, la situación geográfica del cantón afecta la capacidad de respuesta ante emergencias; el objetivo general fue diseñar un sistema de comunicaciones óptimo que mejore la interconectividad y facilite el acceso a los servicios de comunicación durante las operaciones de emergencia; se empleó la metodología PMBOK, abarcando las etapas de inicio, planificación, ejecución, desempeño y cierre; en la fase de planificación, se analizaron los servicios disponibles para su comunicación y las necesidades específicas del Cuerpo de Bomberos, y en la ejecución se diseñó una arquitectura de red utilizando características de equipos de fabricantes como LigoWave, Mikrotik y Ubiquiti, validando la propuesta mediante simulaciones; los resultados mostraron que mediante las características del equipo del fabricante seleccionado se pudo denotar mediante la simulación que el rango de cobertura es mayor, lo cual asegura una mejora significativa la transmisión de información en tiempo real con capacidad de respuesta rápida, superando las barreras geográficas gracias a la ubicación estratégica de cada uno de los nodos de la red de comunicaciones; se concluye que el nuevo diseño del sistema de comunicaciones es viable ya que mejora la eficiencia operativa y la seguridad en las zonas rurales donde se encuentra el Cuartel de Bomberos y las subestaciones que brindan el servicio a todo el cantón Cotacachi.

Palabras clave: Comunicación, cobertura, conectividad, emergencia, zonas rurales, radioenlace, infraestructura.

ABSTRACT

The present project addresses the issue of deficient communication between the central station of the Cotacachi Fire Department and its stations in rural areas. The geographical situation of the canton affects the response capacity during emergencies. The main objective was to design an optimal communication system that improves interconnectivity and facilitates access to communication services during emergency operations. The PMBOK methodology was used, encompassing the stages of initiation, planning, execution, performance, and closure. During the planning phase, the available communication services and the specific needs of the Fire Department were analyzed. In the execution phase, network architecture was designed using equipment features from manufacturers such as LigoWave, Mikrotik, and Ubiquiti, validating the proposal through simulations. The results demonstrated that, based on the features of the selected manufacturer's equipment, simulations indicated an extended coverage range, ensuring a significant improvement in real-time information transmission with rapid response capability. This overcame geographical barriers thanks to the strategic placement of each node in the communication network. It is concluded that the new communication system design is economically and technically viable, improving operational efficiency and safety in the rural areas where the Fire Department's central station and substations provide services across the entire Cotacachi canton.

Keywords: Communication, Coverage, Connectivity, Emergency, Rural Areas, Radio Link, Infrastructure.

LISTA DE SIGLAS

ARCOTEL. Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

STL. Studio Transmitter Link

GSM. Global System for Mobile Communications.

UMTS. Universal Mobile Telecommunications System.

LTE. Long-Term Evolution.

PLCP. Physical Layer Convergence Procedure.

PMD. Physical Medium Dependent.

MAC. Media Access Control

PHY. Physical layer.

CCC. Centro de Comando y Control

PoE. Power over Ethernet

PtP. Punto a Punto

PtMP. Punto a Multipunto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: Antecedentes	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
1.4. Alcance	6
1.5. Justificación	10
CAPÍTULO II: Fundamentación Teórica.....	13
2.1. Servicios de Telecomunicaciones.....	13
2.1.1. Sistema de Radio de dos vías VHF	13
2.1.2. Fundamentos de la Radiofrecuencia VHF.....	14
2.1.3. Componentes Sistemas de Radio de dos vías VHF.....	15
2.2. Enlace Inalámbrico WI-FI.....	17
2.2.1. Tipos de enlaces inalámbricos.....	17
2.2.2. Bandas de Frecuencia	18
2.2.3. Estándar IEEE 802.11	19
2.3. Servicio de Telefonía móvil	27
2.4. Servicio de Telefonía Fija.....	28
2.5. Sistemas de Comunicaciones en la Industria de Telecomunicaciones	30
2.5.1. LigoWave	31
2.5.2. MikroTik	31
2.5.3. Ubiquiti.....	32
CAPÍTULO III Diseño de Sistema de Comunicaciones	34
3.1. Metodología de diseño	34

3.2.	Requerimientos del Diseño del Sistema	35
3.2.1.	Generalidades	35
3.2.2.	Beneficiarios Stakeholders	37
3.2.3.	Nomenclatura de los requerimientos	38
3.2.4.	Determinación de parámetros.....	38
3.2.5.	Requerimientos del Sistema	39
3.2.6.	Requerimientos de Arquitectura.....	42
3.3.	Antecedentes de la situación demográfica	43
3.4.	Diagrama de bloques del Sistema de comunicación	44
3.5.	Dimensionamiento de la red.....	45
3.5.1.	Red Troncal Principal.....	46
3.5.2.	Red Troncal Secundaria	46
3.5.3.	Red de Acceso	46
3.6.	Selección de las ubicaciones de los nodos.....	47
3.6.1.	Perfiles topográficos de las estaciones	48
3.6.2.	Diseño de enlaces Red Principal	50
3.6.3.	Red de Respaldo	61
3.7.	Selección de Equipos.....	73
3.7.1.	Hardware	73
3.8.	Arquitectura de Red.....	91
CAPÍTULO IV: Resultados		93
4.1.	Jerarquización del Sistema de Comunicación.....	93
4.1.1.	Capa de núcleo	93
4.1.2.	Capa Distribución.....	93
4.1.3.	Capa de Acceso	94
4.2.	Cálculos de enlaces	96

4.2.1. Presupuesto de enlace.....	96
4.2.2. Cálculo de la distancia entre los nodos	101
4.2.3. Cálculo de la Pérdida de Espacio Libre (FSL)	105
4.2.4. Cálculo del Nivel de Recepción	106
4.2.5. Margen de seguridad o atenuación calculado.....	109
4.2.6. Zona de Fresnel	111
4.3. Informe de análisis de enlaces	114
4.4. Sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply).....	132
4.4.1. Características del sistema UPS	132
4.4.2. Cálculo de Potencia de UPS (Un Nodo)	133
4.5. Presupuesto del Proyecto.....	134
Conclusiones y Recomendaciones	147
Conclusiones.....	147
Recomendaciones	148
Referencias Bibliográficas.....	150
Anexos	153
Anexo 1. Requerimientos de Stakeholders.....	153
Anexo 2. Reporte de Análisis de Enlaces LinkCalc.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modos de Transmisión	16
Tabla 2 Tipos de Enlaces inalámbricos	18
Tabla 3 Características de Banda 2.4 GHZ y 5 GHZ.....	19
Tabla 4 Campos de la trama 802.11	23
Tabla 5 Campos de control de la trama	23
Tabla 6 Versiones más relevantes del estándar IEEE 802.11.....	25
Tabla 7 Capa Física del estándar IEEE 802.11ac.....	26
Tabla 8 Capa MAC del estándar IEEE 802.11ac	26
Tabla 9 Generaciones de Telefonía Móvil	28
Tabla 10. Especificaciones de LigoWave, MikroTik y Ubiquiti.....	32
Tabla 11. Lista de Stakeholders.....	37
Tabla 12 Definición de Acrónimos.....	38
Tabla 13 <i>Requerimientos Stakeholders</i>	39
Tabla 14. Requerimientos del Sistema	40
Tabla 15 Requerimientos de Arquitectura.....	42
Tabla 16 Coordenadas Geográficas de las Estaciones de Cuerpo de Bomberos Cotacachi	47
Tabla 17 Nodos del diseño de red de la Estación Central Cotacachi a la Subestación Intag-Apuela.....	51
Tabla 18 Nodos del diseño de red de la Subestación Intag-Apuela a la Subestación Golondrinas del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.....	56
Tabla 19 Ubicación de los nodos de respaldo de la red.....	62
Tabla 20 Tipos de Antenas	74
Tabla 21 Parámetros mínimos recomendados	75
Tabla 22 Comparativa de Fabricantes de Antenas punto a punto	75
Tabla 23 Selección de Antena bajo el estándar ISO/TEC/IEEE/29148:2018	76
Tabla 24 Características de Antena	77

Tabla 25 Comparativa de Fabricantes de Antenas Punto a Multipunto	78
Tabla 26 Selección de antena Punto Multipunto	79
Tabla 27 Especificaciones Técnicas de la Antena LigoDLB 5-20ac	80
Tabla 28 LigoPoE AC a 24V	83
Tabla 29 Especificaciones técnicas de PoE para antena LigoPTP 5-23 RapidFire	84
Tabla 30 Especificaciones técnicas de MikroTik RouterBoard RB5009	86
Tabla 31 Especificaciones técnicas de Router RB4011iGS+RM	87
Tabla 32 Especificaciones del Switch TP-LINK TL-SG1008P V7	89
Tabla 33 LigoWave NFT 1Ni	90
Tabla 34 Conversiones de latitud y longitud en radianes coordenadas red principal..	103
Tabla 35 Distancia entre nodos PtP red principal	103
Tabla 36 Conversiones de latitud y longitud en radianes coordenadas red de respaldo	104
Tabla 37 Distancia entre nodos PtP red de respaldo	104
Tabla 38 Resultados de los Cálculos de Espacio Libre red principal	106
Tabla 39 Resultados de los Cálculos de Espacio Libre red de respaldo	106
Tabla 40 Rangos de nivel de recepción de calidad del enlace	107
Tabla 41 Resultados de Niveles de Recepción red principal	107
Tabla 42 Resultados de Niveles de Recepción red de respaldo	108
Tabla 43 Margen de seguridad calculado en cada enlace de la red principal	109
Tabla 44 Margen de seguridad calculado en cada enlace de la red principal	110
Tabla 45 Resultado del cálculo de Zona de Fresnel red principal	113
Tabla 46 Resultado del cálculo de Zona de Fresnel red de respaldo	114
Tabla 47 Cálculo de potencias de Sistema UPS	133
Tabla 48 Comparativa de Fabricantes de sistemas UPS	134
Tabla 49 Acceso de Internet	135
Tabla 50 Componentes y Precios para Instalación de Infraestructura de Red	136

Tabla 51 Presupuesto de equipos Nodo Central	137
Tabla 52 Presupuesto de equipos Nodo Apuela_1	138
Tabla 53 Presupuesto de equipos Nodo Apuela_2	138
Tabla 54 Presupuesto de equipos Nodo Apuela_3	139
Tabla 55 Presupuesto de equipos Nodo Apuela_4	139
Tabla 56 Presupuesto de equipos Nodo Intag	140
Tabla 57 Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_1	140
Tabla 58 Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_2	141
Tabla 59 Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_3	142
Tabla 60 Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_4	142
Tabla 61 Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_5	143
Tabla 62 Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas	143
Tabla 63 Valores de Arriendo.....	144
Tabla 64 Presupuesto de Instalación de la Infraestructura y Equipos de Red (2025)	145
Tabla 65 Presupuesto Total de Inversión	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de Gestión de Proyectos PMBOK	8
Figura 2. Arquitectura de referencia del Sistema de Comunicaciones a diseñar	9
Figura 3. Radiofrecuencia	14
Figura 4. Esquema representativo de las frecuencias por banda	15
Figura 5 Esquema de un sistema de comunicación por radiofrecuencia.....	16
Figura 6. Distribución de subcapas LLC y MAC.....	20
Figura 7. Pila de protocolos 802.11	21
Figura 8. Relación entre subcapas	22
Figura 9. Formato de la trama 802.11	22
Figura 10. Red Telefónica Fija.....	29
Figura 11. Etapas Modelo PMBOK	34
Figura 12. Cuerpo de Bomberos Cotacachi.....	36
Figura 13 División de parroquias del cantón Cotacachi.....	44
Figura 14 Diagrama de bloques Diseño de Sistema de Comunicaciones	45
Figura 15 Ruta conexión entre estación central y subestaciones	48
Figura 16 Trayecto Estación Central Cotacachi a Subestación Intag-Apuela.....	49
Figura 17 Trayecto Subestación Intag-Apuela – Apuela a Subestación Las Golondrin	50
Figura 18 Enlace Nodo Central Cotacachi con Nodo Apuela_1	52
Figura 19 Enlace Nodo Apuela_1 con Nodo Apuela_2	53
Figura 20 Enlace Nodo Apuela_2 con Nodo Apuela_3	53
Figura 21 Enlace nodo Apuela_3 con el nodo Apuela_4.....	54
Figura 22 Enlace nodo Apuela_4 con el nodo Intag	55
Figura 23 Enlace nodo Intag con nodo Golondrinas_1	55
Figura 24 Enlace Nodo Golondrinas_1 con Nodo Golondrinas_2.....	57
Figura 25 Enlace Nodo Golondrinas_2 con Nodo Golondrinas_3.....	58

Figura 26 Enlace entre Nodo Golondrinas_3 con Nodo Golondrinas_4.....	58
Figura 27 Enlace entre Nodo Golondrinas_4 con Nodo Golondrinas_5.....	59
Figura 28 Enlace entre nodo Golondrinas_5 con nodo Golondrinas_6	60
Figura 29 Enlace entre nodo Golondrinas_5 con nodo Golondrinas_6	60
Figura 30 Nodo Golondrinas	61
Figura 31 Nodo Intag_BK_1	63
Figura 32 Nodo Intag_BK_2.....	64
Figura 33 Nodo Intag_BK_3.....	65
Figura 34 Intag_BK_4.....	66
Figura 35 Nodo Intag_BK_5.....	67
Figura 36 Nodo Golo_BK_1	68
Figura 37 Nodo Golo_BK_2	68
Figura 38 Nodo Golo_BK_3	69
Figura 39 Nodo Golo_BK_4	70
Figura 40 Nodo Golo_BK_5	70
Figura 41 Nodo Golo_BK_6	71
Figura 42 Ubicación de los nodos del sistema de comunicaciones.....	72
Figura 43 Antena LigoPTP 5-23 RapidFire	78
Figura 44 Antena LigoDLB 5-20ac.....	80
Figura 45 Antena LigoDLB ECHO 5.....	82
Figura 46 Especificaciones Técnicas del DLB ECHO 5.....	82
Figura 47 LigoPoE AC a 24V	83
Figura 48 PoE.....	84
Figura 49 MikroTik RouterBoard RB5009	86
Figura 50 Router RB4011iGS+RM.....	87
Figura 51 TP-LINK TL-SG1008P V7.....	88

Figura 52 Punto de Acceso LigoWave NFT 1Ni	90
Figura 53 Arquitectura de red del sistema de comunicaciones	92
Figura 54 Red Jerárquica del sistema de comunicaciones	95
Figura 55 Datasheet del radio transmisor TX LigoPTP 5-23 RapidFire.....	97
Figura 56 Ganancia de la Antena LigoPTP 5-23 RapidFire	98
Figura 57 Mínimo nivel de señal recibida del LigoPTP 5-23 RapidFire	99
Figura 58 Vista conceptual de la primera zona de Fresnel y la zona de Fresnel parcial	111
Figura 59 Enlace Central Cotacachi - Nodo Apuela_1	115
Figura 60 Perfil del Enlace Cotacachi - Apuela_1	116
Figura 61 Enlace Apuela_1 - Apuela_2	116
Figura 62 Perfil del Enlace Apuela_1 - Apuela_2.....	117
Figura 63 Enlace Nodo Apuela_2 - Nodo Apuela_3.....	118
Figura 64 Perfil de Enlace Apuela_2 - Apuela_3.....	119
Figura 65 Enlace Apuela_3 - Apuela_4	119
Figura 66 Perfil de Enlace Apuela_3 - Apuela_4.....	120
Figura 67 Enlace Apuela_4 - Intag.....	121
Figura 68 Perfil de Enlace Apuela_4 - Intag	122
Figura 69 Enlace Intag - Golondrinas_1	123
Figura 70 Perfil de Enlace Intag - Golondrinas_1	123
Figura 71 Enlace Golondrinas_1 – Golondrinas_2	124
Figura 72 Perfil de Enlace Golondrinas_1 - Golondrinas_2	125
Figura 73 Enlace Golondrinas_2 – Golondrinas_3	125
Figura 74 Perfil de Enlace Golondrinas_2 - Golondrinas_3	126
Figura 75 Enlace Nodo Golondrinas_3 - Nodo Golondrinas_4	127
Figura 76 Perfil de Enlace Golondrinas_3 - Golondrinas_4	128
Figura 77 Enlace Nodo Golondrinas_4 - Nodo Golondrinas_5	128

Figura 78 Perfil de Enlace Golondrinas_4 - Golondrinas_5	129
Figura 79 Perfil de Enlace Golondrinas_5 - Golondrinas_6	130
Figura 80 Enlace Nodo Golondrinas_6 - Nodo Golondrinas	131
Figura 81 Perfil de Enlace Golondrinas_6 – Golondrinas.....	132

CAPÍTULO I: Antecedentes

1.1. Problema de investigación

El Cuerpo de Bomberos Cotacachi, desde su formación en el año 1981, desempeña un papel fundamental en el rescate y salvamento de la población. Brinda respuesta a emergencias de incendios estructurales y forestales, así como atención prehospitalaria, rescate vehicular, socorrismo y vinculación con la comunidad en capacitaciones, charlas, campamentos vacacionales y formación para aspirantes a bombero en toda la jurisdicción que corresponde a la central Cotacachi, la compañía Intag - Apuela y la compañía Las Golondrinas. Cuenta con personal permanentemente capacitado y recursos humanos, con el objetivo de proporcionar un excelente servicio para salvaguardar las vidas y propiedades de la ciudadanía en general. (Cuerpo de Bomberos Cotacachi, 2022)

Los bomberos utilizan varios métodos para comunicarse con sus cuarteles o compañías. Uno de los métodos más comunes es a través de comunicaciones de radio de voz (Harold Schaitberger, 2021). Esto permite a los bomberos comunicarse entre sí y con su centro de comando mientras están en la escena de una emergencia. Los radios portátiles utilizan frecuencias específicas para garantizar que las comunicaciones sean claras y no se vean interrumpidas por otras transmisiones. Actualmente las comunicaciones en el Cuerpo de Bomberos Cotacachi se realizan mediante radiocomunicación con el arrendamiento de una frecuencia a una entidad privada que bajo la ARCOTEL tienen la concesión o autorización del uso temporal de dicha frecuencia que a pesar de cubrir el costo de arrendamiento el servicio no satisface las comunicaciones dentro del perímetro urbano en su totalidad y mucho menos en las zonas rurales Intag - Apuela y Las Golondrinas.

Sin embargo, se ha observado una deficiencia significativa en la comunicación entre la sede central del Cuerpo de Bomberos y las compañías ubicadas en las zonas rurales. Esta falta de comunicación efectiva plantea serias preocupaciones en cuanto a la capacidad de respuesta rápida y eficiente ante emergencias en estas áreas, lo que podría tener graves consecuencias para la seguridad de los habitantes y la protección del entorno natural, por ello se ha optado por otros tipos de comunicaciones como es la telefonía móvil y fija pero la topografía montañosa y las barreras geográficas presentes en las zonas rurales de Intag - Apuela y Las Golondrinas generan problemas de cobertura de la señal de comunicación, lo que dificulta aún más la comunicación fluida entre los cuarteles rurales y la sede central. Las áreas con poca o nula señal de telefonía móvil o radio pueden quedar aisladas durante situaciones de emergencia, lo que impide una respuesta rápida y coordinada por lo que se ha tenido que emplear el parlante comunitario.

Generar soluciones de comunicación efectiva en el Cuerpo de Bomberos y sus cuarteles en las zonas rurales es esencial para garantizar una respuesta rápida, segura y coordinada ante emergencias, optimizando el uso de recursos, fomentando la colaboración interinstitucional y generando confianza en la comunidad. Por ello, se ha considerado el uso de teléfonos satelitales como medio de comunicación. Sin embargo, esta opción conlleva una inversión considerable y poco productiva, ya que implica adquirir el dispositivo móvil y pagar una tarifa mensual indeterminadamente. Por lo tanto, se ha descartado esta idea. (Frąckiewicz, 2023)

Esto conlleva a plantear una propuesta de intercomunicación para del Cuartel de Bomberos Cotacachi que implique una reducción de costos y facilidades para mejorar los recursos de comunicación, donde se debe realizar una inversión en adquisición y

actualización de equipos de comunicación adecuados para los cuarteles rurales, esto permitirá una transmisión más fluida y confiable de información en tiempo real, superando las barreras geográficas y mejorando la capacidad de respuesta.

1.2. Justificación

El Cuerpo de Bomberos desempeña un papel fundamental en la protección y seguridad de la comunidad, respondiendo a emergencias y situaciones de riesgo. La eficacia y eficiencia de su trabajo depende en gran medida de la comunicación fluida y efectiva entre los diferentes cuarteles y equipos de bomberos, por ello, es esencial contar con un sistema de comunicaciones confiable y moderno que permita una respuesta rápida y coordinada frente a situaciones de emergencia. La capacidad de transmitir información precisa y en tiempo real entre los diferentes cuarteles y equipos de bomberos garantizará una acción conjunta y eficaz, lo que reducirá los tiempos de respuesta y maximizará la seguridad de los habitantes del cantón.

El plan de Creación de Oportunidades establece las prioridades del país a través de políticas y acciones en diferentes ámbitos, entre los cuales destaca la promoción de la infraestructura de telecomunicaciones en cuanto al acceso a servicio de telecomunicaciones de calidad y la mejora de la conectividad en cada una de las regiones del país. (Plan de Creación de Oportunidades, 2021). Esta directriz se acopla a la necesidad que tiene el Cuerpo de Bomberos para cumplir con vigor sus labores de garantizar la seguridad, salvaguardar vidas y bienes de los ciudadanos a través de una buena comunicación entre la base central, cuarteles en zonas rurales y el trabajo conjunto con el ECU 911. La gestión de redes de telecomunicaciones en el marco del Plan de Creación de Oportunidades bajo los principios y objetivos generales del plan.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en las naciones Unidas promueven la adopción de tecnologías sostenibles para garantizar el acceso a servicios básicos que abarca la conectividad y las telecomunicaciones. (ONU, 2020). El diseñar un nuevo sistema de comunicación para el buen servicio del Cuerpo de Bomberos a la ciudadanía se acopla en primera instancia a ODS 9 referente a Industria, Innovación e Infraestructura, debido a que para el Cuerpo de Bomberos implica la implementación de tecnologías modernas y la mejora de la infraestructura de comunicaciones, contribuyendo así al desarrollo e innovación en el ámbito de la seguridad y protección a la ciudadanía. De acuerdo con el ODS 11 que es el objetivo vinculado con Ciudades y Comunidades Sostenibles implica que al existir un sistema de comunicaciones eficiente y confiable para los cuarteles de bomberos mejora la capacidad de respuesta ante emergencias en el cantón Santa Ana de Cotacachi, promoviendo la seguridad y la resiliencia de la comunidad. Además, contribuye al desarrollo de infraestructuras sostenibles y al acceso a servicios básicos para los habitantes del cantón. El ODS 16 está guiado a la paz, justicia e instituciones sólidas, este objetivo al contar con un sistema de comunicaciones coordinado permite una respuesta rápida y eficiente ante situaciones de emergencia, mejorando la seguridad ciudadana y promoviendo la paz y la justicia en el cantón ya que la misión y visión del Cuerpo de Bomberos es entorno al bienestar de los miembros de la comunidad. Finalmente, se encuentra el ODS 17 enfocado a las alianzas para lograr los objetivos, la institución requiere la colaboración y cooperación entre diversas partes interesadas, como el Cuerpo de Bomberos, autoridades locales, instituciones de investigación y empresas proveedoras de tecnología. Estas alianzas y colaboraciones contribuyen al logro de los objetivos sostenibles en conjunto con la comunidad y el ECU 911. (Miluska.Jara, 2015)

Presentar un diseño de un sistema de comunicaciones estable y factible con tecnología apta para brindar un mejor servicio acorde con la situación geográfica donde se encuentran ubicados los cuarteles se justifica en la misión de la institución que es brindar a la comunidad una atención efectiva, proporcionar a la comunidad una atención eficiente en situaciones de emergencia como incendios, rescates u otros eventos, con personal capacitado y disponible de manera continua, con el objetivo de brindar un servicio sobresaliente para proteger la vida y las propiedades de todos los ciudadanos.

El Cuerpo de Bomberos de Cotacachi busca la actualización y reforzamiento del sistema de telecomunicaciones que utiliza para la transmisión y recepción de comunicaciones. Esto es fundamental para garantizar una comunicación efectiva en las operaciones de respuesta a emergencias. Dicha actualización permitirá una coordinación eficiente, una toma de decisiones informada y una mejora en la seguridad tanto de los bomberos como de las personas involucradas. Además, la incorporación de tecnologías avanzadas proporcionará herramientas adicionales para el manejo de situaciones de emergencia y mejorará la eficiencia operativa en general.

Por último, cabe mencionar que un sistema de comunicación eficiente y actualizado permite una coordinación fluida y rápida entre los miembros del cuartel de bomberos. Esto facilita la distribución de tareas, la asignación de recursos y la toma de decisiones en tiempo real, lo que resulta en una respuesta más efectiva a las emergencias. Así como también, garantizar que los mensajes se transmitan sin interrupciones ni distorsiones, lo que permite una comunicación precisa durante las operaciones de respuesta a emergencias. Esto ayuda a minimizar los riesgos y a tomar medidas de precaución adecuadas de manera más ágil.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de comunicaciones óptimo para el cuerpo de bomberos de Cotacachi, que facilite el acceso a los servicios de comunicaciones durante las operaciones de emergencia

1.3.2. Objetivos Específicos

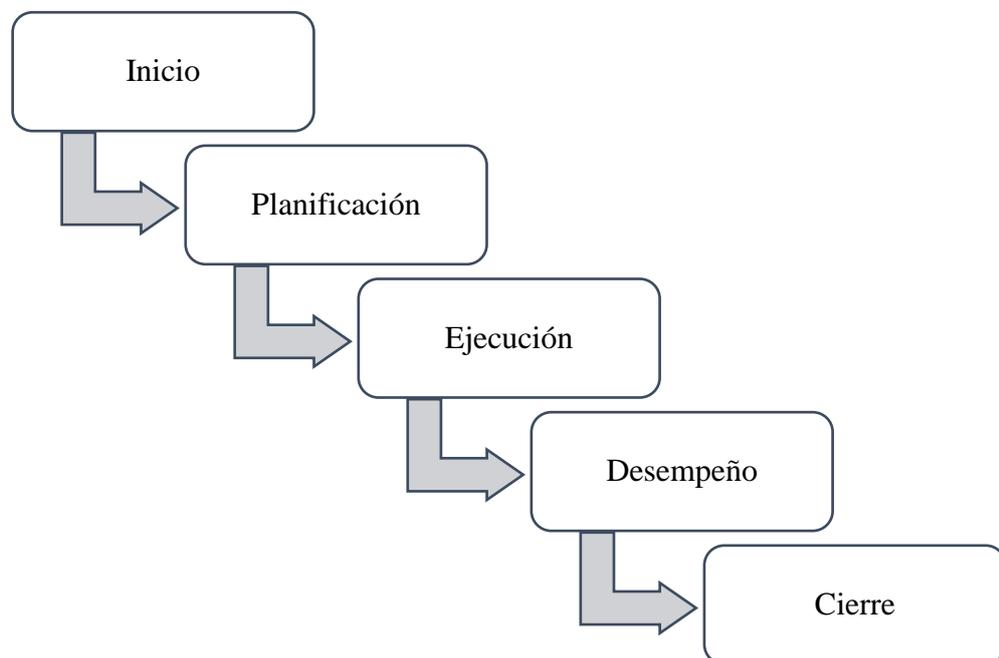
- Establecer el estado del arte sobre los sistemas de comunicaciones que permiten la interconectividad entre los distintos cuarteles del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.
- Realizar un estudio del área geográfica de operación de los cuarteles del cuerpo de bomberos mediante la recopilación de información que permita un respectivo análisis sobre las necesidades y demandas que requieren en el ámbito de las comunicaciones.
- Determinar las tecnologías y fabricantes adecuados para diseñar un sistema de comunicaciones que optimice la coordinación del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi durante emergencias.
- Analizar el costo/beneficio, para una futura implementación del sistema de comunicaciones el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi.

1.4. Alcance

El enfoque principal del proyecto consiste en desarrollar una propuesta de sistema de comunicaciones que mejore la interconectividad y garantice una coordinación efectiva durante las operaciones de emergencia del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi. En este sentido, la documentación del trabajo de integración curricular se relaciona con un conjunto de mejores prácticas para el proceso de desarrollo, que requiere en primer lugar

recopilar la información bibliográfica necesaria sobre sistemas de comunicaciones en zonas rurales de difícil acceso, así como el estudio del área geográfica y el uso de las tecnologías útiles para sistema de comunicaciones. Esto se lleva a cabo con el objetivo de adquirir los conocimientos necesarios para posteriormente diseñar una solución eficiente y efectiva para las comunicaciones en tiempo real en situaciones de emergencia del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi y cuarteles ubicados en las zonas rurales como Intag-Apuela y Las Golondrinas. La orientación metodológica utilizada aborda todas las fases relacionadas con el diseño de sistema de comunicaciones para los cuarteles del Cuerpo de Bomberos Cotacachi, provincia de Imbabura se establece mediante la metodología PMBOK de gestión de proyectos. Este enfoque se compone de cinco etapas correspondientes a inicio, planificación, ejecución, desempeño y cierre del proyecto; por consecuente cada una de estas fases desempeña un papel fundamental en el proceso de diseño de sistema de comunicaciones, así pues, tomando como base a la metodología previamente mencionada las fases que conforman el proyecto de investigación son las siguientes:

Figura 1.
Modelo de Gestión de Proyectos PMBOK

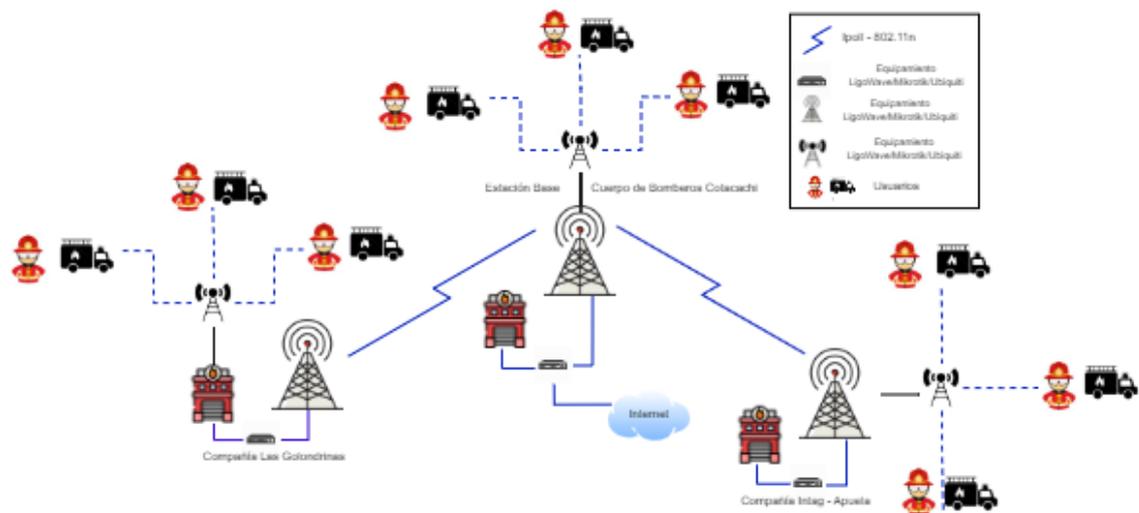


En la etapa de inicio del proyecto, se definirán los objetivos, teniendo en cuenta las necesidades de comunicación del Cuerpo de Bomberos Cotacachi y compañías en zonas rurales Intag – Apuela y Las Golondrinas, considerando las particularidades geográficas de ubicación de los cuarteles y las zonas de actuación. La etapa de planificación incluirá un análisis exhaustivo de los delimitantes asociados y la planificación de su gestión. Se definirán los respectivos fundamentos teóricos, la evaluación de tecnologías enfocadas a redes de comunicación con la definición de la marca pionera en equipamiento para el diseño del sistema de telecomunicaciones en zonas rurales de difícil acceso, así como también la valoración del alcance de la cobertura la capacidad de transmisión de datos y la resistencia a condiciones ambientales adversas. Durante la ejecución del proyecto, se llevará a cabo el diseño de una arquitectura de red óptima (ver Figura 2), que integre tecnologías de comunicación para cubrir las necesidades intercomunicación del Cuerpo de Bomberos Cotacachi. Para el diseño del sistema de comunicaciones se tiene previsto

considerar marcas como LigoWave, Mikrotik y Ubiquiti debido a que se especializan en el diseño y fabricación de soluciones de conectividad de alto rendimiento de larga distancia y alta capacidad para proporcionar conexiones estables, rápidas y confiables en entornos desafiantes, utilizando frecuencias de radio licenciadas y no licenciadas. Al ser un diseño de sistema de comunicación para atender llamados de emergencia es factible tener en consideración la redundancia en el mismo, como también considerar la alimentación energética para garantizar la continuidad operativa y la disponibilidad de los servicios en entornos críticos y mediante softwares de simulación mostrar el diseño del sistema de comunicaciones para el Cuerpo de Bomberos Cotacachi.

Figura 2.

Arquitectura de referencia del Sistema de Comunicaciones a diseñar



En la fase de desempeño del proyecto, se seleccionan y establecen los indicadores que permitirán medir el cumplimiento de los objetivos y establecer la verificación a nivel de diseño, mediante la identificación de parámetros tras haber realizado el levantamiento de enlaces del sistema de comunicaciones para optimizar su rendimiento. Finalmente, en la fase de cierre se presentará una propuesta económica a través de una proforma de equipamiento para la futura implementación del sistema de comunicaciones.

1.5. Justificación

El Cuerpo de Bomberos desempeña un papel fundamental en la protección y seguridad de la comunidad, respondiendo a emergencias y situaciones de riesgo. La eficacia y eficiencia de su trabajo depende en gran medida de la comunicación fluida y efectiva entre los diferentes cuarteles y equipos de bomberos, por ello, es esencial contar con un sistema de comunicaciones confiable y moderno que permita una respuesta rápida y coordinada frente a situaciones de emergencia. La capacidad de transmitir información precisa y en tiempo real entre los diferentes cuarteles y equipos de bomberos garantizará una acción conjunta y eficaz, lo que reducirá los tiempos de respuesta y maximizará la seguridad de los habitantes del cantón.

El plan de Creación de Oportunidades establece las prioridades del país a través de políticas y acciones en diferentes ámbitos, entre los cuales destaca la promoción de la infraestructura de telecomunicaciones en cuanto al acceso a servicio de telecomunicaciones de calidad y la mejora de la conectividad en cada una de las regiones del país. (Plan de Creación de Oportunidades, 2021). Esta directriz se acopla a la necesidad que tiene el Cuerpo de Bomberos para cumplir con vigor sus labores de garantizar la seguridad, salvaguardar vidas y bienes de los ciudadanos a través de una buena comunicación entre la base central, cuarteles en zonas rurales y el trabajo conjunto con el ECU 911. La gestión de redes de telecomunicaciones en el marco del Plan de Creación de Oportunidades bajo los principios y objetivos generales del plan.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en las naciones Unidas promueven la adopción de tecnologías sostenibles para garantizar el acceso a servicios básicos que abarca la conectividad y las telecomunicaciones. (ONU, 2020). El diseñar un nuevo sistema de comunicación para el buen servicio del Cuerpo de Bomberos a la ciudadanía

se acopla en primera instancia a ODS 9 referente a Industria, Innovación e Infraestructura, debido a que para el Cuerpo de Bomberos implica la implementación de tecnologías modernas y la mejora de la infraestructura de comunicaciones, contribuyendo así al desarrollo e innovación en el ámbito de la seguridad y protección a la ciudadanía. De acuerdo con el ODS 11 que es el objetivo vinculado con Ciudades y Comunidades Sostenibles implica que al existir un sistema de comunicaciones eficiente y confiable para los cuarteles de bomberos mejora la capacidad de respuesta ante emergencias en el cantón Santa Ana de Cotacachi, promoviendo la seguridad y la resiliencia de la comunidad. Además, contribuye al desarrollo de infraestructuras sostenibles y al acceso a servicios básicos para los habitantes del cantón. El ODS 16 está guiado a la paz, justicia e instituciones sólidas, este objetivo al contar con un sistema de comunicaciones coordinado permite una respuesta rápida y eficiente ante situaciones de emergencia, mejorando la seguridad ciudadana y promoviendo la paz y la justicia en el cantón ya que la misión y visión del Cuerpo de Bomberos es entorno al bienestar de los miembros de la comunidad. Finalmente, se encuentra el ODS 17 enfocado a las alianzas para lograr los objetivos, la institución requiere la colaboración y cooperación entre diversas partes interesadas, como el Cuerpo de Bomberos, autoridades locales, instituciones de investigación y empresas proveedoras de tecnología. Estas alianzas y colaboraciones contribuyen al logro de los objetivos sostenibles en conjunto con la comunidad y el ECU 911. (Miluska.Jara, 2015)

Presentar un diseño de un sistema de comunicaciones estable y factible con tecnología apta para brindar un mejor servicio acorde con la situación geográfica donde se encuentran ubicados los cuartes se justifica en la misión de la institución que es brindar a la comunidad una atención efectiva, proporcionar a la comunidad una atención eficiente

en situaciones de emergencia como incendios, rescates u otros eventos, con personal capacitado y disponible de manera continua, con el objetivo de brindar un servicio sobresaliente para proteger la vida y las propiedades de todos los ciudadanos. El Cuerpo de Bomberos de Cotacachi busca la actualización y reforzamiento del sistema de telecomunicaciones que utiliza para la transmisión y recepción de comunicaciones. Esto es fundamental para garantizar una comunicación efectiva en las operaciones de respuesta a emergencias. Dicha actualización permitirá una coordinación eficiente, una toma de decisiones informada y una mejora en la seguridad tanto de los bomberos como de las personas involucradas. Además, la incorporación de tecnologías avanzadas proporcionará herramientas adicionales para el manejo de situaciones de emergencia y mejorará la eficiencia operativa en general.

Por último, cabe mencionar que un sistema de comunicación eficiente y actualizado permite una coordinación fluida y rápida entre los miembros del cuartel de bomberos. Esto facilita la distribución de tareas, la asignación de recursos y la toma de decisiones en tiempo real, lo que resulta en una respuesta más efectiva a las emergencias. Así como también, garantizar que los mensajes se transmitan sin interrupciones ni distorsiones, lo que permite una comunicación precisa durante las operaciones de respuesta a emergencias. Esto ayuda a minimizar los riesgos y a tomar medidas de precaución adecuadas de manera más ágil.

CAPÍTULO II: Fundamentación Teórica

En este capítulo, se exploran los conceptos acerca de los servicios de telecomunicaciones empleados para una comunicación rápida en situaciones de emergencia, enfocados en el trabajo realizado por el Cuerpo de Bomberos – Cotacachi. Y tecnologías que pueden emplearse para diseñar un sistema de comunicaciones que logre un mejor rendimiento en respuesta a una situación de emergencia.

2.1. Servicios de Telecomunicaciones

Los servicios de telecomunicaciones constituyen un pilar fundamental en la infraestructura moderna de comunicación, facilitando la transmisión de voz, datos e imágenes a través de diversos medios electrónicos y digitales. Estos servicios abarcan desde la telefonía fija y móvil, internet de banda ancha, hasta avanzadas soluciones de comunicaciones unificadas que integran videoconferencias, mensajería instantánea y correo electrónico en una única plataforma. Los servicios de telecomunicaciones permiten la interacción instantánea y continua, independientemente de las barreras geográficas. Además, juegan un rol crucial en la gestión de emergencias y en la implementación de redes de seguridad pública, asegurando que la información crítica sea transmitida de manera rápida y eficaz en momentos clave.

2.1.1. Sistema de Radio de dos vías VHF

ARCOTEL establece que un sistema de radio de dos vías es un conjunto de estaciones de radiocomunicación que utilizan un mismo canal radioeléctrico para llevar a cabo comunicaciones entre ellas mediante un radioenlace. (ARCOTEL, 2016).

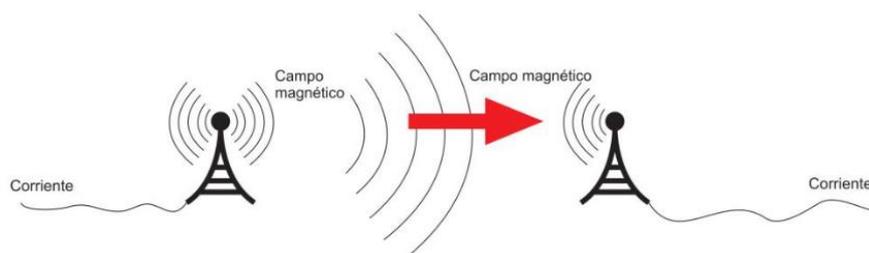
Un radioenlace se caracteriza por ser una conexión entre terminales de telecomunicaciones que se establece mediante la transmisión de señales en el espectro radioeléctrico, a través del aire por un medio no guiado, también llamado STL (Studio Transmitter Link). (Gaviria & Moncada, 2015) que permiten un despliegue rápido y eficaz de servicios de comunicación esenciales como internet, telefonía, radiocomunicación, etc.

Los sistemas de radio basado en la definición proporcionada por el reglamento de radiocomunicaciones de la UIT pertenecen al Servicio Móvil Terrestre debido a que es aplicado en servicios de emergencia que permite la transmisión de información entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas. Este servicio facilita la comunicación continua y adaptable.

2.1.2. Fundamentos de la Radiofrecuencia VHF

La radiofrecuencia es un tipo de onda electromagnética que se distingue por características que la hacen ideal para sistemas de radiocomunicación. Se utilizan para transmitir y recibir señales de voz y datos a través de largas distancias (Gallardo, 2015).

Figura 3.
Radiofrecuencia

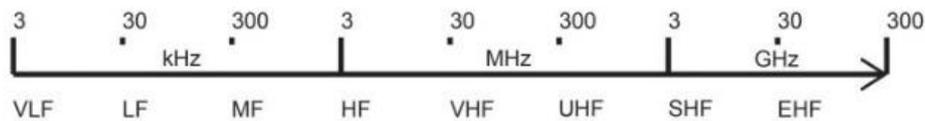


Nota. Adaptado de (García & Morales, 2018)

El rango de frecuencia de las ondas electromagnéticas utilizadas en sistemas de radiocomunicación varía desde los 3 kHz hasta los 300 GHz como se aprecia en la

Este amplio espectro se conoce como el espectro radioeléctrico. Dentro de este espectro, se encuentra la banda VHF (Very High Frequency), que según la recomendación UIT-R V.431-7, también conocida como banda 8, abarca las frecuencias de 30 MHz a 300 MHz. (Moya, 2013)

Figura 4.
Esquema representativo de las frecuencias por banda

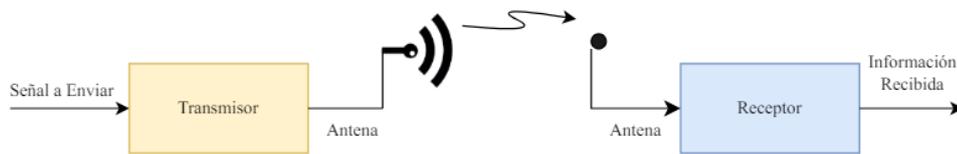


Nota. Adaptado de (García & Morales, 2018)

De acuerdo con el Plan Nacional de Frecuencias de Servicios de Telecomunicaciones en Ecuador, la banda de 150-170 MHz es apropiada para sistemas de comunicación móvil terrestre utilizados en servicios gubernamentales de seguridad y emergencia.

2.1.3. Componentes Sistemas de Radio de dos vías VHF

Como se aprecia en la **Figura 5** los sistemas de comunicaciones por radiofrecuencia emplean antenas de transmisión y recepción para enviar y recibir señales que se propagan por el canal, es decir por el espacio radioeléctrico (Gallardo, 2015)

Figura 5*Esquema de un sistema de comunicación por radiofrecuencia*

Dentro de los componentes de un sistema de radio de dos vías VHF se puede mencionar los transmisores, receptores, antenas y equipos auxiliares.

- **Transmisor:** Se encarga de convertir la señal de audio en una señal de radiofrecuencia que puede ser enviada a través del aire, utilizando habitualmente la modulación de frecuencia (FM) para codificar la información sonora en la frecuencia portadora. (García & Morales, 2018)

Los modos de transmisión de un sistema de radiocomunicaciones, clasificados según el número de frecuencias, son: Simplex, Half Dúplex, Full Duplex, Full Full Duplex. (Montero, 2005)

Tabla 1*Modos de Transmisión*

Modos	Descripción
Simplex (SX)	Permite la transmisión de señales en una sola dirección, útil en comunicación donde la información fluye del emisor al receptor sin expectativa de respuesta.
Half Dúplex (HDX)	Comunicación bidireccional no simultánea. Adecuado para radios de dos vías donde los usuarios alternan entre hablar y escuchar.
Full Duplex (FDX)	Transmisión de datos simultánea en ambas direcciones. Utilizado en teléfonos y conexiones de red que requieren una comunicación continua y bidireccional.

Full Full Duplex (F/FD)	Optimización de la capacidad de transmisión bidireccional para manejar múltiples flujos de datos de alta velocidad simultáneamente, aplicable en entornos de red avanzados.
--------------------------------	---

- **Receptor:** Está diseñado para interceptar estas señales de radiofrecuencia transmitidas y, a través de un proceso conocido como demodulación, extrae la información de audio de la señal portadora, convirtiéndola de nuevo en sonido audible para el usuario.
- **Antenas:** Permite maximizar el alcance y la claridad de las comunicaciones, variando en tamaño desde modelos compactos en radios portátiles hasta antenas más grandes y potentes en estaciones base.
- **Equipos auxiliares:** Incluye baterías, cargadores, micrófonos externos y dispositivos de cifrado, son cruciales para optimizar la funcionalidad y seguridad de los radios VHF, resultandos indispensables en operaciones extensas y entornos exigentes.

2.2.Enlace Inalámbrico WI-FI

El enlace inalámbrico WiFi, es una tecnología que permite la comunicación sin cables entre dispositivos electrónicos utilizando ondas de radio. Esta tecnología utiliza estándares como IEEE 802.11 para establecer redes locales inalámbricas, permitiendo la conexión a Internet y la transmisión de datos siendo una solución robusta y asequible para dotar de conectividad a localidades rurales o urbanas marginales.

2.2.1. Tipos de enlaces inalámbricos

En el ámbito de las telecomunicaciones, los enlaces inalámbricos permiten facilitar la transmisión de datos sin la necesidad de infraestructura física convencional. Se mencionan los tres tipos enlaces más empleados: punto a punto (PtP), enlaces multipunto (MP) y enlaces punto a multipunto (PtMP), cada uno

diseñado para cumplir roles específicos dentro del espectro de necesidades comunicacionales.

Tabla 2
Tipos de Enlaces inalámbricos

Tipo de Enlace	Características	Ancho de banda	Alcance	Usos
Punto a Punto (PtP)	Conexión fija entre dos nodos. Alta seguridad y rendimiento.	Hasta 1 Gbps.	30-100 Km.	Conexiones corporativas, redes de backhaul, operaciones críticas.
Multipunto (MP)	Un transmisor difunde a varios receptores. Económico pero limitado en áreas densas.	100-500 Mbps compartidos.	5-15 Km.	Difusión de señales a múltiples dispositivos en aplicaciones de bajo costo, como puntos de acceso Wi-Fi en comunidades.
Punto a Multipunto (PtMP)	Bidireccional entre base y nodos. Escalable y eficiente.	Hasta 1 Gbps en tecnologías modernas como WiMAX o LTE.	15-50 Km.	Redes de acceso a internet, sistemas de vigilancia, monitoreo.

Nota. Adaptado de (Rappaport, 2024).

2.2.2. Bandas de Frecuencia

Wifi es una tecnología con bandas de frecuencia no licenciada que opera con dispositivos en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz.

En la Tabla 3 se especifican las características de las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. La banda de 2.4 GHz ofrece un mayor alcance y mejor penetración de obstáculos, pero es propensa a interferencias y congestión debido a su uso extendido y limitados canales no superpuestos. En contraste, la banda de 5 GHz proporciona velocidades superiores y

menor interferencia, gracias a un mayor número de canales y tecnologías avanzadas como OFDMA y Beamforming. Ideal para aplicaciones de alta demanda.

Tabla 3

Características de Banda 2.4 GHz y 5 GHz

Característica	Banda de 2.4 GHz	Banda de 5 GHz
Frecuencia	2.400 - 2.4835 GHz	5.150 - 5.925 GHz
Estándares IEEE 802.11	802.11b/g/n	802.11a/n/ac/ax
Velocidad Máxima	Hasta 600 Mbps con 802.11n	Hasta 9608 Mbps con 802.11ax
Ancho de Canal	20 MHz y 40 MHz (802.11n)	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, y 160 MHz (802.11ac y 802.11ax)
Modulación	DSSS (802.11b), OFDM (802.11g/n)	OFDM (802.11a/n/ac/ax) y OFDMA (802.11ax)
Aplicaciones	Navegación web, correo electrónico y aplicaciones IoT.	Streaming de video HD/4K, juegos en línea, y grandes transferencias de datos en entornos empresariales o tecnológicamente densos
Seguridad	WPA2/WPA3	WPA2/WPA3
Tecnologías de Aprovechamiento Espacial	MIMO (Multiple Input Multiple Output) 802.11n	MU-MIMO (Multi-User MIMO), Beamforming en 802.11ac/ax

2.2.3. Estándar IEEE 802.11

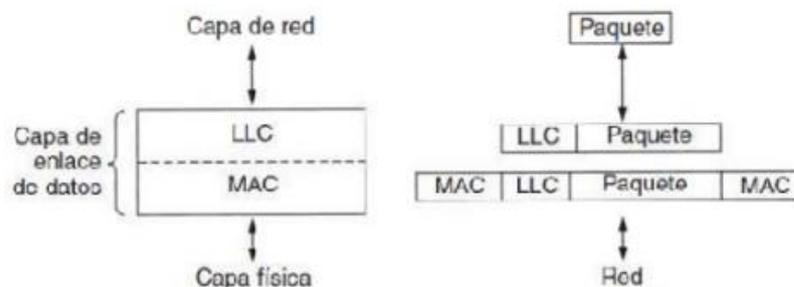
La gama de estándares IEEE 802.11 cubre especificaciones centradas en las capas fundamentales del modelo OSI, particularmente en la capa física y en el control de acceso al medio (MAC). Dentro de la capa MAC, se establecen reglas específicas para regular cómo los dispositivos obtienen permiso para usar el medio de comunicación y transmitir

datos. Por otro lado, los detalles específicos de la transmisión y recepción de datos se gestionan en la capa física (PHY). (Ruth, 2023)

Según el estándar mencionado, existe una concordancia entre las funciones de la capa física del modelo OSI y las del estándar 802.11. No obstante, la capa de enlace de datos en estos estándares se subdivide en múltiples capas. Para facilitar la implementación de sistemas que permitan la corrección de errores y el control de flujo simultáneamente, el IEEE ha desarrollado el protocolo LLC (Control Lógico de Enlace) o IEEE 802.2. Este protocolo, que forma parte superior de la capa de enlace de datos, se integra con la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio).

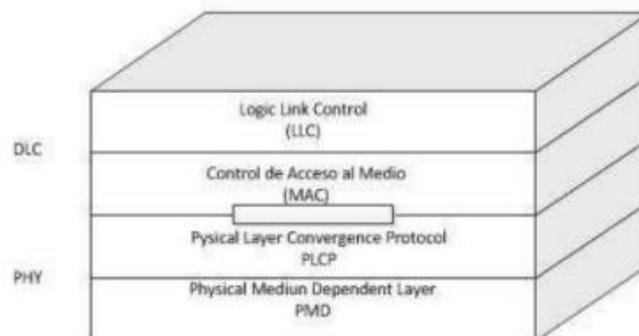
Figura 6.

Distribución de subcapas LLC y MAC



A su vez, la capa física se divide en dos subcapas (como se mencionó anteriormente), la PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) y PMD (Physical Medium Dependent).

Figura 7.
Pila de protocolos 802.11



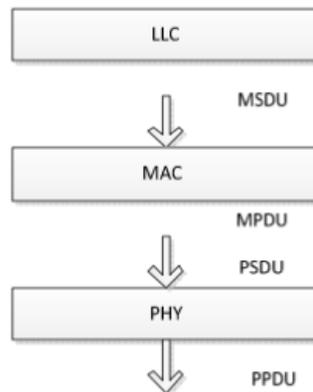
En el proceso de encapsulación dentro de las subcapas MAC y PHY de los estándares IEEE, se realizan adiciones significativas de encabezados y tráilers antes de que los datos se transmitan por el canal inalámbrico.

Inicialmente, los datos listos para transmitir se denominan Unidades de Datos de Servicio (SDU). Antes de la encapsulación, estas unidades son conocidas como MSDU.

Al pasar de la capa MAC a la subcapa LLC, se les añade un encabezado MAC de 30 bytes y una Secuencia de Comprobación de Marco (FCS) de 4 bytes, transformándolas en Unidades de Datos de Protocolo MAC (MPDU).

Posteriormente, al trasladarse a la capa física, se renombran como Unidades de Datos de Servicio de Capa Física (PSDU). Durante su procesamiento en la subcapa PLCP, se les agrega un preámbulo, un encabezado y un tráiler, convirtiéndolas en Unidades de Datos de Protocolo de Capa Física (PPDU).

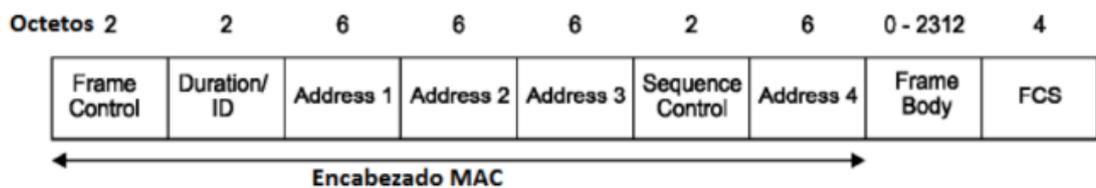
Figura 8.
Relación entre subcapas



Formato de Trama 802.11

El formato estándar de la trama MAC en el estándar 802.11 sigue una estructura predefinida que consta de campos dispuestos en un orden específico como se aprecia en la Figura 9.

Figura 9.
Formato de la trama 802.11



En el formato de trama 802.11, la estructura se divide en varias partes, establecidas en la Tabla 4, las cuales permiten asegurar la transmisión eficiente y segura de los datos:

Tabla 4
Campos de la trama 802.11

Campo	Descripción	Tamaño
Cuerpo de la trama	Contiene los datos útiles, en este caso la MSDU proveniente de la subcapa LLC.	Variable
FCS (Frame Check Sequence)	Se agrega a la trama para verificar que no esté corrupta la información recibida.	4 bytes (32 bits)
Duration	Indica cuánto tiempo ocuparán en el canal la trama y su confirmación de recepción.	2 bytes (16 bits)
Sequence	Se usa para desfragmentar y evitar tramas repetidas. Contiene 4 bits para el número de fragmento y 12 para el número de secuencia.	2 bytes (16 bits)
Cuerpo del mensaje (Payload)	Es la carga de datos útiles encapsulada desde capas superiores. La máxima cantidad de datos transmitidos es de 2304 bytes.	0-2304 bytes
Secuencia de verificación de errores (FCS)	Verificación de integridad de la trama mediante un código de redundancia cíclica (CRC).	4 bytes (32 bits)

El campo de trama de control conforma una serie de 11 parámetros que son representados en la Tabla 5.

Tabla 5
Campos de control de la trama

Campo	Descripción
Protocol Version	Identifica la versión del protocolo 802.11 MAC utilizado. Actualmente, la única versión desarrollada es la 0.

Type/Subtype	Clasifica la trama según su función: 00 (management frames), 01 (control frames), 10 (data frames), y 11 (reservado).
To DS y From DS	Indican la dirección de la trama, especificando si se dirige hacia o proviene del Distribution System (DS).
MF (More Fragments)	Señala si el paquete ha sido fragmentado en capas superiores. Se marca con 1 si es fragmentado, aunque esto es poco común.
Retry	Se marca con 1 para identificar tramas retransmitidas y evitar duplicados.
Power Management	Indica el modo de ahorro de energía en dispositivos portátiles, permitiendo apagar partes de la interfaz de red. No es utilizado por los Access Points (AP).
More Data	Indica si hay más tramas en el buffer de la estación destinadas a un receptor específico.
WEP	Indica si la trama ha sido cifrada con el algoritmo Wireless Equivalent Privacy (WEP).
Order	Se establece en 1 cuando es necesario el envío ordenado de los paquetes.

Clasificación Estándar IEEE 802.11

Los estándares inalámbricos evolucionan constantemente, y cada nueva actualización ofrece velocidades de Wi-Fi más rápidas y conexiones mejoradas, la **Tabla 6** que se presenta a continuación facilitará la diferenciación entre los distintos estándares Wi-Fi 802.11. (Nganga, 2021)

Tabla 6
Versiones más relevantes del estándar IEEE 802.11

Estándar	Año	Velocidad Máxima Teórica	Frecuencia	Ancho de Banda	Modulación
802.11a	1999	54 Mbps	5 GHz	20 MHz	OFDM
802.11b	1999	11 Mbps	2.4 GHz	20 MHz	DSSS
802.11g	2003	54 Mbps	2.4 GHz	20 MHz	OFDM (802.11b)
802.11n	2009	600 Mbps	2.4/5 GHz	20/40 MHz	MIMO, canales múltiples
802.11ac	2013	6.9 Gbps	5 GHz	20/40/80/160 MHz	MIMO, anchos de canal de hasta 160 MHz, modulación 256-QAM
802.11ax	2019	9.6 Gbps	2.4/5 GHz	20/40/80/160 MHz	OFDMA, MU-MIMO mejorado, mayor eficiencia
802.11ay	2020 (Pendiente)	20+ Gbps	60 GHz	2.16 GHz	Canales más amplios, técnicas avanzadas
802.11be	2025 (Estimado)	40+ Gbps	2.4/5/6 GHz	16-160 MHz	de modulación

Nota: 802.11ay y 802.11be son estándares en desarrollo para redes Wi-Fi de alta velocidad y baja latencia. Adaptado de (*IEEE Standards Association, 2021*)

Estándar 802.11ac

El estándar IEEE 802.11ac es una especificación de redes Wi-Fi que pertenece a la familia de estándares 802.11 y fue desarrollado para mejorar las velocidades y la eficiencia de las conexiones inalámbricas.

A nivel del Modelo OSI, la capa física se encarga de los aspectos físicos de la transmisión de datos, como la modulación de la señal, el ancho de banda, y la frecuencia.

Tabla 7
Capa Física del estándar IEEE 802.11ac

Capa	Elemento	Descripción
PHY (Capa Física)	Frecuencia	Opera en la banda de 5 GHz permite mayor velocidad y menos interferencia.
	Ancho de Banda	Soporta anchos de banda de 20, 40, 80 y 160 MHz
	Modulación	Emplea 256-QAM, 8 bits por símbolo.
	Tasa de Datos	Tasa de datos máxima teórica hasta 6.93 Gbps al usar configuración óptima (160 MHz y 8 flujos espaciales).
	MIMO y MU-MIMO	Soporta Multi-User MIMO (MU-MIMO), permitiendo la comunicación con múltiples dispositivos simultáneamente. Hasta 8x8 MIMO y 4 usuarios simultáneos.
	Beamforming	Mejora la dirección de la señal hacia los dispositivos, optimizando la calidad de conexión y cobertura.
	Codificación de Canal	Usa BCC (Binary Convolutional Coding) y LDPC (Low-Density Parity-Check) para mayor eficiencia y confiabilidad en la transmisión de datos.
Guard Interval (GI)	Intervalo de protección para evitar interferencias entre símbolos; 400 ns o 800 ns según la configuración.	

La capa de enlace de datos del modelo OSI está dividida en dos subcapas: la Sublayer MAC (Medium Access Control) y la Sublayer LLC (Logical Link Control). El estándar 802.11ac define procedimientos en la subcapa MAC, relacionados con el control de acceso al medio y la gestión de la transmisión de datos.

Tabla 8
Capa MAC del estándar IEEE 802.11ac

Capa	Elemento	Descripción	Detalles Numéricos
MAC	Control de Acceso	Utiliza CSMA/CA para gestionar el acceso al medio y evitar colisiones en el canal compartido.	

Agregación de Tramas	Combina múltiples tramas (A-MPDU y A-MSDU) en una sola transmisión para reducir la sobrecarga de encabezado.	Tamaño máximo de 7,995 octetos (MPDU)
Fragmentación de Tramas	Divide tramas grandes en fragmentos más pequeños para mejorar la eficiencia y confiabilidad en condiciones de baja calidad de señal.	
QoS (Calidad de Servicio)	Usa el estándar Wi-Fi Multimedia (WMM) para priorizar tráfico de video, voz, y otros datos sensibles al tiempo.	
HT Control y QoS Control	Campos en la cabecera MAC para gestionar la calidad de servicio y el control de acceso en flujos de alta velocidad.	HT Control de 2 octetos
Seguridad	Compatible con protocolos de seguridad avanzados como WPA2 y WPA3, proporcionando cifrado y autenticación robusta.	

2.3.Servicio de Telefonía móvil

Según ARCOTEL, el Servicio Móvil Avanzado (SMA) es un componente esencial del servicio móvil terrestre que facilita una comunicación diversa y completa. Este servicio permite la transmisión, emisión y recepción de una variedad de contenidos, incluyendo voz, datos, imágenes y otros tipos de información, lo que lo convierte en una solución integral para las necesidades de telecomunicaciones móviles contemporáneas.(ARCOTEL, 2025)

El desarrollo del concepto celular ha sido uno de los hitos más importantes en la evolución de las comunicaciones móviles, La Tabla 9 ofrece un desglose detallado de esta evolución, presentando las características distintivas de cada generación de telefonía móvil, desde la 1G hasta la 5G.

Tabla 9
Generaciones de Telefonía Móvil

Generación	Tecnología	Año de lanzamiento	Servicios	Velocidad de datos
1G	AMPS, TACS, NMT	1980s	Voz analógica	2.4 Kbps
2G	GSM, CDMA	1991	Voz digital, SMS, Circuito conmutado de datos	14.4 Kbps
2.5G	GPRS, EDGE	Finales de 1990s	Datos conmutados por paquetes, WAP Voz y datos	114-384 Kbps
3G	UMTS, CDMA2000	Principio de 2000s	conmutados por paquetes, videoconferencia	384 Kbps - 2 Mbps
3.5G	HSPA, HSPA+	2005-2010	Mejoras en velocidad de datos	5.8-42 Mbps (DL), 5.7-11.5 Mbps (UL)
4G	LTE, WiMAX	2010s	Voz sobre IP, alta velocidad de datos	100 Mbps - 1 Gbps
4.5G	LTE-Advanced	2013	Mejoras en velocidad y capacidad	1 Gbps (DL), 500 Mbps (UL)
4.9G	LTE-Advanced Pro	2016	Mayor eficiencia espectral y capacidad	3 Gbps (DL), 1.5 Gbps (UL)
5G	New Radio (NR)	2019	Ultra baja latencia, alta velocidad, IoT	10 Gbps (DL), 1 Gbps (UL)

De acuerdo con la información recopilada para el presente trabajo la Corporación Nacional de Telecomunicaciones en Ecuador utiliza principalmente servicios de telefonía celular basadas en estándares como GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y LTE (Long-Term Evolution).

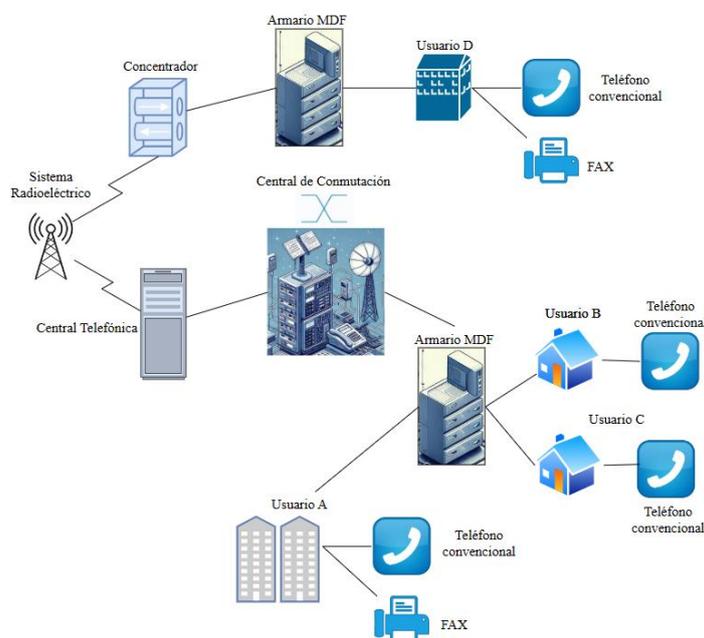
2.4.Servicio de Telefonía Fija

Según el Reglamento del Servicio de Telefonía Fija Local, establecido por la Resolución No. 151-06-CONATEL-2002, la telefonía fija es un servicio de telecomunicaciones que permite la transmisión de tráfico telefónico conmutado. Este servicio se proporciona entre usuarios conectados a la misma central telefónica o dentro

de la misma área de servicio local de telefonía fija, sin la necesidad de utilizar un prefijo de acceso para llamadas de larga distancia. (Estupiñán, 2018)

La red telefónica fija es un sistema de telecomunicaciones que establece conexiones entre dos terminales mediante medios de transmisión y conmutación dedicados como se aprecia en la Figura 10.

Figura 10.
Red Telefónica Fija



Los recursos de la red, como el ancho de banda o el canal específico, están reservados temporalmente y utilizados únicamente por los dos terminales involucrados en esa comunicación. Esto garantiza que la calidad y la privacidad de la llamada no se vean afectadas por otras transmisiones o usuarios de la red durante ese tiempo. Este sistema crea un circuito físico específico para cada sesión de comunicación, que se desactiva al finalizar la llamada, caracterizándose así por ser una red conmutada. (del Río, 2023)

La infraestructura de la telefonía fija se organiza en las siguientes áreas importantes:

- Red Primaria, implica los órganos de Central y de Conmutación.
- Red Secundaria, compone la planta externa y la red de cableado.
- Red de Abonado, es la última milla, que llega al usuario final. (Aldás, 2011)

Los operadores que poseen su propia red fija y ofrecen servicios dentro de su país o región establecen acuerdos de interconexión para permitir llamadas entre sus respectivos abonados. Estos acuerdos se materializan en puntos específicos de interconexión, donde se enlazan las diferentes redes, asegurando la continuidad y la calidad del servicio de telecomunicaciones a nivel nacional e internacional. (Estupiñán, 2018)

2.5.Sistemas de Comunicaciones en la Industria de Telecomunicaciones

En la industria de telecomunicaciones, la elección de un proveedor adecuado para sistemas de comunicaciones puede significar la diferencia entre un servicio eficiente y uno que enfrenta constantes desafíos técnicos. Fabricantes como LigoWave, MikroTik y Ubiquiti han emergido como líderes en este campo, cada una ofreciendo soluciones distintivas que se adaptan a diversos entornos y necesidades de los usuarios. LigoWave se especializa en enlaces inalámbricos de largo alcance para entornos difíciles, mientras que MikroTik es renombrado por su versatilidad y la potencia de su RouterOS, ideal para configuraciones de red personalizadas. Ubiquiti, conocida por su línea UniFi, simplifica la administración de redes empresariales con una plataforma intuitiva y escalable.

2.5.1. LigoWave

Desde su inicio en 2007, LigoWave ha mantenido un compromiso inquebrantable con la excelencia, reconocido por su énfasis en la innovación y la excelencia, se destaca como un líder en el desarrollo de productos inalámbricos de alto rendimiento, lo que le ha permitido convertirse en una marca internacional líder en la industria de las comunicaciones inalámbricas. Su línea de productos se ha expandido para abarcar diversos mercados, incluyendo enlaces punto a multipunto, enlaces punto a punto para aplicaciones de backhaul y puntos de acceso para aplicaciones en interiores con el desarrollo de su propio software, que supera los estándares de Wi-Fi y de la competencia. (LigoWave, 2025)

Con un enfoque en la versatilidad y la facilidad de uso, el equipo de LigoWave está comprometido con la meta de conectar y mejorar la conectividad de áreas remotas y rurales. Así como en el fortalecimiento de la seguridad en aplicaciones industriales permitiendo demostrar su compromiso con la inclusión digital y el desarrollo sostenible, promoviendo así la igualdad de oportunidades en todo el mundo. (LigoWave, 2025b)

2.5.2. MikroTik

MikroTik, una empresa fundada en 1996 se ha consolidado como un importante actor en el desarrollo de Routers y sistemas ISP inalámbricos. Sus productos son ampliamente utilizados por proveedores de servicios de Internet, empresas y usuarios individuales en todo el mundo para la construcción de infraestructura de red. El objetivo primordial de MikroTik es mejorar la velocidad, potencia y accesibilidad de las tecnologías de Internet, buscando así llegar a una gama más amplia de usuarios. En la

actualidad, MikroTik proporciona hardware y software para la conectividad a Internet en la mayoría de los países del mundo. (MikroTik, 2025)

2.5.3. Ubiquiti

Ubiquiti Networks es una empresa que ha estado en funcionamiento desde su fundación en 2005, con sede en Estados Unidos, se especializa en el diseño de hardware para redes inalámbricas, abarcando tanto la comunicación a largas distancias como el despliegue de redes Wi-Fi de menor escala. (UniFi, 2025)

Se enfoca en el diseño de hardware de redes inalámbricas, especialmente sus antenas que desempeñan un papel fundamental en la expansión de redes de área local (LAN) y redes de área extensa (WAN), al proporcionar una alternativa confiable y rentable a la infraestructura cableada. (Bottini, 2023). Seguidamente en la

Tabla 10 se realiza una comparación de las especificaciones técnicas de dispositivos LigoWave, Mikrotik y Ubiquiti.

Tabla 10.
Especificaciones de LigoWave, MikroTik y Ubiquiti

Categoría	Característica	LigoWave	MikroTik	Ubiquiti
Hardware de Red y Tecnologías de Transmisión	Bandas de Frecuencia	2.4/5 GHz	2.4/5/6 GHz	2.4/5 GHz
	Tipos de Antenas	Sectoriales, Omnidireccionales	Sectoriales, Omnidireccionales	Sectoriales, Omnidireccionales
	Alimentación PoE	Soportada	Soportada	Soportada
	Montaje	Interior, Exterior	Interior, Exterior	Interior, Exterior
Switching y Control de Acceso a Medios (MAC) Dispositivos de	Tecnología de Acceso	TDMA	TDMA	TDMA
	Redes	Soportada	Soportada	Soportada
	Malladas			
	VLAN y QoS	Soportada	Soportada	Soportada
	Protocolos de Red	TCP/IP, UDP	TCP/IP, UDP, MPLS, GRE	TCP/IP, UDP, MPLS

Enrutamiento y Servicios	Enrutamiento	Router/Bridge, OSPF	Router/Bridge, OSPF, BGP	Router/Bridge, OSPF
	Estándares Wi-Fi	802.11a/b/g/n/ac	802.11a/b/g/n/ac/ax	802.11a/b/g/n/ac/ax
	Seguridad	Firewall stateful, VPN (IPsec, OpenVPN)	Firewall stateful, VPN (IPsec, OpenVPN)	Firewall stateful, VPN (IPsec, OpenVPN)
Software de Gestión de Red y Aplicaciones	Sistema Operativo	Infinity OS	RouterOS	UniFi, UNMS
	Gestión y Monitoreo	LigoWave Monitoring	The Dude, Winbox	Airview

Nota: La información presentada corresponde a las capacidades de los dispositivos, incluyendo frecuencias operativas, tipos de antenas, tecnologías de red y protocolos de seguridad que soportan estas marcas dentro de la industria de las telecomunicaciones.

Adaptado de (LigoWave, 2024), (UniFi, 2024),(MikroTik, 2024)

CAPÍTULO III

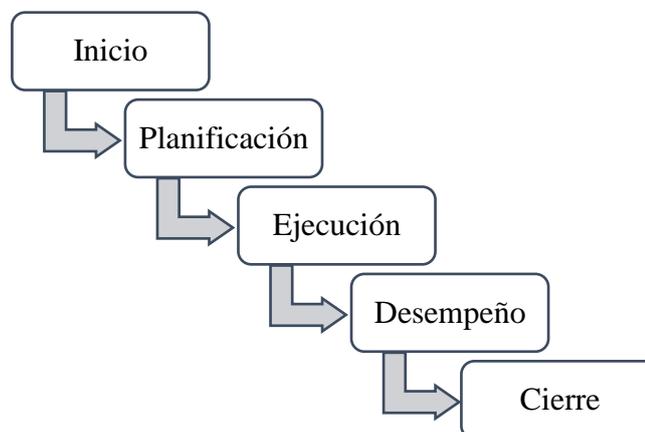
Diseño de Sistema de Comunicaciones

Esta sección del proyecto se describirá y establecerá el desarrollo del sistema de comunicaciones para el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi y sus respectivas subestaciones mediante la metodología PMBOK para la gestión de proyectos.

3.1. Metodología de diseño

La metodología PMBOK (Project Management Body of Knowledge) proporciona un marco estructurado y sistemático que facilita la gestión de proyectos en distintas etapas. En la Figura 11 se muestran las cinco etapas que permiten cumplir con los objetivos propuestos del proyecto.

Figura 11.
Etapas Modelo PMBOK



Nota. El modelo PMBOK está conformado por cinco etapas secuenciales, para la gestión de proyectos: inicio, planificación, ejecución, desempeño (o monitoreo y control) y cierre. Estas fases permiten un desarrollo organizado y controlado del proyecto desde su

concepción hasta su finalización, facilitando el cumplimiento de los objetivos establecidos.

3.2. **Requerimientos del Diseño del Sistema**

Las etapas de inicio y planificación de esta metodología parten del análisis y conocimiento de la situación actual de las comunicaciones dentro del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi y de las necesidades de las partes interesadas, con el fin de lograr un diseño óptimo del sistema de comunicaciones. Siguiendo el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018, se facilita la identificación de los requisitos necesarios para el desarrollo y se establece una comprensión clara de las funciones y características requeridas para el diseño del sistema.

3.2.1. **Generalidades**

Con el objetivo de diseñar un sistema de comunicaciones óptimo para el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi, se requiere evaluar distintas recomendaciones según el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 que se centra en guiar las prácticas de ingeniería de requisitos en el desarrollo de sistemas.

Escenario Actual

El diseño del sistema de comunicaciones es para el “Cuerpo de Bomberos de Cotacachi”, su sede principal está situada en la ciudad de Cotacachi, ubicada en la dirección: Juan Montalvo 9-66 y Rocafuerte. Además, cuenta con dos subestaciones que cubren otras áreas de su jurisdicción. Una subestación se encuentra en Apuela, parroquia de Intag, en la calle 20 de Julio y Hugo Vega; y otra en Las Golondrinas, en la Calle Principal 300 y Manabí.

Figura 12.
Cuerpo de Bomberos Cotacachi



Fuente: Cuerpo de Bomberos Cotacachi

Durante la entrevista dirigida a Giovanni Zamora, Jefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi, Luis Cuasapás, Subjefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi y a Xavier Cuacés Suboficial del Cuerpo de Bomberos Cotacachi mencionaron que el Cuerpo de Bomberos utiliza comunicación por radio en frecuencia VHF como principal servicio de telecomunicaciones para tener una comunicación abierta tanto con el ECU 911 como internamente con las subestaciones en situaciones de emergencia. Sin embargo, debido a la geografía montañosa de la región, la señal es limitada, lo que provoca que, en algunos casos, el personal quede incomunicado y sin información sobre el desarrollo de los incidentes, comprometiendo la respuesta y la coordinación en escenarios críticos. Por lo cual, han recurrido a otros servicios de comunicación como telefonía fija, móvil e internet.

Propósito del sistema de comunicaciones

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de comunicaciones eficiente que garantice el éxito de las operaciones del Cuerpo de Bomberos, particularmente en situaciones de emergencia. Se buscará analizar y seleccionar los equipos de enlace de señal de alta calidad, con tecnología avanzada que aseguren la

transmisión de información sin interferencias ni pérdidas, incluso en áreas de difícil acceso, mediante herramientas de simulación tanto de zonas geográficas como simuladores de redes inalámbricas y soluciones de conectividad desarrollada por fabricantes de equipos de telecomunicaciones.

3.2.2. *Beneficiarios Stakeholders*

Stakeholders o traducido al español “partes interesadas” enfocado al proyecto de titulación son los Bomberos encargados del área de las telecomunicaciones que llevan el manejo y control de las comunicaciones entre todas las estaciones de Bomberos en situaciones de emergencia.

En Tabla 11 se visualiza las partes interesadas presentes para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 11.
Lista de Stakeholders

LISTA DE STAKEHOLDERS
Giovanni Zamora, jefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi
Luis Cuasapás, subjefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi
Xavier Cuacés, suboficial del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.
MSc. Edgar Maya (Director del trabajo de titulación)
MSc. Jorge Benalcázar (Asesor del trabajo de titulación)
Katherine Almeida (Desarrollador del trabajo de titulación)

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.3. *Nomenclatura de los requerimientos*

La Tabla 12 permite conocer el acrónimo que se empleará para designar a los requerimientos de acuerdo con las abreviaturas del estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018.

Tabla 12
Definición de Acrónimos

Descripción del requerimiento	Acrónimo
Stakeholders	STSR
Sistema	SYSR
Arquitectura	SRSR

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.4. *Determinación de parámetros*

En primera instancia, se necesita definir parámetros de acuerdo con las necesidades y requerimientos de las partes interesadas para el sistema de comunicaciones, para la obtención de lo anteriormente mencionado se acoge a una de las actividades interactivas que recomienda el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 como es la realización de una entrevista y un cuestionario de manera directa a las personas encargadas del área de Telecomunicaciones del Cuerpo de Bomberos Cotacachi (Anexo1).

Tabla 13
Requerimientos Stakeholders

STSR				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos operacionales				
STSR1	El sistema de comunicaciones debe ser diseñado para el Cuartel central del Cuerpo de Bomberos.			X
STSR2	El sistema debe ofrecer comunicaciones en tiempo real con alta disponibilidad, sin retrasos significativos, para decisiones rápidas y efectivas durante emergencias.	X		
STSR3	El sistema de comunicaciones debe ser entre la estación central y las subestaciones del cuerpo de Bomberos en Cotacachi.	X		
STSR4	El sistema debe minimizar las interferencias y proporcionar un sonido claro incluso en ambientes ruidosos.		X	
STSR5	Los vehículos pueden servir como repetidores móviles puede recibir señales de comunicación extendiendo así el alcance de la red de comunicaciones.		X	
Requerimientos de usuario				
STSR6	Facilidad de uso de equipos portátiles	X		
STSR7	Los equipos deben tener indicadores visuales para confirmar la transmisión y recepción de mensajes	X		
STSR8	Duración de batería en equipos		X	
STSR9	Facilidad de mantenimiento y soporte técnico		X	

Nota: La Tabla 13 presenta los requerimientos operacionales y de usuario, derivados de la recolección de datos a través del conversatorio y formulario de Anexo 1. Requerimientos de Stakeholders. Fuente: Creado por el autor.

3.2.5. Requerimientos del Sistema

Los requerimientos del sistema también vienen dados en el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 con la finalidad de cumplir con las necesidades y especificaciones para que del diseño del sistema pueda satisfacer el buen funcionamiento de la comunicación dentro del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.

Tabla 14.
Requerimientos del Sistema

SySR				
#	Requerimiento	Prioridad		Relación
		Alta	Media Baja	
Requerimientos de uso				
SySR1	El sistema debe ser diseñado para comunicarse entre la estación central y las subestaciones.	X		STSR1
SySR2	Comunicación en tiempo real.	X		STSR2
SySR3	Comunicación efectiva sin importar la distancia.	X		
SySR4	Implementar nodos equipados con tecnología de retransmisión para ampliar la cobertura de la red en zonas sin señal directa.	X		STSR5
SySR5	Fácil uso de la tecnología y establecer un protocolo claro de soporte técnico y mantenimiento.		X	STSR6
Requerimientos de performance				
SySR6	El sistema debe estar operativo y accesible el 99.9% del tiempo, incluso durante cortes de energía.		X	STSR8
SySR7	Capacidad para proporcionar servicio en un rango extenso, cubriendo todas las áreas rurales designadas.	X		STSR8
SySR8	Los tiempos de respuesta deben ser menores a 100 ms para mantener comunicaciones eficientes y en tiempo real.		X	STSR6
SySR9	El sistema debe soportar un alto número de usuarios simultáneos sin degradar el rendimiento.		X	STSR9
SySR10	Debe ser compatible y funcionar de manera integrada con otros sistemas de comunicaciones existentes.		X	STSR7
Requerimientos de estados				

SySR11	El sistema debe estar constantemente en estado activo, listo para recibir y transmitir información.	X	
SySR12	El sistema debe ser capaz de recibir y aplicar actualizaciones sin interrumpir el servicio activo.		X
SySR13	Tras un fallo o interrupción, el sistema debe ser capaz de volver a su estado operativo rápidamente.	X	

Requerimientos de Interfaz

SySR14	Los menús y opciones deben ser fáciles de navegar para facilitar el acceso rápido a las funciones.	X	
SySR15	La interfaz debe ofrecer retroalimentación inmediata sobre las acciones del usuario.	X	
SySR16	Las actualizaciones de la interfaz deben implementarse sin interrumpir el uso del sistema.		X

Requerimientos Físicos

SySR17	La ubicación del sistema debe estar en línea de vista con las subestaciones X1 y X2.	X	STSR4
SySR18	Antenas diseñadas para maximizar la cobertura y la calidad de la señal en entornos amplios y desafiantes.	X	STSR2
SySR19	Dispositivos alimentados mediante PoE (Power over Ethernet), lo que facilita su instalación en lugares donde el acceso a tomas de corriente es limitado o inexistente.	X	

3.2.6. Requerimientos de Arquitectura

Tabla 15

Requerimientos de Arquitectura

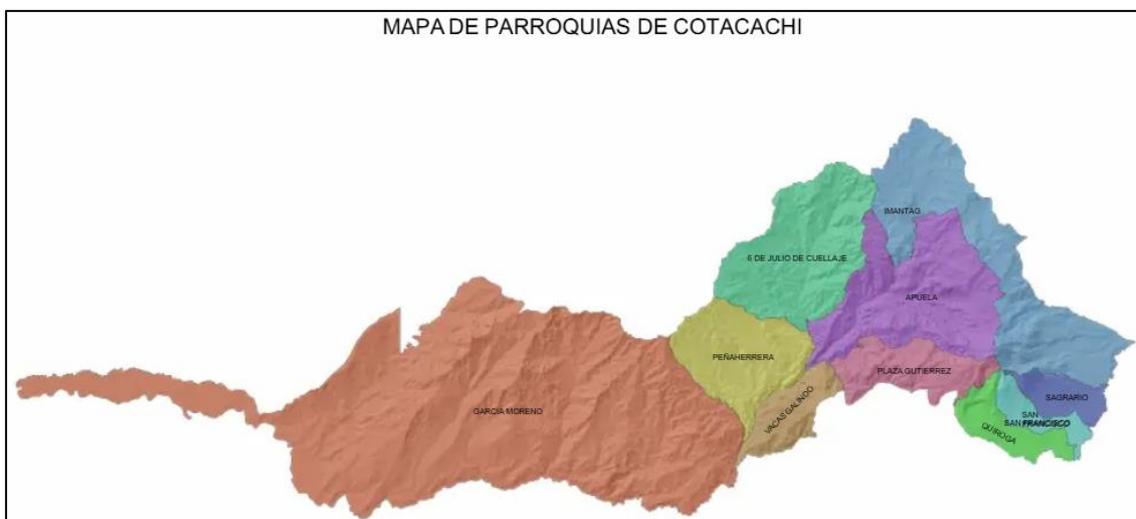
SRSH					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos lógicos					
SRSH1	El sistema debe ser compatible con estándares de comunicación globales y regionales.	X			
SRSH2	El sistema debe ser compatible con sistemas operativos para dispositivos móviles (celulares, tablets, laptops).		X		
SRSH3	Debe integrarse sin problemas con las redes y sistemas de comunicaciones existentes en la zona.		X		
SRSH4	Facilidad para realizar actualizaciones de software y mantenimiento de manera remota, minimizando la necesidad de intervenciones físicas.		X		
SRSH5	El sistema debe ofrecer interfaces y soporte técnico en los idiomas locales para facilitar su uso y mantenimiento.		X		
SRSH6	Mecanismos automáticos para detectar y corregir errores o fallas en la red, asegurando la continuidad del servicio.			X	
Requerimientos de diseño					
SRSH7	Los componentes del sistema deben ser diseñados para resistir condiciones ambientales extremas, como la humedad, el polvo y las temperaturas extremas.	X			
SRSH8	El diseño debe permitir una instalación rápida y sencilla, ideal para zonas de difícil acceso donde los recursos técnicos pueden ser limitados.		X		
SRSH9	El diseño debe ser económicamente eficiente, considerando el equilibrio entre costo y rendimiento para maximizar la accesibilidad.		X		
SRSH10	Debe ser compatible con una variedad de equipos y sistemas de terceros para asegurar la flexibilidad y la expansibilidad del sistema.		X		SRSH2
Requerimientos de Software					
SRSH11	El software debe ser compatible con los principales sistemas operativos para asegurar una integración fluida.	X			
SRSH12	Soporte completo para protocolos de red estándar para garantizar la interoperabilidad entre diferentes equipos.	X			SRSH4
SRSH13	Herramientas integradas para el monitoreo del rendimiento de la red y diagnóstico de problemas.		X		

SRSH14	Soporte para configuraciones de red de malla para mejorar la cobertura y la redundancia en áreas extensas.	X
SRSH15	El software debe adaptarse a variados escenarios de red, desde pequeñas instalaciones hasta grandes despliegues.	X
Requerimientos de Hardware		
SRSH16	Los dispositivos deben soportar las bandas de frecuencia utilizadas localmente para evitar interferencias.	X
SRSH17	Capacidad para transmitir señales a largas distancias sin pérdida significativa de datos.	X
SRSH18	Soporte para interfaces estándar como Ethernet, Wi-Fi, y posiblemente conexiones de fibra óptica.	X
SRSH19	Dispositivos que puedan operar en distintos modos, como punto de acceso, puente, o repetidor, según sea necesario.	X
Requerimientos Eléctricos		
SRSH20	Equipos con protección incorporada para manejar fluctuaciones y picos de voltaje sin dañarse.	X
SRSH21	Soporte para PoE, permitiendo que los dispositivos sean alimentados y transmitan datos a través de un solo cable Ethernet.	X
SRSH22	Capacidad de integrarse con sistemas de respaldo de energía, como generadores o UPS (Sistemas de Alimentación Ininterrumpida).	X
SRSH23	Capacidad para operar con diversas fuentes de energía, incluyendo electricidad convencional, solar y baterías.	X

3.3. Antecedentes de la situación demográfica

El cantón Cotacachi, ubicado en la provincia de Imbabura, Ecuador, se organiza territorialmente en 10 parroquias, de las cuales 2 son urbanas y 8 rurales, como lo muestra su mapa parroquial. Las parroquias urbanas, San Francisco y El Sagrario, concentran la mayor densidad poblacional de Cotacachi centro y constituyen el núcleo administrativo y comercial del cantón. Por otro lado, las parroquias rurales, como Apuela, García Moreno, están distribuidas en áreas de mayor extensión territorial con comunidades dispersas, muchas de ellas ubicadas en zonas montañosas o de difícil acceso en las cuales se encuentran las subestaciones que se involucra el diseño de comunicaciones.

Figura 13
División de parroquias del cantón Cotacachi

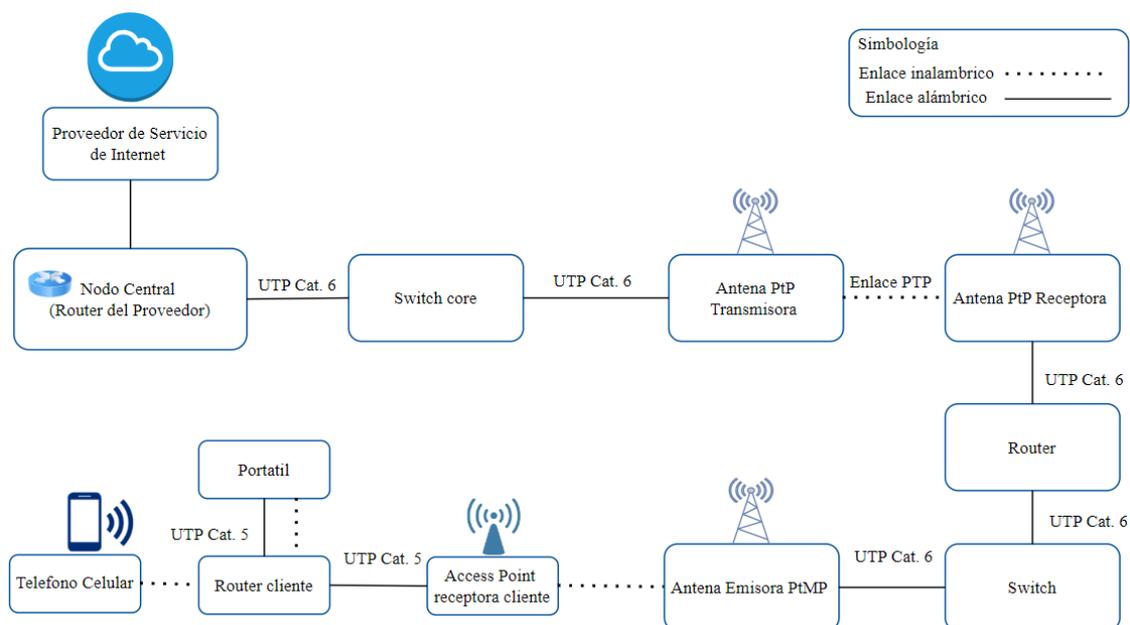


Fuente: <https://cotacachi.gob.ec/>

3.4. Diagrama de bloques del Sistema de comunicación

El diseño del sistema de comunicación previamente requiere la realización de un diagrama de bloques que organiza los componentes y etapas para garantizar un desarrollo eficiente del mismo.

Figura 14
Diagrama de bloques Diseño de Sistema de Comunicaciones



El diagrama representa un diagrama de red de comunicación basada en enlaces inalámbricos, diseñada para distribuir conectividad desde un Proveedor de Servicios de Internet hacia usuarios finales utilizando tecnologías Punto a Punto y Punto a Multipunto. En la conexión inicial se tiene un proveedor de servicio de internet que llega al Nodo Central, el cual enruta el tráfico hacia una Antena Punto a punto Transmisora utilizando un cable UTP Cat.6. La antena transmisora establece un enlace inalámbrico PtP de alta capacidad y baja latencia con una Antena PtP Receptora en un punto remoto, que a su vez distribuye la señal a una Antena PtMP sectorial. Esta última utiliza tecnología PtMP para conectar múltiples usuarios finales mediante enlaces inalámbrico.

3.5. Dimensionamiento de la red.

El diseño del sistema de comunicación inalámbrico se estructura bajo tres niveles: red troncal principal, red troncal secundaria y red de acceso utilizando enlaces punto a

punto (PtP), punto a multipunto (PtMP) y red de acceso, todas optimizadas con el estándar IEEE 802.11ac en la banda de 5 GHz.

3.5.1. Red Troncal Principal

La red troncal principal constituye el núcleo del sistema y se encarga de interconectar los nodos estratégicos de Cuerpo de bomberos Cotacachi, Subestación del Cuerpo de Bomberos Intag – Apuela y Subestación de Cuerpo de Bomberos Las Golondrinas. Esta red utiliza enlaces PtP configurados con antenas direccionales de alto rendimiento.

3.5.2. Red Troncal Secundaria

La red troncal secundaria conecta los nodos principales con los nodos intermedios ubicados en puntos estratégicos, diseñados para actuar como extensores de conexión. En Apuela, se integran los nodos Apuela_1, Apuela_2 y Apuela_3, mientras que, en Golondrinas, se incluyen Golondrinas_1, Golondrinas_2 y Golondrinas_3. Para esta red, que conecta nodos principales con nodos intermedios, es necesario utilizar antenas direccionales de alta ganancia para enlaces punto a punto (PtP).

3.5.3. Red de Acceso

La red de acceso conecta a los usuarios finales a través de antenas sectoriales instaladas en los nodos secundarios Apuela_1, Apuela_2, Apuela_3, Golondrinas_1, Golondrinas_2 y Golondrinas_3. . Estas antenas están diseñadas para irradiar señal en un área amplia, proporcionando conectividad con tecnología PtMP utilizada en esta etapa optimiza la distribución del ancho de banda y permite una conexión eficiente con múltiples clientes simultáneamente.

3.6. Selección de las ubicaciones de los nodos

Este diseño se centrará en la creación de una red de comunicación que conecte todas las subestaciones del cuerpo de bomberos de Cotacachi, que involucra la estación central de Bomberos Cotacachi, subestación de Bomberos Intag – Apuela y la subestación de Bomberos La Golondrinas, como muestra la tabla con sus respectivas coordenadas polares. Estas ubicaciones estratégicas están distribuidas a lo largo de 214 kilómetros, atraviesan áreas montañosas y zonas boscosas, presentando desafíos topográficos significativos. Conocer estas rutas permite planificar una cobertura eficiente para garantizar la coordinación en zonas rurales y de difícil acceso.

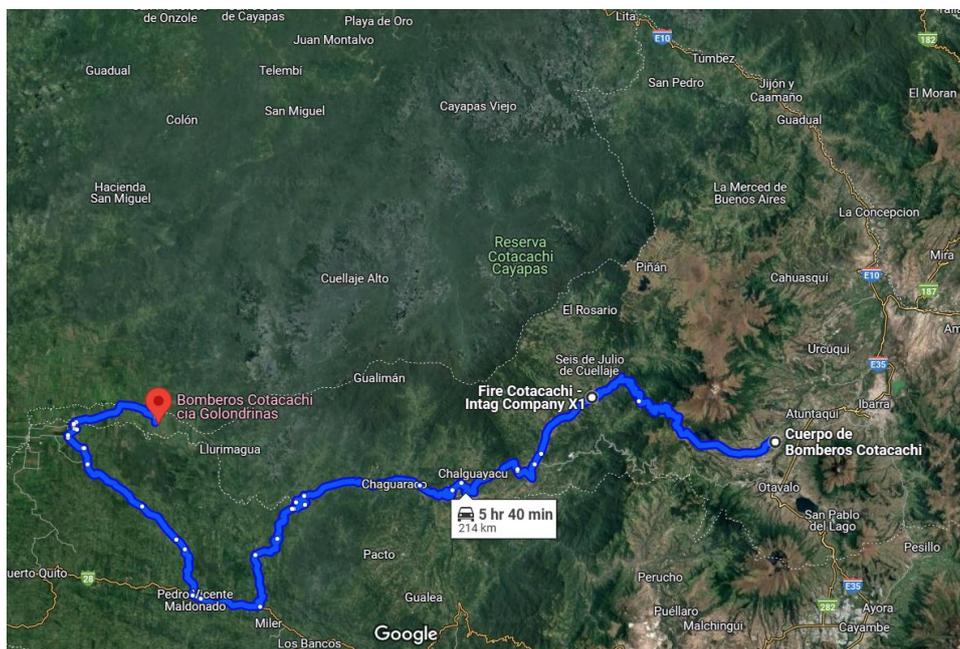
Tabla 16

Coordenadas Geográficas de las Estaciones de Cuerpo de Bomberos Cotacachi

Nodo	Latitud	Longitud
Cotacachi	0°17'43.9"N	78°15'55.7"O
Intag-Apuela	0°21'19.3"N	78°31'07.6"O
Las Golondrinas	0°19'03.2"N	79°05'46.2"O

La Ruta de la Tabla 16 es la más rápida entre las opciones disponibles, lo que la convierte en una elección estratégica para optimizar los tiempos de respuesta en situaciones de emergencia. Para el cuerpo de bomberos lo cual resulta fundamental priorizar rutas eficientes y confiables para garantizar una atención oportuna en áreas rurales y de difícil acceso. Por ello, es imprescindible cubrir esta zona con una red de comunicación que permita coordinar dichas operaciones.

Figura 15
Ruta conexión entre estación central y subestaciones



3.6.1. Perfiles topográficos de las estaciones

El análisis de los perfiles topográficos de las estaciones involucradas en el diseño del sistema de comunicaciones corresponde a uno de los principales factores a tomar en cuenta, debido a que esta información presenta las características del terreno entre los transmisores y receptores. Este análisis permite identificar obstáculos naturales o artificiales que pueden afectar la propagación de la señal como montañas, vegetación densa o edificios. Además, el perfil topográfico facilita el cálculo de parámetros importantes, como la altura mínima de las antenas para garantizar la línea de vista y la zona de Fresnel, optimizando así la calidad y confiabilidad del enlace.

Perfil topográfico Estación Central Cotacachi a Subestación Apuela

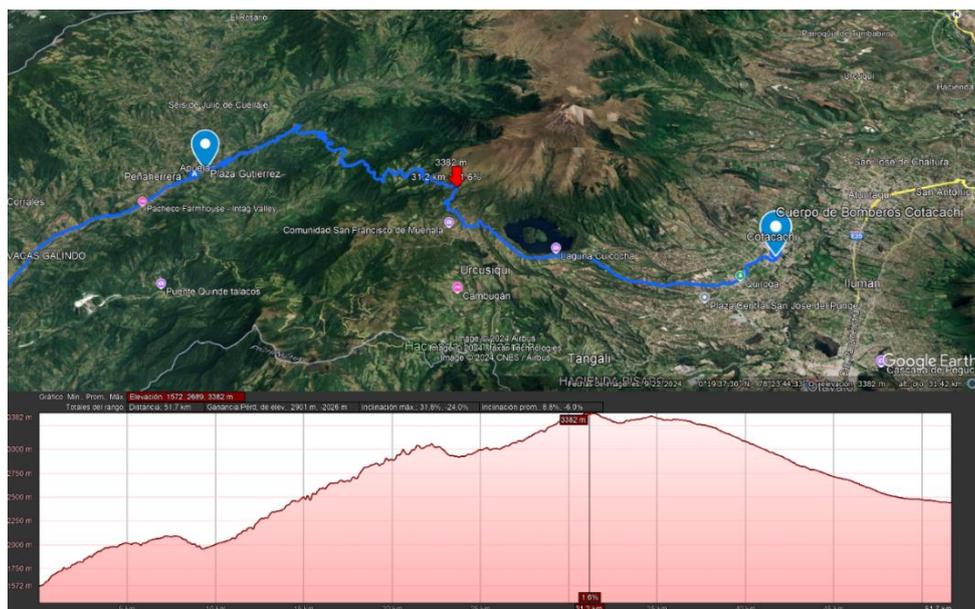
El análisis del perfil topográfico entre la Estación Central de Cotacachi y la Subestación Apuela, se presenta en la Figura 16, la cual permite identificar parámetros

críticos a considerar en el diseño del enlace de comunicación. Uno de los principales factores a tomar en cuenta corresponde a la distancia total entre ambas estaciones que corresponde a 51.7 Km, con una elevación que varía entre los 1,572 m y 3,382 m. Además, el perfil del terreno en estas ubicaciones revela una inclinación promedio del 6.8 %, con una inclinación máxima de 31.8 %, lo que refleja la presencia de desniveles significativos, especialmente en las zonas montañosas intermedias.

Este terreno presenta desafíos como las posibles obstrucciones en la línea de vista por accidentes geográficos elevados, lo cual puede afectar negativamente la propagación de la señal. Para mitigar estos efectos, será necesario calcular las alturas de las antenas, asegurando que superen los puntos de mayor elevación a lo largo del trayecto. Adicionalmente, es necesario verificar que al menos el 60 % de la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos, especialmente en las áreas más críticas del enlace.

Figura 16

Trayecto Estación Central Cotacachi a Subestación Intag-Apuela

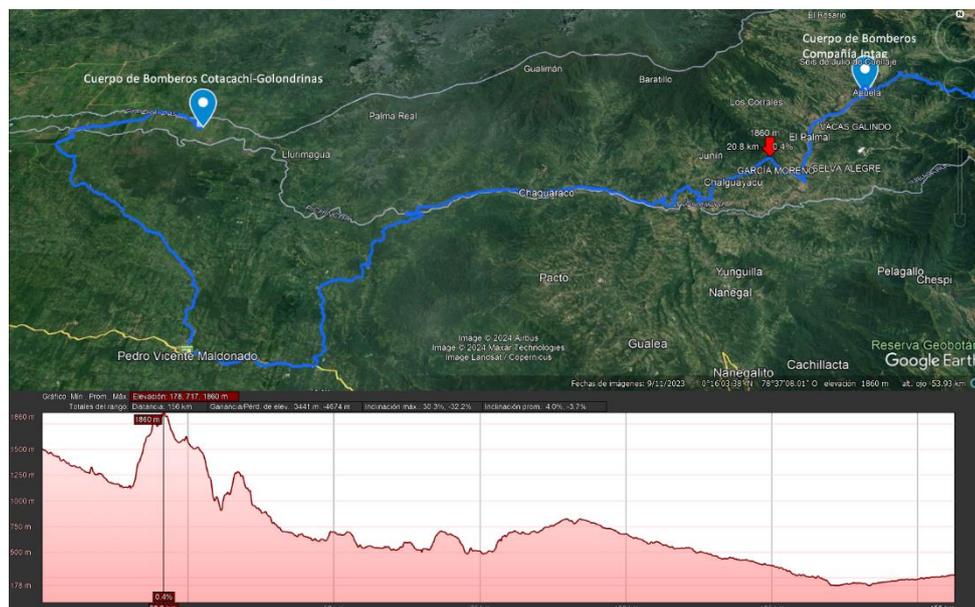


Perfil topográfico Subestación Intag-Apuela-Apuela a Subestación Golondrinas

El perfil topográfico entre la Subestación Golondrinas y la Subestación Apuela, representado en la Figura 17, corresponde al segundo trayecto de las estaciones que requieren interconectividad para sus operaciones. La ruta abarca una distancia de 156 Km, con altitudes que oscilan entre los 178 m y los 1,860 m; de modo que el análisis del terreno revela una inclinación promedio de -3.7 %, con una inclinación máxima positiva de 30.3 %, lo que evidencia tanto pendientes pronunciadas como extensas zonas de menor altitud. Estas características geográficas plantean retos importantes, como la posibilidad de interrupciones en la línea de vista debido a los cambios abruptos en la elevación.

Figura 17

Trayecto Subestación Intag-Apuela – Apuela a Subestación Las Golondrinas



3.6.2. Diseño de enlaces Red Principal

La correcta ubicación de los nodos de transmisión se determinará mediante el uso de herramientas de simulación como Google Earth Pro el cual permiten analizar la

topografía, medir distancias y altitudes de los puntos de enlace entre la Estación Central de Bomberos y las subestaciones ubicadas en las parroquias del Cantón Cotacachi.

Enlace Estación Central Cotacachi a Subestación Intag-Apuela

El diseño del enlace entre la Estación Central del Cuerpo de Bomberos y la Subestación del Cuerpo de Bomberos situada en el Valle Intag en la comunidad La Compañía en Apuela es de aproximadamente 1 hora y 21 minutos, cubriendo una distancia de 52,7 Km, lo que subraya la necesidad de enlaces confiables que optimicen la comunicación en esta región montañosa.

El trayecto atraviesa zonas montañosas con altitudes que oscilan entre los 1867.8 m y los 3497.1 m como se observó en los perfiles de elevación anteriormente analizados de dicho trayecto.

Para este propósito, se ha establecido la Tabla 17, en la cual se define cinco nodos intermedios estratégicamente ubicados en base a su posicionamiento y altitudes.

Tabla 17

Nodos del diseño de red de la Estación Central Cotacachi a la Subestación Intag-Apuela

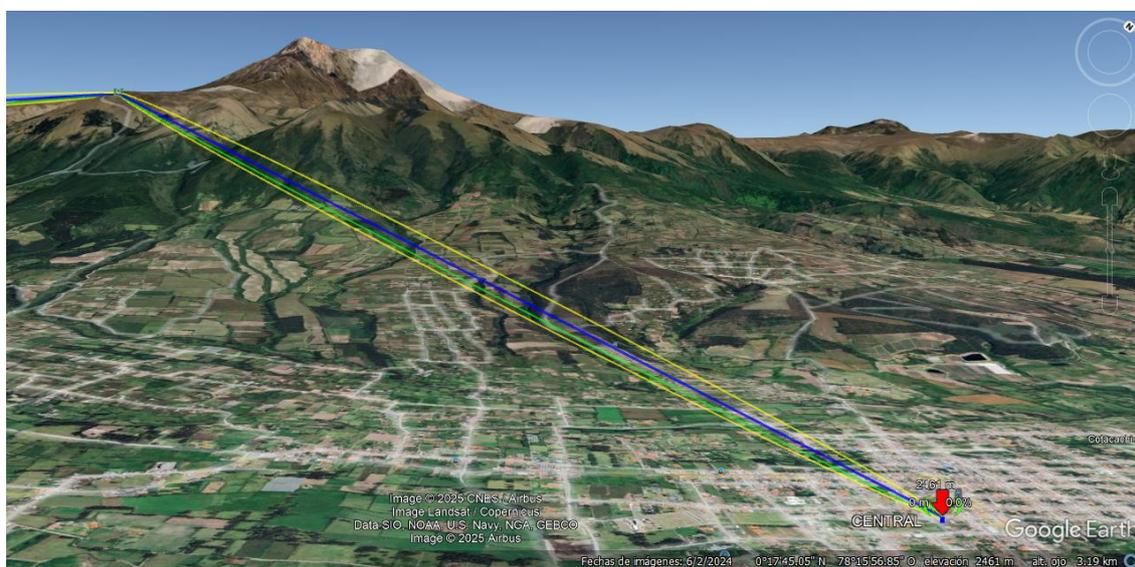
Nodo	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Central Cotacachi	0°17'43.9"N	78°15'55.7"O	2461
Apuela_1	0° 14' 45.0"N	78° 20' 18.1"O	3967
Apuela_2	0° 17' 25.9"N	78° 24' 06.2"O	3581
Apuela_3	0° 20' 47.4"N	78° 23' 26.4"O	3720
Apuela_4	0° 21' 04.9"N	78° 27' 38.9"O	2795
Intag	0° 21' 19.3"N	78° 31' 07.6"O	1868

Nodo Central Cotacachi

El diseño del enlace de comunicaciones inicia en el Nodo Central Cotacachi, localizado estratégicamente en el centro de la ciudad de Cotacachi, provincia de Imbabura, a una altitud de 2.418 metros sobre el nivel del mar. Este nodo principal actúa como el punto de origen de la transmisión, permitiendo la integración de señales hacia las áreas rurales del cantón y se conecta con Apuela_1.

Figura 18

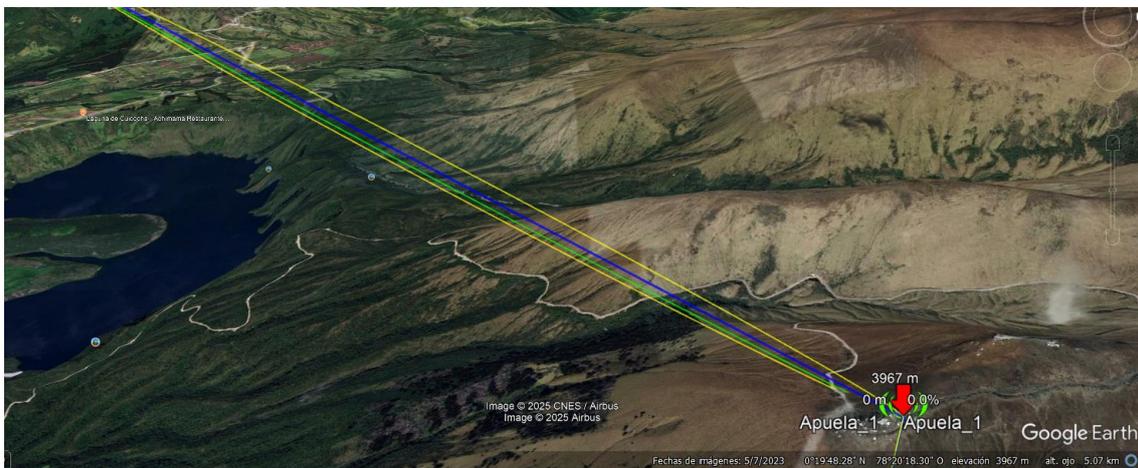
Enlace Nodo Central Cotacachi con Nodo Apuela_1



Nodo Apuela_1

El primer nodo intermedio, *Apuela_1*, está ubicado en las proximidades de la comunidad de El Rosario, parroquia Apuela, a una altitud de 3967 metros sobre el nivel del mar. Este nodo establece un enlace directo con el Nodo Central Cotacachi, situado a una distancia de 8,92 Km, y con el Nodo *Apuela_2*, a 8,29 Km. Su ubicación estratégica permite optimizar la conectividad entre el nodo central y los nodos subsiguientes, garantizando una transmisión eficiente y estable en la red.

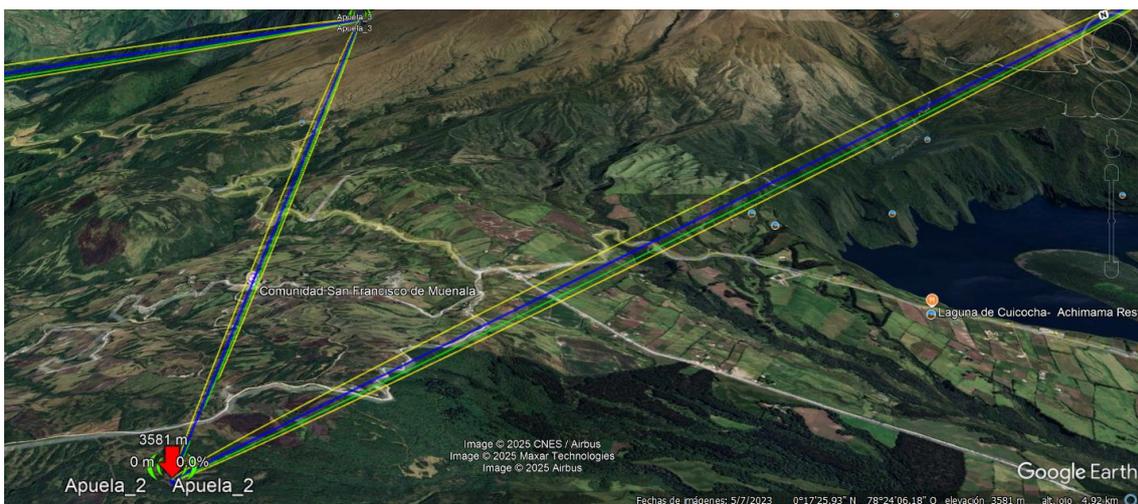
Figura 19
Enlace Nodo Apuela_1 con Nodo Apuela_2



Nodo Apuela_2

Continuando hacia el oeste, el Nodo *Apuela_2* está situado en las inmediaciones de la comunidad de Plaza Gutiérrez, también en la parroquia de Apuela, a una altitud de 3581 metros y se conecta con *Apuela_3* a 6.34 Km.

Figura 20
Enlace Nodo Apuela_2 con Nodo Apuela_3

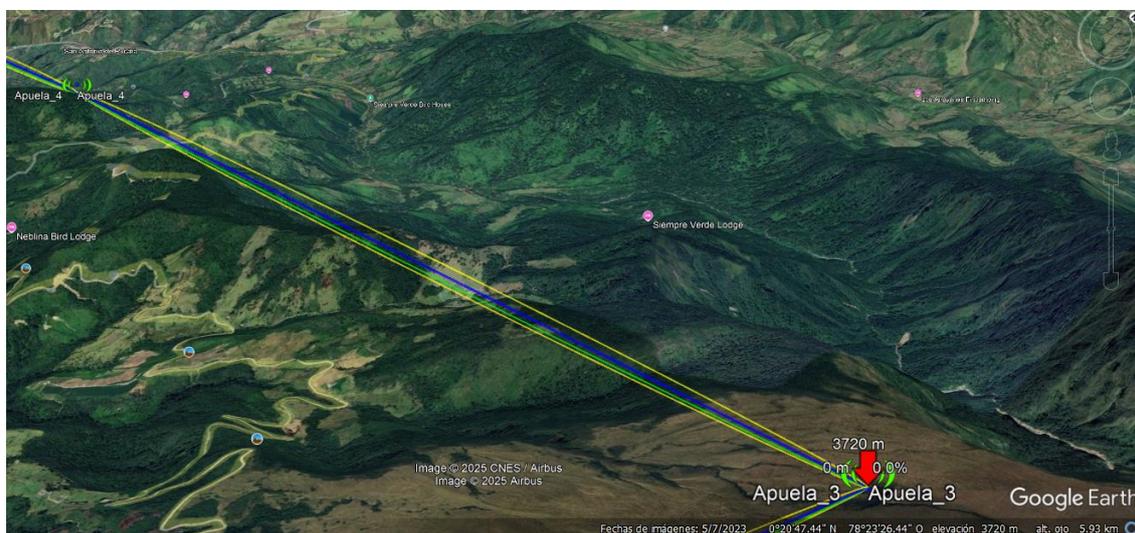


Nodo Apuela_3

El Nodo *Apuela_3* está ubicado cerca de la comunidad de Nangulví, un sector conocido por su topografía montañosa y su importancia en el Valle de Intag. Este nodo, tiene una elevación de 3720 metros, asegura la transmisión hacia las zonas más bajas y remotas del trayecto. Este nodo tiene enlace con el nodo *Apuela_4* a 7.70 Km.

Figura 21

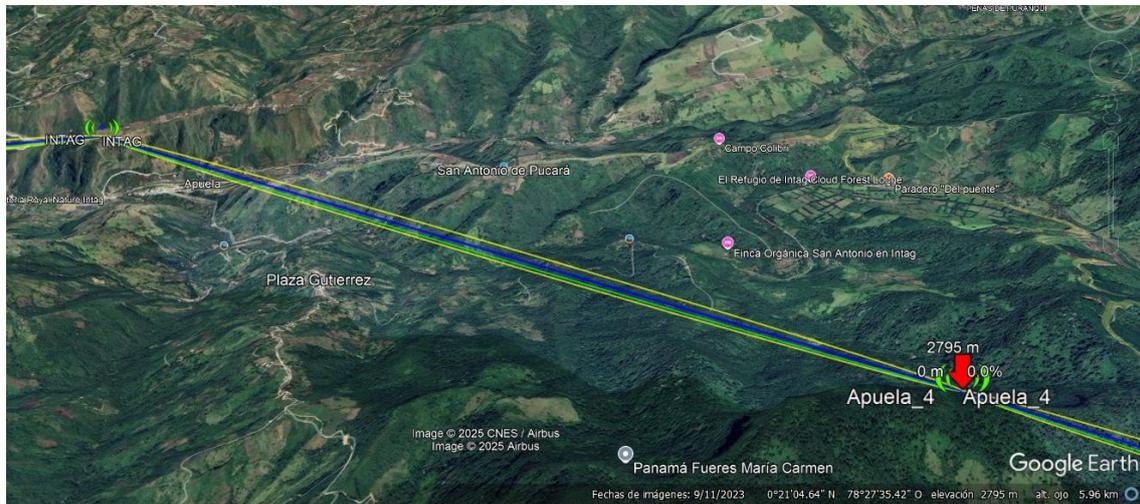
Enlace nodo *Apuela_3* con el nodo *Apuela_4*



Nodo Apuela_4

El nodo *Apuela_4* se encuentra en las cercanías de San Antonio de Pucará y Plaza Gutiérrez, poblaciones rurales dentro del valle de Intag. La altitud de 2795 metros sobre el nivel del mar indica que la ubicación está en una región de elevaciones significativas, este nodo se enlaza con el nodo Intag a 6,57 Km.

Figura 22
Enlace nodo Apuela_4 con el nodo Intag

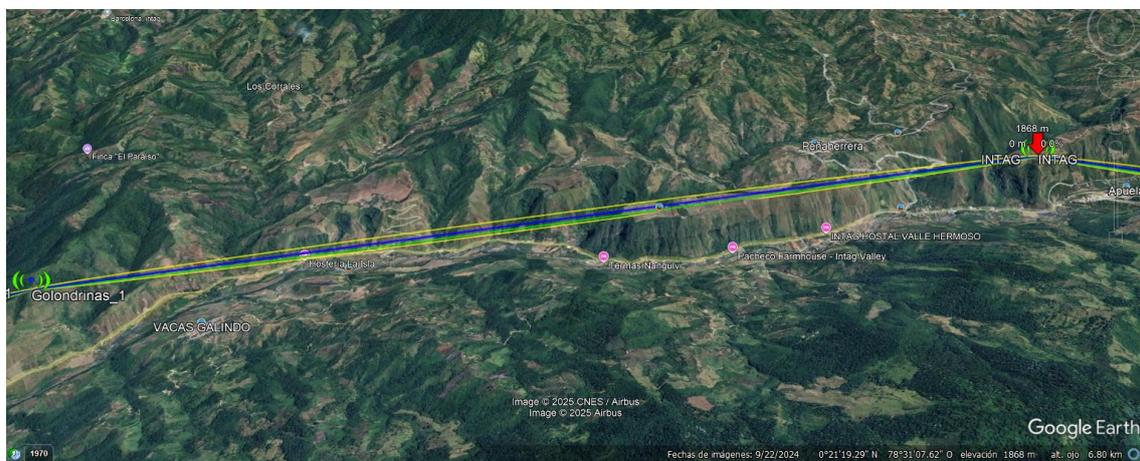


Enlace Estación Subestación Intag-Apuela a Subestación Las Golondrinas

Nodo Intag

El Nodo *Intag*, localizado en la comunidad de La Magdalena, en el Valle de Intag, a 1868 metros de altitud y se establece un enlace con el nodo Golondrinas_1 a una distancia de 9.39 Km

Figura 23
Enlace nodo Intag con nodo Golondrinas_1



a) Enlace Subestación Intag-Apuela – Estación Golondrinas

El enlace de comunicación inicia en el Nodo Intag, ubicado en la comunidad de La Magdalena, parroquia Apuela, cantón Cotacachi, a una altitud de 1868 metros sobre el nivel del mar. Desde este punto, el trayecto terrestre hacia el Nodo Golondrinas, ubicado en la comunidad de Las Golondrinas, parroquia García Moreno, cantón Cotacachi, toma aproximadamente 4 horas y 17 minutos y cubre una distancia de 162 kilómetros a través de la vía Abdón Calderón.

Este enlace abarca una región con variaciones significativas de altitud, tal como se detalla en la Tabla 18, donde se destaca una diferencia considerable en las elevaciones, que oscilan entre los 1868 m y los 297 m. Estas variaciones reflejan el contraste entre la zona montañosa de Intag, perteneciente a la sierra, y las áreas planas de Golondrinas, situadas en un perfil de terreno más cercano a la costa.

Tabla 18

Nodos del diseño de red de la Subestación Intag-Apuela a la Subestación Golondrinas del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.

Nodo	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Intag	0°21'19.3"N	78°31'07.6"O	1868
Golondrinas_1	0°17'59.8"N	78°34' 57.1"O	1602
Golondrinas_2	0°15'13.3"N	78° 36'34.9"O	1731
Golondrinas_3	0°13'06.0"N	78° 38'15.2"O	1358
Golondrinas_4	0°14'21.4"N	78°43'00.5"O	813
Golondrinas_5	0°14'39.3"N	78°51'18.9"O	807
Golondrinas_6	0°07'35.9"N	78°59'50.3"O	903
Golondrinas	0°19'03.2"N	79°05'46.2"O	297

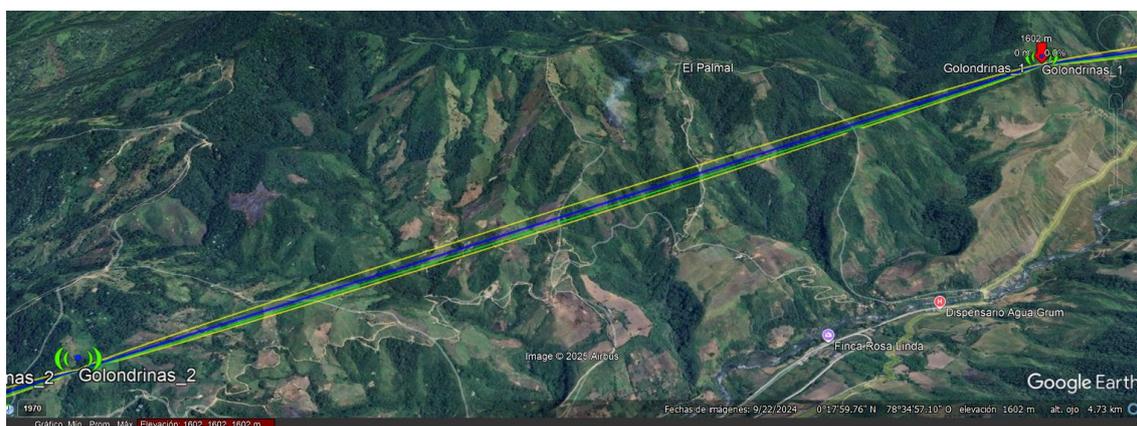
Nodo Golondrinas_1

El Nodo Golondrinas_1 se localiza cerca de la comunidad de García Moreno, parroquia García Moreno, cantón Cotacachi, a una altitud de 1602 metros. Este nodo

establece un enlace directo con el Nodo Golondrinas_2, cubriendo una distancia de 5.96 Km.

Figura 24

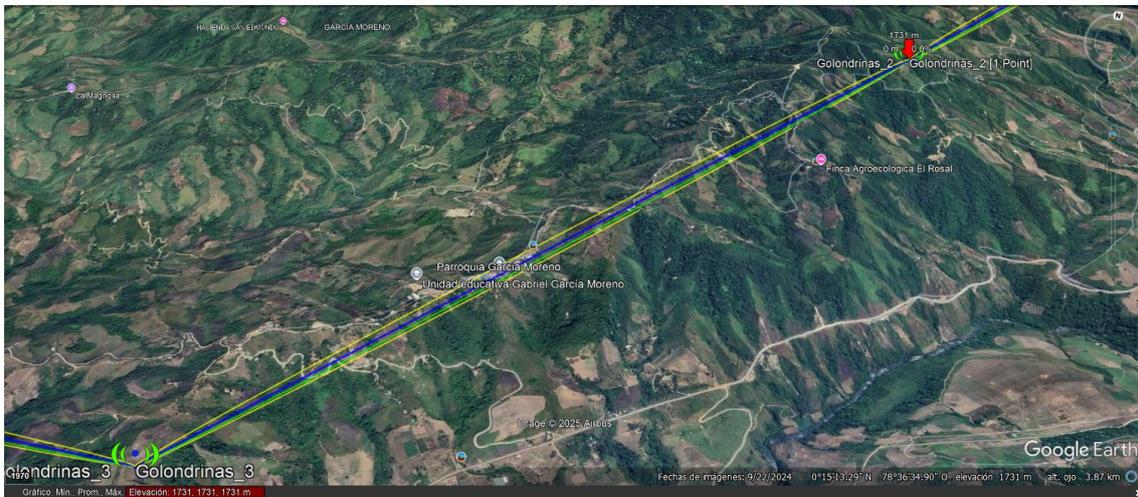
Enlace Nodo Golondrinas_1 con Nodo Golondrinas_2



Nodo Golondrinas_2

Cercano a la comunidad de Peñaherrera, parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, el Nodo Golondrinas_2 se ubica a una altitud de 21731 metros. Este nodo actúa como un enlace de transición clave, capturando la señal proveniente de Golondrinas_1 y asegurando su transmisión hacia los nodos posteriores. El enlace entre el Nodo Golondrinas_2 y el Nodo Golondrinas_3 cubre una distancia de 32,45 Km.

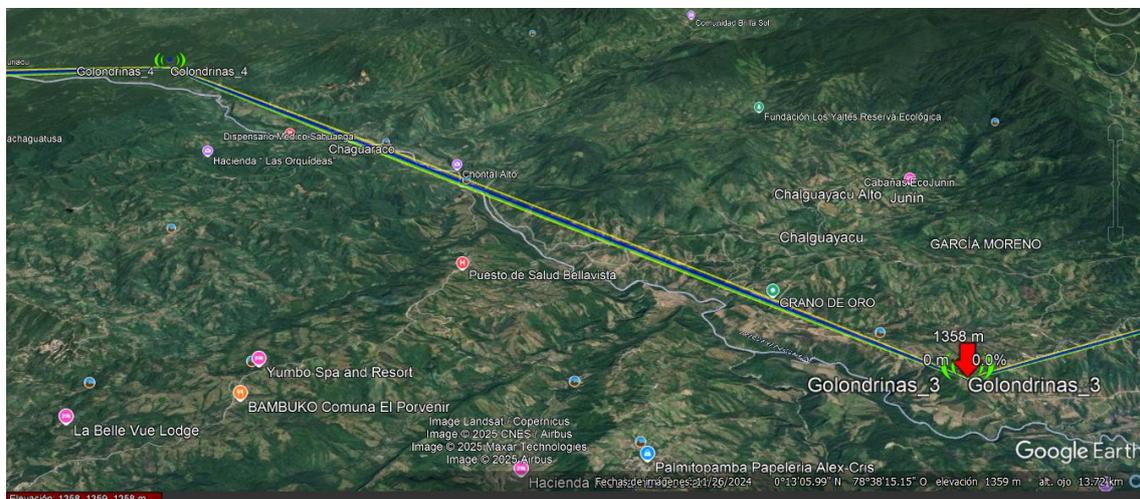
Figura 25
Enlace Nodo Golondrinas_2 con Nodo Golondrinas_3



Nodo Golondrinas_3

Situado en las cercanías de la comunidad de Cielo Verde, parroquia García Moreno, cantón Cotacachi, el Nodo Golondrinas_3 se encuentra a 1358 metros sobre el nivel del mar. Este nodo establece un enlace punto a punto con el Nodo Golondrinas_4 localizado en la comunidad de Las Golondrinas, parroquia García Moreno, cantón Cotacachi, el Nodo Golondrinas_4, este enlace abarca una distancia de 24,36 Km.

Figura 26
Enlace entre Nodo Golondrinas_3 con Nodo Golondrinas_4

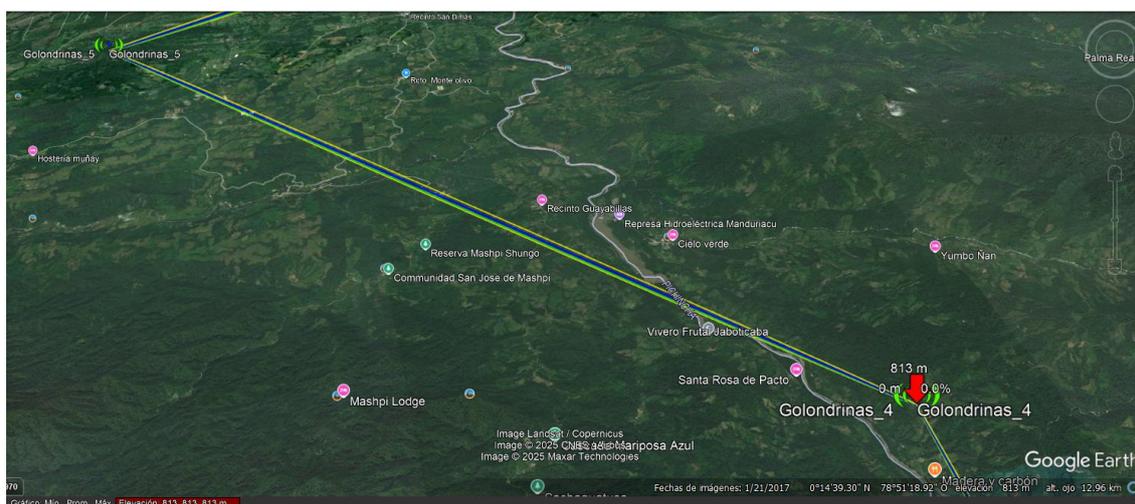


Nodo Golondrinas_4

El nodo Golondrinas_4 se encuentra a 813 metros sobre el nivel del mar, se identifican elementos clave como la Reserva Mashpi Shungo, la comunidad de San José de Mashpi, y la Represa Hidroeléctrica Manduriacu, lo que indica la posible presencia de recursos energéticos y acceso a infraestructura básica. El punto de enlace está orientado hacia Golondrinas_5, formando parte de un sistema de comunicación de largo alcance a 20,72 Km.

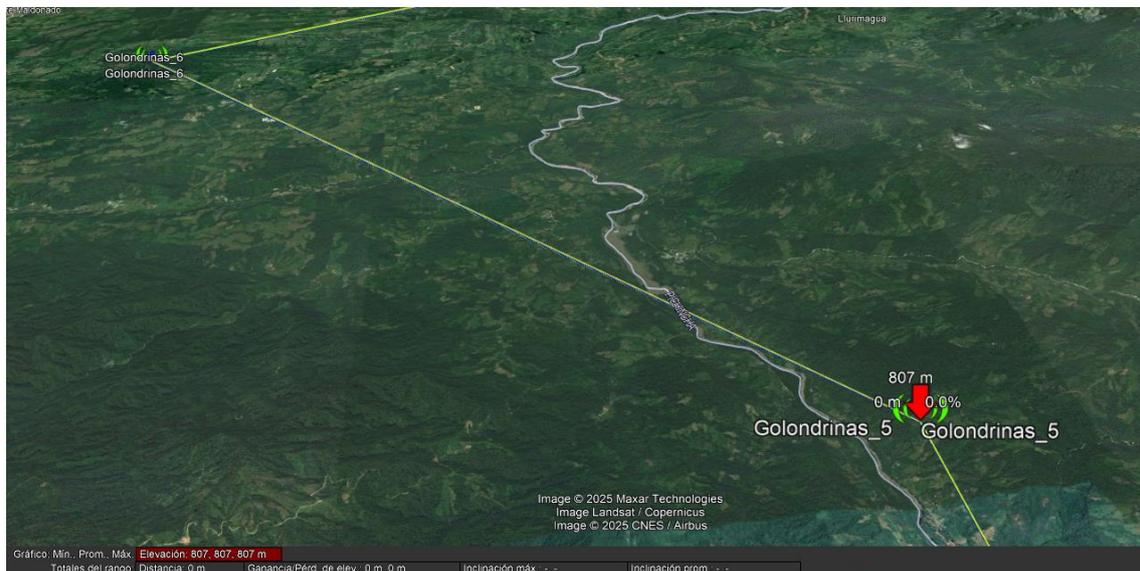
Figura 27

Enlace entre Nodo Golondrinas_4 con Nodo Golondrinas_5

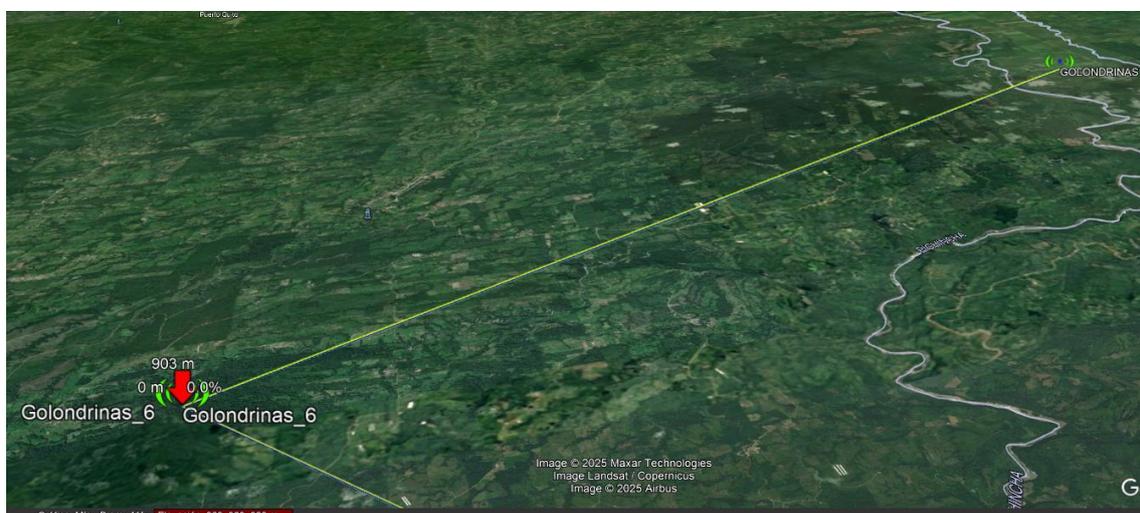


Nodo Golondrinas_5

El nodo *Golondrinas_5* se encuentra en una zona de transición entre la Sierra y la región Costa a 807 metros sobre el nivel del mar ubicado entre los ríos Agua Clara y Guayllabamba, se enlaza con el nodo de Golondrinas_6 a 20.51Km.

Figura 28*Enlace entre nodo Golondrinas_5 con nodo Golondrinas_6***Nodo Golondrinas_6**

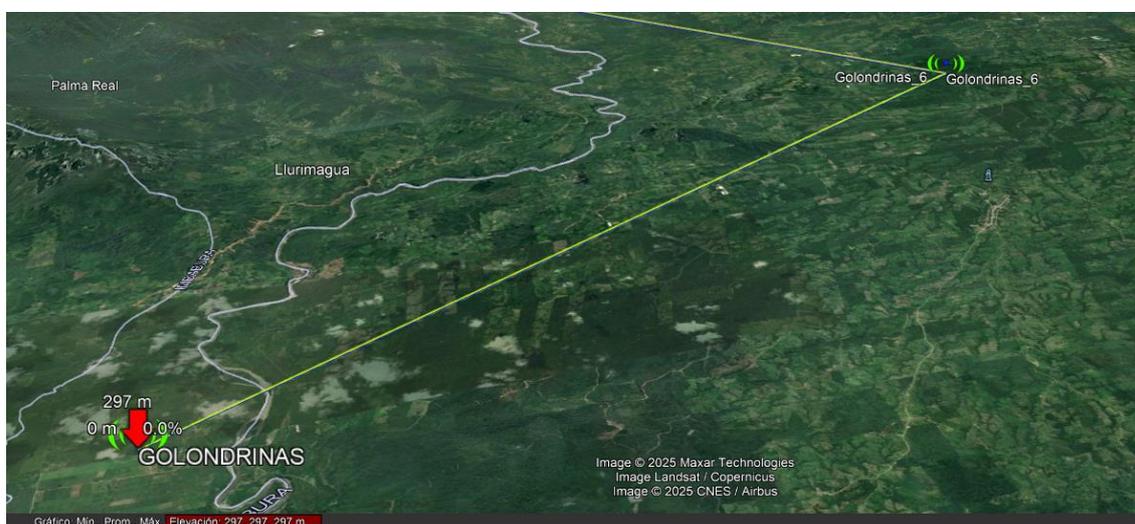
El nodo Golondrinas_6 tiene una altitud de 903m, se encuentran en una región plana o con mínima variación topográfica en la zona de Golondrinas, es el nodo que enlaza al nodo de la sucursal Las Golondrinas que es el nodo final de la red de comunicación.

Figura 29*Enlace entre nodo Golondrinas_5 con nodo Golondrinas_6*

Nodo Golondrinas

Este es el nodo final del sistema de comunicaciones, ya que corresponde a la última subestación del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi, ubicada en la localidad de Las Golondrinas, en la provincia de Imbabura . Se encuentra a una elevación de 297 metros sobre el nivel del mar.

Figura 30
Nodo Golondrinas



Respecto a las distancias intermedias, la longitud del trayecto y las diferencias de altitud han llevado a la segmentación del enlace en tramos intermedios. Esta división no solo permite superar las barreras naturales del terreno, como colinas y áreas boscosas, sino que también asegura que la señal conserve la calidad necesaria para una transmisión efectiva. La segmentación contribuye a mantener un rendimiento adecuado incluso en áreas de difícil acceso, optimizando la funcionalidad del sistema.

3.6.3. Red de Respaldo

En sistemas de emergencia, la implementación de una red de respaldo es fundamental para garantizar continuidad operativa, minimizar interrupciones y

proporcionar redundancia ante fallos en la red principal. La red de respaldo tiene el propósito funcionar cuando la red primaria falla, ya sea por problemas técnicos, condiciones climáticas extremas o fallos de infraestructura.

Siguiendo el mismo criterio de diseño empleado en la red principal, se lleva a cabo un análisis detallado de los perfiles de elevación, considerando la topografía del terreno y los posibles obstáculos que puedan afectar la propagación de la señal. Se identifican estratégicamente las zonas óptimas para la ubicación de puntos de enlace, asegurando una conectividad eficiente con los nodos principales.

Tabla 19

Ubicación de los nodos de respaldo de la red

Nodo	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Intag_BK_1	0° 17' 39.5"	78° 20' 54.6"	3111
Intag_BK_2	0° 17' 37.6"	78° 23' 53.6"	3417
Intag_BK_3	0° 19' 55.9"	78° 23' 55.2"	3466
Intag_BK_4	0° 20' 45.3"	78° 25' 32.0"	3205
Intag_BK_5	0° 23' 00.4"	78° 28' 14.5"	2136
Golo_BK_1	0° 19' 19.3"	78° 34' 05.8"	1592
Golo_BK_2	0° 16' 09.6"	78° 34' 55.6"	1430
Golo_BK_3	0° 16' 26.0"	78° 37' 17.8"	1961
Golo_BK_4	0° 15' 54.6"	78° 41' 51.8"	1725
Golo_BK_5	0° 16' 48.0"	78° 49' 10.5"	1541
Golo_BK_6	0° 11' 58.6"	79° 00' 45.0"	767

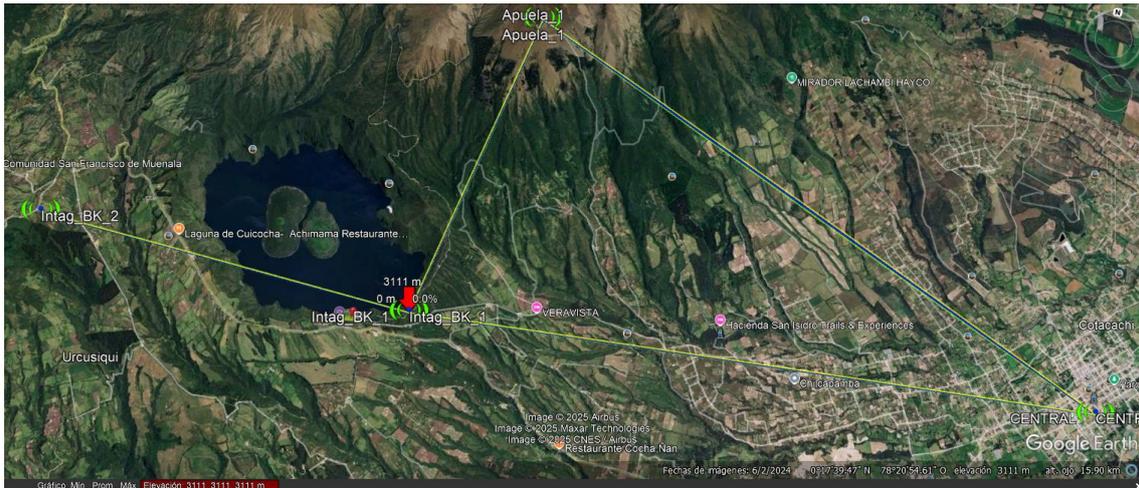
Nodos de Respaldo Central Cotacachi a Subestación Intag

Nodo Intag Respaldo_1

El nodo Intag_BK_1 forma parte de la red de respaldo del sistema de comunicaciones. Su función principal es proporcionar redundancia y garantizar la continuidad del servicio en caso de fallos en los enlaces principales. Se encuentra interconectado con otros nodos de respaldo, como Intag_BK_2, y a su vez, mantiene una relación indirecta con los nodos principales, como Apuela_1 y Apuela_2, que forman

parte de la infraestructura de la red de comunicación principal. Desde el nodo Central Cotacachi al nodo Intag_BK_1, existe una distancia de 9,19 km, con Apuela_1 4,13 km, y desde Apuela_2 hay una distancia de 5,93km.

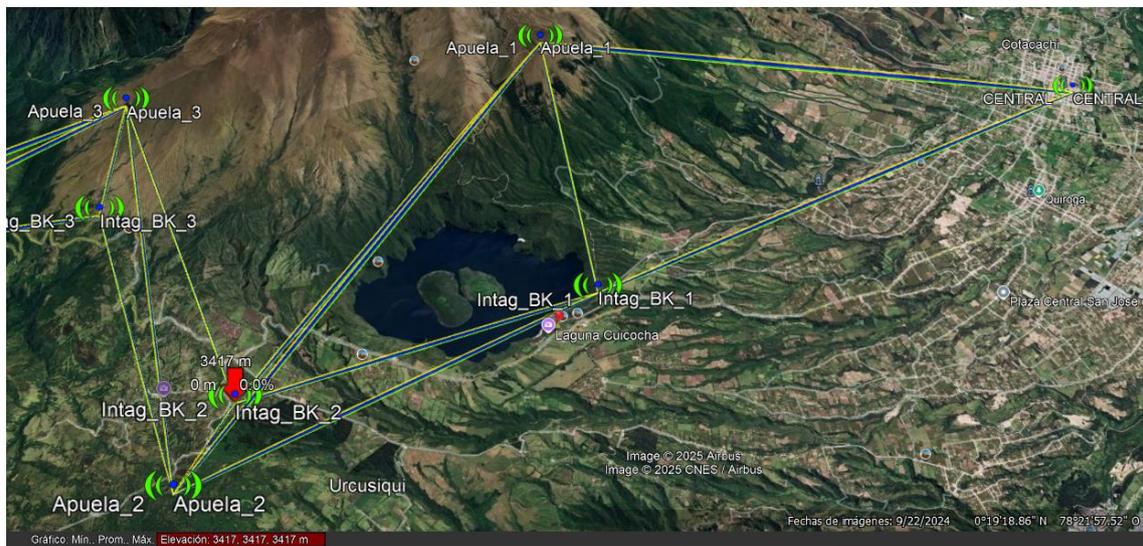
Figura 31
Nodo Intag_BK_1



Nodo Intag Respaldo_2

El nodo Intag_BK_2 es un punto en la red de respaldo con una altitud de 3437 m, asegura redundancia y continuidad en la comunicación debido a que se encuentra conectado a Intag_BK_1, Intag_BK_3 y nodos principales como Apuela_1 y Apuela_2. Si el enlace falla el nodo Intag_BK_2 llega al nodo Apuela_3 de la red principal con una distancia de 5,29 km.

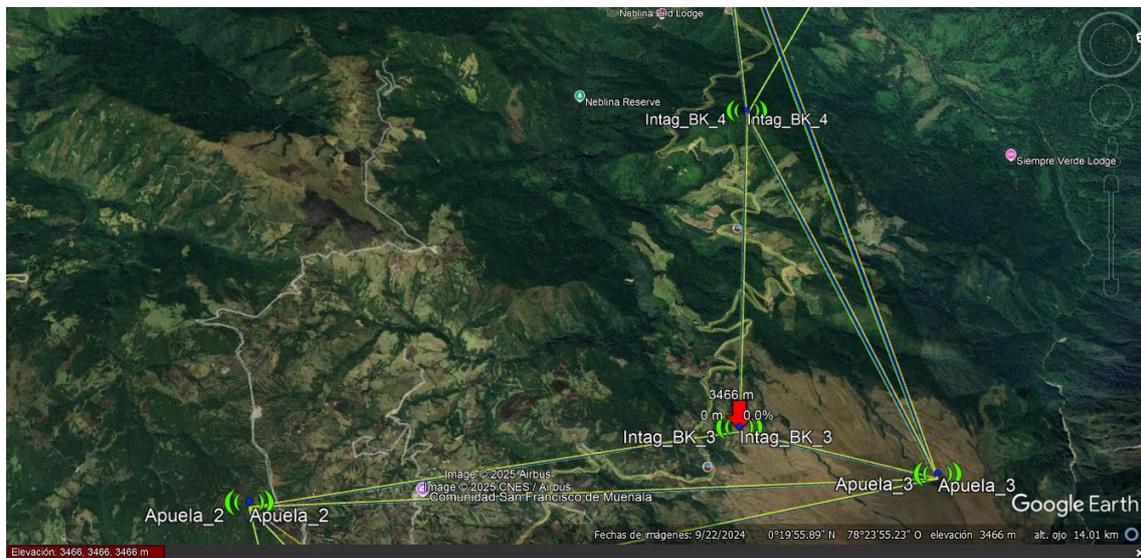
Figura 32
Nodo Intag_BK_2



Nodo Intag Respaldo_3

El nodo Intag_BK_3 actúa como un punto de redundancia dentro de la red de comunicación de respaldo, asegurando la conectividad con los nodos de la red principal. Su ubicación permite establecer enlaces con los nodos Intag_BK_2, Intag_BK_4 y Apuela_4, garantizando continuidad operativa en caso de fallas en la red principal. Este nodo de respaldo se enlaza con el nodo Apuela_4 en una distancia de 7,12km.

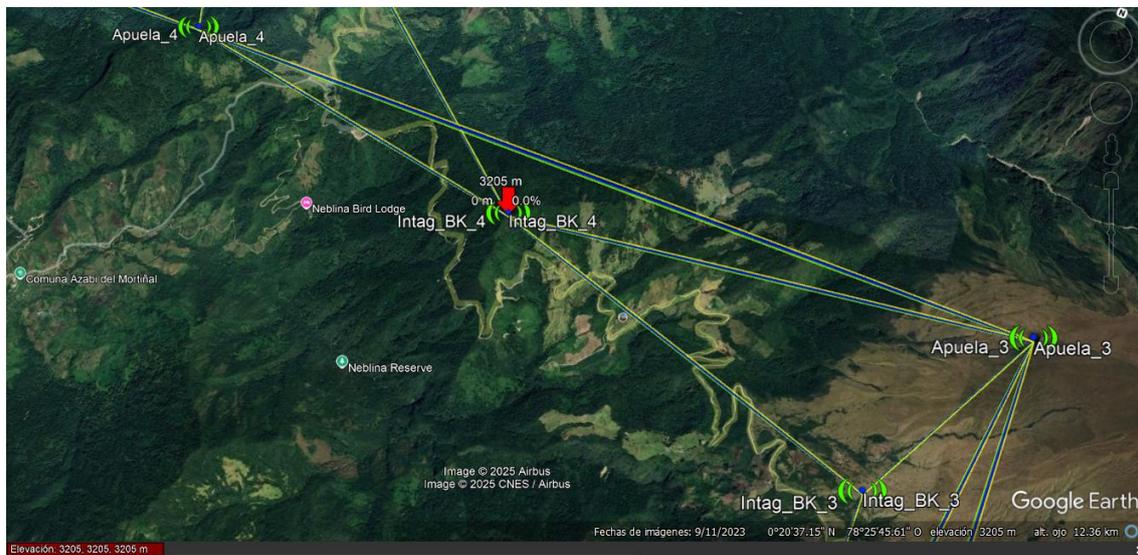
Figura 33
Nodo Intag_BK_3



Nodo Intag Respaldo_4

El nodo Intag_BK_4 forma parte de la red de comunicación de respaldo, su ubicación permite establecer enlaces redundantes con Intag_BK_3, Intag_BK_5 y Apuela_4, asegurando la resiliencia de la red ante posibles fallos en la infraestructura principal. Gracias a su conectividad con la red principal, este nodo optimiza la redundancia del sistema, garantizando la disponibilidad de las comunicaciones para el Cuerpo de Bomberos Cotacachi en zonas de difícil acceso. Este nodo se enlaza con el nodo de la red principal Intag a 10,02 km.

Figura 34
Intag_BK_4

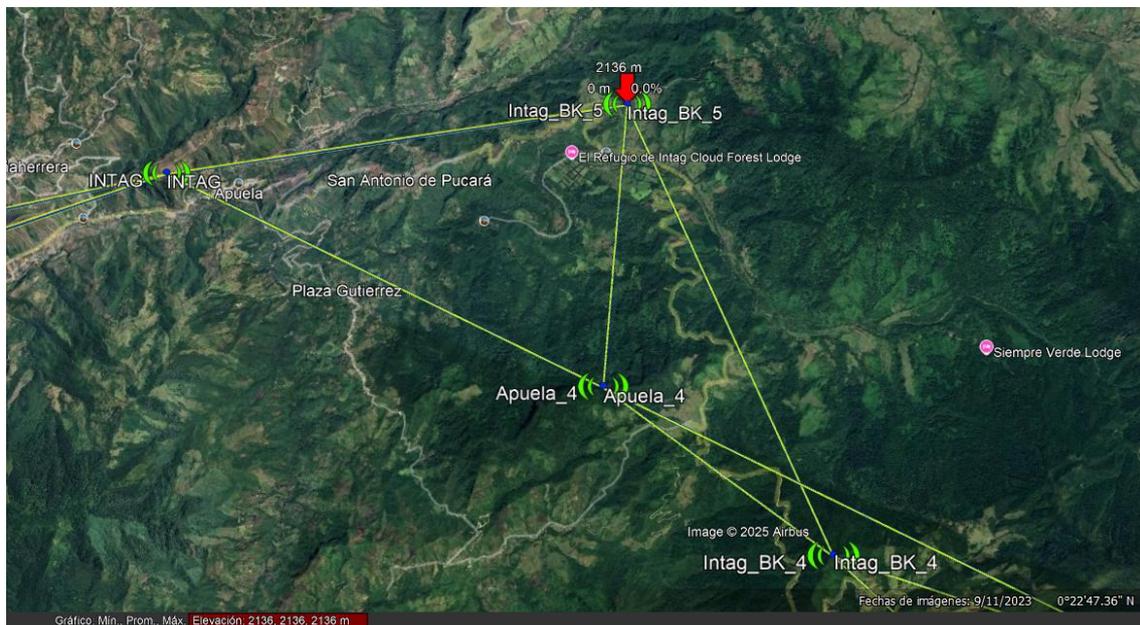


Nodo Intag Respaldo_5

El nodo Intag_BK_5 se encuentra a 2136 m sobre el nivel del mar y establece un enlace directo con la subestación Intag. En caso de perder la conexión con Apuela_4, este nodo actúa como un punto de convergencia entre la red de respaldo y la red principal, permitiendo que el tráfico fluya de manera óptima entre los nodos Intag_BK_4, Apuela_4 y la subestación Intag.

Además, enlaza con el nodo Golondrinas_3 a una distancia de 26,08 km. Sin embargo, debido a la considerable distancia, se busca garantizar un nivel óptimo de recepción en el enlace. Para mejorar la confiabilidad de la red de respaldo, se plantea que la conexión llegue hasta Golondrinas_2, con una distancia menor de 21,13 km, convirtiéndolo en un nodo de respaldo con mayor prioridad dentro de la red.

Figura 35
Nodo Intag_BK_5

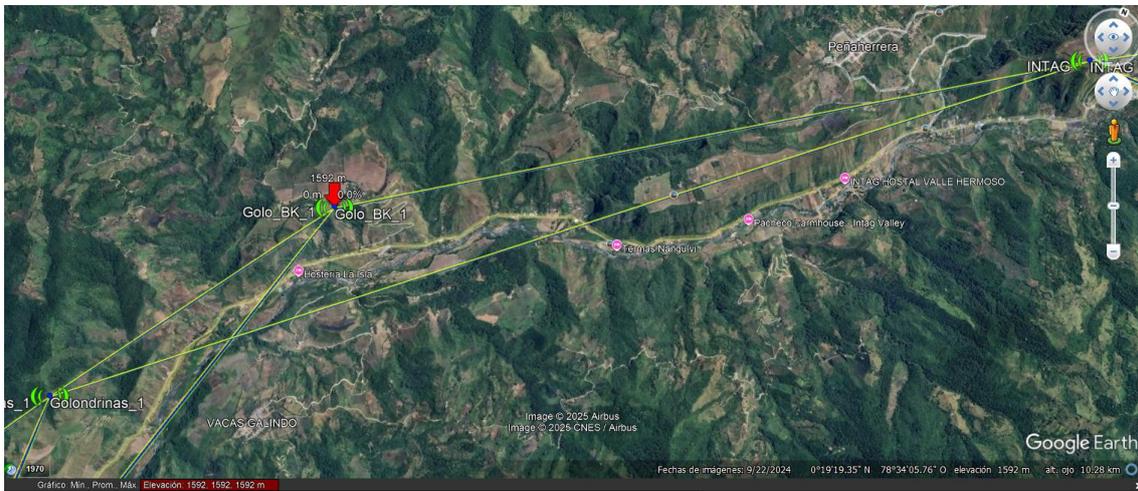


Nodos de Respaldo de Subestación Intag a Subestación Las Golondrinas

Nodo Golondrinas Respaldo_1

Actúa como un nodo de redundancia en la red de respaldo con una altitud de 1592 m, estableciendo enlaces con Golondrinas_1 y Golo_BK_2. Su función principal es permitir la continuidad del tráfico de datos en caso de fallos en la red principal.

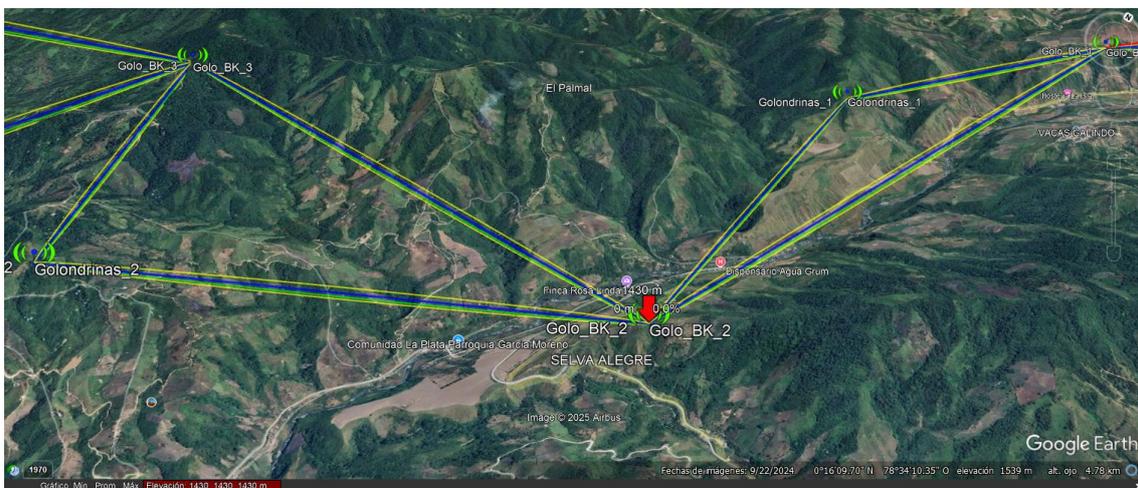
Figura 36
Nodo Golo_BK_1



Nodo Golondrinas Respaldo_2

Sirve como un punto intermedio entre Golo_BK_1 y Golo_BK_3, asegurando la propagación de la conectividad en la red de respaldo, el nodo está a una altitud de 1430 m, para enlazar con un nodo de la red principal se tiene a Golondrinas_2 con una distancia de 3,53km y a 3,40km de Golondrinas_1.

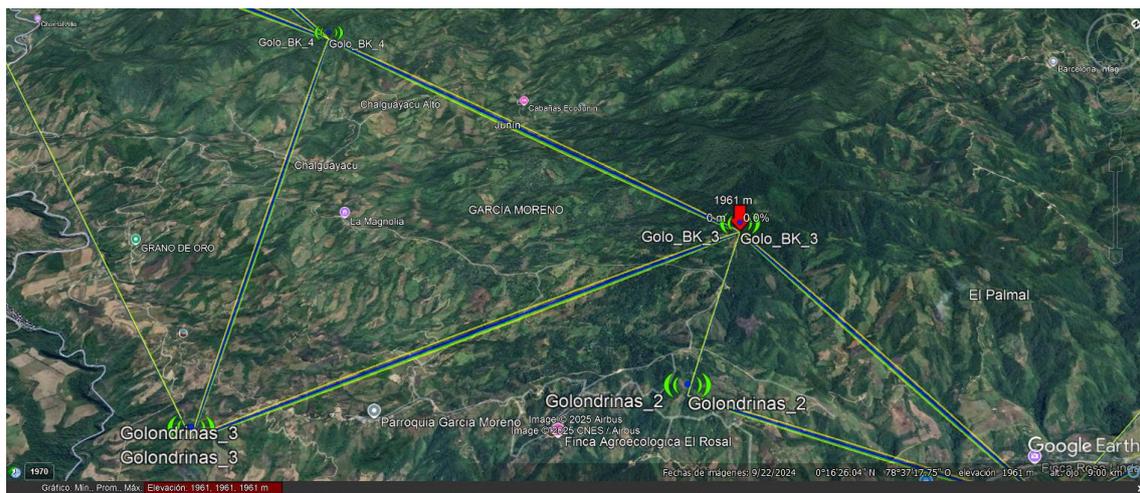
Figura 37
Nodo Golo_BK_2



Nodo Golondrinas Respaldo_3

Posicionado en una elevación considerable de 1961 m, este nodo ofrece una mejor cobertura a larga distancia y refuerza la conectividad con Golo_BK_2 y Golo_BK_4.

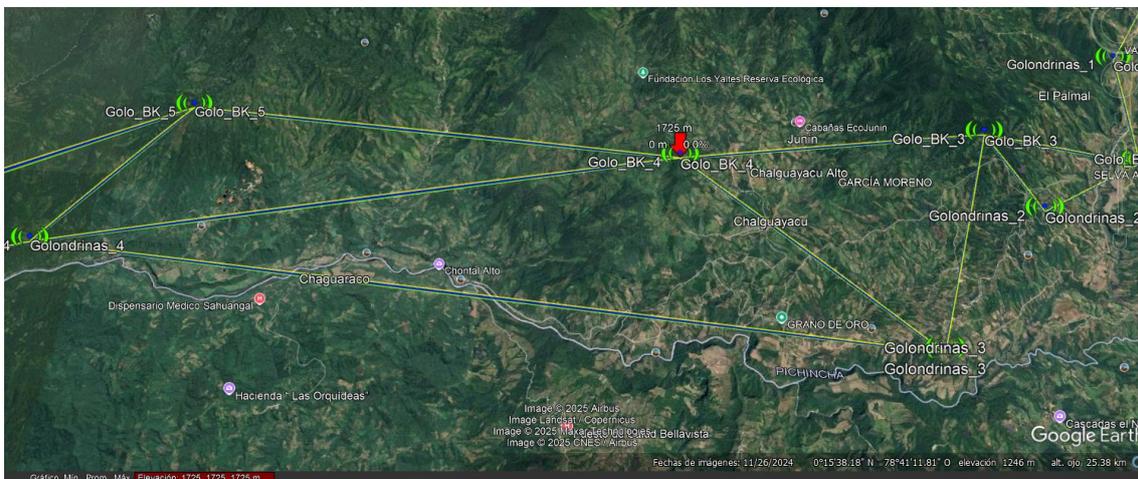
Figura 38
Nodo Golo_BK_3



Nodo Golondrinas Respaldo_4

Funciona como un punto de agregación dentro de la red de respaldo, con conexiones simultáneas hacia Golondrinas_4, Golo_BK_3 y Golo_BK_5. Se encuentra a una altitud de 1725 m, su función es distribuir eficientemente la conectividad para enlazar la red principal en este caso Golondrinas_4 a una distancia de 17,81 km.

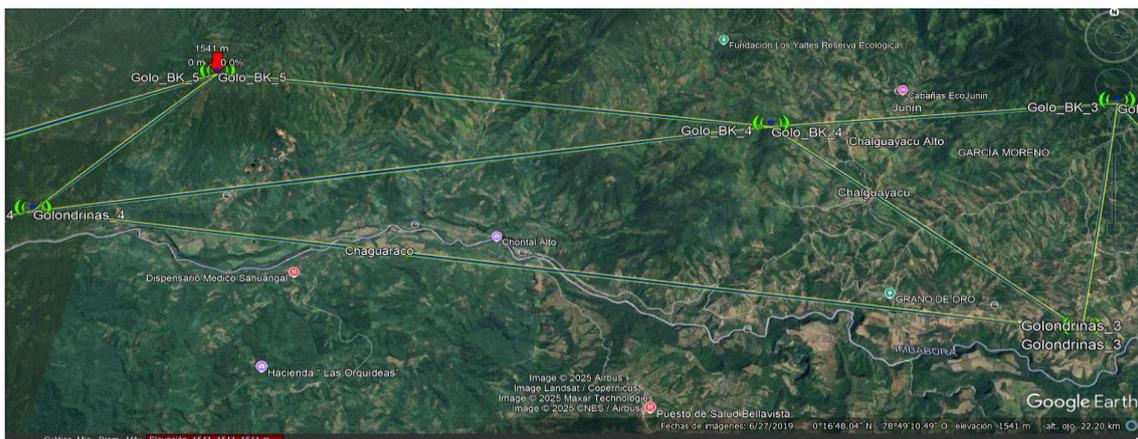
Figura 39
Nodo Golo_BK_4



Nodo Golondrinas Respaldo_5

Situado a una altitud de 1541m, este nodo es crucial para extender la cobertura hasta Golondrinas_5, asegurando conectividad en la última sección del sistema de respaldo. Se enlaza con el nodo Golondrinas_5 a una distancia de 26,31km.

Figura 40
Nodo Golo_BK_5



Nodo Golondrinas Respaldo_6

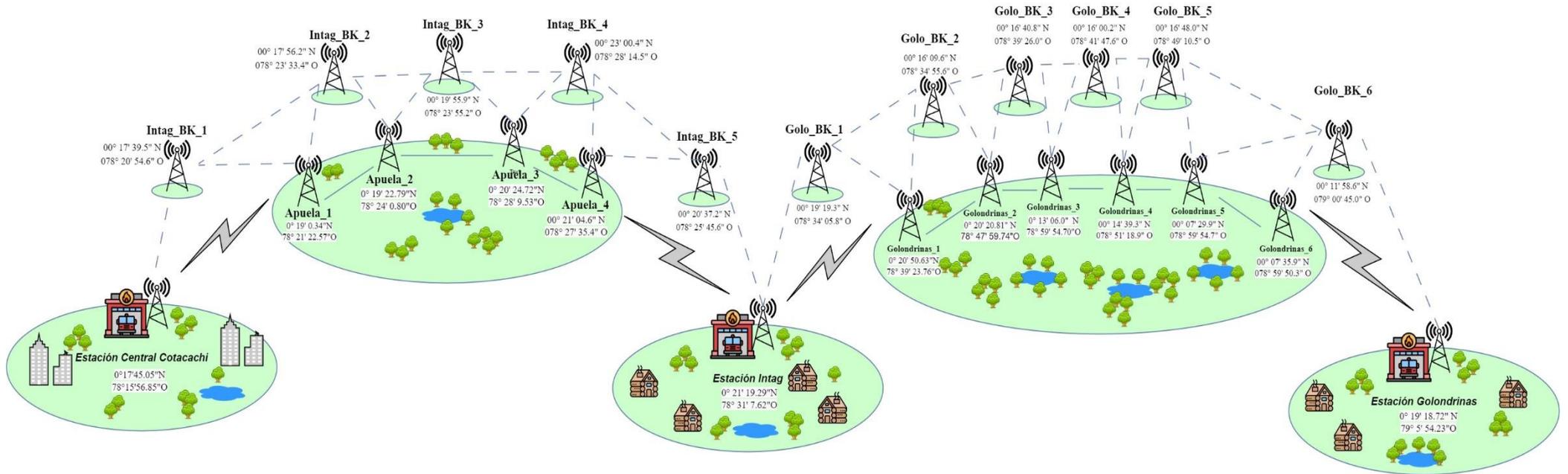
Este nodo se encuentra a 767m siendo la menor elevación de la red de respaldo, este nodo permite tener el enlace al nodo final de la subestación Las Golondrinas del cuerpo de Bomberos con una distancia de 16km.

Figura 41
Nodo Golo_BK_6



Finalmente, con la información presentada sobre el diseño de la red principal y los enlaces de respaldo, se muestra en la Figura 42 la ubicación y la interconexión de los nodos, evidenciando la distribución de la infraestructura y la redundancia implementada para garantizar la continuidad del servicio.

Figura 42
Ubicación de los nodos del sistema de comunicaciones



3.7. Selección de Equipos

La selección de equipos para el sistema de comunicaciones debe basarse en una evaluación exhaustiva de varios aspectos técnicos y funcionales de los equipos que ofertan los fabricantes dentro del mercado tecnológico fundamentado en los requerimientos establecidos anteriormente para cumplir con las expectativas de todas las partes interesadas (STRS, SYSR, SRSH) y requerimientos de Stakeholders presentes en la Tabla 13. Para asegurar una elección adecuada de los componentes, se llevará a cabo una evaluación mediante tablas bajo el estándar ISO/TEC/IEEE/29148:2018 y de acuerdo con los requerimientos de Sistema de la Tabla 14 que detallan los criterios clave para este proceso.

Esta evaluación se realizará mediante tablas comparativas, donde asignaremos puntuaciones que reflejan la adecuación de cada componente a los requerimientos: un puntaje de “2” denotará una correspondencia completa, “1” una correspondencia parcial, y “0” indicará que el componente no cumple con el requerimiento especificado.

3.7.1. *Hardware*

La selección del hardware para un enlace de nodos en un sistema de comunicaciones requiere un enfoque técnico. En primer lugar, es fundamental determinar el tipo de antenas (direccionales, sectoriales u omnidireccionales) en función de la cobertura requerida, la distancia entre nodos y las condiciones del entorno, priorizando antenas de alta ganancia para largas distancias y frecuencias como 5 GHz para minimizar interferencias. Además, la infraestructura debe incluir equipos de enrutamiento y conmutación, fuentes de energía PoE o sistemas solares son indispensables en ubicaciones remotas, complementadas con torres robustas junto con cableado Ethernet de

categoría 6 y conectores adecuados para garantizar la integridad de las conexiones que aseguren una línea de vista despejada.

Tipos de Antenas

Para la selección del tipo de antena en un diseño de sistema de comunicaciones, es fundamental considerar los parámetros técnicos y las necesidades específicas de los enlaces, ya sean punto a punto o punto a multipunto.

Tabla 20
Tipos de Antenas

Característica	Direccional	Omnidireccional	Sectorial
Alcance	Largo	Corto	Medio
Tipo de enlace	Punto a punto	Punto a multipunto	Punto a multipunto
Ganancia	Alta	Baja	Media
Ángulo de radiación	< 70°	360°	90° - 120°
Aplicación típica	Enlaces de larga distancia	Cobertura general	Enlaces multipunto

El análisis detallado de la distancia y las características del terreno permitirá seleccionar el tipo de antena más adecuado. Para conectar nodos separados por una distancia considerable, se usarían antenas direccionales concentran su energía en un único haz altamente enfocado, lo que permite maximizar el alcance de la señal y minimizar las interferencias externa. mientras que, para comunicar un nodo con múltiples enlaces en un área, se optarían por antenas sectoriales que ofrecen un amplio ángulo de cobertura en zonas específicas, permitiendo conectar múltiples receptores de forma eficiente.

A su vez se debe conocer los parámetros mínimos recomendados para equipos de comunicación destinados a enlaces inalámbricos como se detalla en la Tabla 2121.

Tabla 21
Parámetros mínimos recomendados

Parámetro	Criterio técnico
Estándar	802.11ac
Tecnología MIMO	SU-MIMO
Modulación Soportada	OFDM, QAM
Frecuencia Operativa	5 GHz (preferiblemente bandas libres)
Potencia de Transmisión	≥ 20 dBm
Ancho de Banda	≥ 20 MHz
Ganancia Antena de Transmisión	≥ 18 dBi
Ganancia Antena de Recepción	≥ 18 dBi
Distancia	≥ 10 km

Selección de antenas enlaces punto a punto

Para la selección de antenas adecuadas para enlaces punto a punto (PtP) en el sistema de comunicaciones, se realizará un análisis detallado de las características técnicas generales de los equipos pertenecientes a tres fabricantes tecnológicos como LigoWave, Ubiquiti y MikroTik en sus páginas oficiales en la sección de antenas direccionales para enlaces PtP, tal como se presenta en la tabla 22.

Tabla 22
Comparativa de Fabricantes de Antenas punto a punto

Criterios	LigoWave	Ubiquiti	MikroTik
Modelo	LigoPTP 5-23 RapidFire	LiteBeam 5AC Gen2	SXTsq 5 AC
Estándar	802.11ac	802.11ac	802.11ac
Ganancia	23 dBi	23 dBi	16 dBi
Interfaz	1 x Gigabit Ethernet	1 x 10/100/1000 Mbps Ethernet	1 x 10/100/1000 Mbps Ethernet
Banda de Operación	4.9 – 6.1 GHz	5.1 – 5.8 GHz	5.1 – 5.8 GHz
Modulación	BPSK, QPSK, 16- QAM, 64-QAM, 256-QAM	QAM256, QAM64, QAM16	QAM256, QAM64, QAM16
Consumo de energía	8.6W	7 W	6 W
Velocidad de transmisión	700 Mbps	450 Mbps	400 Mbps

Tecnología MIMO	2x2 MIMO	2x2 MIMO	2x2 MIMO
Carcasa	IP67	IP65	IP64
Software	LinkCalc, WNMS, GUI,	UISP Design Center, Web UI, Mobile App	WinBox, WebFig, CLI

Una vez analizadas las características técnicas de los equipos previamente expuestos, se procederá a realizar la evaluación correspondiente en relación con los requerimientos de arquitectura establecidos en la Tabla 15.

Tabla 23

Selección de Antena bajo el estándar ISO/TEC/IEEE/29148:2018

Hardware		Selección de Antena enlaces Punto a Punto					Valor total
		Requerimientos					
		SRS2	SRS7	SRS19	SRS14	SRS17	
LigoPTP 5-23 RapidFire		2	2	2	2	2	10
LiteBeam 5AC AirFiber 60 XR		2	2	2	1	2	9
Mikro Tik SXTsq 5 AC		2	2	2	1	2	9
Cumple totalmente 2							
Cumple parcialmente 1							
No cumple 0							

Elección: La tabla muestra que la antena LigoPTP 5-23 RapidFire en comparación con las antenas con características similares de los fabricantes Ubiquiti y MikroTik será propicia para para transmitir datos de manera eficiente y segura entre los tramos del diseño del sistema de telecomunicaciones.

LigoPTP 5-23 RapidFire

LigoPTP 5-23 RapidFire se presenta como una solución avanzada para enlaces inalámbricos punto a punto (PtP) diseñada específicamente para garantizar alta capacidad, baja latencia y confiabilidad en sistemas de comunicaciones. Con velocidades

de hasta 700 Mbps, soporte para 256-QAM, y herramientas avanzadas de configuración, destaca como una opción eficiente para enlaces de larga distancia.

Tabla 24
Características de Antena

Categoría	Características
Desempeño y Hardware	<ul style="list-style-type: none"> - CPU de 1.2 GHz, procesando hasta 200,000 paquetes/segundo. - Capacidad de enlace: hasta 700 Mbps con soporte de 256QAM y 31 dBm de potencia de salida. - Dos puertos Gigabit Ethernet (uno con PoE passthrough).
Diseño y Protección	<ul style="list-style-type: none"> - Protección contra sobretensiones y descargas ESD conforme a IEC, Clase 4. - Carcasa IP67 de aluminio con respirador GORE® para evitar condensación. - Antena con rotación de 45° y soporte resistente a fuertes vientos.
Radio y Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> - Protocolo inalámbrico IEEE 802.11ac - Rango de frecuencias: 4.900 - 6.100 GHz, compatible con regulaciones FCC. - Modulación OFDM (256-QAM, 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK).
Herramientas de Configuración	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema operativo intuitivo basado en HTML5 con herramientas avanzadas como analizador de espectro. - Radio interno de 2.4 GHz para acceso remoto a la GUI incluso a 20 m desde una altura significativa. - Asistente de configuración, auto-configuración de canal y alineación de antena.
Especificaciones Físicas	<ul style="list-style-type: none"> - Antena panel direccional dual-pol de 23 dBi. - Dimensiones: 379 x 387 x 51 mm. - Peso: 3.9 kg (incluyendo soporte).
Condiciones Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura operativa: -40°C a +65°C. - Humedad: 0% a 90% (no condensante).
Consumo Energético	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación PoE (42-57 VDC), consumo máximo de 8.6 W.

Fuente:

<https://www.ligowave.com/public/downloads/datasheets/LigoPTP/RapidFire%205-N,%205-23%20Datasheet.pdf>

La Figura 43 presenta los componentes de una antena direccional LigoPTP 5-23 RapidFire. En la vista frontal, se observa el panel de emisión y recepción de señal con un

diseño liso, junto con dos conectores Ethernet en la parte inferior para entrada y salida de datos y alimentación mediante PoE. La vista trasera detalla elementos funcionales como indicadores LED para monitoreo de señal, un botón multifuncional para configuraciones, un tornillo de conexión a tierra para protección eléctrica, y el soporte de montaje diseñado para fijar la antena al mástil. Finalmente, el proceso de montaje en el mástil ilustra la conexión del cable de tierra y el ensamblaje del soporte mediante tornillos y abrazaderas, asegurando la estabilidad de la antena. Este esquema técnico integra todos los aspectos clave para garantizar una instalación segura y eficiente.

Figura 43
Antena LigoPTP 5-23 RapidFire



Selección de antenas enlaces punto a multipunto

Para añadir antenas para enlaces punto a multipunto (PtMP), se analizarán las características técnicas de equipos de LigoWave, Ubiquiti y MikroTik, según la información oficial de sus páginas en la sección de antenas sectoriales diseñadas para implementaciones PtMP, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 25
Comparativa de Fabricantes de Antenas Punto a Multipunto

Parámetro	LigoWave	Ubiquiti	MikroTik
------------------	-----------------	-----------------	-----------------

Modelo	LigoDLB 5-20ac	AirMAX Sector 5G-17-90	mANT 15s
Estándar	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ac
Ganancia	20 dBi	17 dBi	15 dBi
Interfaz	Radio integrado	2 x RP-SMA	2 x RP-SMA
Rango de frecuencia	5.150 - 5.850 GHz	5 GHz	5.17 - 5.825 GHz
Velocidad de Transmisión	500 Mbps	450 Mbps	450 Mbps
Tecnología MIMO	2x2 con polarización dual	2x2	2x2

Con base en las características técnicas se realiza una evaluación orientada a garantizar el cumplimiento de los requerimientos seleccionados con el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 para la selección de hardware. Este proceso seguirá además los lineamientos definidos en la Tabla 15.

Tabla 26
Selección de antena Punto Multipunto

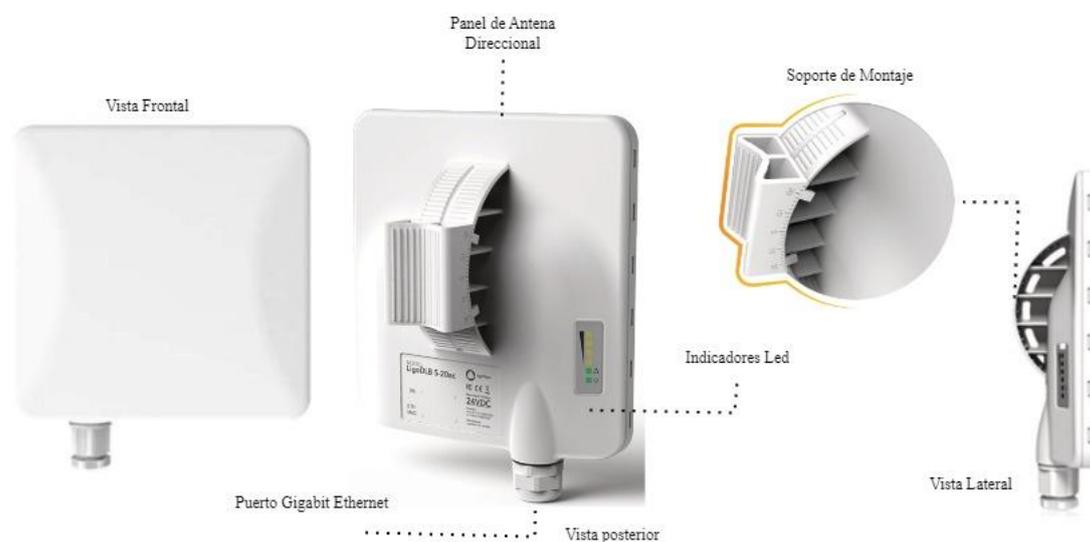
Hardware	Selección de Antena Enlace Punto Multipunto					Valor total
	Requerimientos					
	SRSH2	SRSH7	SRSH19	SRSH14	SRSH17	
LigoDLB 5-20ac	1	2	2	2	2	9
Ubiquiti airMAX Sector 5G-17-90	2	2	2	1	1	8
MikroTik mANT 15s	2	2	1	1	1	7
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple 0						

Elección: La tabla 26 muestra que la antena LigoDLB 5-20ac en comparación con las antenas con características similares es la antena para radio base que mejor se ajusta a los requerimientos especificados para el sistema de comunicaciones para el Cuerpo de bomberos Cotacachi.

LigoDLB 5-20ac

El LigoDLB 5-20ac es una antena de alto rendimiento para redes punto a multipunto (PtMP) en el rango de 5.150 - 5.850 GHz, con antena sectorial integrada de 20 dBi y cobertura de 10°. Ofrece anchos de banda superiores a 500 Mbps mediante modulación OFDM hasta 256-QAM y potencia de transmisión de hasta 30 dBm garantizan confiabilidad en entornos de zonas rurales.

Figura 44
Antena LigoDLB 5-20ac



En la Tabla 27 se detalla las especificaciones técnicas de la Antena LigoDLB 5-20ac.

Tabla 27
Especificaciones Técnicas de la Antena LigoDLB 5-20ac

Parámetro	Especificación
Modelo	LigoDLB 5-20ac
Estándar	IEEE 802.11a/n/ac,
Ganancia	20 dBi
Interfaz	1 x Gigabit Ethernet (10/100/1000 Base-T, RJ45)
Rango de frecuencia	5.150 - 5.850 GHz

Velocidad de transmisión	Hasta 866 Mbps (80 MHz), hasta 400 Mbps (40 MHz)
Tecnología MIMO	2x2 MIMO con antena de polarización dual
Potencia de transmisión	Hasta 30 dBm (dependiente del país)
Tamaño del canal	5, 10, 20, 40, 80 MHz
Modulación	OFDM (256-QAM, 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK)
Esquema de duplexación	Time Division Duplex (TDD)
Sensibilidad de recepción	Hasta -95 dBm (dependiendo de la modulación)
Distancia recomendada (PtP)	Hasta 15 km
Distancia recomendada (PtMP)	Hasta 10 km
Montaje	Soporte para mástil incluido
Alimentación	24V PoE Pasivo (Adaptador incluido)
Consumo máximo de energía	10W
Temperatura de operación	-40°C a +65°C
Protección ambiental	IP66 (resistente a la intemperie)
Gestión	SNMP v3, Web UI, WNMS
Certificación	FCC/IC/C

La figura Figura 44 muestra las partes de la antena LigoDLB 5-20ac, dispone de indicadores LED de señal RSSI y estado de red, lo que permite una alineación precisa. Su carcasa IP66 garantiza resistencia a condiciones climáticas extremas, y su soporte de montaje ajustable permite una alineación óptima en despliegues exteriores.

Antena LigoDLB ECHO 5

El DLB ECHO 5 de LigoWave es un dispositivo inalámbrico de exterior diseñado para enlaces de gran longitud que cumple con la certificación IP67, asegurando resistencia a condiciones extremas como humedad, polvo y temperaturas extremas.

Figura 45
Antena LigoDLB ECHO 5

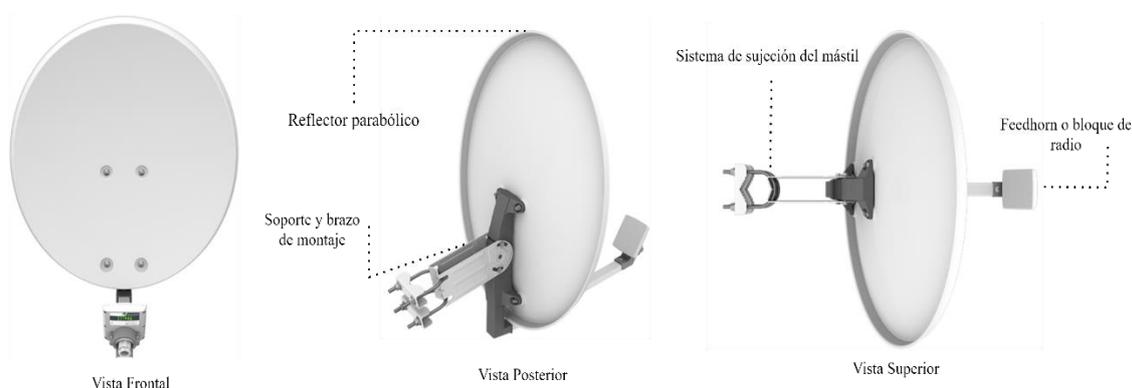


Figura 46
Especificaciones Técnicas del DLB ECHO 5

Parámetro	Especificación
Frecuencia de operación	5.150 - 5.850 GHz (según regulación local)
Modulación	OFDM (256-QAM, 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK)
Potencia de transmisión	Hasta 29 dBm (según país)
Sensibilidad de recepción	Entre -97 dBm y -75 dBm (según modulación)
Ancho de canal	5, 10, 20, 40 MHz
Ganancia de antena	Parabólica: 27 dBi / Interna: 15 dBi
Polarización	Lineal dual (H/V)
Interfaces	1 x Ethernet 10/100 Mbps (RJ-45)
Protocolo propietario	iPoll 2 para optimización de tráfico
Distancia máxima (PtP)	Hasta 50 km (con antena parabólica)
Modos de operación	AP, Cliente, Router IPv4/IPv6, Bridge
Protección ambiental	IP67 (resistente a polvo, agua y corrosión)
Consumo energético	Máximo 4.5W
Alimentación	PoE pasivo 12-24V (Fuente 24V incluida)
Dimensiones (Radio)	90 x 70 x 90 mm
Peso	185 g (radio) / 3000 g (antena parabólica)

Fuente: <https://www.ligowave.com/products/dlb-ECHO-5D>

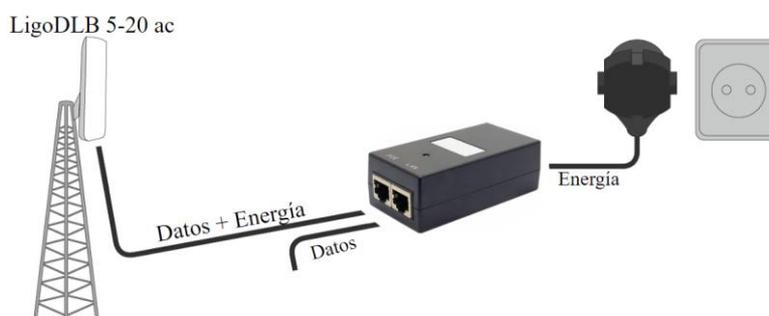
Power over Ethernet

Power over Ethernet (PoE) es una tecnología que permite transmitir energía eléctrica y datos a través de un solo cable Ethernet (RJ-45), eliminando la necesidad de fuentes de alimentación separadas para dispositivos conectados a la red.

Adaptador PoE de 24 V

El PoE Pasivo es un método de alimentación que suministra un voltaje fijo, como 24V, sin negociación entre el dispositivo y el inyector PoE, no ajusta automáticamente la potencia según el equipo conectado, por lo que requiere compatibilidad exacta para evitar daños. Es utilizado en dispositivos como antenas LigoDLB y puntos de acceso.

Figura 47
LigoPoE AC a 24V



En la Tabla 28 a continuación se muestran sus características técnicas de Adaptador PoE de 24 V.

Tabla 28
LigoPoE AC a 24V

Parámetro	Especificación
Modelo	LigoPoE AC to 24V Adapter
Función	Adaptador de corriente de CA a PoE pasivo 24V
Voltaje de Entrada	100 – 240V AC, 50/60 Hz
Voltaje de Salida	24V DC \pm 5%
Potencia de Salida	12W
Tipo de PoE	Pasivo, en pines 4,5 (+) y 7,8 (-)
Tasa de Datos	100 Mbps
Protección	Protección contra cortocircuito y sobrecorriente
Conector de Entrada	IEC320 C6
Conector de Salida	RJ45 (Ethernet)
Conector de Datos	RJ45 (Ethernet)
Dimensiones	84.8 x 44 x 29.5 mm
Peso	95 g
Temperatura de Operación	-10°C a +50°C

Longitud de Cable UTP/FTP	Hasta 100 m (desde el switch al dispositivo LigoDLB)
----------------------------------	--

Fuente: <https://www.ligowave.com/products/24v-poe-adapter>

Alimentación LigoPTP RapidFire

La Figura 48 muestra al dispositivo que permite combinar datos y energía eléctrica en un único cable Ethernet para alimentar dispositivos remotos como cámaras IP, puntos de acceso inalámbricos o antenas. En este caso el PoE (Power over Ethernet) alimenta a la antena LigoPTP 5-23 RapidFire.

Figura 48

PoE



La Tabla 29 presenta las especificaciones técnicas del PoE, cuenta con características como protección contra sobretensiones, montaje en riel DIN y un amplio rango de operación de temperatura, lo que lo hace ideal para aplicaciones exigentes.

Tabla 29

Especificaciones técnicas de PoE para antena LigoPTP 5-23 RapidFire

Categoría	Especificación
Voltaje de entrada DC	44.0–57.0V
Compatibilidad PoE	IEEE 802.3af/at
Potencia de salida	Hasta 28W
Velocidad de datos	10/100/1000 Mbps
Protección	2kV línea a línea; 6kV a tierra
Puertos RJ45	1 entrada, 1 salida PoE

Dimensiones	117 x 87 x 34 mm
Peso	270 g
Temperatura	-40 a +65°C
Longitud del cable	Hasta 100 m (UTP/FTP)
Montaje	Riel DIN

Fuente:

<https://www.ligowave.com/public/downloads/datasheets/LigoPTP/RapidFire%205-N,%205-23%20Datasheet.pdf>

Equipos de enrutamiento y conmutación

En una red de enlaces inalámbricos, los equipos de enrutamiento y conmutación desempeñan roles fundamentales para garantizar la conectividad, la gestión eficiente del tráfico de datos y la integración entre segmentos inalámbricos y cableados.

Equipos de Enrutamiento

Son dispositivos operativos en la capa 3 del modelo OSI, diseñados para gestionar la transferencia de paquetes entre redes distintas. Estos equipos determinan la ruta óptima para la transmisión de datos mediante el uso de tablas de enrutamiento y protocolos dinámicos como OSPF, BGP o EIGRP, o bien configuraciones estáticas.

MikroTik RouterBoard RB5009

El MikroTik RouterBoard RB5009 es un dispositivo de alto rendimiento diseñado para entornos de telecomunicaciones que gestiona la conectividad, seguridad y distribución del tráfico de red, ya que se encarga de administrar y distribuir el tráfico de datos entre las distintas interfaces del nodo, optimizando la conectividad entre los dispositivos conectados a la red.

Figura 49
MikroTik RouterBoard RB5009



A continuación, en la Tabla 30 se muestra especificaciones del MikroTik RouterBoard RB5009.

Tabla 30
Especificaciones técnicas de MikroTik RouterBoard RB5009

Característica	Descripción
Procesador (CPU)	Quad-core ARM Cortex-A72 a 1.4 GHz
Memoria RAM	1 GB DDR4
Almacenamiento	1 GB NAND
Puertos Ethernet	7 puertos Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps)
Puerto 2.5G Ethernet	1 puerto RJ45 de 2.5 Gbps
Puerto SFP+	1 puerto de fibra óptica de 10 Gbps
Puerto USB	1 puerto USB 3.0
Fuente de alimentación	PoE-in en puerto 1 (18-57V DC) o Jack DC (24-57V DC)
Consumo energético	Máximo 20W
Soporte PoE-out	Sí, en puerto 8
Sistema Operativo	MikroTik RouterOS v7
Protocolos compatibles	IPv4, IPv6, VLANs, QoS, Firewall avanzado, VPN, MPLS, BGP, OSPF
Montaje	Factor de forma compacto (rack 1U o escritorio)
Carcasa	Chasis metálico resistente

Fuente: *(RB5009UG+S+IN / MikroTik, 2025)*

Router RB4011iGS+RM

El MikroTik RB4011iGS+RM es un router de alto rendimiento cuenta con 10 puertos Gigabit Ethernet, un puerto SFP+ de 10 Gbps, y un potente procesador de cuatro núcleos

para garantizar un alto rendimiento en el manejo de tráfico. Su diseño compacto y montable en rack lo hace ideal para implementaciones en data centers o infraestructuras de red avanzadas. Además, opera con RouterOS, proporcionando amplias funcionalidades de enrutamiento, seguridad y administración de red. (RB5009UG+S+IN / MikroTik, 2025)

Figura 50
Router RB4011iGS+RM



A continuación, en la Tabla 31 se presentan las especificaciones técnicas del MikroTik RB4011iGS+RM

Tabla 31
Especificaciones técnicas de Router RB4011iGS+RM

Parámetro	Especificación
Modelo	RB4011iGS+RM
CPU	AL21400, 4 núcleos, frecuencia automática (533 - 1900 MHz)
Arquitectura	ARM 32 bits
Memoria RAM	1 GB
Almacenamiento	512 MB NAND
Puertos Ethernet	10 puertos Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps)
Puerto SFP+	1 puerto SFP+ de 10 Gbps
PoE	Salida PoE pasivo en el puerto Ethernet 10, entrada PoE pasivo (18-57 V)
Fuente de alimentación	Entrada de 12-57 V a través de jack DC o PoE
Consumo máximo de energía	18 W (sin accesorios), 33 W (con accesorios)
Dimensiones	228 x 120 x 30 mm
Sistema operativo	RouterOS v7

Fuente: https://mikrotik.com/product/rb4011igs_rm#fndtn-specifications

Equipos de Conmutación

Operan principalmente en la capa 2 del modelo OSI, facilitando la comunicación dentro de una red local (LAN) mediante la conmutación de tramas basada en direcciones MAC. Estos dispositivos utilizan tablas de conmutación para dirigir el tráfico internamente de manera eficiente, reduciendo la congestión y mejorando el rendimiento.

TP-LINK TL-SG1008P

El TP-LINK TL-SG1008P es un switch Gigabit Ethernet, diseñado para implementaciones en redes de alto rendimiento que demandan baja latencia, alta capacidad de procesamiento y escalabilidad. Es ideal para la transmisión simultánea de datos en aplicaciones como CAD, multimedia o entornos virtualizados, garantiza la fluidez en servicios sensibles como VoIP y streaming de video.

Figura 51
TP-LINK TL-SG1008P V7



Nota: El switch muestra la capacidad para manejar múltiples dispositivos y flujos de datos simultáneamente.

Fuente:

<https://www.tp-link.com/es/business-networking/unmanaged-switch/tl-sg1008p/>

A continuación, en la Tabla 32 se muestra especificaciones del TP-LINK TL-SG1008P V7.

Tabla 32
Especificaciones del Switch TP-LINK TL-SG1008P V7

Característica	Descripción
Puertos	8 puertos RJ45 10/100/1000 Mbps (Gigabit Ethernet)
Capacidad de Switching	16 Gbps
Capacidad de Reenvío	11.9 Mpps (para paquetes de 64 bytes)
Tabla de Direcciones MAC	4K entradas (autoaprendizaje y envejecimiento)
Tamaño de Buffer	1.5 Mb
Jumbo Frames	Soporta paquetes de hasta 15 KB
Estándares Soportados	IEEE 802.3, 802.3u, 802.3ab, 802.3x, 802.1p - 802.1p QoS y DSCP QoS para priorización de tráfico sensible
Optimización de Tráfico	- IGMP Snooping para optimización multicast
Eficiencia Energética	- Reducción de consumo del 82% - Ajuste automático según longitud del cable y estado del enlace
Material y Diseño	Carcasa metálica resistente
Dimensiones (W × D × H)	158 x 101 x 25 mm
Alimentación	Adaptador externo (salida: 9V, 0.6A)
Indicadores LED	Integrados en cada puerto para estado de enlace, velocidad y actividad
Instalación	Plug and Play, sin configuración necesaria
Rango de Operación	- Temperatura: 0°C a 40°C - Humedad: 10% a 90%, no condensada
Certificaciones	CE, FCC, RoHS
Consumo Máximo	3.97 W

Fuente: <https://static.tp-link.com/res/down/doc/TL-SG105-108.pdf>

Punto de Acceso inalámbrico NFT 1Ni

El LigoWave NFT 1Ni es un punto de acceso Wi-Fi de interior diseñado para aplicaciones residenciales, empresariales e industriales, permite una cobertura de hasta 100 metros y una velocidad de transmisión de hasta 300 Mbps. Dispone de dos puertos Ethernet con PoE pasivo (12-24V), uno de ellos con PoE passthrough, facilitando la alimentación de otros dispositivos en la red. Soporta gestión centralizada mediante WNMS y configuración avanzada de redes mediante VLANs, SSID virtuales y seguridad WPA2 Enterprise.

Figura 52
Punto de Acceso LigoWave NFT INi



A continuación, en la Tabla 33 se muestra especificaciones del TP-LINK TL-SG1008P V7.

Tabla 33
LigoWave NFT INi

Parámetro	Especificación
Estándar Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n
Banda de frecuencia	2.402 - 2.484 GHz
MIMO	2×2 MIMO
Potencia de transmisión	Hasta 31 dBm (FCC máx.: 29 dBm)
Ancho de canal	20, 40 MHz
Modulación	OFDM (64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK) / DSS (CCK, DQPSK, DBPSK)
Velocidades máximas	Hasta 300 Mbps (802.11n, 40 MHz)
Seguridad	WPA/WPA2 Personal y Enterprise, WACL
Roaming	Soportado
Antenas	2 externas omnidireccionales (SMA-RP, 3 dBi cada una)
Cobertura	Hasta 100m (328 ft)
Puertos Ethernet	2 × 10/100 Base-T, RJ-45
Modos de operación	Bridge
VLAN	802.1Q para gestión y datos
SSID virtuales	Hasta 8
Clientes simultáneos	Hasta 128
Método de alimentación	PoE pasivo 12-24V o entrada DC 12-24V
Consumo máximo	No especificado, pero incluye adaptador AC 100-240V
Montaje	Pared, techo
Dimensiones	110 x 90 x 20 mm
Peso	180 g
Temperatura de operación	-10°C a +55°C

Humedad	0 ~ 90% (no condensante)
----------------	--------------------------

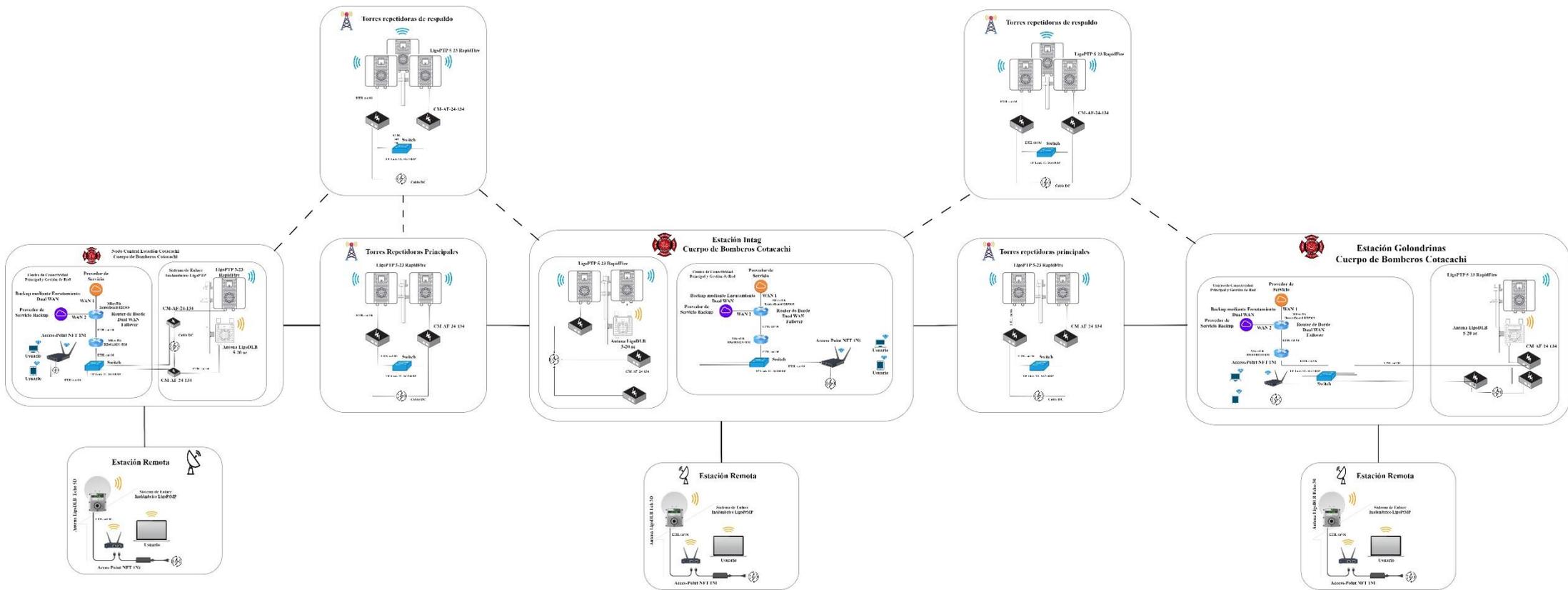
Fuente: <https://www.ligowave.com/products/infinity-1ni>

3.8. Arquitectura de Red

Esta red de telecomunicaciones está diseñada para proporcionar alta disponibilidad y redundancia en la comunicación mediante una estructura de radioenlaces inalámbricos punto a punto (PtP) y prever enlaces punto a multipunto (PtMP) mediante antenas LigoPTP, LigoDLB y Access Points NFT del fabricante LigoWave. La infraestructura está compuesta por dos redes interconectadas: la red principal y la red de comunicación de respaldo, garantizando continuidad operativa incluso ante fallos en los enlaces primarios.

La arquitectura del sistema está compuesta por una red que incluyen estaciones base, repetidoras, enrutadores y puntos de acceso para la transmisión y distribución de la señal. Las repetidoras han sido estratégicamente posicionadas para amplificar y retransmitir las señales, extendiendo la cobertura a zonas de difícil acceso y asegurando la continuidad del servicio. Adicionalmente, la estructura del sistema ha sido diseñada con un esquema de redundancia, incorporando una red de respaldo que permite la operatividad continua ante posibles fallos

Figura 53
Arquitectura de red del sistema de comunicaciones



CAPÍTULO IV: Resultados

En este capítulo se detalla el diseño de la red inalámbrica de tipo malla, desarrollado conforme a los requerimientos establecidos en el capítulo III. El diseño contempla la incorporación de la red principal que es el nodo de la estación central del Cuerpo de Bomberos y los nodos de las subestaciones ubicadas en Apuela y Las Golondrinas como también repetidoras en puntos estratégicos a lo largo de la trayectoria entre la estación central y las subestaciones anteriormente mencionadas. Además, se ha incorporado una red de respaldo (backup) diseñada para operar de manera redundante, asegurando la continuidad del servicio en caso de fallos en la red principal del sistema ante posibles contingencias.

4.1. Jerarquización del Sistema de Comunicación

La jerarquización del sistema se basa en una arquitectura distribuida que define roles y funciones específicas para cada componente de la red, garantizando un flujo de comunicación eficiente y confiable.

4.1.1. Capa de núcleo

Es el nivel superior de la jerarquía y se encarga de la conexión con el proveedor de servicios de Internet (ISP). Proporciona acceso a IP públicas y gestiona las direcciones IP privadas dentro de la red.

4.1.2. Capa Distribución

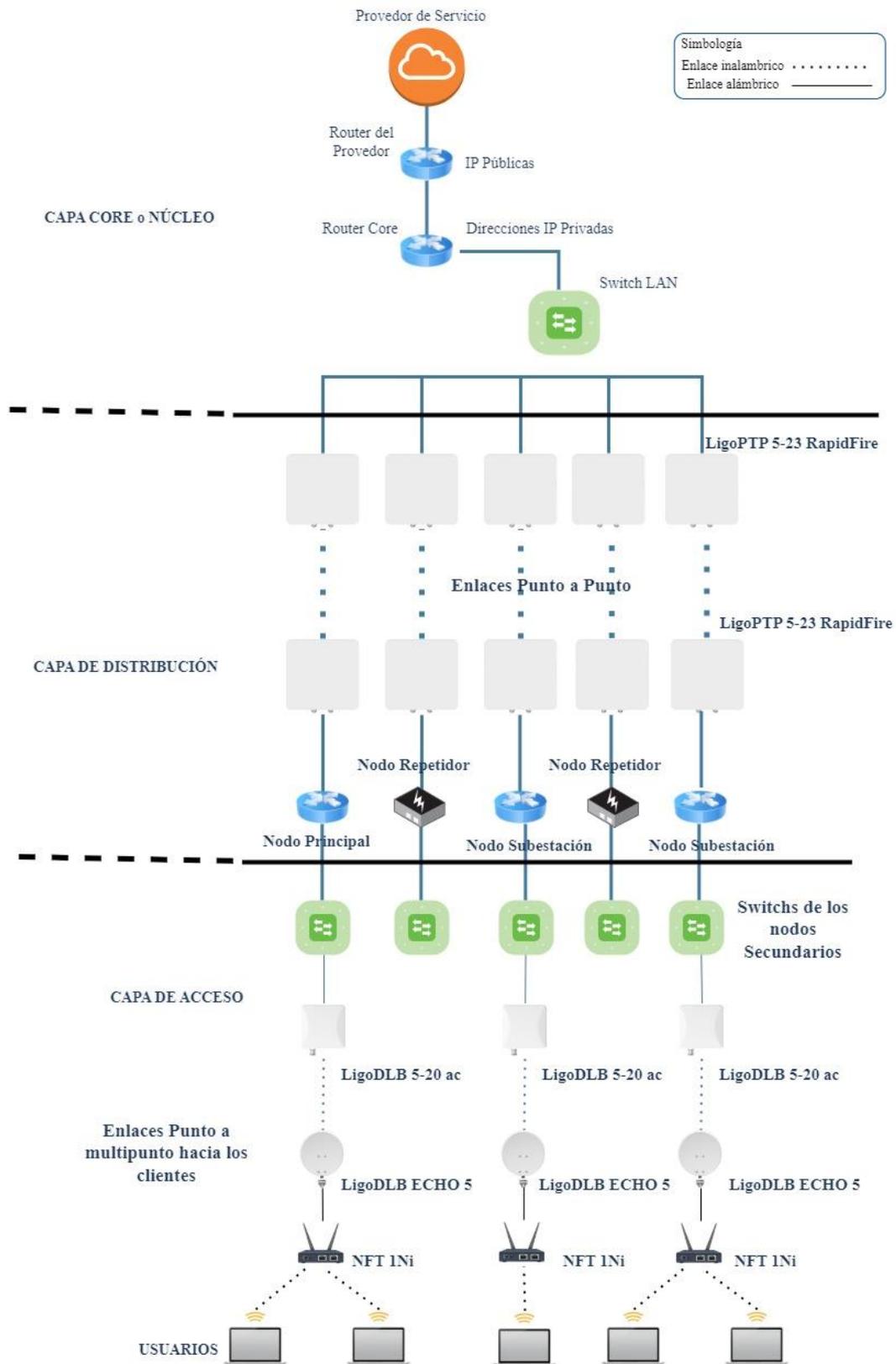
Actúa como intermediaria entre la capa núcleo y la capa de acceso. Distribuye el tráfico a través de enlaces punto a punto (PtP) hacia nodos secundarios y facilita la agregación de datos desde múltiples ubicaciones.

4.1.3. Capa de Acceso

Proporciona conectividad directa a los usuarios finales (clientes) a través de enlaces punto a multipunto (PtMP), extendiendo la cobertura de la red. Se caracteriza por la cercanía a los usuarios, provisión de ancho de banda adecuado, administración de la red local y facilidad de escalabilidad.

La Figura 54 muestra una arquitectura jerárquica de red con una división clara de funciones en tres niveles: núcleo, distribución y acceso. Este diseño permite una administración eficiente y escalable de los recursos de red, garantizando conectividad óptima y confiabilidad para los clientes finales.

Figura 54
Red Jerárquica del sistema de comunicaciones



4.2. Cálculos de enlaces

4.2.1. Presupuesto de enlace

El cálculo del presupuesto de enlace, también conocido como balance de potencia, es el proceso mediante el cual se determina la viabilidad de un enlace inalámbrico, asegurando que la señal recibida supere el umbral mínimo requerido para una comunicación confiable considerando las características del estándar IEEE 802.11ac.

Los parámetros técnicos para evaluar en el cálculo del presupuesto de enlace incluyen las siguientes características que se muestran a continuación, con un ejemplo basado en la antena LigoPTP 5-23 RapidFire para saber ubicar y conocer sus valores en el datasheet y aplicar con otros quipos:

Potencia de Transmisión

La potencia de transmisión, expresada en milivatios (mW) o decibelios-milivatio (dBm), está directamente relacionada con la tasa de transmisión del dispositivo. Generalmente, este parámetro varía en función del nivel de modulación y codificación utilizado. Los valores específicos de potencia de transmisión (TX) de un equipo deben consultarse en la documentación técnica proporcionada por el fabricante.

Figura 55
Datasheet del radio transmisor TX LigoPTP 5-23 RapidFire



Product	RapidFire 4-N	LigoPTP 5-23 RapidFire/ LigoPTP 5-N RapidFire	LigoPTP 6-25 RapidFire/ LigoPTP 6-N RapidFire
Role Description	Professional wireless PTP bridge for public safety backhaul applications	Next generation PTP equipment for long-range links over the 5GHz frequency band	Next generation ultra-high-performance PTP equipment for long-range links over the 6GHz frequency band
Radio			
Frequency	4.800–5.000GHz*	4.900–6.100GHz*	5.900–6.400GHz*
Channel Size	5, 10, 20, 40, 80MHz		
Duplexing	TDD		
Stream	MIMO 2x2		
Wireless Protocol	Proprietary W-Jet V		
Max Output Power	27dBm**	▶ 31dBm**	30dBm**
Modulation Schemes	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	▶ BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	OFDM (256-QAM, 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK)

La Figura 55 muestra la potencia máxima de salida: 31 dBm, ofreciendo mayor cobertura. Esquemas de modulación soportados: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, permitiendo una optimización en la transmisión de datos de acuerdo con la calidad del enlace.

Ganancia de la Antena

La ganancia de una antena, expresada en decibeles isotrópicos (dBi), es una medida de la capacidad de la antena para concentrar la energía de transmisión en una dirección específica en comparación con una antena isotrópica ideal (que radia uniformemente en todas las direcciones).

Figura 56
Ganancia de la Antena LigoPTP 5-23 RapidFire



El valor de 23 dBi de ganancia en la antena del LigoPTP 5-23 RapidFire es una especificación clave que permite una alta eficiencia en la transmisión de datos a largas distancias

El mínimo nivel de señal recibida (RLS)

El mínimo nivel de señal recibida (RLS), se refiere a la sensibilidad de recepción, es la menor potencia de señal que el receptor de la antena puede detectar. Se expresa en decibelios-milivatio (dBm) y un valor más negativo indica una mayor sensibilidad, lo que permite la recepción de señales más débiles.

Figura 57**Mínimo nivel de señal recibida del LigoPTP 5-23 RapidFire**

Radio mode	MIMO 2x2									
Frequency range	4.900 - 6.100 GHz (FCC: 4.940 - 4.990 GHz, 5.150-5.250 GHz, 5.725-5.850 GHz)									
Channel size	5, 10, 20, 40, 80 MHz									
Modulation schemes	OFDM (256-QAM, 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK)									
Data rates @ 80 MHz	866, 780, 650, 585, 520, 390, 260, 195, 130, 65 Mbps									
Duplexing scheme	TDD									
Error correction	BCC, LDPC									
Radio security	Hardware AES-128									

Modulation, Mbps	866	780	650	585	520	390	260	195	130	65
TX Power, dBm	25	26	26	27	27	28	29	30	30	31
Receive sensitivity, dBm	→ -71	-73	-77	-79	-80	-84	-87	-92	-94	-97 ←

A medida que aumenta la velocidad de modulación (por ejemplo, 256-QAM), se requiere una señal más fuerte para garantizar una correcta decodificación, lo que explica por qué la sensibilidad es menor (-71 dBm) en altas velocidades. Por el contrario, modulaciones más simples, como BPSK, permiten una recepción con señales más débiles, logrando valores de hasta -97 dBm, por ende también con esas consideraciones se toma una potencia de transmisión de 25dBm.

Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva

El cálculo de las pérdidas en cables y conectores es esencial para determinar la atenuación total en el enlace de radiofrecuencia (RF) y garantizar que la señal recibida sea suficiente para una comunicación confiable. Estas pérdidas dependen del tipo de cable utilizado, la cantidad de conectores en el sistema y la frecuencia de operación. Se puede calcular la Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva (EIRP-Effective Isotropic Radiated Power) utilizando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{PIRE (dBm)} &= \text{Potencia de transmisión TX (dBm)} \\
 &\quad - \text{Pérdidas en cables y conectores (dB)} \\
 &\quad + \text{Ganancia de la antena (dBi)}
 \end{aligned}$$

Pérdida de cables

Los cables coaxiales utilizados en enlaces inalámbricos presentan diferentes niveles de atenuación en función de su construcción y la frecuencia de operación. La pérdida típica en dB por metro a 5 GHz:

Tipo de Cable	Pérdida a 5 GHz (dB/m)	Pérdida a 2.4 GHz (dB/m)
RG-58	1.05 dB/m	0.65 dB/m
RG-213	0.29 dB/m	0.19 dB/m
LMR-400	0.22 dB/m	0.12 dB/m
LMR-600	0.14 dB/m	0.08 dB/m

Se considera un cable LMR-400 de 25 metros de longitud a 5 GHz, la pérdida se calcula de la siguiente manera:

$$0.22 \text{ dB/m} \times 20 \text{ m} = 4.4 \text{ dB}$$

Pérdida de Conectores

Cada conector introducido en la red provoca una pequeña atenuación de señal.

Los valores típicos de pérdida por conector son:

Tipo de Conector	Pérdida (dB)
RJ-45	0.3 - 0.5 dB
SMA	0.2 - 0.3 dB
BNC	0.2 - 0.5 dB

LigoPTP 5-23 RapidFire solo necesita 1 conector RJ-45, que se encarga tanto de la transmisión de datos como de la alimentación eléctrica mediante tecnología PoE.

4. Cálculo Total de Pérdida

Combinando las pérdidas del cable y de los conectores, la pérdida total en el enlace se calcula sumando ambos valores.

$$Pérdida Total = 4.4 \text{ dB} + 0.3 \text{ dB} = 4.7 \text{ dB}$$

Parámetros:

- ✓ Potencia de transmisión (P_{TX}) = 25 dBm

- ✓ Ganancia de la antena (G_{ANT}) = 23 dBi
- ✓ Pérdidas en cables (L_{Cables}) = 4.4 dB
- ✓ Pérdidas en conectores ($L_{Conectores}$) = 0.3 dB

$$PIRE (dBm) = +25dBi - 4.7dB + 23dBm = 43.3 dBm$$

Nota: Si se usa herramientas de simulación LigoWave LinkCalc, se muestra una potencia de transmisión (TX) de 25 dBm, lo que indica que la herramienta ha utilizado este valor para calcular la Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva y la ganancia de la antena de 23 dBi (asumiendo el modelo LigoPTP 5-23 RapidFire), las pérdidas en cables y conectores se considera que son 0 dB en este caso, ya que los valores no se muestran explícitamente y el simulador lo toma en condiciones ideales.

$$PIRE (dBm) = +25dBi - 0dB + 23dBm = 48 dBm$$

Dado que en todos los enlaces punto a punto se utilizarán las mismas antenas y conectores, se puede concluir que la Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva será constante en cada enlace, asumiendo que las condiciones de instalación, la configuración de potencia de transmisión y las pérdidas en los cables y conectores sean uniformes.

4.2.2. Cálculo de la distancia entre los nodos

Para el cálculo de la distancia entre dos puntos geográficos en la Tierra se utiliza la fórmula de Haversine:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta lon}{2}\right)$$

$$c = 2 \cdot \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$distancia = R \cdot c$$

Donde:

- $r = \text{radio de la Tierra (aproximadamente 6,378.1 km)}$
- $lat_1, lat_2 = \text{latitudes de los puntos}$
- $lon_1, lon_2 = \text{longitudes de los puntos}$
- $\Delta lat = lat_2 - lat_1 \text{ diferencia de latitudes}$
- $\Delta lon = lon_2 - lon_1 \text{ diferencia de longitudes}$

Hay que considerar que las variaciones de latitud y longitud deben estar en radianes por ello usamos la siguiente conversión:

$$\Delta lat = (lat_2 - lat_1) \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta lon = (lon_2 - lon_1) \cdot \frac{\pi}{180}$$

Reemplazando en la fórmula de la distancia tenemos que:

$$distancia = 6,378.1 \cdot 2 \cdot \text{asin} \left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta lon}{2}\right)} \right)$$

De acuerdo con las coordenadas de los nodos para formar enlaces punto a punto a lo largo del sistema de comunicaciones utilizando la información recopilada en Tabla 17 y Tabla 18 que a su vez fue incluido los datos en radianes. Con dicha información se lleva a cabo el reemplazo de datos en la fórmula de **distancia**.

Tabla 34*Conversiones de latitud y longitud en radianes coordenadas red principal*

Nodo	Latitud N	Longitud O	Latitud N en Radianes	Longitud O en Radianes
Central	0,2955	-78,2655	0,0052	-1,3660
Apuela_1	0,3300	-78,3380	0,0058	-1,3673
Apuela_2	0,2905	-78,4017	0,0051	-1,3684
Apuela_3	0,3465	-78,3907	0,0060	-1,3682
Apuela_4	0,3514	-78,4608	0,0061	-1,3694
Intag	0,3554	-78,5188	0,0062	-1,3704
Golondrinas_1	0,2999	-78,5825	0,0052	-1,3715
Golondrinas_2	0,2537	-78,6097	0,0044	-1,3720
Golondrinas_3	0,2183	-78,6380	0,0038	-1,3725
Golondrinas_4	0,2393	-78,7168	0,0042	-1,3739
Golondrinas_5	0,2443	-78,8552	0,0043	-1,3763
Golondrinas_6	0,1266	-78,9973	0,0022	-1,3788
Golondrinas	0,3176	-79,0962	0,0055	-1,3805

Se realiza el reemplazo de datos en la ecuación y se tiene la siguiente tabla:

Tabla 35*Distancia entre nodos PtP red principal*

Nodo PtP	Distancia (km)	Distancia (m)	Mitad de distancia
Central – Apuela_1	8,9277	8928	4,4639
Apuela_1 - Apuela_2	8,3343	8334	4,1671
Apuela_2 - Apuela_3	6,3459	6346	3,1730
Apuela_3 - Apuela_4	7,8136	7814	3,9068
Apuela_4 - Intag	6,4645	6465	3,2323
Intag - Golondrinas_1	9,3944	9394	4,6972
Golondrinas_1 – Golondrinas_2	5,9614	5961	2,9807
Golondrinas_2 – Golondrinas_3	5,0395	5040	2,5198

Golondrinas_3 – Golondrinas_4	9,0679	9068	4,5340
Golondrinas_4 – Golondrinas_5	15,3993	15399	7,6996
Golondrinas_5 – Golondrinas_6	20,5170	20517	10,2585
Golondrinas_6 – Golondrinas	23,9165	23916	11,9582

Tabla 36

Conversiones de latitud y longitud en radianes coordenadas red de respaldo

Nodo	Decimal		Radianes	
	Latitud N	longitud O	Latitud N	longitud O
Intag_BK_1	0,2943	-78,3485	0,0051	-1,3674
Intag_BK_2	0,2937	-78,3982	0,0051	-1,3683
Intag_BK_3	0,3321	-78,4017	0,0058	-1,3684
Intag_BK_4	0,3459	-78,4256	0,0060	-1,3688
Intag_BK_5	0,3834	-78,4707	0,0067	-1,3696
Golo_BK_1	0,3220	-78,5683	0,0056	-1,3713
Golo_BK_2	0,2693	-78,5821	0,0047	-1,3715
Golo_BK_3	0,2739	-78,6216	0,0048	-1,3722
Golo_BK_4	0,2652	-78,6977	0,0046	-1,3735
Golo_BK_5	0,2800	-78,8196	0,0049	-1,3757
Golo_BK_6	0,1996	-79,0125	0,0035	-1,3790

Tabla 37

Distancia entre nodos PtP red de respaldo

Nodo	Distancia (km)	(m)	Mitad de distancia km
Intag_BK_1-Intag_BK_2	5,5267	5527	2,7634
Intag_BK_2-Intag_BK_3	4,2876	4288	2,1438
Intag_BK_3-Intag_BK_4	3,0654	3065	1,5327
Intag_BK_4-Intag_BK_5	6,5271	6527	3,2635
Intag_BK_5-Golo_BK_1	12,8208	12821	6,4104
Golo_BK_1-Golo_BK_2	6,0579	6058	3,0290
Golo_BK_2-Golo_BK_3	4,4213	4421	2,2106
Golo_BK_3-Golo_BK_4	8,5185	8518	4,2592
Golo_BK_4-Golo_BK_5	13,6502	13650	6,8251
Golo_BK_5-Golo_BK_6	23,2391	23239	11,6196

4.2.3. Cálculo de la Pérdida de Espacio Libre (FSL)

La fórmula para la pérdida de espacio libre es:

$$FSL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right)$$

Donde:

- d = distancia en metros (m)
- f = frecuencia en hercios (Hz)
- c = velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \frac{m}{s}$)
- 4π = factor geométrico para la propagación esférica

Desglosando el termino $20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right)$

$$4\pi/c \approx \frac{12.566}{3 \times 10^8} \approx 4.1887 \times 10^{-8}$$

$$\log_{10}(4.1887 \times 10^{-8}) \approx -7.377$$

$$20 \times (-7.377) \approx -147.55$$

Por lo tanto, la formula simplificada se convierte en:

$$FSL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55$$

Para la realización de este cálculo FSL de debe tener los siguientes datos:

- Distancia de nodos PtP que se tiene en la Tabla 35.

- Frecuencia de operación $5.8 \text{ GHz} = 5.8 \times 10^9 \text{ Hz}$

Tabla 38

Resultados de los Cálculos de Espacio Libre red principal.

Nodos	FSL
Central – Apuela_1	127
Apuela_1 - Apuela_2	126
Apuela_2 - Apuela_3	124
Apuela_3 - Apuela_4	126
Apuela_4 - Intag	124
Intag - Golondrinas_1	127
Golondrinas_1 – Golondrinas_2	123
Golondrinas_2 – Golondrinas_3	122
Golondrinas_3 – Golondrinas_4	127
Golondrinas_4 – Golondrinas_5	131
Golondrinas_5 – Golondrinas_6	134
Golondrinas_6– Golondrinas	135

Tabla 39

Resultados de los Cálculos de Espacio Libre red de respaldo

Pérdida de Espacio Libre (FSL)	
Intag_BK_1-Intag_BK_2	123
Intag_BK_2-Intag_BK_3	120
Intag_BK_3-Intag_BK_4	117
Intag_BK_4-Intag_BK_5	124
Intag_BK_5-Golo_BK_1	130
Golo_BK_1-Golo_BK_2	123
Golo_BK_2-Golo_BK_3	121
Golo_BK_3-Golo_BK_4	126
Golo_BK_4-Golo_BK_5	130
Golo_BK_5-Golo_BK_6	135

4.2.4. Cálculo del Nivel de Recepción

El nivel de recepción es la potencia de la señal que llega al receptor después de atravesar el medio de propagación, teniendo en cuenta la potencia de transmisión, las ganancias de antena y las pérdidas durante la transmisión.

La fórmula para el nivel de recepción es:

$$\text{Nivel de Recepción} = \text{PIRE} + G_{ant} - \text{FSL}$$

Basado en el nivel de recepción, la calidad del enlace se clasifica aproximadamente como:

Tabla 40
Rangos de nivel de recepción de calidad del enlace

Nivel de Recepción (dBm)	Calidad del Enlace	Descripción
0 a -50 dBm	Excelente	Señal muy fuerte, posible interferencia
-50 a -65 dBm	Buena	Comunicación confiable
-65 a -75 dBm	Aceptable	Puede haber pérdida de paquetes
-75 a -85 dBm	Pobre	Conexión inestable
Menor de -85 dBm	Inviabile	Enlace no funcional

Para llevar a cabo el cálculo del nivel de recepción de la señal y realizar una comparación precisa con los resultados obtenidos en los enlaces simulados mediante Link Calc, el software de simulación proporcionado por el fabricante LigoWave, es fundamental contar con los siguientes datos en condiciones ideales:

- $G_{ant} = 23.0 \text{ dBi}$
- $FSL = \text{datos según tabla 35}$
- $\text{Pérdidas adicionales} = 0.0 \text{ dB}$
- $PIRE = 48.0 \text{ dBm}$

Tabla 41
Resultados de Niveles de Recepción red principal.

Nodo	Niveles de Recepción
Central – Apuela_1	-55,73
Apuela_1 - Apuela_2	-55,13
Apuela_2 - Apuela_3	-52,76

Apuela_3 - Apuela_4	-54,57
Apuela_4 – Intag	-52,92
Intag - Golondrinas_1	-56,17
Golondrinas_1 – Golondrinas_2	-52,22
Golondrinas_2 – Golondrinas_3	-50,76
Golondrinas_3 – Golondrinas_4	-55,86
Golondrinas_4 – Golondrinas_5	-60,46
Golondrinas_5 – Golondrinas_6	-62,95
Golondrinas_6– Golondrinas	-64,28

Los valores de recepción están en un rango de -50.76 dBm a -64.28 dBm, lo que indica que la calidad del enlace es aceptable a buena, dependiendo de la sensibilidad del equipo receptor.

La mayoría de los niveles de recepción están por encima de los -70 dBm, lo que indica que los enlaces deberían funcionar de manera estable sin pérdida significativa de paquetes.

El peor nivel de recepción se observa en el enlace Golondrinas_5 - Golondrinas con -64.28 dBm, lo cual aún se encuentra dentro de un margen aceptable.

La Tabla 42 proporcionada muestra los Niveles de Recepción entre diferentes nodos en una red de respaldo. Estos niveles de recepción, medidos en decibelios (dB), indican la calidad de la señal entre los nodos.

Tabla 42

Resultados de Niveles de Recepción red de respaldo

Nodo	Niveles de Recepción
Intag_BK_1-Intag_BK_2	-51,56
Intag_BK_2-Intag_BK_3	-49,35
Intag_BK_3-Intag_BK_4	-46,44
Intag_BK_4-Intag_BK_5	-53,00
Intag_BK_5-Golo_BK_1	-58,87
Golo_BK_1-Golo_BK_2	-52,36
Golo_BK_2-Golo_BK_3	-49,62

Golo_BK_3-Golo_BK_4	-55,32
Golo_BK_4-Golo_BK_5	-59,41
Golo_BK_5-Golo_BK_6	-64,03

Los niveles de recepción más fuertes se encuentran en los enlaces Intag_BK_3 - Intag_BK_4 (-46,44 dB) y Intag_BK_2 - Intag_BK_3 (-49,35 dB), los cuales presentan una calidad de enlace buena. Por otro lado, los niveles más débiles se registran en los enlaces Golo_BK_5 - Golo_BK_6 (-64,03 dB) e Intag_BK_5 - Golo_BK_1 (-58,87 dB).

4.2.5. Margen de seguridad o atenuación calculado

Existen márgenes de seguridad suficientes para enfrentar condiciones adversas como clima, obstáculos o interferencias, mediante la siguiente fórmula.

Nivel de Recepción – (Sensibilidad del receptor)

Remplazando en la fórmula el primer dato de nivel de recepción -55.73 del enlace Central – Apuela_1 se tiene:

$$-55,73 - (-71) = 15.27 \text{ dB}$$

De esta manera con los datos obtenidos de la tabla 43 y con reemplazo en la fórmula de margen de atenuación se tiene los siguientes resultados por cada enlace:

Tabla 43

Margen de seguridad calculado en cada enlace de la red principal

Margen de seguridad calculado	dB
Nivel de sensibilidad	-71
Central – Apuela_1	15,27
Apuela_1 - Apuela_2	15,87
Apuela_2 - Apuela_3	18,24
Apuela_3 - Apuela_4	16,43
Apuela_4 - Intag	18,08
Intag - Golondrinas_1	14,83

Golondrinas_1 – Golondrinas_2	18,78
Golondrinas_2 – Golondrinas_3	20,24
Golondrinas_3 – Golondrinas_4	15,14
Golondrinas_4 – Golondrinas_5	10,54
Golondrinas_5 – Golondrinas_6	8,05
Golondrinas_6 – Golondrinas	6,72

Margen de seguridad calculado (mejor enlace):

$$-50,76 - (-71) = 20,24 \text{ dB}$$

Margen de seguridad calculado (peor enlace):

$$-64,28 - (-71) = 6,72 \text{ dB}$$

Esto sugiere que, en el peor de los casos, el enlace más débil tiene un margen de seguridad de **6.72 dB** un valor no elevado por lo cual asegura una comunicación confiable.

Tabla 44

Margen de seguridad calculado en cada enlace de la red principal

Margen de seguridad calculado	
Nivel de sensibilidad	-71
Intag_BK_1-Intag_BK_2	19,44
Intag_BK_2-Intag_BK_3	21,65
Intag_BK_3-Intag_BK_4	24,56
Intag_BK_4-Intag_BK_5	18,00
Intag_BK_5-Golo_BK_1	12,13
Golo_BK_1-Golo_BK_2	18,64
Golo_BK_2-Golo_BK_3	21,38
Golo_BK_3-Golo_BK_4	15,68
Golo_BK_4-Golo_BK_5	11,59
Golo_BK_5-Golo_BK_6	6,97

Margen de seguridad calculado (mejor enlace):

$$-46,44 - (-71) = 24,56 \text{ dB}$$

Margen de seguridad calculado (peor enlace):

$$-64,03 - (-71) = 6,97 \text{ dB}$$

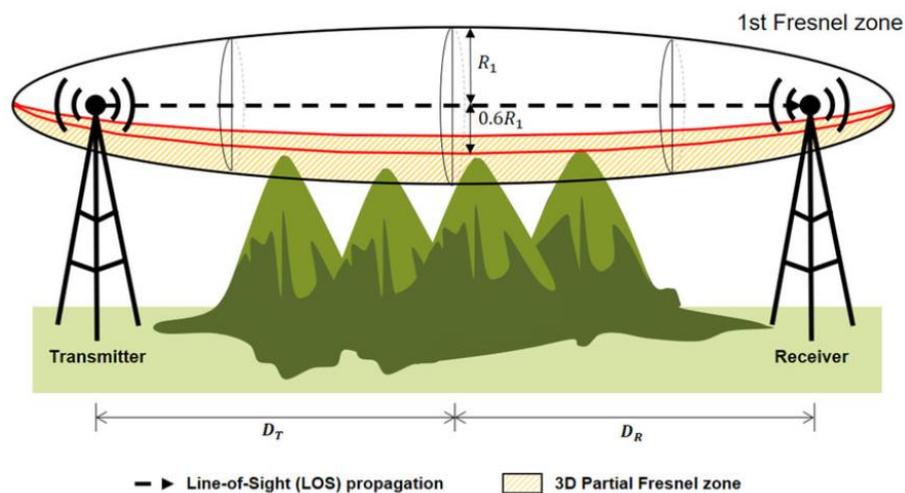
En el peor de los casos, el enlace más débil cuenta con un margen de seguridad de 6.97 dB, un valor para garantizar una comunicación confiable.

4.2.6. Zona de Fresnel

La zona de Fresnel, basada en el principio de Huygens, es una región elipsoidal alrededor de la línea de visión entre un transmisor y un receptor, donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal como se observa en la Figura 58 .

Figura 58

Vista conceptual de la primera zona de Fresnel y la zona de Fresnel parcial



Fuente: (Baek & Choi, 2018)

Su despeje es crucial para minimizar pérdidas por difracción e interferencias. Para garantizar un enlace eficiente, se recomienda mantener libre al menos el 60% del radio de la zona de Fresnel. En enlaces críticos, donde existen obstáculos como colinas o

condiciones atmosféricas adversas, se requieren torres más altas para evitar obstrucciones y asegurar la calidad de la comunicación. (Baek & Choi, 2018)

El cálculo de la zona de Fresnel determina si hay obstrucciones en la propagación de la señal entre dos puntos. Se basa en la relación entre la distancia del enlace, la frecuencia de la señal y el radio de la primera zona de Fresnel.

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}}$$

- $r_n =$ (por lo general se usa $n = 1$)

radio de la zona de Fresnel en metros para el número de zona n

- $\lambda =$ longitud de onda de la señal en metros

$$\lambda = \frac{c}{f}; c = \text{velocidad de la luz } 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \text{ y } f = 5800 \text{ MHz}$$

- d_1 distancia desde el transmisor al punto considerado (en metros).
- d_2 distancia desde el receptor al punto considerado (en metros).
- $d_1 + d_2$ distancia total entre dos puntos (en metros)

Cálculo del radio de la zona de Fresnel en el punto medio

$$d_1 = d_2 = \frac{d_t}{2}$$

Despeje del 60% de la zona de Fresnel: Para minimizar interferencias por obstáculos, se recomienda un despeje mínimo del 60% del radio de la zona de Fresnel.

Es decir:

0.6 · radio de la primera zona de Fresnel

De acuerdo con criterios de Diseño del sistema de comunicaciones es importante tomar en cuenta los siguientes datos:

Tabla 45
Resultado del cálculo de Zona de Fresnel red principal

Nodo PtP	Radio de la Zona de Fresnel (m)	60% del Radio de Fresnel (m)
Central – Apuela_1	10,74	6,45
Apuela_1 - Apuela_2	10,38	6,23
Apuela_2 - Apuela_3	9,06	5,44
Apuela_3 - Apuela_4	10,05	6,03
Apuela_4 - Intag	9,14	5,49
Intag - Golondrinas_1	11,02	6,61
Golondrinas_1 – Golondrinas_2	8,78	5,27
Golondrinas_2 – Golondrinas_3	8,07	4,84
Golondrinas_3 – Golondrinas_4	10,83	6,50
Golondrinas_4 – Golondrinas_5	14,11	8,47
Golondrinas_5 – Golondrinas_6	16,29	9,77
Golondrinas_6– Golondrinas	17,59	10,55

El análisis de la zona de Fresnel para los enlaces punto a punto (PtP) evaluados revela que el radio de la primera zona de Fresnel varía entre 8.07 m y 17.59 m como se muestra en la **Tabla 45**, lo que indica la importancia de mantener un despeje adecuado para garantizar la propagación eficiente de la señal. Considerando el estándar recomendado del 60% de despeje, se observa que los valores oscilan entre 4.84 m y 10.55

m, lo cual proporciona un margen suficiente para minimizar los efectos de difracción y garantizar una calidad óptima del enlace.

Los enlaces de mayor distancia, como “Golondrinas_5 – Golondrinas_6” y “Golondrinas_6 – Golondrinas,” presentan los mayores radios de Fresnel, lo que implica la necesidad de infraestructuras elevadas para mantener el despeje recomendado.

Tabla 46

Resultado del cálculo de Zona de Fresnel red de respaldo

Nodo PtP	Radio de la Zona de Fresnel (m)	60% del Radio de Fresnel (m)
Intag_BK_1-Intag_BK_2	8,45	5,07
Intag_BK_2-Intag_BK_3	7,45	4,47
Intag_BK_3-Intag_BK_4	6,30	3,78
Intag_BK_4-Intag_BK_5	9,19	5,51
Intag_BK_5-Golo_BK_1	12,88	7,73
Golo_BK_1-Golo_BK_2	8,85	5,31
Golo_BK_2-Golo_BK_3	7,56	4,54
Golo_BK_3-Golo_BK_4	10,50	6,30
Golo_BK_4-Golo_BK_5	13,29	7,97
Golo_BK_5-Golo_BK_6	17,33	10,40

El análisis de tabla 46 muestra que los enlaces con menor radio de Fresnel, como Intag_BK_3 - Intag_BK_4 (6,30 m), son menos exigentes en cuanto a despeje, mientras que los de mayor radio, como Golo_BK_5 - Golo_BK_6 (17,33 m), requieren más espacio libre para evitar interferencias.

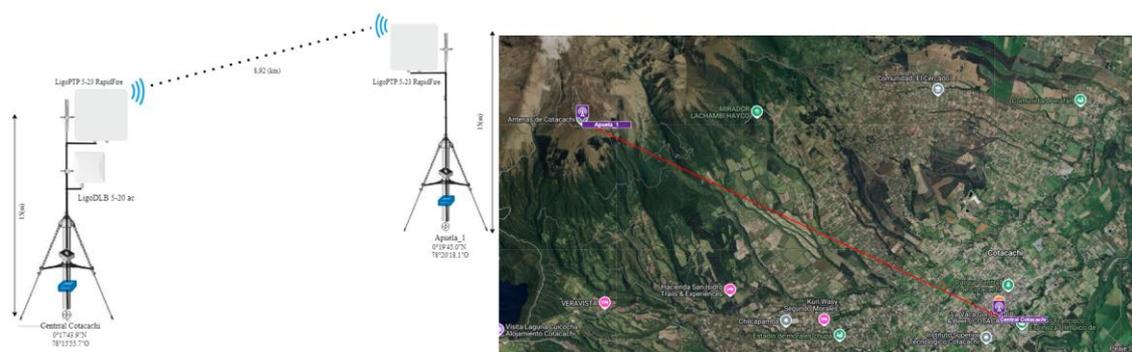
4.3. Informe de análisis de enlaces

- **Enlace Central – Apuela_1**

El análisis técnico del enlace de radio entre la Central Cotacachi y el Nodo Apuela_1 es de 8.53 km entre los nodos Central Cotacachi y Apuela_1. La elección de Central Cotacachi como estación transmisora (TX) se debe a que este sitio cuenta

con infraestructura establecida con acceso a energía eléctrica y al estar en una zona urbana existen proveedores de servicio para proporcionar como nodo central.

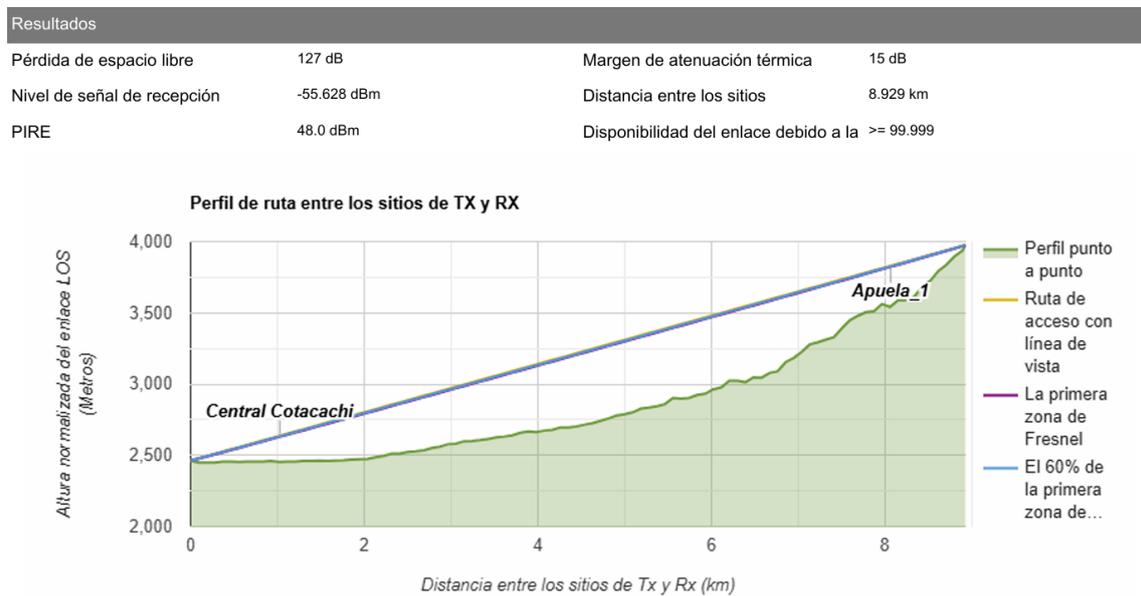
Figura 59
Enlace Central Cotacachi - Nodo Apuela_1



El enlace punto a punto entre Central Cotacachi y Apuela_1, con una distancia de 8.929 km, presenta el perfil de ruta muestra que Central Cotacachi se encuentra a una altitud aproximada de 2,461 metros sobre el nivel del mar, mientras que Apuela_1 está ubicado a 3967 metros, evidenciando una topografía ascendente. La línea de vista está completamente despejada, sin interferencias significativas en la propagación de la señal.

La pérdida de espacio libre es de 127 dB, mientras que el nivel de señal de recepción alcanza -55.628 dBm, dentro de los márgenes operativos recomendados. La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) es de 48.0 dBm, asegurando una cobertura eficiente, mientras que el margen de atenuación térmica de 15 dB contribuye a la estabilidad del enlace ante variaciones atmosféricas. Además, la disponibilidad del enlace es $\geq 99.999\%$, lo que minimiza interrupciones en la transmisión.

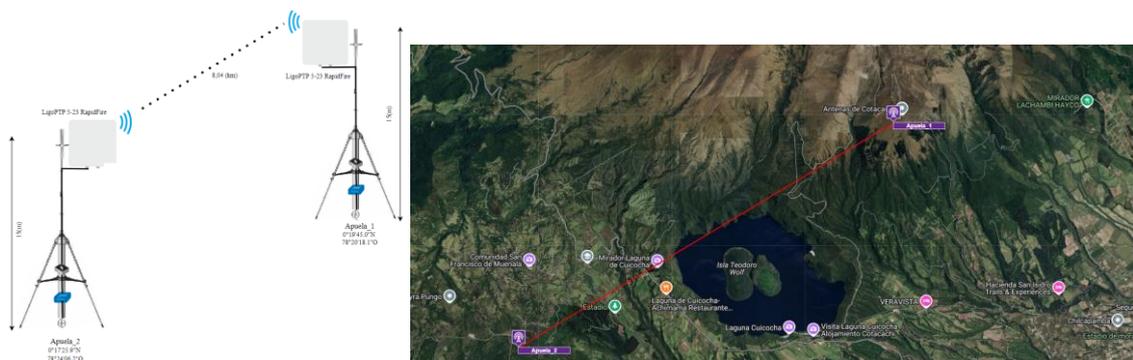
Figura 60
Perfil del Enlace Cotacachi - Apuela_1



• **Enlace Apuela_1 – Apuela_2**

El enlace punto a punto entre el nodo Apuela_1 y el nodo Apuela_2 tiene una distancia de 8.047 km, Apuela_1 está ubicado en una zona elevada, con una altitud inicial de aproximadamente 3,800 metros sobre el nivel del mar, mientras que Apuela_2 se encuentra a una altitud cercana a 3,500 metros.

Figura 61
Enlace Apuela_1 - Apuela_2



La pérdida de espacio libre en este enlace es de 126 dB, con un nivel de señal de recepción de -54.66 dBm, lo que indica una buena calidad de señal dentro de los parámetros óptimos de operación. El margen de atenuación térmica de 16 dB proporciona estabilidad frente a variaciones climáticas. La disponibilidad del enlace es $\geq 99.999\%$, asegurando una conexión confiable con mínima probabilidad de interrupciones.

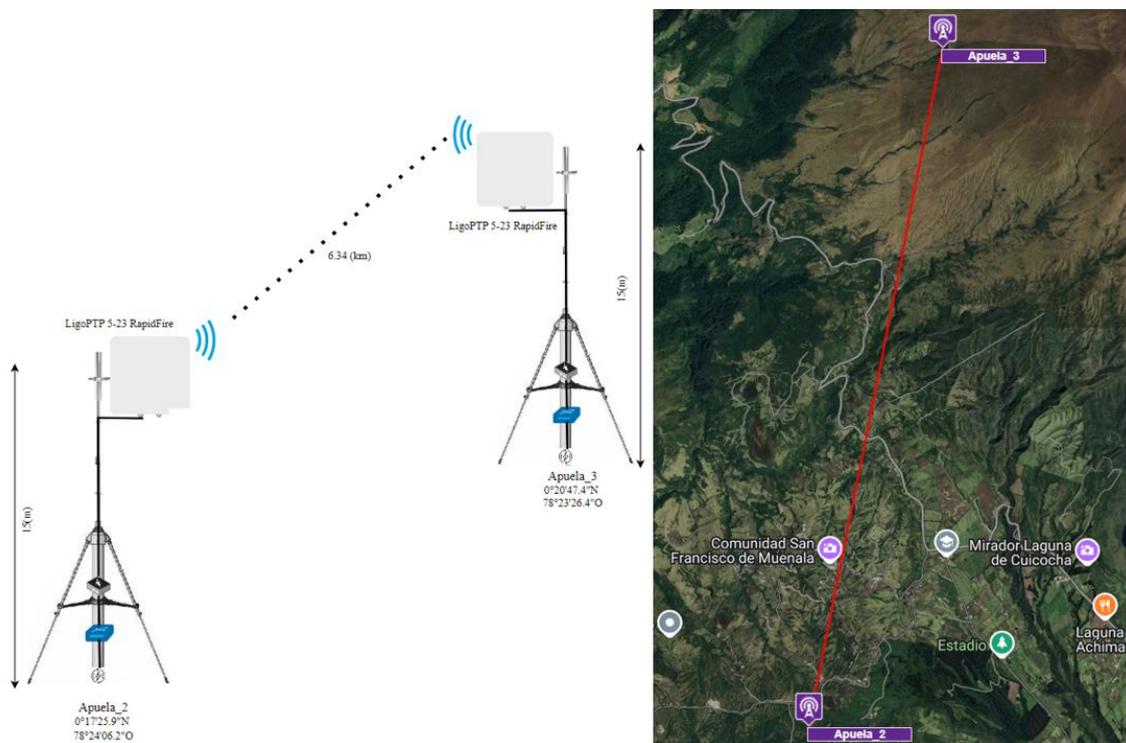
Figura 62
Perfil del Enlace Apuela_1 - Apuela_2



- **Enlace Apuela_2 – Apuela_3**

El enlace punto a punto entre el nodo Apuela_2 y el nodo Apuela_3 tiene una distancia de 6.344 km, el perfil de ruta muestra que Apuela_2 se encuentra a una altitud aproximada de 3,600 metros sobre el nivel del mar, mientras que Apue-la_3 está ubicado a 3,650 metros.

Figura 63
Enlace Nodo Apuela_2 - Nodo Apuela_3



La pérdida de espacio libre en este enlace es de 124 dB, mientras que el nivel de señal de recepción es de -52.593 dBm, lo que indica un margen adecuado para garantizar la estabilidad de la comunicación. El margen de atenuación térmica de 18 dB proporciona una compensación adicional para mitigar los efectos de la variabilidad climática y la refracción atmosférica. Además, la disponibilidad del enlace es $\geq 99.999\%$, asegurando una operatividad continua con una probabilidad mínima de interrupciones. Se ha garantizado el despeje del 60% de la primera zona de Fresnel, lo que optimiza la propagación de la señal y minimiza las pérdidas por difracción.

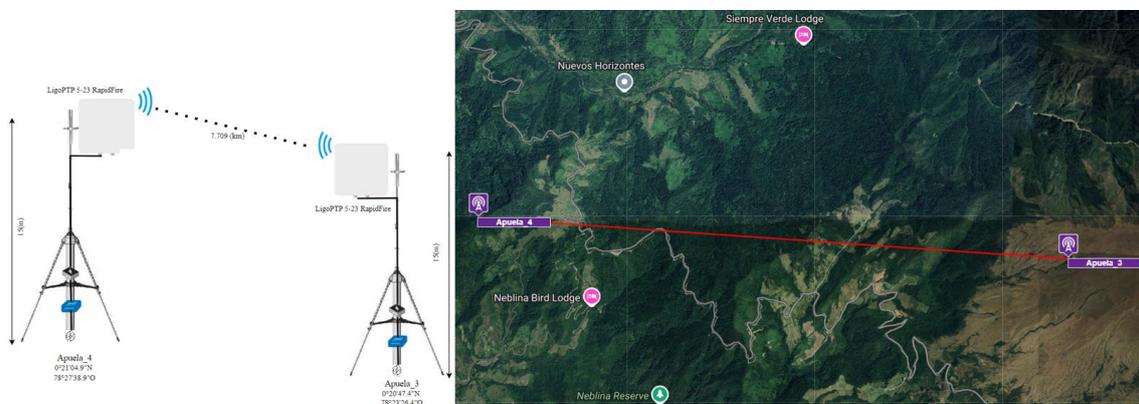
Figura 64
Perfil de Enlace Apuela_2 - Apuela_3



- **Enlace Apuela_3 – Apuela_4**

El enlace punto a punto (PtP) entre el nodo Apuela_3 y el nodo Apuela_4 tiene una distancia de 7.709 km. El perfil de ruta revela que Apuela_3 se encuentra a una altitud aproximada de 3,500 metros sobre el nivel del mar, mientras que Apuela_4 está ubicado a 2,800 metros, reflejando un perfil descendente.

Figura 65
Enlace Apuela_3 - Apuela_4



La pérdida de espacio libre en este tramo es de 125 dB, mientras que el nivel de señal de recepción es de -54.354 dBm, lo que indica una propagación de señal adecuada con un margen suficiente para mantener la estabilidad del enlace. El margen de atenuación térmica de 17 dB garantiza robustez ante condiciones climáticas adversas, como variaciones de temperatura y presión atmosférica.

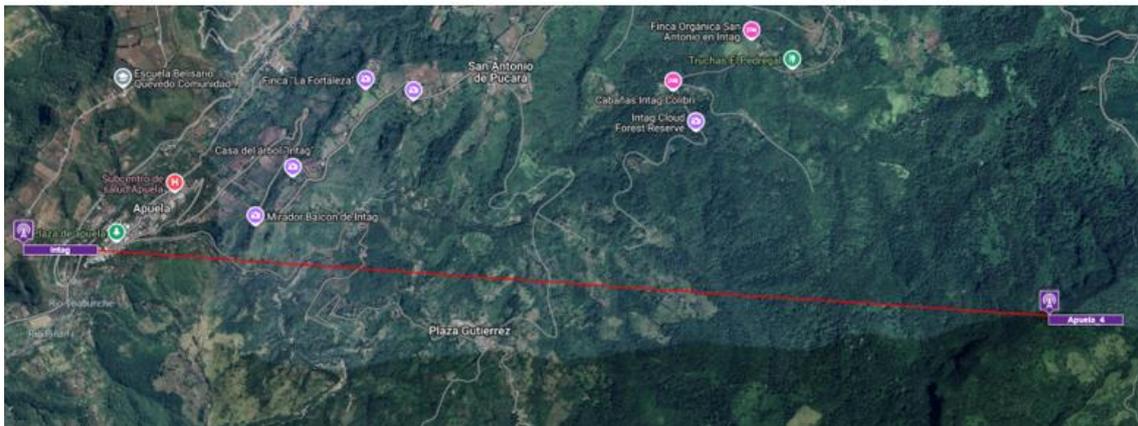
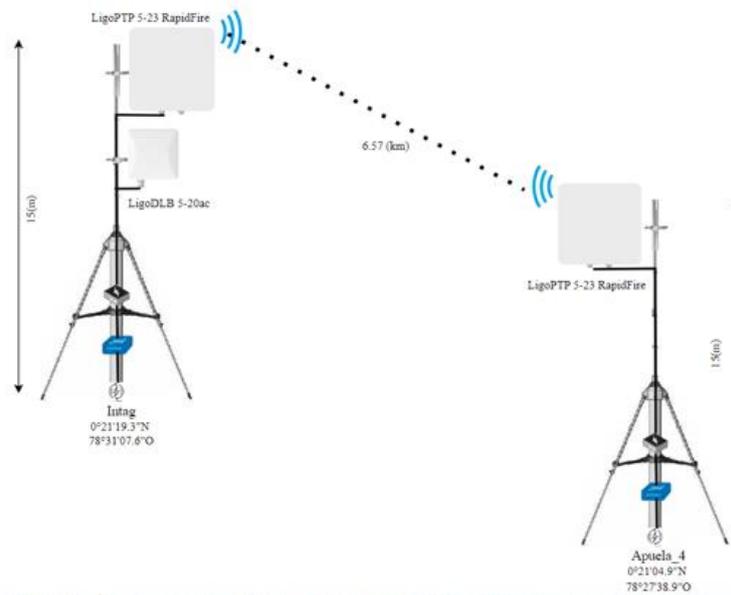
Figura 66
Perfil de Enlace Apuela_3 - Apuela_4



- **Enlace Apuela_4 – Intag**

El enlace punto a punto (PtP) entre Apuela_4 e Intag, con una distancia de 6.57 km, el perfil de elevación del enlace muestra un trayecto descendente desde Apuela_4, que se encuentra a 2,800 metros sobre el nivel del mar, hasta Intag, ubicado a 1,800 metros sobre el nivel del mar.

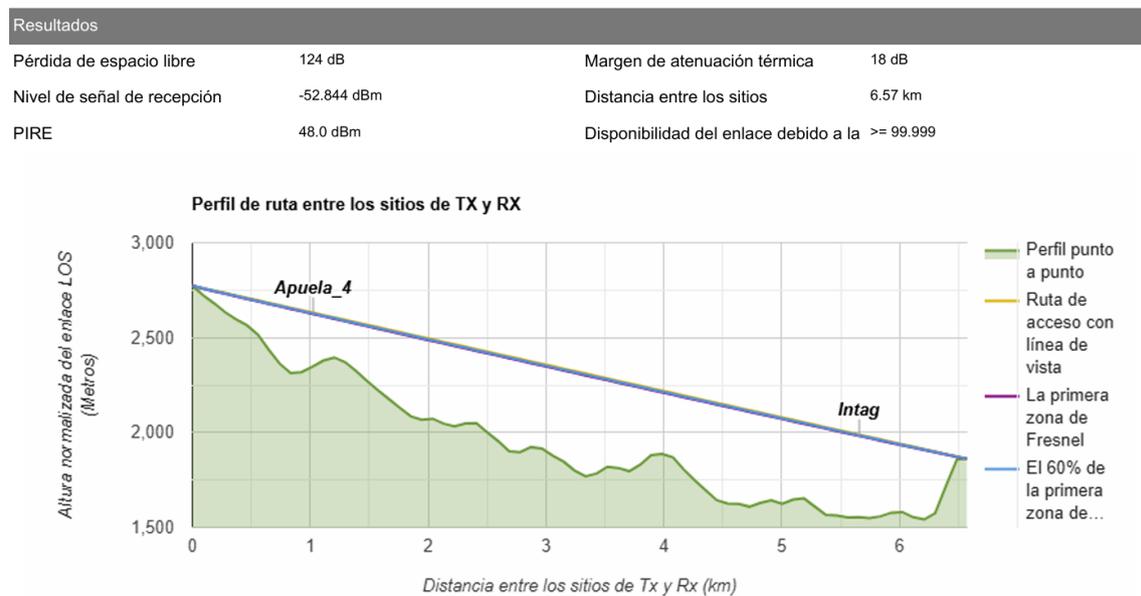
Figura 67
Enlace Apuela_4 - Intag



Este enlace presenta una pérdida de espacio libre de 124 dB, lo que representa la atenuación natural de la señal durante su propagación a través del aire. El nivel de señal de recepción es de -52.844 dBm, asegurando una intensidad suficiente dentro de los límites de sensibilidad de los equipos. Adicionalmente, el margen de atenuación térmica de 18 dB permite compensar degradaciones de señal ocasionadas por factores ambientales, como variaciones de temperatura y humedad. La disponibilidad del enlace

es $\geq 99.999\%$, lo que asegura una operatividad continúa y una mínima probabilidad de interrupciones, optimizando la calidad del servicio.

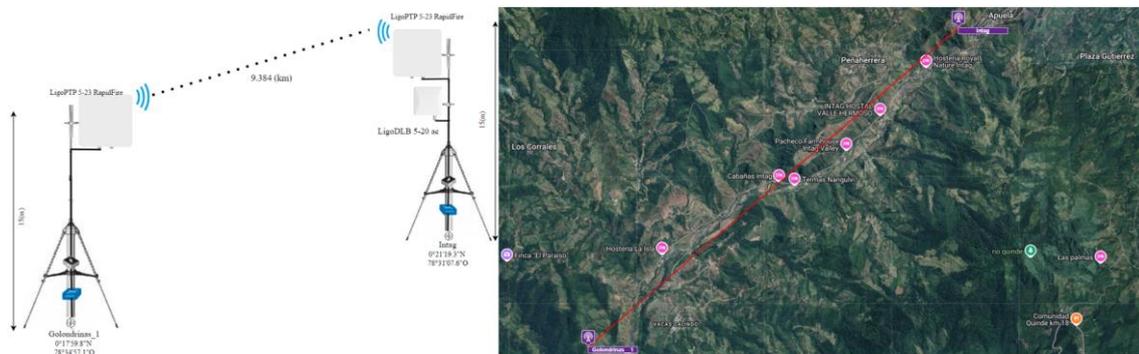
Figura 68
Perfil de Enlace Apuela_4 - Intag



- **Intag – Golondrinas_1**

El enlace punto a punto entre Intag y Golondrinas_1, con una distancia de 9.384 km, El perfil de elevación muestra un trayecto descendente, donde Intag está ubicado a 1,800 metros sobre el nivel del mar, mientras que Golondrinas_1 se encuentra a aproximadamente 1,400 metros sobre el nivel del mar. El análisis del terreno confirma que no existen obstrucciones críticas en la línea de vista.

Figura 69
Enlace Intag - Golondrinas_1



La pérdida de espacio libre en este enlace es de 127 dB, lo que representa la atenuación natural de la señal en su propagación a lo largo de la distancia del enlace. A pesar de esta pérdida, el nivel de señal de recepción es de -56.084 dBm, el margen de atenuación térmica es de 15 dB, permitiendo la estabilidad del enlace ante fluctuaciones atmosféricas y variaciones de temperatura. La disponibilidad del enlace es $\geq 99.999\%$.

Figura 70
Perfil de Enlace Intag - Golondrinas_1

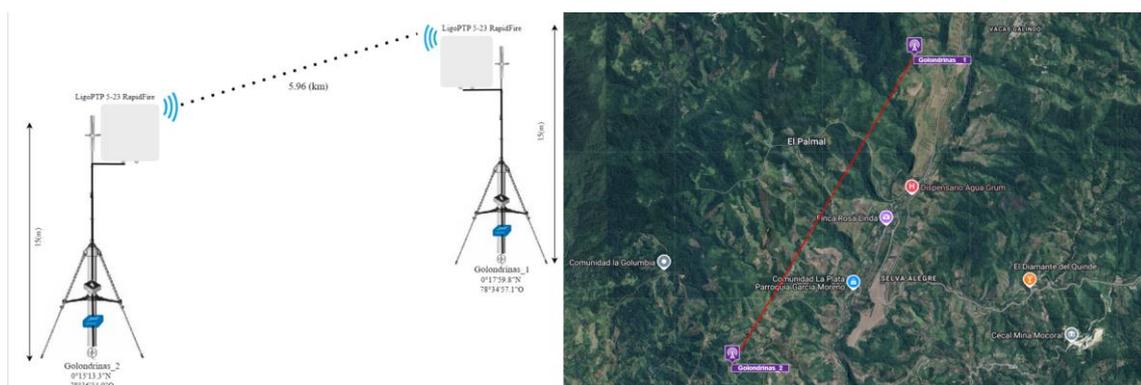


- **Golondrinas_1 – Golondrinas_2**

El enlace punto a punto entre Golondrinas_1 y Golondrinas_2, con una distancia de 5.964 km, el perfil de elevación muestra una trayectoria ascendente desde Golondrinas_1, que se encuentra a aproximadamente 1,500 metros sobre el nivel del mar, hasta Golondrinas_2, ubicado a 1,700 metros sobre el nivel del mar. Ha sido diseñado con una correcta planificación del despeje de la zona de Fresnel, alineación precisa de antenas y una infraestructura optimizada para la estabilidad del enlace. Se verifica que el 60% de la primera zona de Fresnel se mantiene despejado.

Figura 71

Enlace Golondrinas_1 – Golondrinas_2



La pérdida de espacio libre en este enlace es de 123 dB, representando la atenuación natural de la señal en su propagación a lo largo de la distancia establecida. El nivel de señal de recepción es de -52.057 dBm, asegurando una transmisión estable y dentro de los límites operacionales del sistema. el margen de atenuación térmica de 19 dB proporciona estabilidad ante cambios ambientales y variaciones de temperatura que podrían afectar la transmisión. La disponibilidad del enlace es $\geq 99.999\%$, garantizando una operación continua con una mínima probabilidad de interrupciones.

Figura 72
Perfil de Enlace Golondrinas_1 - Golondrinas_2

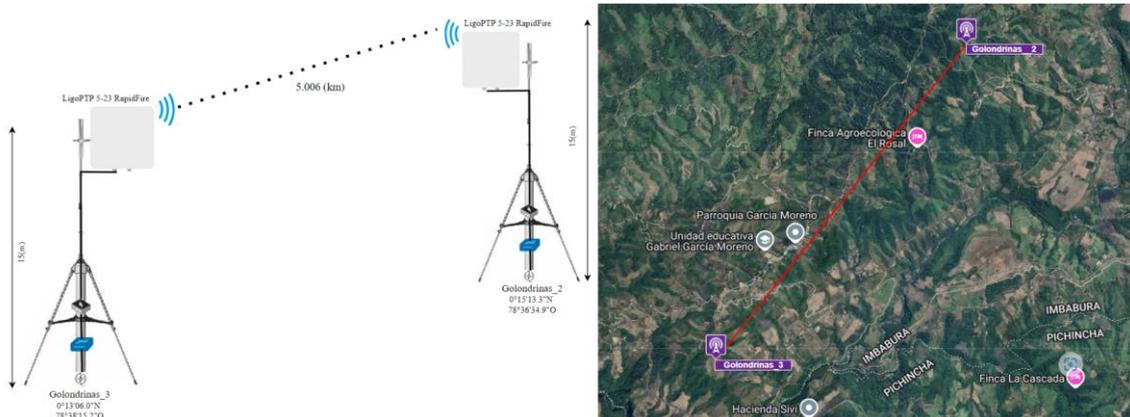
Resultados			
Pérdida de espacio libre	123 dB	Margen de atenuación térmica	19 dB
Nivel de señal de recepción	-52.057 dBm	Distancia entre los sitios	5.964 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	>= 99.999



• **Golondrinas_2 – Golondrinas_3**

El enlace punto a punto entre Golondrinas_2 y Golondrinas_3 tiene una distancia de 5.006 km, el perfil de elevación del enlace muestra un trayecto descendente, donde Golondrinas_2 se encuentra a 1,700 metros sobre el nivel del mar, mientras que Golondrinas_3 está a 1,300 metros.

Figura 73
Enlace Golondrinas_2 – Golondrinas_3



La pérdida de espacio libre en este tramo es de 122 dB, mientras que el nivel de señal de recepción es de -50.562 dBm, asegurando una recepción óptima dentro de los umbrales operativos, el margen de atenuación térmica es de 20 dB, lo que permite estabilidad ante variaciones ambientales y la disponibilidad del enlace es $\geq 99.999\%$, asegurando baja latencia y alta eficiencia en la transmisión.

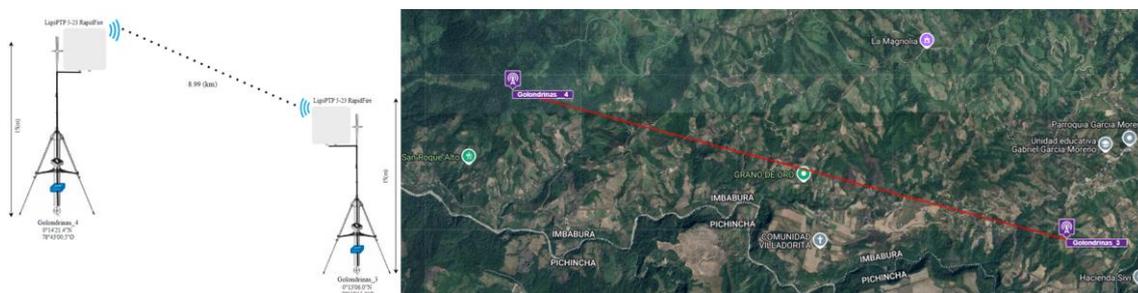
Figura 74
Perfil de Enlace Golondrinas_2 - Golondrinas_3



- **Golondrinas_3 – Golondrinas_4**

El perfil de elevación del enlace muestra una trayectoria ascendente, donde Golondrinas_3 se encuentra a aproximadamente 1,200 metros sobre el nivel del mar, mientras que Golondrinas_4 está a 1,500 metros. El enlace tiene una distancia de 24.38 km.

Figura 75
Enlace Nodo Golondrinas_3 - Nodo Golondrinas_4



La pérdida de espacio libre en este tramo es de 136 dB, lo que indica una atenuación considerable debido a la distancia del enlace. El nivel de señal de recepción es de -64.593 dBm, lo que se encuentra dentro de los valores aceptables para una operación estable. Sin embargo, el margen de atenuación térmica es de solo 6 dB, lo que sugiere que el enlace puede ser susceptible a variaciones climáticas y atenuaciones imprevistas. Aun así, la disponibilidad del enlace se mantiene en 99.997%, lo que indica un rendimiento confiable con mínimas probabilidades de interrupción. Desde la perspectiva de la zona de Fresnel, el radio máximo de la primera zona de Fresnel es de 17.73 metros, mientras que el 60% del radio de Fresnel requerido es de 10.64 metros. Este valor es crítico, ya que, para garantizar una transmisión sin interferencias, es esencial mantener despejado al menos el 60% de la zona de Fresnel.

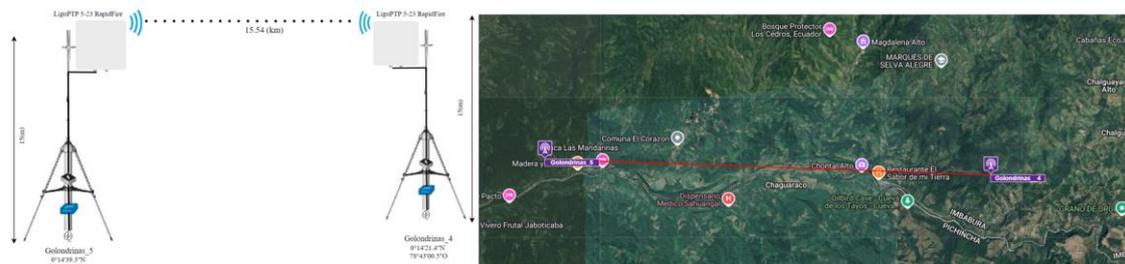
Figura 76**Perfil de Enlace Golondrinas_3 - Golondrinas_4**

Resultados			
Pérdida de espacio libre	127 dB	Margen de atenuación térmica	15 dB
Nivel de señal de recepción	-55.722 dBm	Distancia entre los sitios	8.994 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	>= 99.999



- **Golondrinas_4 – Golondrinas_5**

El enlace punto a punto entre Golondrinas_4 y Golondrinas_5, con una distancia de 20.731 km, el perfil de elevación del enlace muestra que Golondrinas_4 se encuentra a una altitud de aproximadamente 800 metros sobre el nivel del mar, mientras que Golondrinas_5 está a 1,000 metros.

Figura 77**Enlace Nodo Golondrinas_4 - Nodo Golondrinas_5**

La pérdida de espacio libre es de 134 dB, lo que indica una atenuación considerable debido a la distancia y condiciones del terreno. El nivel de señal de recepción es de -

63.108 dBm, el margen de atenuación térmica es de 8 dB, lo que sugiere que el enlace es moderadamente robusto ante fluctuaciones ambientales. A pesar de estas condiciones, la disponibilidad del enlace es del 99.999%, asegurando una mínima probabilidad de interrupción.

Figura 78

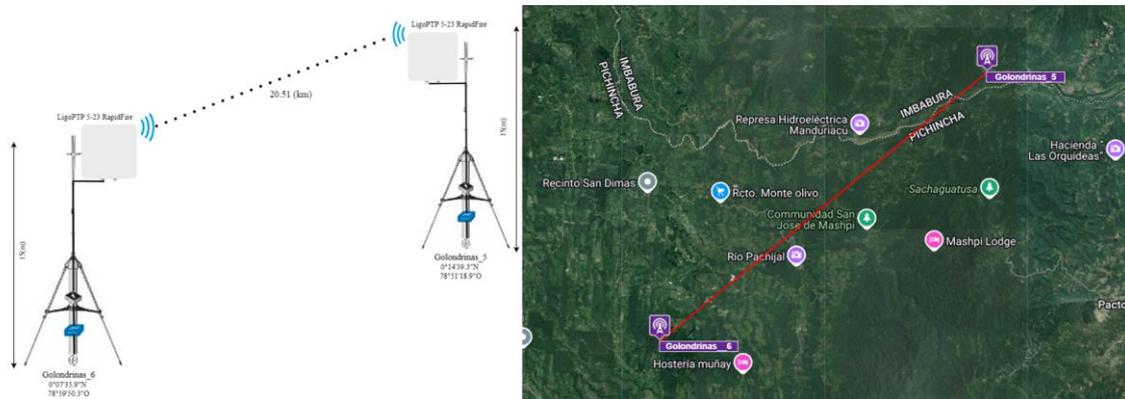
Perfil de Enlace Golondrinas_4 - Golondrinas_5



- **Golondrinas_5 – Golondrinas_6**

El perfil de enlace entre los nodos Golondrinas_5 y Golondrinas_6, tiene una distancia de 20.507 km

Figura 79
Perfil de Enlace Golondrinas_5 - Golondrinas_6



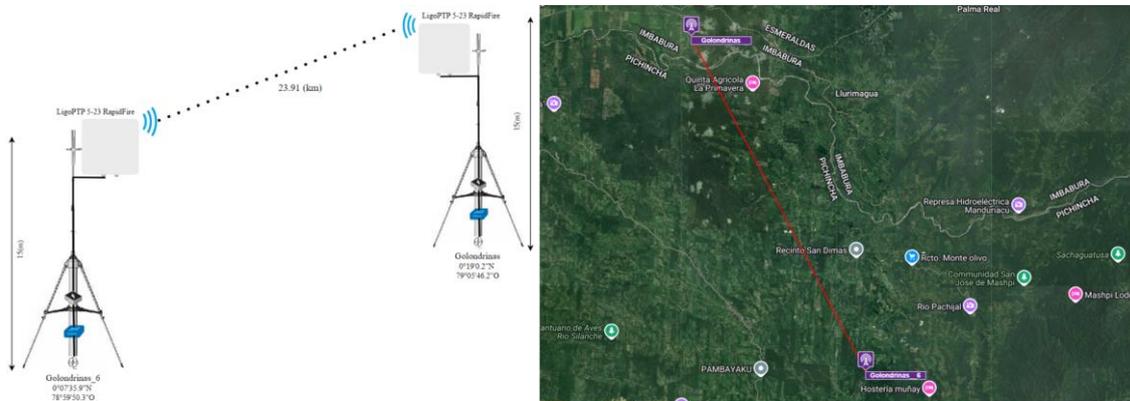
Resultados			
Pérdida de espacio libre	134 dB	Margen de atenuación térmica	8 dB
Nivel de señal de recepción	-63.037 dBm	Distancia entre los sitios	20.507 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	99.999%



- **Golondrinas_6 – Golondrinas**

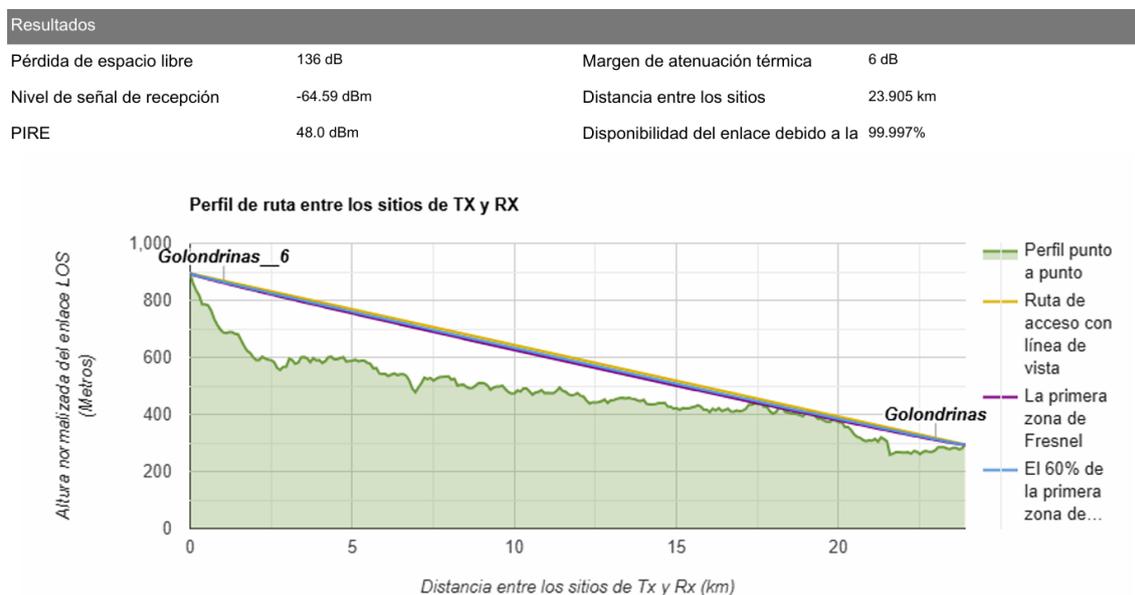
El enlace punto a punto (PtP) entre Golondrinas_5 y Golondrinas, con una distancia de 23.91 km. Este nodo se ubica a 297m sobre el nivel del mar, a su vez, es el enlace final del sistema de comunicaciones donde se encuentra la subestación Las Golondrinas del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.

Figura 80
Enlace Nodo Golondrinas_6 - Nodo Golondrinas



La pérdida de espacio libre en este tramo es de 136 dB, lo que representa una atenuación considerable debido a la distancia del enlace. El nivel de señal de recepción es de -64.782 dBm, lo que se encuentra dentro del umbral operativo del sistema y garantiza una comunicación eficiente sin degradaciones significativas. El margen de atenuación térmica es de solo 6 dB, lo que indica que el enlace puede ser susceptible a variaciones climáticas y atenuaciones por condiciones atmosféricas adversas. A pesar de esto, la disponibilidad del enlace es del 99.997%. Desde el punto de vista de la zona de Fresnel, el radio máximo de la primera zona de Fresnel es de 17.8 metros, mientras que el 60% del radio de Fresnel requerido es de 10.68 metros. El perfil de ruta muestra que el despeje del 60% de la zona de Fresnel se mantiene en casi toda la trayectoria del enlace, asegurando que la señal no sufra pérdidas significativas por difracción.

Figura 81
Perfil de Enlace Golondrinas_6 – Golondrinas



4.4. Sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply)

Para garantizar la continuidad operativa de un sistema de comunicaciones y evitar interrupciones en la transmisión de datos debido a fallos eléctricos, es fundamental implementar redundancia energética en los nodos de la red.

Para mejores prácticas en telecomunicaciones y sistemas eléctricos de respaldo es importante optar por un sistema de UPS adecuado, para ello se debe calcular la potencia demandada, asegurarse de dejar un margen del 25% y considerar la temperatura ambiente para evitar fallos o reducir la vida útil del equipo.

4.4.1. Características del sistema UPS

Las arquitecturas redundantes de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (UPS) garantizan la protección de cargas críticas ante fallos. Existen tres principales tipos: Paralelo (N+1), donde varios UPS comparten la carga y, si uno falla, los demás la asumen, lo que mejora la disponibilidad y escalabilidad, ideal para infraestructura crítica. Serie,

en la que los UPS están conectados secuencialmente, de modo que, si uno falla, el siguiente proporciona energía; sin embargo, esta configuración es menos común debido a su complejidad. Zonas, donde cada UPS respalda un área específica, reduciendo el impacto de fallos en toda la instalación, recomendada para grandes infraestructuras con diferentes niveles de criticidad.

4.4.2. Cálculo de Potencia de UPS (Un Nodo)

Tabla 47
Cálculo de potencias de Sistema UPS

Equipos	N° de Equipos	Volts (V)	Amperes (A)	VA (Volt*Amperes)
MikroTik RouterBoard RB5009	1	24-57	0.5	26.25
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	9	0.5	4.5
Antena PtP LigoPTP 5-23 RapidFire	2	48	0.5	48
Antena PtMP LigoDLB 5-20 ac	1	48	0.5	24
Subtotal				102.75
Factor de crecimiento (25% del subtotal)				25.69
VA requeridos				128.44
Capacidad Total				0.13 KVA

Se debe considerar que el diseño de sistema de comunicaciones es orientado a solventar la comunicación de emergencia en zonas rurales de difícil acceso, se requieren UPS con respaldo prolongado para garantizar la continuidad operativa ante fallos eléctricos, es crucial utilizar UPS escalables con baterías externas o sistemas híbridos, por lo cual se analiza la elección del sistema apropiado entre calidad y costo de acuerdo con la Tabla 48.

Tabla 48
Comparativa de Fabricantes de sistemas UPS

Características	Eaton 5PX 2200VA	CyberPower OL3000RTXL2U	APC Smart-UPS X 3000VA (SMX3000LV)
Capacidad de Salida (VA)	2200 VA	3000 VA	3000 VA
Capacidad de Salida (Watts)	1980 W	2700 W	2700 W
Voltaje nominal	120 V	120 V	120 V
Tiempo de respaldo	90-120 min	150-180 min	150-180 min
Tiempo de recarga	3 horas al 90%	4 horas al 100%	3 horas al 95%
Tomacorrientes	8 x NEMA 5-20R	6 x NEMA 5-20R, 1 x NEMA L5-30R	8 x NEMA 5-20R, 2 x NEMA L5-30R

El mejor UPS en términos de costo-beneficio es el modelo CyberPower OL3000RTXL2U ya que, es una excelente opción para garantizar mayor autonomía y fiabilidad en sistemas críticos. Además, permite escalabilidad al admitir módulos de baterías externas para extender aún más el tiempo de respaldo, ya que ofrece un excelente equilibrio entre capacidad de salida, tiempo de respaldo y costo. La selección de este modelo permite garantizar mayor autonomía y fiabilidad en sistemas críticos. Además, permite escalabilidad al admitir módulos de baterías externas para extender aún más el tiempo de respaldo.

4.5. Presupuesto del Proyecto

Para el sistema de comunicaciones diseñado para el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi, se ha llevado a cabo un análisis detallado de los costos asociados a equipos, instalación, configuración y mantenimiento. La evaluación incluye tanto la red principal como la red de respaldo, garantizando continuidad operativa en caso de fallos. Cada nodo varía en el número de antenas punto a punto (PtP) necesarias para su interconexión con otros nodos, por lo que se especifica individualmente la cantidad requerida en cada caso. Sin embargo, el equipamiento estándar, como routers, switches y sistemas de UPS, se

mantiene uniforme en todos los nodos para asegurar compatibilidad y eficiencia operativa.

4.5.2. Costos directos e Indirectos

4.5.2.1. Costos Directos

Los costos directos del proyecto de comunicaciones incluyen todo lo que está explícitamente vinculado a la implementación y operación de la infraestructura.

Acceso a Internet

Dado que se trata de una infraestructura crítica de comunicaciones, lo ideal es contratar un servicio dedicado (1:1) en el Nodo Central Cotacachi para garantizar estabilidad y disponibilidad continua. En el Nodo Intag, al actuar como un respaldo, se considera viable una relación de compartición 1:N (compartido), permitiendo optimizar costos sin comprometer la conectividad. Por su parte, el Nodo Golondrinas, que depende en gran medida de la conectividad satelital, funcionaría como una solución de contingencia en caso de fallos en la red principal.

Tabla 49
Acceso de Internet

Acceso a Internet				
Nodo	Uso Principal	Ancho de Banda Mínimo Recomendado	Relación de Compartición	\$ Precio por mes
Nodo Central Cotacachi	Punto principal de la red, tráfico de datos crítico.	100 Mbps (Dedicado 1:1)	1:1 (Dedicado)	75
Nodo Intag	Nodo de respaldo, tráfico moderado.	50 Mbps (Compartido 1:N)	1:4 (Compartido)	25

Nodo Golondrinas (Satelital)	Nodo de respaldo satelital, tráfico de emergencia.	20 Mbps (5 Mbps garantizados)	1:N (Compartido)	40
Total				\$165

Equipamiento de red

La Tabla 50 ofrece el listado de los componentes esenciales y sus costos asociados para la instalación, dado que cada nodo requiere una configuración similar, estos elementos se replican en cada uno de ellos, asegurando uniformidad y compatibilidad en toda la red.

Tabla 50

Componentes y Precios para Instalación de Infraestructura de Red

Categoría	Elemento	Descripción	Precio Estimado (USD)
Infraestructura de Soporte	Mástil de 6 metros	Mástil galvanizado para montaje de antenas	\$150.00
	Soporte de Montaje Universal	Soporte ajustable para antenas en mástil	\$30.00
	Abrazaderas de Acero Inoxidable (paquete de 10)	Para fijación de cables y antenas al mástil	\$25.00
Cableado y Conectores	Cable UTP Cat6 (305 metros)	Cable de red para conexiones internas y externas	\$120.00
	Conectores RJ45 (paquete de 100)	Conectores para terminación de cables UTP	\$15.00
Gabinetes y Racks	Gabinete de Pared 9U	Gabinete para montaje de equipos de red en pared	\$250.00
	Bandeja Fija para Rack	Para soporte de equipos dentro del rack	\$40.00
	Organizador de Cables Horizontal	Para gestión ordenada de cables en el rack	\$20.00
Protección Eléctrica	Supresor de Picos de Corriente	Dispositivo para protección contra sobretensiones	\$50.00
	Sistema de Puesta a Tierra	Kit completo para aterriaje de equipos	\$200.00

Herramientas y Accesorios	Crimpadora para Conectores RJ45	Herramienta para terminación de cables UTP	\$25.00
	Probador de Cables de Red	Dispositivo para verificar la integridad de cables de red	\$50.00
	Cinta Aislante (paquete de 10)	Para aislamiento y protección de conexiones eléctricas	\$10.00
	Bridas Plásticas (paquete de 100)	Para organización y sujeción de cables	\$5.00
Total			\$990

Nodo Central Cotacachi

El Nodo Central Cotacachi dentro de la infraestructura de comunicaciones actúa como el punto de convergencia de la red principal y la red de respaldo. Este nodo está interconectado con múltiples nodos secundarios y tiene conexiones a los proveedores de servicio primario y de respaldo, por ello en la Tabla 51 se muestra los equipos que involucran al nodo para su correcto funcionamiento.

Tabla 51
Presupuesto de equipos Nodo Central

Nodo Central Cotacachi			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	2	847	1694
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 3581

Nodo Apuela_1

El Nodo Apuela 1 cuenta con tres antenas punto a punto, una de estas antenas establece un enlace directo con el Nodo Central Cotacachi, permitiendo la transmisión y recepción de datos desde el núcleo de la red. La segunda antena PtP se encuentra orientada

hacia el Nodo Intag_BK_2, formando parte de la red de respaldo y proporcionando redundancia en caso de fallos en la red principal. La tercera antena establece una conexión con Apuela 2.

Tabla 52*Presupuesto de equipos Nodo Apuela_1*

Nodo Apuela 1			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Apuela_2

El Nodo Apuela 3 cuenta con tres antenas punto a punto (PtP) para garantizar su conectividad. Una antena enlaza con Apuela 2, otra con Apuela 4, y la tercera con Intag_BK_3, asegurando redundancia y estabilidad en la red. Esta configuración permite una transmisión eficiente de datos y mayor resiliencia ante fallos.

Tabla 53*Presupuesto de equipos Nodo Apuela_2*

Nodo Apuela 2			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Apuela_3

El Nodo Apuela_3 cuenta con tres antenas punto a punto (PtP) para garantizar su conectividad. Una antena enlaza con Apuela_2, otra con Apuela_4, y la tercera con Intag_BK_3, asegurando redundancia y estabilidad en la red.

Tabla 54
Presupuesto de equipos Nodo Apuela_3

Nodo Apuela 3			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Apuela_4

El nodo Apuela_4 actúa como un punto de convergencia entre la red principal y la red de respaldo asegurando conectividad con Intag_BK_4, Apuela_3 y la Subestación Intag, por ello se denota la siguiente lista de equipos a emplear en la Tabla 55 de dicho nodo.

Tabla 55
Presupuesto de equipos Nodo Apuela_4

Nodo Apuela 4			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19

LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Intag

El Nodo Subestación Intag cuenta con tres antenas PtP para interconectar con Apuela_4, Golo_BK_1 e Intag_BK_5, asegurando redundancia y estabilidad en la red.

Tabla 56
Presupuesto de equipos Nodo Intag

Nodo Intag			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Golondrinas_1

El Nodo Golondrinas_1 está equipado con tres antenas PtP, estableciendo enlaces estratégicos con Apuela_3, Golondrinas_2 y Golo_BK_1, su integración con la infraestructura de respaldo refuerza la estabilidad de la red en escenarios críticos.

Tabla 57
Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_1

Nodo Golondrinas_1			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19

LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Golondrinas_2

El Nodo Golondrinas_2 está equipado con tres antenas PtP, estableciendo enlaces de comunicación críticos con Golondrinas_1, Golondrinas_3 y Golo_BK_3 como se muestra en el listado de la Tabla 58.

Tabla 58

Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_2

Nodo Golondrinas_2			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Golondrinas_3

El Nodo Golondrinas_3 cuenta con tres antenas PtP, permitiendo la interconexión con los nodos Golondrinas_2, Golondrinas_4 y Golo_BK_4.

Tabla 59
Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_3

Nodo Golondrinas_3			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Golondrinas_4

El nodo Golondrinas_4 está equipado con tres antenas punto a punto (PtP) establece enlaces directos con Golondrinas_3, asegurando la continuidad del tráfico en la red principal, y con Golondrinas_5, facilitando la comunicación con nodos más alejados. Además, mantiene un enlace con Golo_BK_4, integrándose a la red de respaldo para garantizar redundancia en caso de fallos en la red primaria.

Tabla 60
Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_4

Nodo Golondrinas_4			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Golondrinas_5

El nodo Golondrinas_5 está equipado con tres antenas punto a punto (PtP) establece enlaces directos con Golondrinas_4, con Golondrinas, facilitando la comunicación con nodos más alejados. Además, mantiene un enlace con Golo_BK_6, integrándose a la red de respaldo para garantizar redundancia en caso de fallos en la red primaria.

Tabla 61

Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas_5

Nodo Golondrinas_5			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19
LigoWave LigoPTP RapidFire 5	3	847	2541
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 4428

Nodo Golondrinas

El nodo golondrinas es el nodo final del sistema de comunicaciones y es necesario dos antenas punto a punto (PtP) establece enlaces directos con Golondrinas_5 y con Golo_BK_6, integrándose a la red de respaldo para garantizar redundancia en caso de fallos en la red primaria.

Tabla 62

Presupuesto de equipos Nodo Golondrinas

Nodo Golondrinas			
Equipo	Cantidad	\$ Precio unitario	\$ Precio total
Router MikroTik RB5009UG	1	186	186
Switch TP-LINK TL-SG1008P	1	19	19

LigoWave LigoPTP RapidFire 5	2	847	1694
LigoWave LigoDLB 5-20 ac	1	833	833
CyberPower OL3000RTXL2U	1	849	849
Total \$			\$ 3581

4.5.2.2. Costos Indirectos

Se consideran los gastos asociados a la instalación y operación de la red de comunicaciones del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi.

Costos de Arriendo

El Cuerpo de Bomberos de Cotacachi es una institución gubernamental de carácter público. Forma parte del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del Ecuador, por lo cual dentro de la jurisdicción de Cotacachi las zonas pertenecen al GAD Municipal Cotacachi, ventaja por la cual los puntos donde se ubican los nodos son propiedad del Cantón y los nodos principales son en los cuarteles de la estación central y las subestaciones del Cuerpo de Bomberos.

Tabla 63

Valores de Arriendo

Arriendos		
Lugar	Valor Mensual	Valor anual
Sitio Privado Urbano	\$80	\$960
Sitio Privado Rural	\$60	\$720

Instalación de infraestructura y equipos

Los salarios mínimos sectoriales para un técnico en instalaciones y mantenimiento de equipos de telecomunicaciones han sido ajustados según las últimas disposiciones del Ministerio de Trabajo de Ecuador

Tabla 64*Presupuesto de Instalación de la Infraestructura y Equipos de Red (2025)*

Descripción de la Instalación	Número de Trabajadores	Número de Días	Precio por Día (\$)	Precio Total (\$)
Instalación y configuración de equipos	2	7	22,50	315,00
Instalación de torres	4	30	22,50	2700,00
Obra civil	2	30	22,50	1350,00
Total				\$ 4365,00

Fuente: Ministerio de Trabajo de Ecuador, salarios mínimos sectoriales para técnicos en telecomunicaciones en 2025.

Presupuesto total de inversión

Se presenta en la tabla 65 el desglose de costos totales del proyecto de telecomunicaciones, alcanzando un total de 101,394.00 USD. La información está organizada en diferentes categorías, lo que permite identificar qué áreas requieren mayor inversión.

Tabla 65*Presupuesto Total de Inversión*

Total Costos	
Directos	165,00
Indirectos	140,00
Infraestructura	990,00
Dispositivos de Red	95734,00
Instalación	4365,00
Total	101394,00

Los dispositivos de red representan el mayor porcentaje del presupuesto, con 95,734 USD, esto indica que la infraestructura tecnológica es la parte más crítica del proyecto y que su correcto funcionamiento dependerá en gran medida de estos equipos. La infraestructura, que incluye elementos de conectividad son un componente esencial para el soporte físico de la red.

El costo de instalación asciende a 4,365 USD, lo que equivale al 4.3% del total. Este valor abarca la mano de obra necesaria para la implementación del proyecto, asegurando que los equipos sean instalados de manera correcta y segura.

Los costos directos e indirectos, con 165 USD y 140 USD respectivamente, representan una fracción mínima del presupuesto por costo mensual.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El sistema de comunicación para el Cuerpo de Bomberos Cotacachi ha sido diseñado con una topología de malla que utiliza enlaces punto a punto basado en el estándar 802.11ac, asegurando estabilidad y redundancia en la transmisión de datos. El diseño prevé la expansión a una red punto a multipunto en los tres nodos principales, facilitando la conexión rápida con usuarios finales.
- La ubicación de los nodos de enlace se definió mediante el análisis topográfico del trayecto desde Cotacachi hacia Intag y Las Golondrinas, identificando que en zonas irregulares existe la necesidad de repetidores con mástiles superiores a 15 m para despejar al menos el 60% de la zona de Fresnel. Se priorizaron puntos de mayor altitud para maximizar la línea de vista y optimizar la transmisión y lograr la comunicación de la estación central a las subestaciones del Cuerpo de Bomberos.
- La sensibilidad de recepción considerada para la antena es de -71 dBm, el análisis de enlace realizado con LinkCalc de LigoWave muestra niveles de recepción que oscilan entre -50.76 dBm y -64.28 dBm, esto indica que los enlaces presentan una calidad de señal buena a aceptable, garantizando una transmisión estable y confiable en las condiciones evaluadas.
- El diseño del sistema de comunicaciones puede alcanzar coberturas efectivas de hasta 23 km. Esta proyección garantiza una transmisión de datos estable y una conectividad continua entre el cuartel central y las subestaciones, asegurando la viabilidad técnica del sistema.
- Los niveles de señal de recepción en todos los enlaces se encuentran dentro de rangos aceptables para garantizar una conectividad estable en la red. Sin embargo, se observa

que los enlaces Golondrinas_3 - Golondrinas_4, Golondrinas_4 - Golondrinas_5 y Golondrinas_5 - Golondrinas presentan una combinación de distancia, topografía irregular, pero se logró tener un enlace dentro del margen requerido.

- En cuanto al presupuesto inicial se refleja que el proyecto requiere una inversión en dispositivos de red y una cantidad más reducida en infraestructura y costos de instalación alcanzando un total de 101,394.00 USD para funcionar como un sistema de comunicación para el Cuerpo de Bomberos Cotacachi.

Recomendaciones

- Al tratarse de un sistema de comunicaciones para el Cuerpo de Bomberos, la comunicación no debe ser continua; por ello, es importante diseñar una red de respaldo con un sistema de alimentación ininterrumpida que garanticen la disponibilidad del servicio y eviten interrupciones inesperadas en situaciones críticas.
- Es fundamental analizar las opciones que ofrecen los fabricantes en el mercado de las telecomunicaciones para seleccionar equipos que se ajusten a las necesidades del proyecto. Al trabajar con enlaces inalámbricos, es crucial revisar las especificaciones técnicas en el datasheet y emplearlas en software de gestión para evaluar la viabilidad del equipo.
- Optimizar la alineación de antenas y ajustar la altura de los mástiles para garantizar el despeje adecuado de la zona de Fresnel, mejorando la estabilidad de los enlaces en zonas irregulares.
- Implementar un plan de mantenimiento preventivo permitirá reducir costos derivados de fallas inesperadas en la infraestructura de red.
- Para conocer el nivel de recepción de los enlaces es necesario calcular el balance de enlace, considerando la trayectoria y las condiciones ambientales. Además, es

fundamental utilizar herramientas de simulación como LinkCalc para garantizar una transmisión estable y confiable.

- Para optimizar la inversión, se deben considerar compras al por mayor o negociaciones con fabricantes, reduciendo costos unitarios y asegurando acuerdos de garantía directa.
- La instalación de infraestructura de telecomunicaciones en zonas rurales y boscosas puede afectar la fauna local. Para mitigar estos impactos, se recomienda el uso de radomos con recubrimientos ecológicos y dispositivos disuasorios no invasivos para evitar el anidamiento sin alterar el ecosistema. Asimismo, la ubicación estratégica de las torres debe minimizar la interferencia con corredores biológicos, promoviendo una integración sostenible con el entorno.
- Para garantizar la seguridad del nodo, se recomienda instalar cerramientos perimetrales, videovigilancia y control de acceso para prevenir vandalismo y sabotaje. El uso de drones de patrullaje permitirá monitorear en tiempo real la infraestructura, detectando amenazas o fallos operativos. Además, la implementación de firewalls y monitoreo remoto fortalecerá la ciberseguridad y la continuidad operativa del sistema.

Referencias Bibliográficas

- Aldás, E. (2011). “LAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES Y SU INCIDENCIA EN LAS COMUNICACIONES MÓVILES DENTRO DE LOS PREDIOS DE LA FUNDACIÓN NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE EN LA CIUDAD DE AMBATO.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30/1/t591m.pdf>
- ARCOTEL. (2016, agosto 18). Otorgamiento de Títulos Habilitantes: SISTEMAS DE RADIOS DE DOS VÍAS HF, VHF Y UHF - Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones - Promovemos el desarrollo armónico del sector de las telecomunicaciones, radio, televisión y las TIC , mediante la administración y regulación eficiente del espectro radioeléctrico y los servicios.
<https://www.arcotel.gob.ec/otorgamiento-de-titulos-habilitantes-radio-de-dos-vias/>
- ARCOTEL. (2024). Servicio Móvil Avanzado—Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. <https://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado/>
- Baek, J., & Choi, Y. (2018). ANewGIS-BasedAlgorithm to Support Initial Transmitter Layout Design in Open-Pit Mines [Paper]. Pukyong National University.
- Bottini, C. (2023). WIFI MESH: Características, configuración y consejos. RedUSERS.
- del Río, E. (2023). Sistemas de telefonía fija y móvil 2.^a edición 2023. Ediciones Paraninfo, S.A.

- Estupiñán, V. (2018). Análisis de la situación actual del servicio público de telefonía fija frente al servicio de telefonía móvil en el Ecuador. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/download/1628/1589/6137>
- Gallardo, S. (2015). Elementos de sistemas de telecomunicaciones. https://www.google.com.ec/books/edition/Elementos_de_sistemas_de_telecomunicacio/Jz5ACQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Radiofrecuencia+comunicaciones&pg=PA78&printsec=frontcover
- García, J., & Morales, G. (2018). Instalaciones de radiocomunicaciones 2.^a edición. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Gaviria, A., & Moncada, A. M. (2015). Diseño e implementación de un radioenlace digital como estrategia de conectividad de bajo presupuesto para las comunidades de bajos recursos en áreas rurales de Antioquia.
- IEEE Standards Association. (2021). IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/7028/>
- LigoWave. (2024a). LigoWave [Dataset]. <https://www.ligowave.com/es/about-us-2>
- LigoWave. (2024b). LigoWave | LinkedIn. <https://www.linkedin.com/company/ligowave/jobs/>
- MikroTik. (2024). MikroTik. <https://mikrotik.com/>

Montero, J. A. R. (2005). Proyecto de grado como requisito parcial para la obtención del título de.

Moya, J. M. H. (2013). Comunicaciones por Radio. Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones.: El espectro electro. Ra-Ma Editorial.

Nganga, P. (2021, julio 27). Explicación y comparación de los estándares inalámbricos 802.11 | Comunidad FS. Knowledge. <https://community.fs.com/es/article/802-11-standards-explained.html>

Rappaport, T. S. (2024). Wireless Communications: Principles and Practice. Cambridge University Press.

RB5009UG+S+IN | MikroTik. (2025). https://mikrotik.com/product/rb5009ug_s_in

Ruth, C. (2023, mayo 16). The Evolution of Wi-Fi Technology and Standards. IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/beyond-standards/the-evolution-of-wi-fi-technology-and-standards/>

UniFi. (2024). UniFi—Introduction—Ubiquiti. <https://ui.com/introduction>

Anexos

Anexo 1. Requerimientos de Stakeholders

Para obtener un conocimiento más profundo de la situación actual del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi, se decidió llevar a cabo una reunión presencial. Durante esta reunión, se realizó una encuesta a los miembros del Cuerpo, enfocada en aspectos de telecomunicaciones. Las preguntas abordaron temas como las subestaciones operativas, la comunicación interna, los sistemas de respaldo para las comunicaciones y las evaluaciones generales del servicio.

Análisis de Servicios de Telecomunicaciones en el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi.

Participantes:

- Giovanni Zamora: Jefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.
- Luis Cuasapás: Subjefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.
- Xavier Cuacés: Suboficial del Cuerpo de Bomberos Cotacachi.
- Katherine Almeida: Desarrolladora del presente proyecto.

Preguntas 1: Nombrar cuales son las subestaciones de bomberos que están operativas actualmente en el cantón Cotacachi.

Las estaciones que actualmente se encuentran operativas son: estación central CR en Cotacachi, Subestación X1 Intag y Subestación X2 Golondrinas.

Preguntas 2: ¿Cómo es la comunicación interna en el cuerpo de bomberos con la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas y Piñán?

Las respuestas califican la comunicación como "deficiente" y mencionan que es más efectivo usar llamadas telefónicas directas, indicando la necesidad de sistemas de comunicación más robustos y posiblemente integrados.

Preguntas 3: ¿Cuáles son los servicios de telecomunicaciones que el Cuerpo de Bomberos Cotacachi emplea para la comunicación entre estaciones durante situaciones de emergencia en el cantón?

El Cuerpo de Bomberos de Cotacachi utiliza varios servicios de telecomunicaciones para comunicarse durante emergencias, incluyendo radios de dos vías VHF, tecnología celular, WiFi y telefonía fija.

Preguntas 4: ¿Cómo gestionan la comunicación entre el personal en el campo y el personal de comando en la estación central?

Ante el desafío de mantener la comunicación efectiva entre el personal en el campo y el personal de comando en la estación central, el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi ha implementado una estrategia dual. Utilizan la telefonía celular en áreas donde exista cobertura. Sin embargo, en zonas donde la señal celular es insuficiente o inexistente, recurren a radios de comunicación, pero el alcance es únicamente de hasta 60 kilómetros por lo que no abastece el radio de cobertura de todo el cantón.

Preguntas 5: ¿Actualmente cómo aseguran la capacidad de comunicación en áreas remotas o de difícil acceso?

Para asegurar la capacidad de comunicación en áreas remotas o de difícil acceso actualmente el Cuerpo de Bomberos de Cotacachi utiliza equipos portátiles, como radios y celulares. Estos dispositivos permiten mantener la comunicación hasta donde la señal

lo permite. En zonas donde la señal es inexistente, actualmente no hay medios de comunicación disponibles, lo que resulta en períodos de incomunicación. Este escenario subraya la necesidad de explorar soluciones adicionales para garantizar la conectividad continua en todas las áreas.

Preguntas 6: ¿Algún otro comentario que quiera compartir sobre servicio de Telecomunicaciones del Cuerpo de Bomberos?

- Giovanni Zamora Jefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi, expresa que actualmente el Cuerpo de Bomberos cuenta con un sistema de telecomunicaciones muy básico que no abarca toda la jurisdicción del Cantón Cotacachi.
- Luis Cuasapás: Subjefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi, menciona que no existe mucha cobertura, pero es muy necesario mejorar el sistema de comunicaciones para tener mayor cobertura ya que el territorio en el cual prestan servicio de emergencia es muy amplio en el cantón.
- Xavier Cuacés Suboficial del Cuerpo de Bomberos Cotacachi manifiesta que se necesita adquirir nuevos sistemas de comunicación para una mejor cobertura de comunicación entre la estación central y las subestaciones.

Preguntas 7: ¿Cómo evalúa el servicio de telecomunicaciones entre subestaciones del cuerpo de bomberos durante operaciones de emergencia? En escala de 0 a 10, siendo cero deficientes y diez óptimo.

- Giovanni Zamora: Jefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi lo evaluó con una calificación de 2 (dos).
- Luis Cuasapás: Subjefe del Cuerpo de Bomberos Cotacachi puso un puntaje de 1 (uno).

- Xavier Cuacés: Suboficial del Cuerpo de Bomberos Cotacachi estableció una apreciación de 2 (dos).

Anexo 2. Reporte de Análisis de Enlaces LinkCalc

El Anexo 2 presenta el reporte de análisis de enlaces realizado mediante la herramienta LinkCalc <https://linkcalc.ligowave.com/>, utilizada para evaluar el desempeño y viabilidad de los enlaces de comunicación diseñados para el sistema de telecomunicaciones del Cuerpo de Bomberos de Cotacachi mediante el uso de Antenas del Fabricante LigoWave. Este análisis incluye cálculos de Pérdida de Espacio Libre (FSL), zona de Fresnel y disponibilidad del enlace. Además, se han considerado factores como la orografía, interferencias potenciales y condiciones climáticas, garantizando un diseño óptimo para la estabilidad y eficiencia de la red. Los resultados obtenidos permiten validar la capacidad de los enlaces para proporcionar una comunicación confiable en escenarios de emergencia y optimizar la infraestructura de red en términos de alcance y calidad del servicio.



UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:04 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Central Cotacachi	Nombre del sitio (RX)	Apuela_1
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.296	Latitud	0.330
Longitud	-78.266	Longitud	-78.338
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

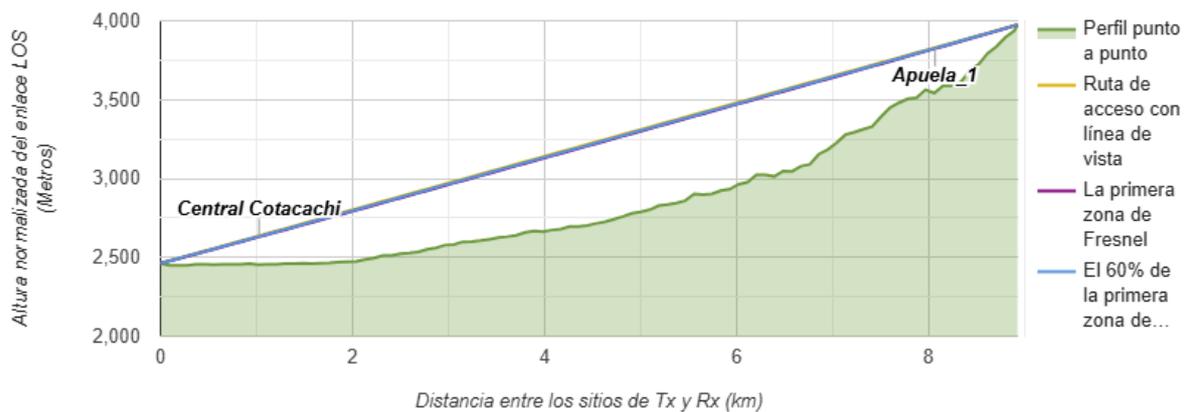
Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

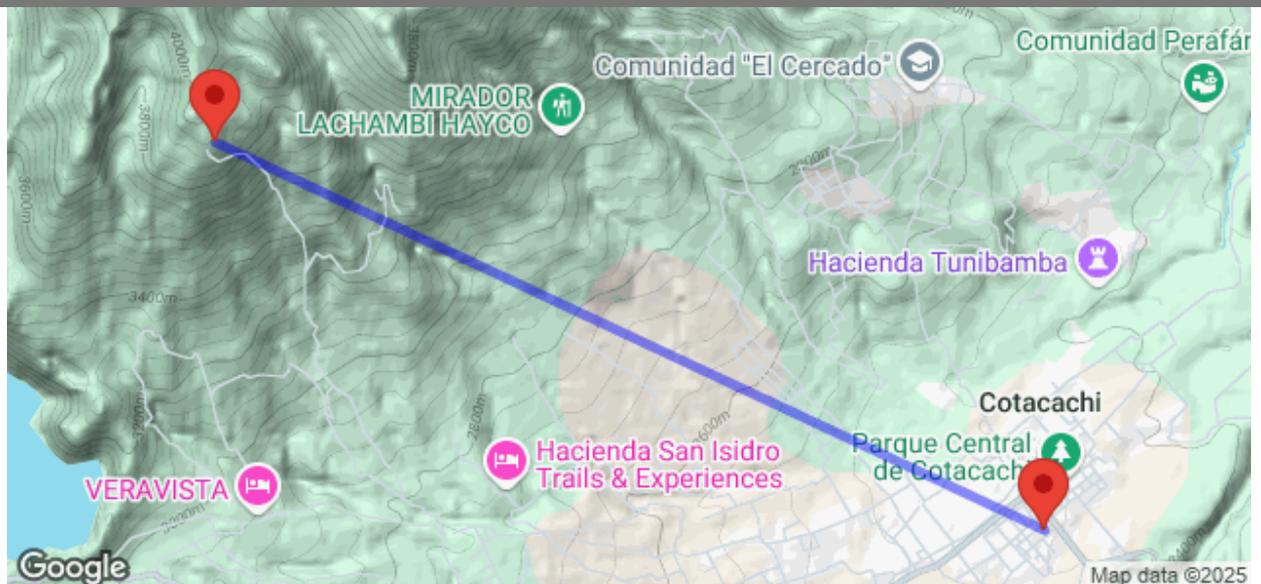
Resultados

Pérdida de espacio libre	127 dB	Margen de atenuación térmica	15 dB
Nivel de señal de recepción	-55.628 dBm	Distancia entre los sitios	8.929 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-57.63 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-57.63 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-57.63 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-58.63 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-57.63 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-58.63 dBm	11 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-57.63 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-58.63 dBm	5 dB	99.997%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-55.63 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-56.63 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-56.63 dBm	7 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-58.63 dBm	3 dB	99.990%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:06 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Apuela_3	Nombre del sitio (RX)	Apuela_4
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.347	Latitud	0.351
Longitud	-78.391	Longitud	-78.460
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

Resultados

Pérdida de espacio libre	125 dB	Margen de atenuación térmica	17 dB
Nivel de señal de recepción	-54.354 dBm	Distancia entre los sitios	7.709 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-56.35 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-56.35 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-56.35 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-57.35 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-56.35 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-57.35 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-56.35 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-57.35 dBm	7 dB	99.999%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-55.35 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-57.35 dBm	5 dB	99.996%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:02 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Apuela_1	Nombre del sitio (RX)	Apuela_2
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.328	Latitud	0.291
Longitud	-78.340	Longitud	-78.402
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

Resultados

Pérdida de espacio libre	126 dB	Margen de atenuación térmica	16 dB
Nivel de señal de recepción	-54.658 dBm	Distancia entre los sitios	8.047 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-56.66 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-56.66 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-56.66 dBm	12 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-57.66 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-56.66 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-57.66 dBm	12 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-56.66 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-57.66 dBm	6 dB	99.999%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-54.66 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-55.66 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-55.66 dBm	8 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-57.66 dBm	4 dB	99.996%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:05 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Apuela_2	Nombre del sitio (RX)	Apuela_3
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.291	Latitud	0.347
Longitud	-78.402	Longitud	-78.391
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

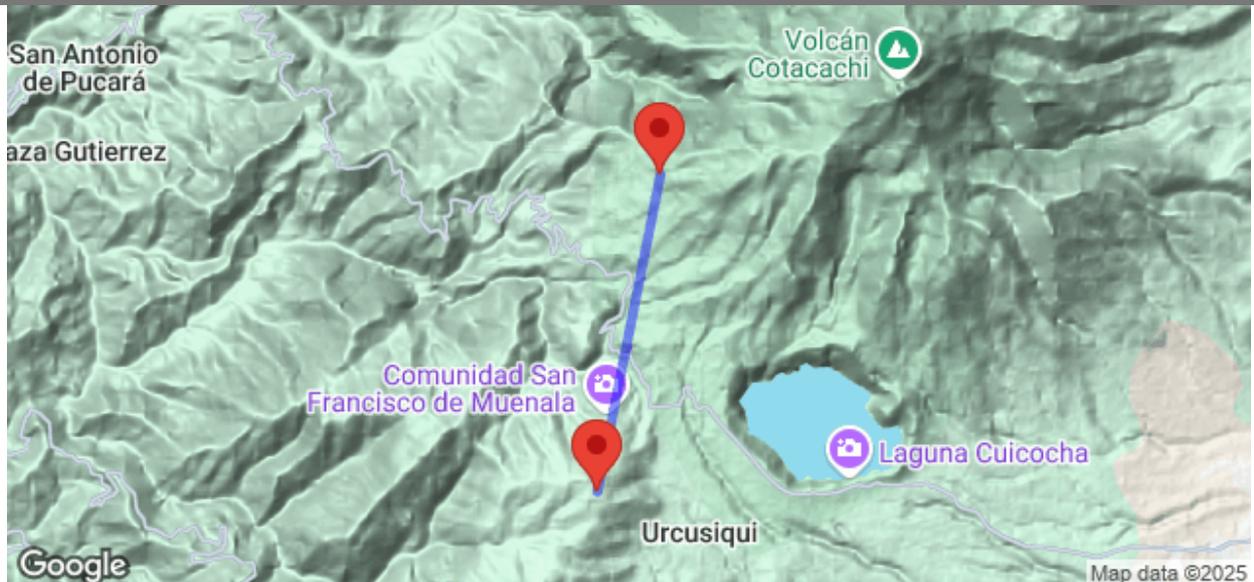
Resultados

Pérdida de espacio libre	124 dB	Margen de atenuación térmica	18 dB
Nivel de señal de recepción	-52.593 dBm	Distancia entre los sitios	6.344 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	6 dB	99.999%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:08 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golondrinas_1	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_2
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.300	Latitud	0.254
Longitud	-78.583	Longitud	-78.610
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

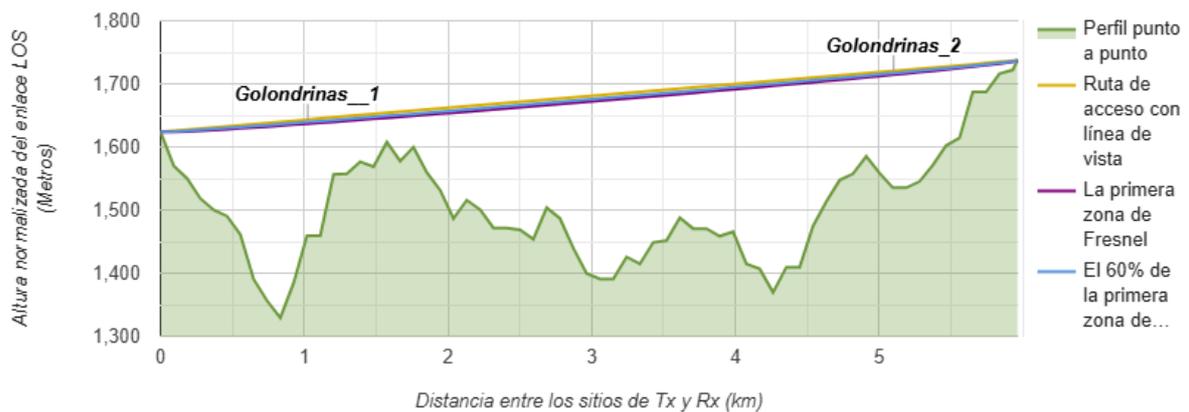
Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

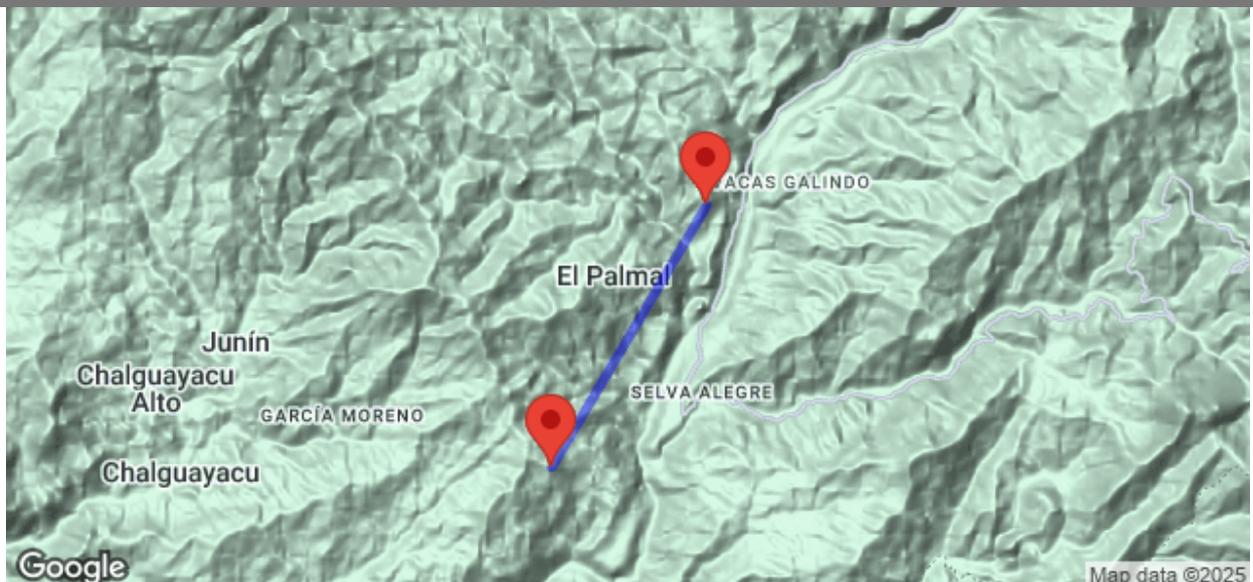
Resultados

Pérdida de espacio libre	123 dB	Margen de atenuación térmica	19 dB
Nivel de señal de recepción	-52.057 dBm	Distancia entre los sitios	5.964 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-54.06 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-54.06 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-54.06 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-55.06 dBm	12 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-54.06 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-55.06 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-54.06 dBm	12 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-55.06 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-52.06 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-53.06 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-53.06 dBm	11 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-55.06 dBm	7 dB	>= 99.999	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:09 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golondrinas_2	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_3
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.254	Latitud	0.218
Longitud	-78.610	Longitud	-78.638
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

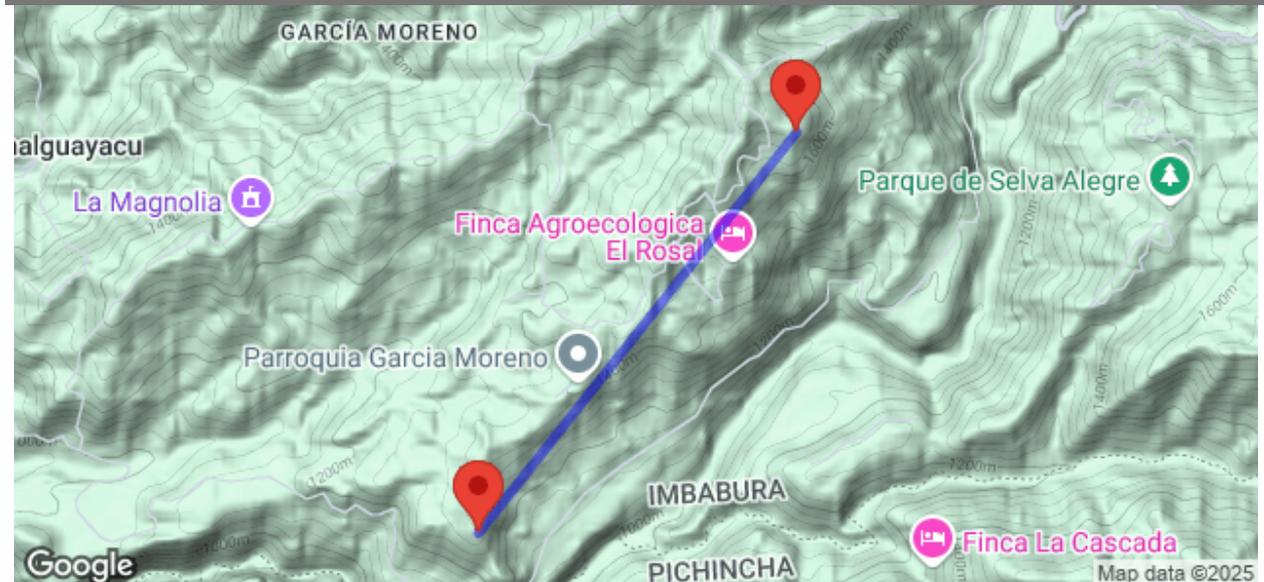
Resultados

Pérdida de espacio libre	122 dB	Margen de atenuación térmica	20 dB
Nivel de señal de recepción	-50.562 dBm	Distancia entre los sitios	5.006 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-52.56 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-52.56 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-52.56 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-53.56 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-52.56 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-53.56 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-52.56 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-53.56 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-50.56 dBm	20 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-51.56 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-51.56 dBm	12 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-53.56 dBm	8 dB	>= 99.999	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:09 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golondrinas_4	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_3
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.239	Latitud	0.218
Longitud	-78.716	Longitud	-78.638
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

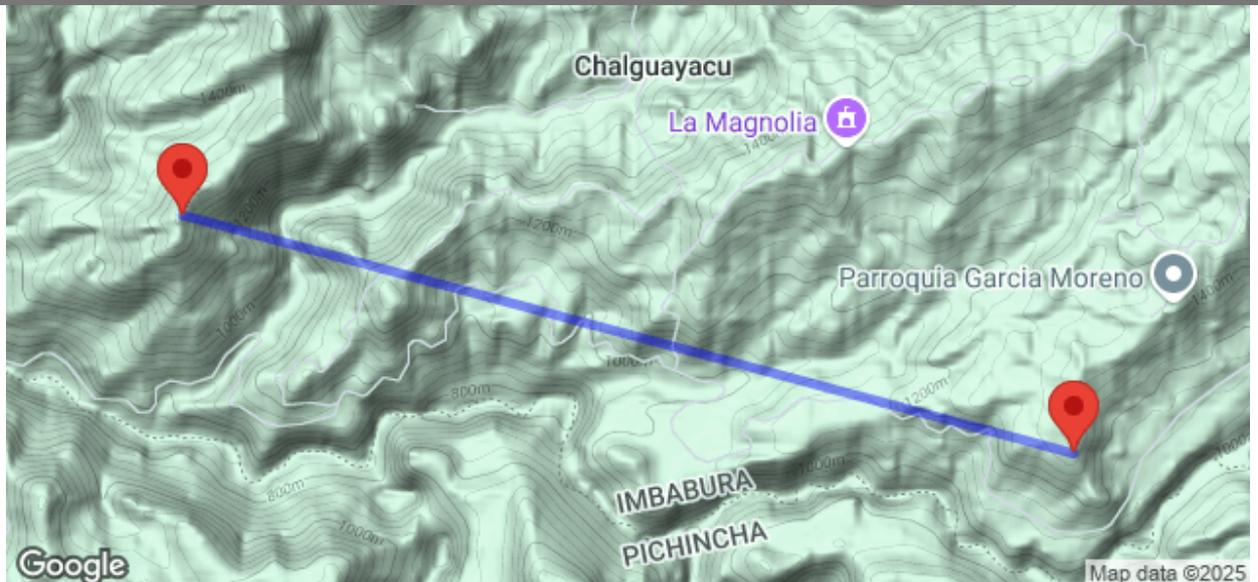
Resultados

Pérdida de espacio libre	127 dB	Margen de atenuación térmica	15 dB
Nivel de señal de recepción	-55.722 dBm	Distancia entre los sitios	8.994 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-57.72 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-57.72 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-57.72 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-58.72 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-57.72 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-58.72 dBm	11 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-57.72 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-58.72 dBm	5 dB	99.997%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-55.72 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-56.72 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-56.72 dBm	7 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-58.72 dBm	3 dB	99.989%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:10 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golondrinas_5	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_4
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.244	Latitud	0.239
Longitud	-78.855	Longitud	-78.716
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

Resultados

Pérdida de espacio libre	132 dB	Margen de atenuación térmica	10 dB
Nivel de señal de recepción	-60.509 dBm	Distancia entre los sitios	15.535 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-62.51 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-62.51 dBm	8 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-62.51 dBm	6 dB	99.998%	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-63.51 dBm	3 dB	99.988%	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-62.51 dBm	8 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-63.51 dBm	6 dB	99.998%	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-62.51 dBm	3 dB	99.988%	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-63.51 dBm	0 dB	99.141%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-60.51 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-61.51 dBm	8 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-61.51 dBm	2 dB	99.972%	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-63.51 dBm	-2 dB	0.000%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:10 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golondrinas_6	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_5
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.127	Latitud	0.244
Longitud	-78.997	Longitud	-78.855
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

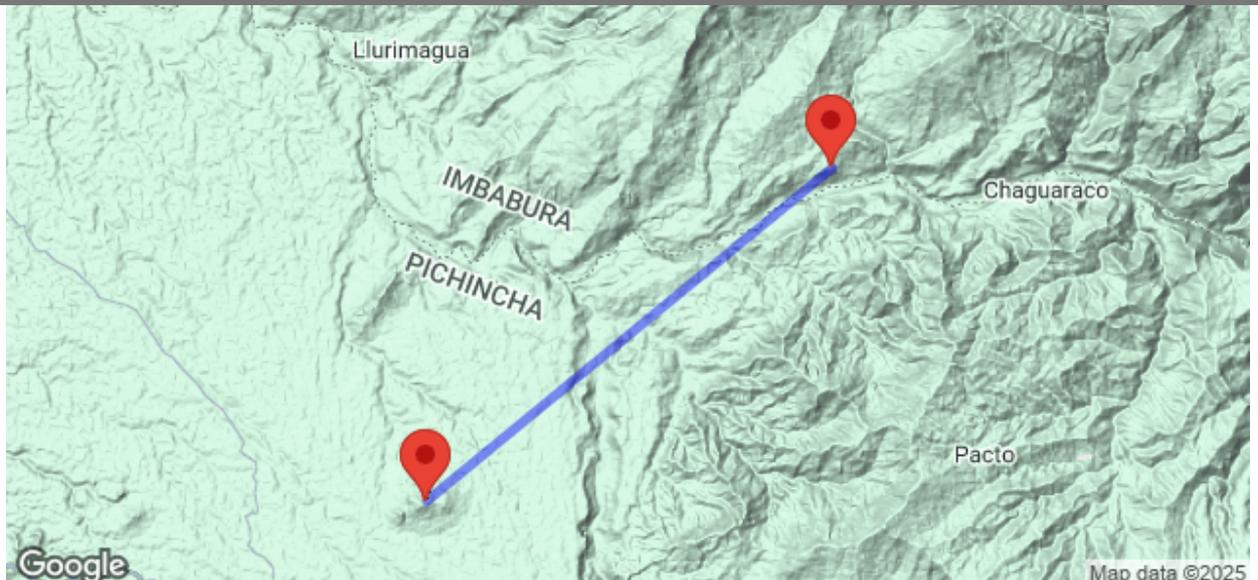
Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

Resultados

Pérdida de espacio libre	134 dB	Margen de atenuación térmica	8 dB
Nivel de señal de recepción	-63.037 dBm	Distancia entre los sitios	20.507 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	99.999%



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-65.04 dBm	6 dB	99.997%	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-65.04 dBm	6 dB	99.997%	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-65.04 dBm	4 dB	99.990%	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-66.04 dBm	1 dB	99.747%	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	7 dB	99.998%	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-65.04 dBm	6 dB	99.997%	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-66.04 dBm	4 dB	99.990%	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	6 dB	99.997%	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-65.04 dBm	1 dB	99.747%	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-66.04 dBm	-2 dB	0.000%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-63.04 dBm	8 dB	99.999%	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-64.04 dBm	6 dB	99.997%	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-64.04 dBm	0 dB	0.000%	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-66.04 dBm	-4 dB	0.000%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:11 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golondrinas_6	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.127	Latitud	0.318
Longitud	-78.997	Longitud	-79.096
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

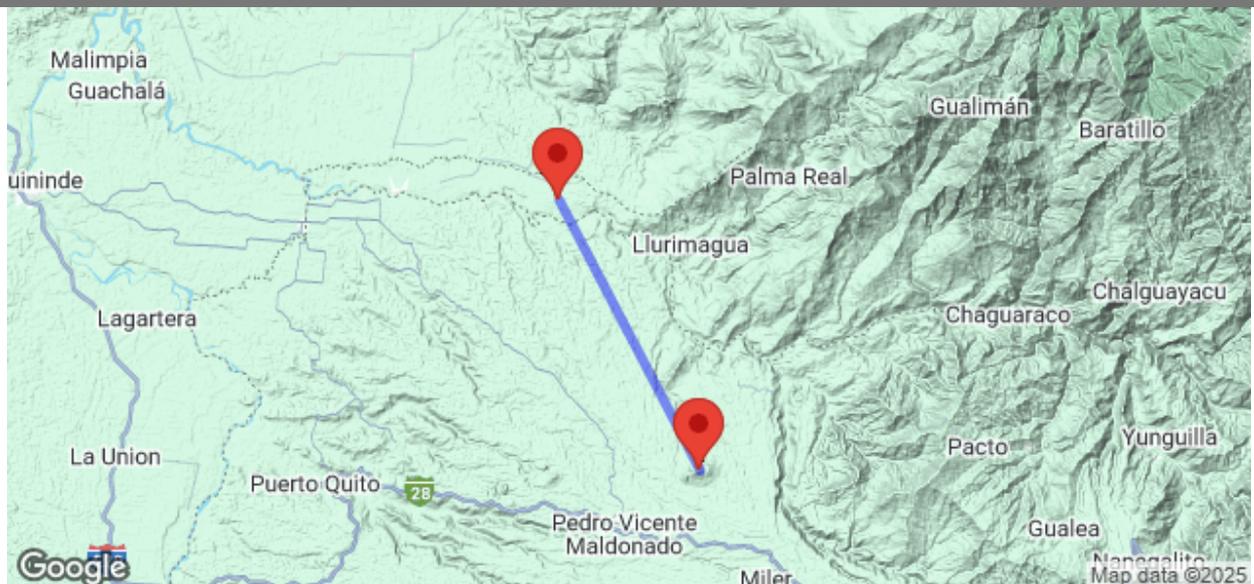
Resultados

Pérdida de espacio libre	136 dB	Margen de atenuación térmica	6 dB
Nivel de señal de recepción	-64.59 dBm	Distancia entre los sitios	23.905 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	99.997%

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-66.59 dBm	4 dB	99.992%	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-66.59 dBm	4 dB	99.992%	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-66.59 dBm	2 dB	99.964%	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-67.59 dBm	-1 dB	0.000%	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	5 dB	99.996%	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-66.59 dBm	4 dB	99.992%	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-67.59 dBm	2 dB	99.964%	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	4 dB	99.992%	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-66.59 dBm	-1 dB	0.000%	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-67.59 dBm	-4 dB	0.000%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-64.59 dBm	6 dB	99.997%	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-65.59 dBm	4 dB	99.992%	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-65.59 dBm	-2 dB	0.000%	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-67.59 dBm	-6 dB	0.000%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:07 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Intag	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_1
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.355	Latitud	0.300
Longitud	-78.519	Longitud	-78.583
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

Resultados

Pérdida de espacio libre	127 dB	Margen de atenuación térmica	15 dB
Nivel de señal de recepción	-56.084 dBm	Distancia entre los sitios	9.384 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-58.08 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-58.08 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-58.08 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-59.08 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-58.08 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-59.08 dBm	11 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-58.08 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-59.08 dBm	5 dB	99.997%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-56.08 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-57.08 dBm	13 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-57.08 dBm	7 dB	99.999%	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-59.08 dBm	3 dB	99.985%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:07 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Apuela_4	Nombre del sitio (RX)	Intag
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.351	Latitud	0.355
Longitud	-78.460	Longitud	-78.519
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

Resultados

Pérdida de espacio libre	124 dB	Margen de atenuación térmica	18 dB
Nivel de señal de recepción	-52.844 dBm	Distancia entre los sitios	6.57 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-54.84 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-54.84 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-54.84 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-55.84 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-54.84 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-55.84 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-54.84 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-55.84 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-52.84 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-53.84 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-53.84 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-55.84 dBm	6 dB	99.999%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:14 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golo_BK_6	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_5
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.200	Latitud	0.244
Longitud	-79.013	Longitud	-78.855
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

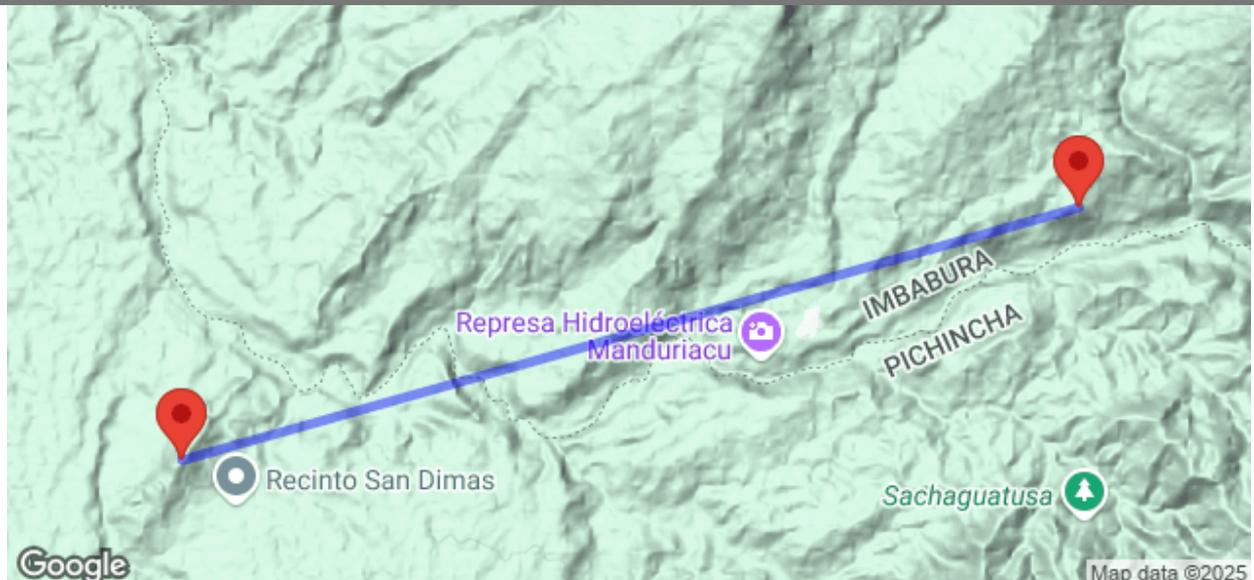
Resultados

Pérdida de espacio libre	133 dB	Margen de atenuación térmica	9 dB
Nivel de señal de recepción	-61.981 dBm	Distancia entre los sitios	18.176 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-63.98 dBm	7 dB	99.998%	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-63.98 dBm	7 dB	99.998%	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-63.98 dBm	5 dB	99.995%	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-64.98 dBm	2 dB	99.950%	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	8 dB	99.999%	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-63.98 dBm	7 dB	99.998%	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-64.98 dBm	5 dB	99.995%	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	7 dB	99.998%	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-63.98 dBm	2 dB	99.950%	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-64.98 dBm	-1 dB	0.000%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-61.98 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-62.98 dBm	7 dB	99.998%	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-62.98 dBm	1 dB	99.782%	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-64.98 dBm	-3 dB	0.000%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:15 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golo_BK_6	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas_6
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.200	Latitud	0.127
Longitud	-79.013	Longitud	-78.997
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

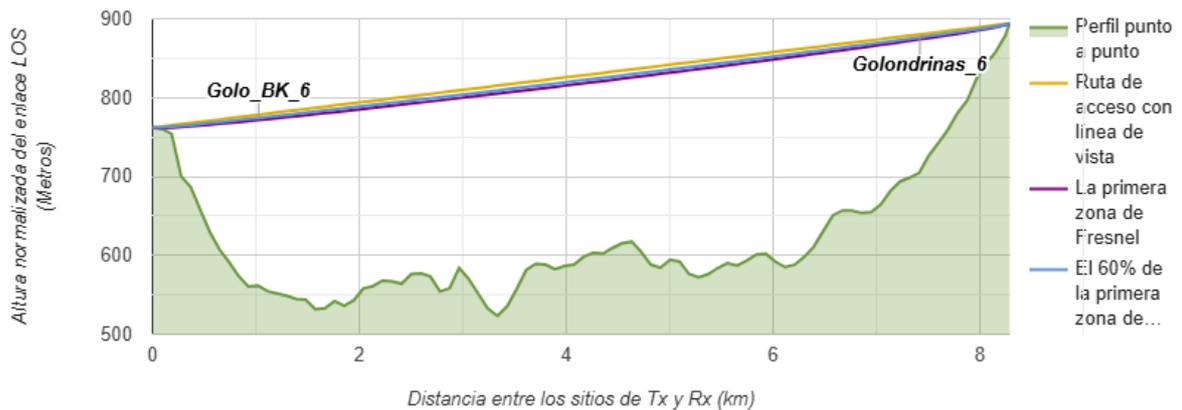
Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

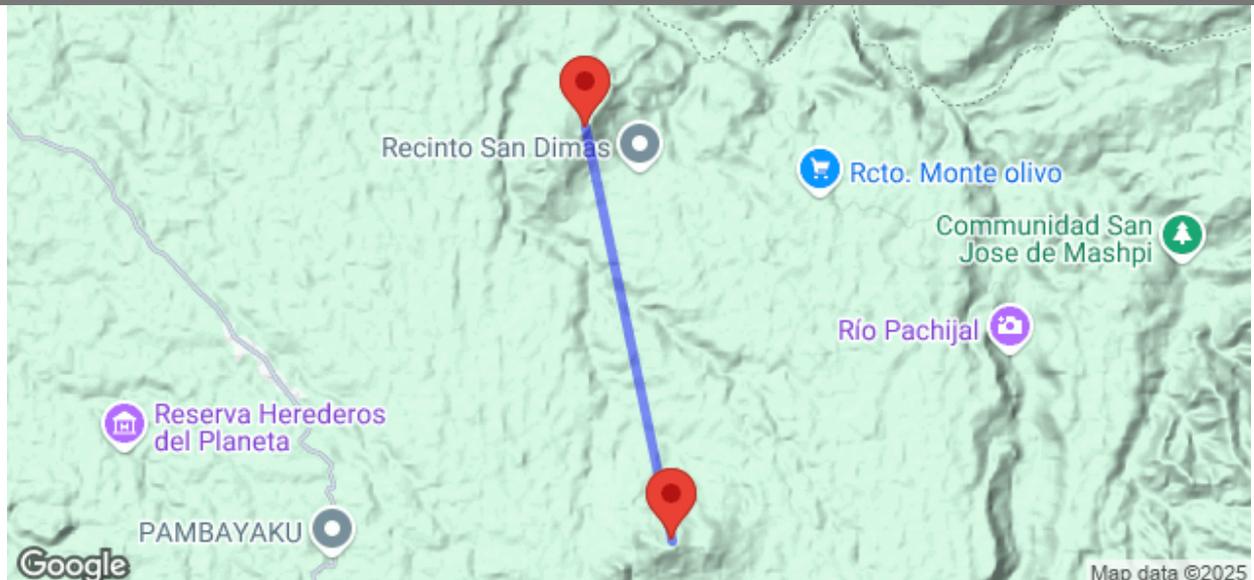
Resultados

Pérdida de espacio libre	126 dB	Margen de atenuación térmica	16 dB
Nivel de señal de recepción	-54.969 dBm	Distancia entre los sitios	8.287 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-56.97 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-56.97 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-56.97 dBm	12 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-57.97 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-56.97 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-57.97 dBm	12 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-56.97 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-57.97 dBm	6 dB	99.998%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-54.97 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-55.97 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-55.97 dBm	8 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-57.97 dBm	4 dB	99.994%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:16 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Golo_BK_6	Nombre del sitio (RX)	Golondrinas
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.200	Latitud	0.318
Longitud	-79.013	Longitud	-79.096
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

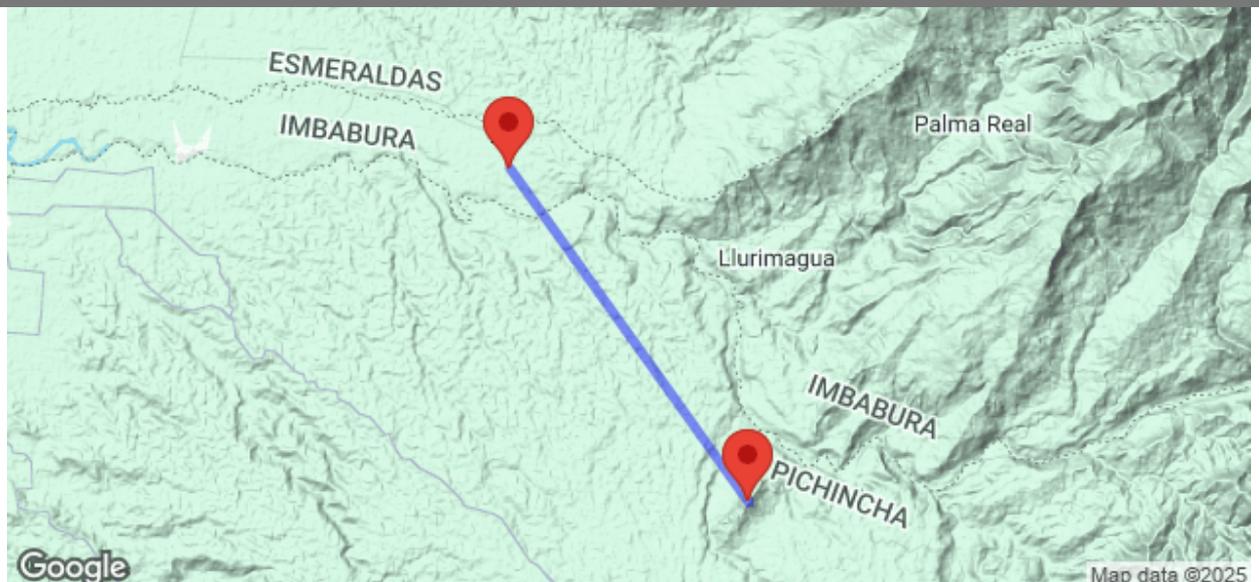
Resultados

Pérdida de espacio libre	132 dB	Margen de atenuación térmica	10 dB
Nivel de señal de recepción	-60.937 dBm	Distancia entre los sitios	16.079 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-62.94 dBm	8 dB	99.999%	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-62.94 dBm	8 dB	99.999%	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-62.94 dBm	6 dB	99.997%	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-63.94 dBm	3 dB	99.983%	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	9 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-62.94 dBm	8 dB	99.999%	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-63.94 dBm	6 dB	99.997%	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	8 dB	99.999%	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-62.94 dBm	3 dB	99.983%	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-63.94 dBm	0 dB	73.869%	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-60.94 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-61.94 dBm	8 dB	99.999%	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-61.94 dBm	2 dB	99.955%	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-63.94 dBm	-2 dB	0.000%	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:13 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Intag_BK_3	Nombre del sitio (RX)	Intag_BK_4
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.332	Latitud	0.344
Longitud	-78.398	Longitud	-78.429
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

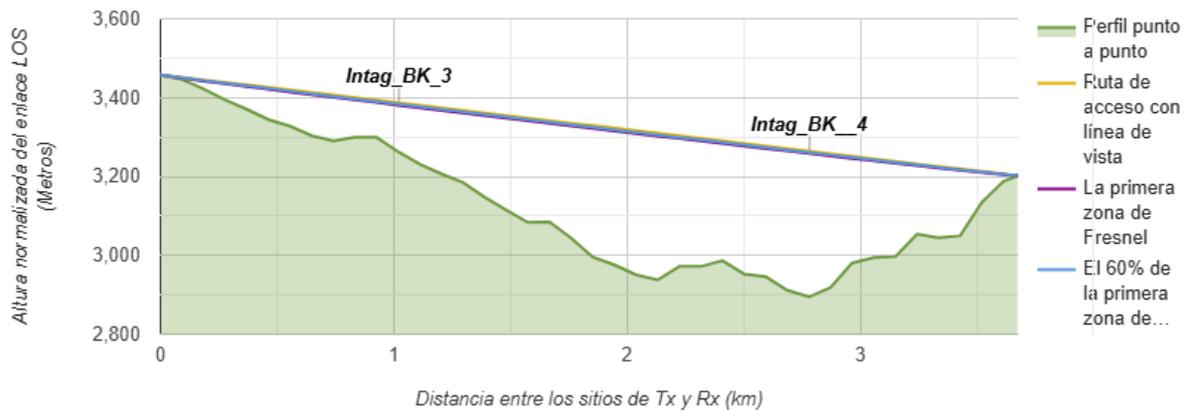
Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

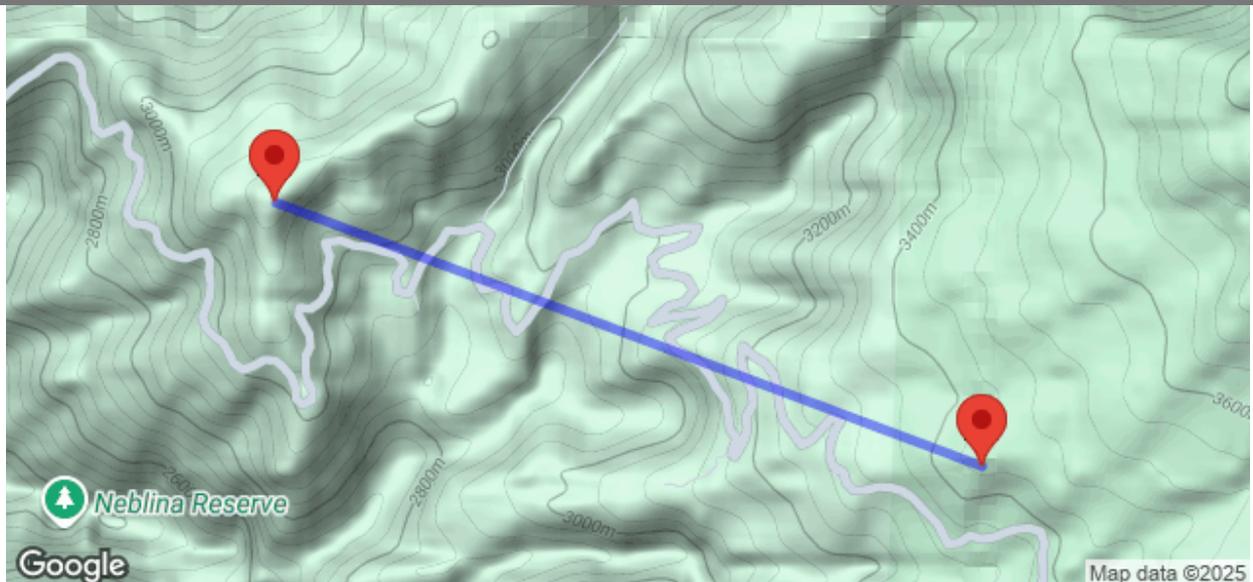
Resultados

Pérdida de espacio libre	119 dB	Margen de atenuación térmica	23 dB
Nivel de señal de recepción	-47.658 dBm	Distancia entre los sitios	3.674 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-49.66 dBm	21 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-49.66 dBm	21 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-49.66 dBm	19 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-50.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	22 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-49.66 dBm	21 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-50.66 dBm	19 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	21 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-49.66 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-50.66 dBm	13 dB	>= 99.999	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-47.66 dBm	23 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-48.66 dBm	21 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-48.66 dBm	15 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-50.66 dBm	11 dB	>= 99.999	2x2	700 Mbps





UTN Link Analysis Report

Fecha de generación: 12/02/2025 10:13 EST

Información del sitio

Nombre del sitio TX	Intag_BK_4	Nombre del sitio (RX)	Intag_BK_5
Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire	Tipo de radio	LigoPTP 5-23 RapidFire
Latitud	0.383	Latitud	0.344
Longitud	-78.471	Longitud	-78.429
Máxima potencia	25.0 dBm	Umbral de recepción	-71.0 dBm
Ganancia de ant.	23.0 dBi	Ganancia de ant.	23.0 dBi
Altura de ant.	15.0 metros	Altura de ant.	15.0 metros

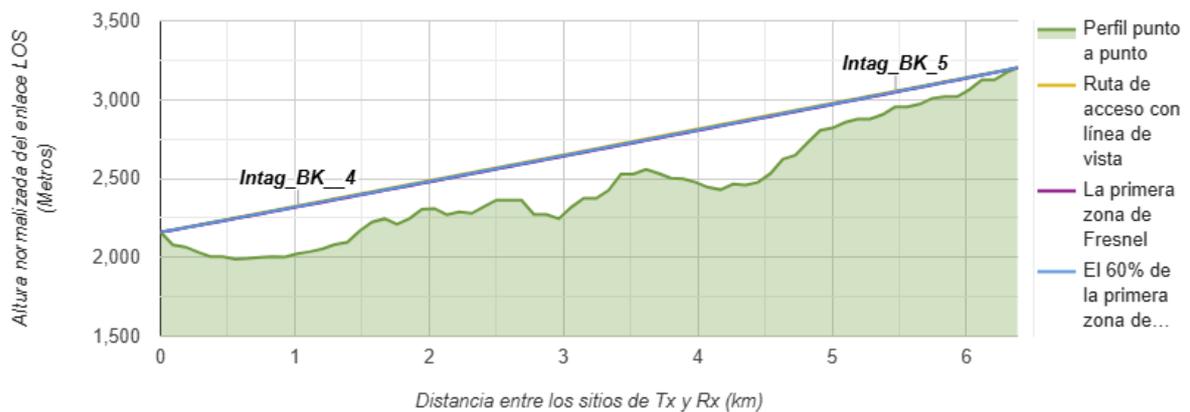
Parámetros

Frecuencia	5800.0 MHz	Clima	Equatorial
Polarización ant.	Vertical	Sistema de medición	Sistema métrico
Pérdidas adicionales	0.0 dBm	Tasa de lluvia	160.0 mm/hr

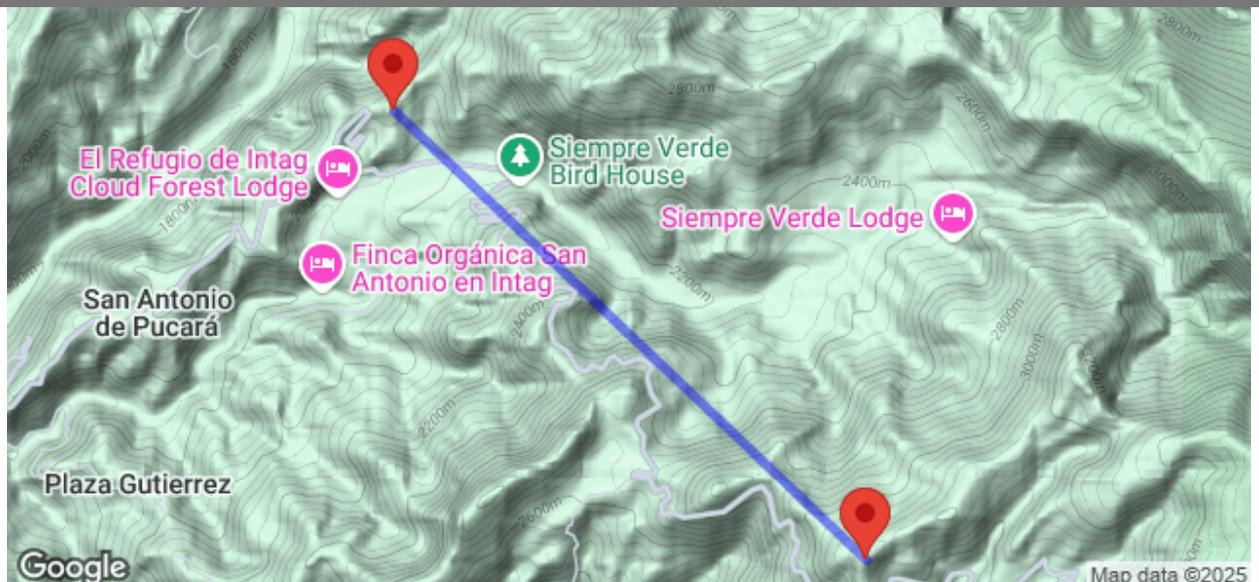
Resultados

Pérdida de espacio libre	124 dB	Margen de atenuación térmica	18 dB
Nivel de señal de recepción	-52.591 dBm	Distancia entre los sitios	6.38 km
PIRE	48.0 dBm	Disponibilidad del enlace debido a la	≥ 99.999

Perfil de ruta entre los sitios de TX y RX



Mapa



5MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	2 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	4 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	5 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	8 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	12.5 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	13.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	16 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	16 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	28 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	33 Mbps

10MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	3 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	9 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	11 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	19 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	22 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	25 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	27.5 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	35 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	22 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	38 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	57 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	70 Mbps

20MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	6 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	23 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	33 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	47 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	52 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	57 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	71 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	25 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	47 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	66 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	115 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	143 Mbps

40MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	13 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	38 Mbps



16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	49 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	73 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	98 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	108 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	1x1	123 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	14 dB	>= 99.999	1x1	147 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	165 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	26 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	76 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	98 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	147 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	196 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	217 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	17 dB	>= 99.999	2x2	246 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	295 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	14 dB	>= 99.999	2x2	330 Mbps

80MHz Canal					
Modulación	Nivel de RX	Margen de atenuación	Disponibilidad del enlace debido a la lluvia	TX/RX	Throughput máximo
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	24 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	55 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	81 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	105 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	158 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	215 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	1x1	241 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	16 dB	>= 99.999	1x1	268 Mbps
256-QAM 3/4	-54.59 dBm	11 dB	>= 99.999	1x1	320 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	8 dB	>= 99.999	1x1	350 Mbps
BPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	48 Mbps
QPSK 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	110 Mbps
QPSK 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	162 Mbps
16-QAM 1/2	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	210 Mbps
16-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	315 Mbps
64-QAM 2/3	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	430 Mbps
64-QAM 3/4	-52.59 dBm	18 dB	>= 99.999	2x2	482 Mbps
64-QAM 5/6	-53.59 dBm	16 dB	>= 99.999	2x2	535 Mbps
256-QAM 3/4	-53.59 dBm	10 dB	>= 99.999	2x2	640 Mbps
256-QAM 5/6	-55.59 dBm	6 dB	99.999%	2x2	700 Mbps

