

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA**



**ALTERNATIVAS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS  
DE MEDICIÓN DE SO<sub>2</sub> EN ESTACIÓN  
FIJA DOAS DE PIEDRA AZUL UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE  
SAN MIGUEL**

**PRESENTADO POR:**

**ADONAI ANTONIO PINO CORTEZ**

**ALEXIS EDUARDO GODOY MAJANO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**INGENNIERO ELETRICISTA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2024**

**AUTORIDADES**  
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA  
RECTOR

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA  
SECRETARIO GENERAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA  
DECANO

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA  
SECRETARIO

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE  
DIRECTOR INTERINO

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título  
**ALTERNATIVAS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS  
DE MEDICIÓN DE SO<sub>2</sub> EN ESTACIÓN  
FIJA DOAS DE PIEDRA AZUL UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE  
SAN MIGUEL**

Presentado por

**ADONAI ANTONIO PINO CORTEZ**  
**ALEXIS EDUARDO GODOY MAJANO**

Trabajo de Graduación Aprobada por  
Docente Asesor

**PhD. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

SAN SALVADOR, ABRIL DE 2024

Trabajo de Graduación Aprobada por:

Docente Asesor

PhD. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ

## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha martes 23 de abril de 2024, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle  
Director Interino

  
Firma


  
Firma



2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario Interino

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ  
(Docente Asesor)

  
Firma

- ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

  
Firma

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ALTERNATIVAS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS DE MEDICIÓN DE SO<sub>2</sub> EN ESTACIÓN FIJA DOAS DE PIEDRA AZUL UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL

A cargo de los Bachilleres:

- ✓ GODOY MAJANO ALEXIS EDUARDO
- ✓ PINO CORTEZ ADONAI ANTONIO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.1

Ocho punto uno.

## **AGRADECIMIENTOS,**

En primer lugar, dar gracias a Dios por darme la capacidad para superar todas las dificultades que surgieron en estos 6 años de estudios, por permitirme buena salud y las fuerzas para culminar un logro más en mi vida.

Agradezco a papá, mamá y hermano que siempre estuvieron animándome para seguir adelante, ellos son mi familia y lo dieron todo para que no me faltará nada, sin ellos hubiese sido imposible cumplir mi objetivo. Ellos son: Miguel Antonio Pino Alas (papá), María Carmen Cortez de Pino (mamá) y Miguel José Pino Cortez (hermano).

Agradecimientos también a Verónica Alejandra Leiva Lemus que con sus ideas y creatividad han hecho posible muchas cosas en mi vida, ella es una persona que me enseñó hacer perseverante, disciplinado, ganándose mi confianza, respeto y admiración.

Agradecimiento de forma especial a Reina Vides, secretaria de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por su invaluable apoyo y colaboración, que nos permitió agilizar nuestros procesos de graduación. Del mismo modo, agradecimientos al ingeniero Werner David Valle, cuya dedicación y profesionalismo nos guiaron para entregar un trabajo de graduación de mayor calidad.

Agradezco a PhD. Carlos Osmín Pocasangre quien fue el asesor en este trabajo de graduación, no olvidare todo lo bueno que ha sido conmigo desde que me recibió como su alumno, me dio esperanzas y palabras para no rendirme, para mí él es uno de los mejores profesores en la escuela de ingeniería eléctrica, no solo por sus consejos ni la atención, sino también por su carisma servicial y apoyo, muchas gracias PhD, Carlos Pocasangre.

Agradecimiento de forma especial a la Ing. Jacqueline y su equipo de trabajo del MARN, así como al Lic. Francisco e Ing. Montalvo, quienes coordinaron las visitas hacia la estación DOAS Piedra Azul. Su dedicación y disposición para ayudarnos fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo. Siempre estuvieron disponibles para solventar nuestras dudas y brindarnos un clima cálido durante las visitas.

**ADONAI PINO**

## **AGRADECIMIENTOS,**

Quiero comenzar expresando mi profunda gratitud a Dios, quien ha sido mi guía constante a lo largo de este viaje. A Él le debo el regalo de mi vida, por su constante cuidado pude superar todos los obstáculos más desafiantes, permitiéndome alcanzar este hito en mi vida.

Agradezco de todo corazón a mi querida madre y hermana, quienes han sido pilares inquebrantables en este camino académico. Su amor incondicional y apoyo constante han sido una de mis mayores fortalezas. En los momentos de duda y dificultad, su presencia amorosa y sus palabras de aliento han sido un bálsamo para mí. Sus sacrificios y dedicación han sido una inspiración constante para mí, y estoy totalmente agradecido por su presencia en mi vida.

Agradezco a Reina Vides por su valiosa contribución como secretaria de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, ya que su colaboración generosa y brillante fue esencial para agilizar nuestros procesos de graduación.

Agradecimientos especiales al ingeniero Werner David Valle, cuya dedicación y sabiduría profesional fueron fundamentales para guiarnos en la elaboración y presentación de este trabajo de graduación.

Quiero extender un agradecimiento muy especial al PhD. Carlos Pocasangre y la Ing. Jacqueline, así como su equipo trabajo. Su constante apoyo y orientación fueron fundamentales en cada etapa de este proyecto. Su experiencia y dedicación nos brindaron la confianza y el respaldo necesario para superar los desafíos que encontramos en el camino. Agradezco sinceramente su invaluable contribución, que ha enriquecido enormemente mi experiencia de aprendizaje y ha sido clave en la consecución de este logro.

**ALEXIS GODOY**

## **Siglas y Acrónimos**

**DOAS:** Differential Optical Absorption Spectroscopy (Espectroscopía de Absorción Óptica Diferencial)

**MARN:** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**GPS:** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)

**CPU:** Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento)

**WIFI:** Wireless Fidelity (fidelidad inalámbrica)

**GB:** Gigabyte

**HSDPA +:** High-Speed Downlink Packet Access Plus (Acceso de Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad Plus)

**SO<sub>2</sub>:** Dióxido de Azufre

**SNET:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales

**CEPRENAC:** Centro para la Prevención y Desastres Nacionales

**HCL:** Ácido clorhídrico

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono

**H<sub>2</sub>O:** Agua

**NOVAC:** Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (Red de Observación del Cambio Volcánico y Atmosférico)

**LAN:** Local Area Network (Red de Área Local)

**dB:** Decibel

**RF:** Radio Frequency (Frecuencia de Radio)

**FM:** Frequency Modulation (Modulación de Frecuencia)

**LoRa:** Long Range (Largo Alcance)

**MHz:** Megahertz

**Km:** Kilometro

**TX:** Transmisión

**RX:** Receptor

**GOES:** (Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental)

**FTP:** File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Archivos)

**HF:** Higt Frecuencia (Frecuencia Alta)

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: DESAFÍOS EN LA COMUNICACIÓN Y MONITOREO DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN ÁREAS REMOTAS.....</b>	<b>14</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.2. OBJETIVOS .....	15
2.1.1. <i>Objetivo general</i> .....	15
2.1.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.3. ALCANCES.....	15
1.4. ANTECEDENTES .....	16
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	18
1.7. CONCEPTOS GENERALES DE VULCANISMO. ....	18
1.7.1 <i>Vulcanología</i> .....	19
1.7.2 <i>Volcán</i> .....	20
1.7.3 <i>Fumarola</i> .....	20
1.7.4 <i>Erupción volcánica</i> .....	21
1.7.5 <i>Dióxido de azufre, SO<sub>2</sub></i> .....	22
1.8. RAZÓN DEL MONITOREO DE GASES .....	23
1.9. ESPECTROSCOPÍA DE ABSORCIÓN ÓPTICA DIFERENCIAL.....	24
1.10. NOVAC.....	24
<b>CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN DE LA ESTACIÓN DOAS PIEDRA AZUL.....</b>	<b>27</b>
2.1 . VISITA TÉCNICA A LA ESTACIÓN DOAS PIEDRA AZUL.....	28
2.1.3. <i>Propósito de la visita</i> .....	29
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DOAS PIEDRA AZUL .....	29
2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA .....	31
2.4 COMUNICACIÓN CON EL INSTRUMENTO NOVAC EN EL CAMPO .....	32
2.5 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE NOVACPROGRAM .....	35
2.6 CONFIGURACIÓN DEL INSTRUMENTO DE ESCANEADO PARA EL OBSERVATORIO .....	36
<b>CAPÍTULO 3: ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS .....</b>	<b>45</b>
3.1. RADIOENLACE .....	46
3.2. PROBLEMA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS DOAS PIEDRA AZUL.....	48
3.2.1. <i>Simulación de enlace microondas desde Piedra Azul hasta Ranchito</i> .....	54
3.2.2. <i>Simulación en frecuencia FM desde Piedra Azul hasta Ranchito</i> .....	55
3.2.3. <i>Simulación usando LoRa desde Piedra Azul hasta Ranchito</i> .....	56
3.3. CUADRO DE CARGA DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LA ESTACIÓN PIEDRA AZUL .....	58
3.4. ALTERNATIVA COLOCANDO UNA ANTENA REPETIDORA. ....	59

3.4.1.	<i>Simulación de enlace de radio, DOAS Piedra Azul y Repetidor</i> .....	61
3.4.2.	<i>Simulación de enlace de radio, Repetidor y DOAS Ranchito</i> .....	63
3.4.3.	<i>Simulación de enlace de radio, DOAS Ranchito y Pacayal</i> .....	65
3.4.4.	<i>Consideraciones de Costo usando la antena Repetidor.</i> .....	68
3.5.	ALTERNATIVA USANDO LA ESTACIÓN CABALLITO COMO REPETIDORA. ....	71
3.5.1.	<i>Simulación de enlace de radio, DOAS Piedra Azul y Caballito</i> .....	71
3.5.2.	<i>Simulación de enlace de radio, Caballito y Pacayal</i> .....	76
3.5.3.	<i>Consideraciones de Costo usando la estación Caballito como repetidora.</i> .....	79
3.6.	ALTERNATIVA USANDO INTERNET SATELITAL. ....	81
3.6.1.	<i>STARLINK – Servicio Estándar</i> .....	81
3.6.2.	<i>Estación DOAS Piedra Azul con STARLINK – Servicio Estándar</i> .....	81
3.6.3.	<i>Consideraciones de costo usando STARLINK</i> .....	82
3.7.	ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE PROVEEDOR DE INTERNET COMERCIAL (ISP) .....	83
3.7.1.	<i>Condiciones</i> .....	84
3.7.2.	<i>Datos Móviles</i> .....	85
3.7.3.	<i>Redes sociales</i> .....	85
3.7.4.	<i>Consideraciones de costos utilizando proveedor de internet comercial (ISP).</i> .....	86
3.8.	TABLA RESUMEN DE ALTERNATIVAS .....	88
3.9.	CRITERIO DE DISPONIBILIDAD .....	89
3.10.	TNC PACKET RADIO EN LAS COMUNICACIONES DIGITALES. ....	90
3.10.1.	<i>TNC Packet Radio: Conceptos y Funcionamiento</i> .....	90
3.11.	RADIOCOMUNICACIÓN POR ONDA IONOSFÉRICA .....	94
3.11.1.	<i>Introducción</i> .....	94
3.11.2.	<i>La propagación ionosférica</i> .....	97
3.11.3.	<i>Ionogramas</i> .....	99
3.11.4.	<i>Geometría de la reflexión ionosférica</i> .....	100
3.11.5.	<i>Curvas de transmisión</i> .....	101
3.11.6.	<i>Predicción de las muf (frecuencia máxima utilizable)</i> .....	104
3.11.7.	<i>Métodos de predicción de las muf</i> .....	105
3.11.8.	<i>Disponibilidad de modos</i> .....	106
3.11.9.	<i>Planteamiento de comunicación de la estación Piedra Azul y el MARN usando ondas ionosféricas de HF.</i> .....	106
	<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES</b> .....	<b>110</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>114</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Representación de los conceptos que rodean la vulcanología.....	19
Figura 2.	Fumarola. ....	21
Figura 3.	Estructura molecular del dióxido de azufre.....	23
Figura 4.	Lista de volcanes que utilizan instrumentos NOVAC alrededor del mundo. ....	25
Figura 5.	Esquema de operación del sistema DOAS.....	26
Figura 6.	Diagrama de cableado del instrumento NOVAC versión 3 (MOXA).....	27
Figura 7.	Ubicación geográfica de la estación Piedra Azul, coordenadas, 13°23'46.2"N, 88°18'16.6"W	28
Figura 8.	Componentes ubicados en la periferia de la estación DOAS Piedra Azul.....	31
Figura 9.	Componentes internos de la estación DOAS Piedra Azul. ....	31
Figura 10.	Componentes del instrumento NOVAC .....	32
Figura 11.	Representación de como acceder al instrumento NOVAC .....	32
Figura 12.	Ilustración de la correcta configuración de la computadora portátil a la computadora del instrumento .....	33
Figura 13.	Software PuTTY emulador de terminal. ....	34
Figura 14.	Configuración para extraer los archivos de la computadora Axiomtek IFB122. ....	34
Figura 15.	Copia de archivos a la computadora portátil.....	35
Figura 16.	Interfaz de usuario de NovacProgram .....	36
Figura 17.	Sección de configuración .....	36
Figura 18.	Página de información del instrumento en el cuadro de diálogo de configuración.....	37
Figura 19.	La página de información del instrumento en el diálogo de configuración.....	38
Figura 20.	Configuración de comunicación en modo serie punto a punto .....	39
Figura 21.	Configuración de comunicación en modo serie punto a multipunto con módem de radio FreeWave.....	40
Figura 22.	Configuración de comunicación mediante FTP .....	41
Figura 23.	Configuración global .....	42
Figura 24.	La configuración avanzada de carga de FTP permite restringir la hora del día.....	43
Figura 25.	Parámetros para FileZilla .....	44
Figura 26.	Radioenlace entre dos puntos .....	46
Figura 27.	Puntos geográficos clave de análisis para posteriores alternativas .....	47
Figura 28.	Enlace de comunicación DOAS Ranchito – Pacayal – GOES – MARN. ....	49
Figura 29.	Ubicación geográfica de las estaciones DOAS Piedra Azul, DOAS Ranchito y el Pacayal. ....	50
Figura 30.	Perfil de elevación de la estación Piedra Azul y el Pacayal.....	51
Figura 31.	Perfil de elevación de la estación Piedra Azul y la estación Ranchito. ....	51
Figura 32.	Cobertura para la transmisión de datos desde la estación Piedra Azul.....	53
Figura 33.	Simulación con tecnología microonda desde Piedra Azul hasta Ranchito .....	54
Figura 34.	Simulación con frecuencia FM desde Piedra Azul hasta Ranchito .....	55

Figura 35. Kit LoRa.....	56
Figura 36. Simulación radioenlace LoRa. ....	57
Figura 37. Cobertura vista desde el repetidor .....	60
Figura 38. Enlace de Radio, estación Piedra Azul y antena Repetidor .....	61
Figura 39. Umbral del receptor respecto a la antena Repetidor.....	61
Figura 40. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor de la antena Repetidor.....	62
Figura 41. Enlace de radio, Repetidor y DOAS Ranchito.....	63
Figura 42. Umbral del receptor respecto a DOAS Ranchito .....	63
Figura 43. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor DOAS Ranchito. ....	64
Figura 44. Enlace de radio, DOAS Ranchito y Pacayal .....	65
Figura 45. Umbral del receptor respecto a Pacayal.....	65
Figura 46. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor a Pacayal.....	66
Figura 47. Ruta del radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal .....	67
Figura 48. Ejemplo de torre de diseño.....	69
Figura 49. Enlace de radio, DOAS Piedra Azul y Caballito.....	71
Figura 50. Ubicación geográfica de las estaciones DOAS Piedra Azul y Caballito.....	72
Figura 51. Radioenlace DOAS Piedra Azul y Caballito.....	74
Figura 52. Resultado del radioenlace DOAS Piedra Azul y Caballito.....	74
Figura 53. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor a Caballito.....	75
Figura 54. Enlace de radio, Caballito y Pacayal .....	76
Figura 55. Umbral del receptor respecto a Pacayal.....	76
Figura 56. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor a Pacayal.....	77
Figura 57. Ruta del radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal .....	78
Figura 58. Oferta económica proveedor de internet comercial (ISP).....	84
Figura 59. Estación Packet Radio.....	90
Figura 60. Perfil de elevación del MARN hasta la estación Piedra Azul.....	93
Figura 61. Transmisión de ondas usando la ionosfera y sus diferentes capas .....	94
Figura 62. Perfil de ionización .....	96
Figura 63. Ionograma de invierno a diferentes frecuencias con incidencia vertical para cada una de las capas .....	99
Figura 64. Trayectoria de la onda.....	100
Figura 65. Geometría del trayecto.....	101
Figura 66. Curvas de transmisión.....	102
Figura 67. Modelo geométrico.....	103
Figura 68. Máxima densidad de ionización de la capa E .....	107
Figura 69. Ionograma de la capa E.....	108

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación de ruta de comunicaciones datos DOAS Ranchito – MARN San salvado. ....	48
Tabla 2.	Cuadro de carga de la estación DOAS Piedra Azul. ....	58
Tabla 3.	Consumo actual de energía en la estación DOAS Piedra Azul. ....	58
Tabla 4.	Consumo y disponibilidad de energía suministrada en la estación Piedra Azul. ....	58
Tabla 5.	Estimación de costos utilizando una antena repetidora como alternativa.....	70
Tabla 6.	Estimación de costos utilizando la estación Caballito como repetidor.....	80
Tabla 7.	Cuadro de carga de la estación Piedra Azul, muestra la incorporación de equipos para la comunicación mediante STARLINK.....	82
Tabla 8.	Cuadro de consumo en Ah.....	82
Tabla 9.	Estimación de costos utilizando internet satelital STARLINK.....	83
Tabla 10.	Acceso a internet usando un servicio STARLINK estándar.....	83
Tabla 11.	Cuadro de carga de la estación Piedra Azul, muestra la incorporación de equipos para la comunicación mediante proveedor de internet comercial (ISP).....	86
Tabla 12.	Cuadro de consumo en Ah.....	86
Tabla 13.	Estimación de costos utilizando proveedor de internet comercial (ISP).....	87
Tabla 14.	Acceso a internet usando un servicio de un proveedor de internet comercial (ISP).....	87
Tabla 15.	Resumen de alternativas.....	88

# Capítulo 1: Desafíos en la Comunicación y Monitoreo de Actividad Volcánica en Áreas Remotas

## 1.1. Introducción

El estudio de la actividad volcánica en El Salvador representa una de las actividades más importantes por ser un país con una extensión territorial cubierta por muchos volcanes. Una de las actividades de la que se encargan los vulcanólogos es la recolección de datos de diferentes sensores que se puedan utilizar para medir los diferentes parámetros importantes que definen el estado de un volcán. Como base del proyecto de Ingeniería nos centramos en el estudio del sensor basado en la técnica Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS), utilizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), este sistema está diseñado para medir las emisiones de gases volcánicos por espectroscopia de absorción UV. El elemento principal es el espectrómetro conectado a un telescopio a través de fibra óptica estos dos elementos requieren un sistema embebido, o una PC integrada que procese los datos y le otorgue el formato de presentación, también se requiere de un sistema GPS, que será quien coloque la ubicación y la hora estándar, ya que es necesario conocer sus repercusiones y tipos de gases que se generan para que así el sensor de monitoreo de dióxido de azufre pueda recopilar datos almacenarlos y transmitirlos, por esta razón hacemos un recorrido por los principales conceptos que se engloban en este fenómeno.

Este documento se centra en el volcán de San Miguel, donde se encuentra ya instalado una estación DOAS que se encarga de la monitorización y supervisión de la emisión de gases del volcán, siendo esta una estación esencial para la gestión de riesgos naturales y seguridad de la población. Actualmente la infraestructura de telecomunicaciones ha presentado un verdadero desafío para la transmisión de los datos volcánicos, lo que limita de capacidad de predecir erupciones y las alertas necesarias para sobre guardar la vida de los pobladores aledaños.

El trabajo se basa en la muestra de alternativas de telecomunicaciones para esta deficiencia de comunicación con la estación DOAS Piedra Azul, estableciendo una conectividad efectiva y confiable, evaluamos la cobertura de redes de comunicaciones, tomando en consideración la parte económica, proporcionando una solución lo más realista posible y sostenible con el paso del

tiempo, contribuyendo así al manejo adecuado de los riesgos naturales que podría ocurrir debido a la actividad de este coloso.

## **1.2. Objetivos**

### **2.1.1. Objetivo general**

- Proponer alternativas técnicas para mejorar la transmisión y recepción de datos de medición de SO<sub>2</sub> de las estaciones DOAS en Piedra Azul.

### **2.1.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la operatividad de la estación DOAS en Piedra Azul ubicada en el volcán de San Miguel, con el propósito de identificar posibles mejoras y alternativas que aseguren una transmisión y recolección de datos efectiva.
- Evaluar la eficacia y limitaciones del sistema actual de transmisión y recepción de datos de la estación DOAS en Piedra Azul ubicada en el volcán de San Miguel.
- Identificar tecnologías y métodos innovadores para una correcta transmisión de los datos recolectado de la estación DOAS en Piedra Azul y su correcta recepción en las oficinas centrales de vulcanología en San Salvador.
- Mencionar aquellas alternativas para un correcto funcionamiento de la transmisión de los datos recolectado de la estación DOAS en Piedra Azul y su correcta recepción en las oficinas centrales de vulcanología ubicadas en San Salvador.
- Presentar una propuesta de mejora que permita una transmisión más confiable, rápida y segura de los datos de medición de SO<sub>2</sub> de la estación DOAS de Piedra Azul hacia las oficinas centrales de vulcanología en San Salvador.

## **1.3. Alcances**

Plantear un modelo de transmisión de datos para la estación de piedra Azul, San Miguel. Apoyándonos mediante simulación en el caso de que sea microonda usando radio Mobile como programa de simulación, usando las ubicaciones reales de las repetidoras de la red en funcionamiento de vulcanología.

Se anticipa que este estudio genere una propuesta sólidamente fundamentada orientada a mejorar significativamente la transmisión y recepción de datos de medición de SO<sub>2</sub> en la estación

DOAS, específicamente en piedra azul ya que esta presenta mayores desafíos en la transmisión de datos. Dicha propuesta contendrá recomendaciones específicas para implementar tecnologías y métodos que garanticen una transmisión de datos más confiable, veloz y segura. Con esto, se pretende contribuir de manera sustancial a la optimización del monitoreo de la calidad del aire en esta área geográfica para así emitir alertas tempranas sobre posibles erupciones.

#### **1.4. Antecedentes**

El 18 de octubre del 2001 el presidente de la Republica de El Salvador según el decreto N°. 96. Decreta la creación del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), convirtiéndose en una unidad desconcentrada, adscrita al MARN, sus funciones son prevenir y reducir los riesgos por desastres naturales que puedan representar pérdidas y daños económicos, sociales y ambientales. También es el encargado del desarrollo científico, tanto en el campo de los desastres como en el desarrollo y planificación territorial, encargado de la instrumentación para el monitoreo de eventos meteorológicos, hidrológicos, sísmológicos, vulcanológicos y geotecnia para pronosticar y alertar la población (Ministerio de Medio Ambiente, s.f.).

En el área de vulcanología, el SNET encargado del desarrollo y operación de sistemas de alerta temprana para prevenir erupciones volcánicas. Incluye instrumentación, monitoreo sísmico-volcánico y observación visual por personal local y vulcanólogos, mediciones de temperatura en fumarolas, fisuras, pozos y cuerpos de agua, medición química de gases, aguas y cenizas, mediciones geodésicas usando tecnología como (GPS,EDM), y la utilizando de sensores remotos como (fotografía aéreas, imágenes de satélite, imágenes de radar, entre otros), manteniendo bancos de datos y proporcionando información vital para la gestión de riesgos volcánicos en El Salvador (Ministerio de Medio Ambiente, s.f.).

Un hito clave fue entre 2000 y 2001, donde el Centro para la Prevención de Desastres Nacionales (CEPREDENAC) apoyaron con consultorías, capacitación y financiamiento no reembolsable para mantener la actividad del centro de investigaciones Geotécnicas y fortalecer su capacidad de monitoreo sísmico-volcánico, coordinando la cooperación española y la participación de la Universidad Nacional en la instalación de una red de monitoreo de gases volcánicos (Ministerio de Medio Ambiente, 2000-2001). Con el paso del tiempo se desarrolló la técnica de DOAS, ha sido largamente manejada para analizar el estado de la atmosfera terrestre. Especializados en el estudio de la acumulación de gases en la capa de ozono mediante el análisis

de absorciones atmosféricas, siendo esta una técnica modelo en aplicaciones avanzadas de espectroscopia atmosférica

Con referencia a los volcanes y sus estaciones DOAS en Piedra Azul (volcán San Miguel), Ranchito (volcán San Miguel) y Águila (volcán Santa Ana), la ejecución de este método ha ofrecido soluciones técnicas para entender la composición atmosférica y la presencia de gases volcánicos. El método DOAS y su capacidad para medir múltiples componentes lo convierten en una herramienta de gran valor para supervisar la actividad volcánica y gestionar los riesgos asociados. Sin embargo, es importante resaltar que en la estación DOAS de Piedra Azul, la emisión de datos ha presentado desafíos debido a problemas de comunicación. Esto se atribuye en gran parte a su ubicación remota, lo que dificulta la transmisión de datos de manera efectiva.

### **1.5. Planteamiento del problema**

La actividad volcánica es una realidad constante en El Salvador, su monitorización y comprensión son primordiales para prevenir riesgos y proteger la seguridad de la población. Sin embargo, esta tarea se complica en la estación DOAS Piedra Azul debido a su ubicación remota, donde la falta de infraestructura de telecomunicaciones impide la transmisión pertinente de datos volcánicos. Geográficamente la estación DOAS Piedra Azul se encuentra en una región retadora y con restringida conectividad, presenta una dificultad particular para establecer una comunicación confiable entre la estación de monitoreo y los centros de control, esta problemática afecta la capacidad de predecir erupciones, emitir alertas tempranas y tomar decisiones informadas para la protección de la comunidad.

La carencia de un sistema de comunicación implica la falta de acceso de datos que revelan la actividad volcánica, disminuyendo así las tácticas de prevención y respuesta ante posibles erupciones. La necesidad de superar este problema es evidente, ya que una comunicación inadecuada aporta riesgos potenciales tanto para la seguridad de la población como para los recursos locales. La ausencia de información confiable dificulta la toma de decisiones en situaciones de emergencia y afecta la planificación de acciones de contingencia. Por lo tanto, es importante abordar esta problemática mediante la búsqueda de alternativas de telecomunicación que permitan establecer una conexión efectiva y confiable con la estación de monitoreo en el volcán de San Miguel para la estación DOAS Piedra Azul.

## **1.6. Justificación**

En la estación DOAS Piedra azul la transmisión de los datos son de vital importancia para la gestión de riesgos naturales y la seguridad de la población. La actividad volcánica en la región puede tener implicaciones significativas para la vida y los recursos de los municipios circundantes. Con este argumento, la implementación de una solución de comunicación inalámbrica se convierte en un factor crucial para la toma de decisiones y la prevención de desastres.

La falta de comunicación en tiempo real dificulta las alertas tempranas y la preparación ante posibles erupciones. Además, la ubicación geográfica es desafiante capaz de generar interrupciones en la comunicación, lo que resalta la necesidad de un plan de contingencia que aborde las formas de mejorar la comunicación como la evaluación de la viabilidad financiera de la solución propuesta.

Este trabajo de graduación tiene como objetivo abordar estas deficiencias al analizar diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica y proponer una solución adecuada para establecer una comunicación confiable y eficiente con la estación de vulcanología. Los objetivos específicos propuestos abarcan la evaluación de la cobertura de redes de telecomunicaciones, la comparación de tecnologías inalámbricas, el diseño de un sistema de comunicación, la evaluación de la viabilidad económica.

Al lograr estos objetivos, se espera obtener una respuesta para que la monitorización y comunicación puedan ser efectiva. Además, el enfoque en la viabilidad económica garantiza que la propuesta sea realista y sostenible, maximizando los beneficios para los pobladores de los municipios circundantes.

## **1.7. Conceptos generales de vulcanismo.**

En el vulcanismo, encontramos una serie de fenómenos naturales que muy a menudo son impredecible, despertando así la curiosidad y la admiración de muchos científicos alrededor del mundo. La actividad volcánica se observa desde la erupción de magma hasta la liberación de gases y cenizas, siendo procesos que geológicamente son de mucha importancia en la tierra.

El Salvador es conocido como el cinturón de fuego del Pacífico, siendo un país volcánicamente muy activo con un 90% del territorio conformado por materiales volcánicos (Ministerio de Medio Ambiente, s.f.). Se han registrado diversos acontecimientos, como lo ocurrido en la mañana del 29 de diciembre de 2013 a las 10:30 AM, iniciando la erupción

del Volcán Chaparrastique, marcada por una columna eruptiva de gases y cenizas que se elevó aproximadamente a 5 kilómetros de altura, esta erupción inicialmente afectó a comunidades cercanas al volcán; Las Placitas, Las Moritas y la Ceiba, en el Municipio de San Jorge, Departamento de San Miguel, se reportaron cenizas en municipio como Mercedes Umaña, Berlín, Santiago de María, San Vicente y otros cercanos, impactando también el Aeropuerto Internacional de El Salvador, que tuvo que suspender vuelos durante la tarde y la noche de ese día (Cruz Roja Salvadoreña, 2013).

Podemos decir que el volcán Chaparrastique hasta el momento no representa cambios significativos, pero es importante mencionar que el volcán Chaparrastique es el volcán con mayor actividad en El Salvador, caracterizado principalmente por la emisión continua de gases y vapor de agua. El evento más reciente y significativo en términos de emanación de gases se registró el pasado 24 de junio de 2022 (Ministerio de Medio Ambiente, s.f.).

### 1.7.1 Vulcanología

La vulcanología, ciencia que estudia los volcanes, área encargada del desarrollo de trabajo de vigilancia e investigación volcánica con el propósito de dar respuesta a preguntas como ¿dónde?, ¿cuándo?, ¿cómo?, será la próxima erupción, siendo esta la encargada de alertar a los organismos de protección civil y población para aplacar y prevenir los riesgos volcánicos (Ministerio de Medio Ambiente, s.f.).

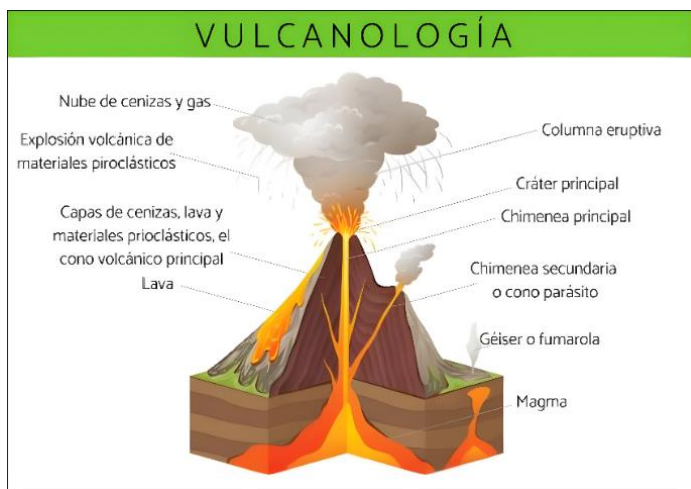


Figura 1. Representación de los conceptos que rodean la vulcanología.  
Fuente: (Bordino, 2022)

### 1.7.2 Volcán

Un volcán se define como una estructura geológica compuesta por una montaña que alberga una abertura la corteza terrestre, a través de la cual emerge el magma que se desmiembra en lava y gases proveniente del interior de la Tierra. La subida del magma sucede en las erupciones violentas, estas erupciones pueden variar en duración, intensidad y frecuencia, desde dóciles corrientes de lava hasta bruscas explosiones destructivas. Los volcanes pueden obtener una forma cónica que es provocada por el residuo de material de erupciones anteriores. En la cima se encuentra su cráter o caldera. Por lo general, los volcanes se forman en los límites de las placas tectónicas, aunque existen los llamados puntos calientes, donde no hay contacto entre placas, como es el caso de las islas Hawái. Los volcanes pueden tener muchas formas y despedir distintos materiales. También existen numerosos volcanes submarinos ubicados a lo largo de las dorsales oceánicas. Algunos volcanes alcanzan una altitud superior a los 6.000 metros sobre el nivel del mar (Villasante, s.f.).

### 1.7.3 Fumarola

La fumarola es el proceso de fase hidrotermal provocada desde el interior hasta el exterior de un volcán, siendo conductos donde gases y vapor de agua emergen hacia la superficie de manera no agresiva desde el interior de los volcanes. Las fumarolas emiten gases cuya composición son similares a los gases liberados durante una erupción volcánica. Los principales gases están compuestos de vapor de agua, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, sin embargo, también se pueden encontrar presente otros gases como argón, helio, cloruro de hidrógeno, óxido de azufre, fluoruro de hidrógeno y azufre sublimado (Aguirre, 2005).

Ya en el proceso se indica que los principales gases magmáticos implicados son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el ácido clorhídrico (HCL). Estos gases tienen la peculiaridad de separarse del magma y luego volver a interactuar con el magma a temperaturas más bajas (a veces cuando este ya se ha solidificado parcialmente), en zonas específicas del sistema. Debido a su naturaleza ácida y oxidante, estos gases propician la oxidación de los minerales de la roca que está en contacto con ellos (Aguirre, 2005). En la *Figura 2*, se muestra la estructura interna de los volcanes y representación de la fumarola.

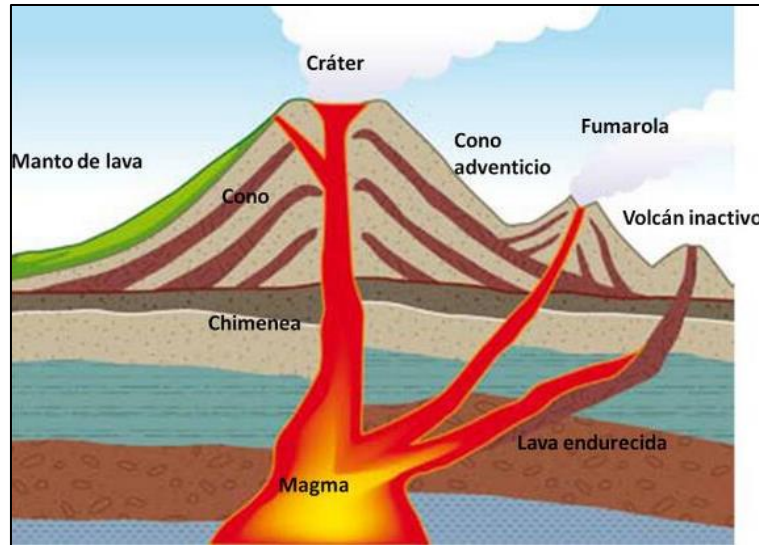


Figura 2. Fumarola.  
Fuente: (Colectiva-Mente, 2021)

#### 1.7.4 Erupción volcánica.

El magma que es acumulado en las cámaras magnéticas provoca un aumento del volumen, elevando la presión a tal grado de abrir grietas y conductos con una tendencia vertical renombradas (chimeneas) por las cuales el magma fluye del interior hasta la superficie, dando lugar a las erupciones volcánicas. El tiempo de duración de las erupciones pueden durar poco o decenas de años, siendo capaces de expulsar una variedad de materiales como: (Iturralde, 2011).

- **Lava fluida:**

Caracterizada por surgir desde el cráter y descender por las faldas del volcán, pudiendo llegar a extenderse varios kilómetros quemando todo a su paso, poniendo en peligro la vida humana, animal y vegetal de la zona.

- **Flujo de piroclastos:**

Es una mezcla de materiales volcánicos sólidos como lo son rocas y cenizas, expulsados junto a gases incandescentes, llegando a descender con velocidades de 160 a 240 kilómetros por hora, desde el cráter del volcán. Estas erupciones pueden quemar todo a su paso

- **Lluvia de piroclastos:**

Expulsión de fragmento de roca sólida y fundida, a acompañadas con diferentes tipos de gases. Grandes fragmentos volcánicos pueden ser disparados a distancia de hasta cuatro kilómetros desde el volcán, dando lugar a que el polvo y las cenizas volcánicas sean llevadas y depositadas a lugares muy distantes del volcán debido a los vientos. Todas las erupciones volcánicas emiten

gases, dichos gases representan un 90% vapores de agua, acompañados por sustancias como bióxido de carbono, bióxido de azufre y anhídrido sulfuroso o flúor, que resultan venenosos si se respiran sin protección.

Hay diversos tipos de erupciones volcánicas y los científicos utilizan diversos nombres para clasificarlas, por lo que, se muestran nombres y descripciones de cada tipo de erupción que históricamente se han manifestado en el país de El Salvador, por ejemplo: (Iturralde, 2011).

- **Efusiva o hawaiana:**

Fuentes y ríos de lava salen del cráter, los conductos y fisuras, sin que tengan lugar desprendimientos gaseosos explosivos.

- **Estromboliana o mixta:**

Lavas fluidas y materiales sólidos junto con gases son expulsados en forma abundante y violenta, en una columna que no alcanza alturas considerables.

- **Vulcaniana:**

Explosiones violentas que expulsan al exterior grandes rocas y bombas volcánicas junto con ceniza y otros materiales fragmentarios. Estas erupciones generan conos muy inclinados.

- **Pliniana o vesubiana:**

Son las erupciones más violentas, debido a que todo el gas de la cámara magmática es vaciado al exterior, generando inmensas nubes de cenizas de hasta 30 kilómetros de altura.

- **Freatomagmáticas:**

El magma entra en contacto con aguas frías, ya sean subterráneas o de un lago, generando violentas explosiones debidas a la mezcla descrita y a la enorme presión que se genera en el interior de la cámara magmática.

### **1.7.5 Dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>**

El dióxido de azufre es un compuesto químico gaseoso formado por átomos de oxígeno y azufre, estos gases son comúnmente liberados durante erupciones volcánicas. Este gas no es explosivo, ni tampoco inflamable siendo relativamente estable en el ambiente. Sin embargo, es altamente soluble en agua por lo que en contacto con membranas húmedas (ojos, nariz, boca) forma ácido sulfúrico, uno de los ácidos más fuertes que se conocen, provocando fuertes irritaciones en los ojos, boca, nariz y piel (Ministerio de Medio Ambiente, 2014).

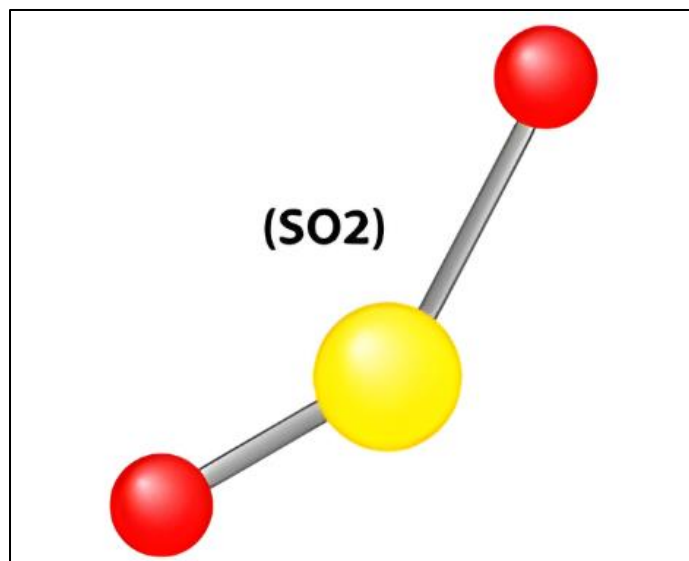


Figura 3. Estructura molecular del dióxido de azufre.  
Fuente: (IAQS, 2013)

La presencia de dióxido de azufre en las emisiones volcánicas es un indicador importante de la actividad volcánica, ya que su concentración y la cantidad liberada pueden aumentar significativamente antes de una erupción. Por eso el MARN mide la concentración de dióxido de azufre de forma continua por medio de una estación ubicada a tres kilómetros de cráter en dirección sur - oeste. Cada 15 minutos, los datos obtenidos son transmitidos al MARN por vía satelital, donde son comparados con los niveles (Ministerio de Medio Ambiente, 2014).

### 1.8. Razón del monitoreo de gases

El monitoreo de cualquier anomalía volcánica es una tarea primordial, porque cuando el magma está muy profundo debajo de un volcán, este tiene muchos gases disueltos. Cuando ese magma comience a subir hacia la superficie, los gases saldrán del magma y si esto sucede muy rápido, el volcán podría entrar en erupción de forma explosiva. Con el monitoreo se puede visualizar los niveles de concentración de gases en un volcán, estos niveles de concentración son parámetros importantes de prevención y advertencias ante una erupción volcánica.

Algunos de los gases que emiten los volcanes son: Vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El sistema DOAS que se pone en estudio para este trabajo permite monitorear el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que se concentra en la pluma volcánica, ya que este instrumento mide la radiación solar que llega a su detector, después de atravesar la pluma. Las señales que llegan al lente del telescopio son registradas por el espectrómetro y luego

procesada por la computadora integrada en el equipo utilizando las técnicas de absorción óptica diferencial. Después del análisis se obtiene la concentración de transversal de SO<sub>2</sub> en la pluma, con este dato y conociendo la altura, velocidad y la dirección de propagación de la pluma se puede conocer el flujo de gas.

### **1.9. Espectroscopía de Absorción Óptica Diferencial**

DOAS, detecta especies moleculares de forma remota mediante técnicas ópticas espectroscópicas, siendo una de las herramientas más poderosas debido a su gran número de aplicaciones tecnológicas hoy en día, recalando entre ellas, está la detección de la abundancia de gases en el medio ambiente. DOAS tiene características únicas que son relevantes para el análisis de la estructura química de gases y, por tanto, para el monitoreo del aire en la atmósfera. Esta aplicación DOAS comienza a finales de la década de los 70, haciendo construcciones relevantes para el entendimiento de la química atmosférica. D. Perner & Ulrich Platt fueron los pioneros que reportaron observaciones de manera simultáneas de HCHO, HNO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el año 1979. Desde ese momento, las reseñas más extensas de publicaciones se basan en la comparación entre distintos diseños de DOAS de largo recorrido (LP-DOAS) y desarrollo de algoritmos y programas para el análisis del espectro de absorción (Fuentes, 2012).

### **1.10. NOVAC**

Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC), es un proyecto dedicado a la observación volcánica e institutos de investigación que en conjunto desarrollan y aplican espectroscopia de absorción óptica diferencial UV (DOAS) para medir los índices de emisión de gases volcánicos. Los datos recogidos se utilizan para evaluar la actividad volcánica y predecir las erupciones, la investigación de procesos volcánicos y el estudio de las repercusiones atmosféricas de la desgasificación volcánica. NOVAC está basada en una red a nivel mundial de estaciones de vigilancia ubicadas en zonas volcánicas de todo el mundo (NOVAC, s.f.). En la Figura 4 se observa una aproximación de volcanes conocidos con estaciones a junio de 2018 monitoreado por la comunidad NOVAC (NOVAC, 2018).



Figura 4. Lista de volcanes que utilizan instrumentos NOVAC alrededor del mundo.  
Fuente: (NOVAC, 2018)

Debido a múltiples erupciones en los últimos años, incluidas las de 2022 y 2023 en el país de El Salvador, se encuentran mejoradas las redes DOAS en los volcanes de Santa Ana y San Miguel amplificando la importancia de averiguar cualquier cambio en su actividad volcánica. El MARN fue uno de los primeros miembros de NOVAC y durante los últimos 15 años ha instalado múltiples versiones de instrumentos NOVAC en todo el país. Con ayuda del Programa de Asistencia de Volcanes (VDAP) de USGS-USAID, los geoquímicos de gas e ingenieros de campo del MARN actualizaron recientemente los instrumentos DOAS de escaneo NOVAC en los volcanes de Santa Ana y San Miguel. Santa Ana tiene un único instrumento y San Miguel ahora es monitoreado con dos instrumentos DOAS. El MARN cuenta con un nuevo sistema MobileDOAS para campañas de medición de SO<sub>2</sub> en vehículos en sus volcanes. En conjunto, estos instrumentos NOVAC actualizados permitirán al MARN monitorear las emisiones de gases y cómo se relacionan con los cambios en la actividad volcánica en sus dos volcanes más activos (Kern, 2023). En la Figura 5. Se representa el esquema de operación típica de un sistema DOAS de uso general.

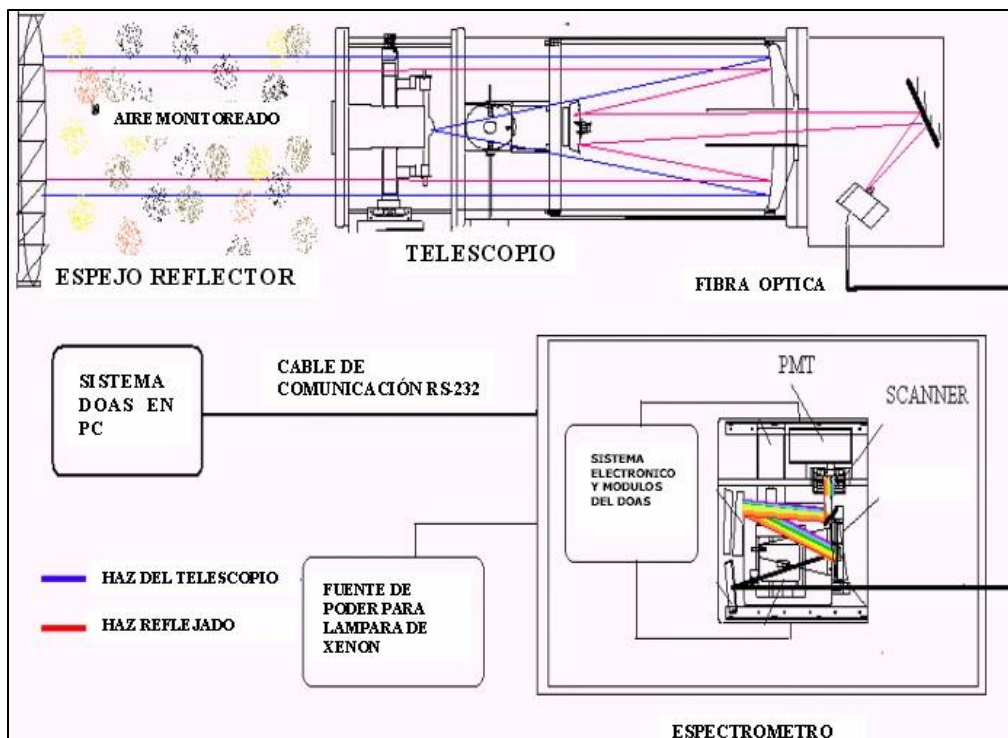


Figura 5. Esquema de operación del sistema DOAS.  
Fuente: (López & Mandujano, 2005)

El instrumento funciona con alimentación de 12 V. El consumo de energía es de aproximadamente 8 W mientras está encendido. Si funciona durante 8 horas al día, el consumo medio diario de energía es de aproximadamente 3 W. Esto no incluye el consumo de energía de la telemetría. A menudo se utiliza una radio Freeware HT-PE para telemetría. Esta opción utiliza otro aprox. 3W mientras está encendido. Se debe utilizar un sistema de energía solar o una línea de alimentación adecuada para alimentar el instrumento y la telemetría. En la figura 6, se visualiza el diagrama de cableado del instrumento NOVAC (Arellano & Kern, 2018).

El instrumento NOVAC compuesto por un espectrómetro miniaturizado (Ocean Optics), un ordenador integrado, fibra óptica, un telescopio y un receptor GPS, dicha descripción se visualiza en la Figura 6. Para que el instrumento funcione, se necesitan dos paquetes de software. El software 'Kongo' se ejecuta en el ordenador integrado en el campo, este software se encarga de ejecutar las mediciones y guardar los datos en una tarjeta de memoria flash en el instrumento. El software NOVAC se ejecuta en la computadora del observatorio. Se conecta a los instrumentos en el campo a intervalos irregulares y verifica si hay nuevos datos para descargar. Descarga los datos, elimina los datos de la memoria flash, realiza una evaluación preliminar de los datos en tiempo real y crear carpetas donde se archivan los archivos de datos y resultados (Arellano & Kern, 2018).

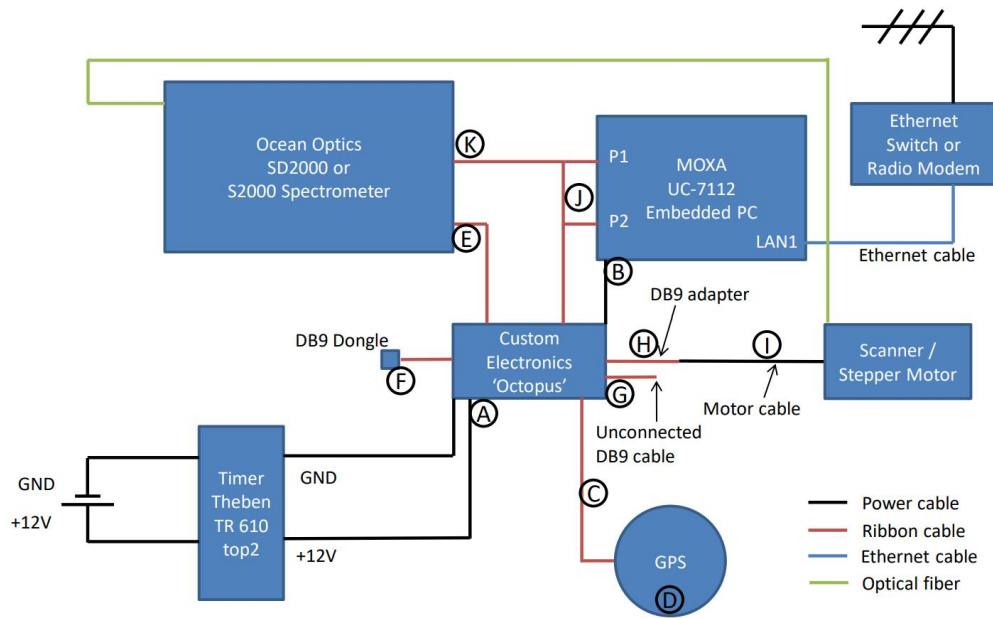


Figura 6. Diagrama de cableado del instrumento NOVAC versión 3 (MOXA).  
Fuente: (Arellano & Kern, 2018)

Los instrumentos DOAS de escaneo NOVAC deben de ser instalados en una ubicación en el volcán donde se espera que la columna de gases estará directamente encima de la posición del o los instrumentos. Se recomienda instalar al menos 2 instrumentos a unos pocos kilómetros entre sí en el mismo lado del volcán, de manera de permitir la triangulación de la altura de la columna de gases cuando esta se encuentre sobre la ubicación de los instrumentos (Arellano & Kern, 2018).

## Capítulo 2: Evaluación de la Estación DOAS Piedra Azul

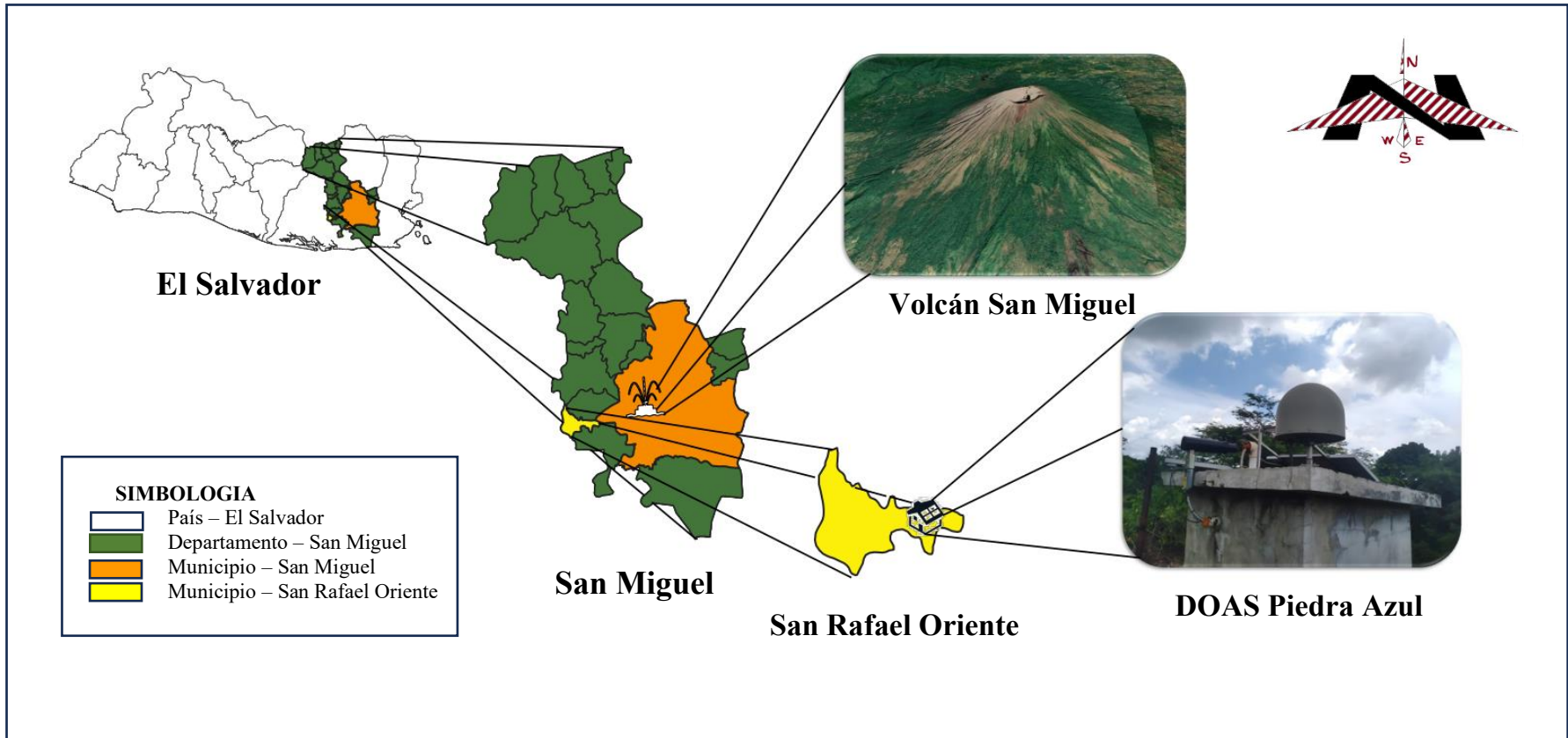
La estación Piedra Azul, ubicada en el municipio de San Rafael Oriente, cantón Piedra Azul, departamento de San Miguel, es propiedad del MARN. Comenzó sus operaciones el 27 de junio de 2007 con la instalación de un GPS diferencial. En abril de 2023, se incorporó a la estación el equipo DOAS, un componente esencial para recopilar datos de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y analizar el comportamiento del volcán.

Este capítulo se centra en la descripción detallada de su estado y los componentes fundamentales que atienden esta instalación, ilustrando la importancia de las herramientas de vanguardia utilizadas en la medición. Se examinarán aspectos claves, sus características y funcionalidades, proporcionando una visión integral de la estación DOAS Piedra Azul.

## 2.1 . Visita técnica a la estación DOAS Piedra Azul

La visita técnica se realizó el jueves 10 de agosto del 2023.

En la *Figura 7* se ilustra la ubicación geográfica de la estación Piedra Azul, señalando sus coordenadas,  $13^{\circ}23'46.2''N$ ,  $88^{\circ}18'16.6''W$



*Figura 7. Ubicación geográfica de la estación Piedra Azul, coordenadas,  $13^{\circ}23'46.2''N$ ,  $88^{\circ}18'16.6''W$*

*Fuente: (Pino & Godoy, 2023)*

### 2.1.3. Propósito de la visita

El propósito de la visita técnica a la estación DOAS en Piedra Azul fue realizar una evaluación e inspección detallada del estado de la estación y sus componentes, obteniendo información sobre la funcionalidad, eficiencia y condiciones generales de esta estación DOAS. Además, se obtuvo conocimiento directo de su ubicación geográfica y su entorno local, esto es de mucha utilidad porque proporcionó una visión más clara. Este conocimiento adquirido permitirá llevar un mejor estudio más completo, facilitando y permitiendo encontrar aquellas alternativas que serán gran importancia para establecer una conexión efectiva con la estación DOAS de Piedra Azul.

## 2.2 Descripción de la estación DOAS Piedra Azul

En esta sección se describirán las diferentes partes del sistema de escaneo DOAS de tal forma que cuando se empiece a ver los componentes más prominentes se entienda de una mejor manera.

A la llegada del puesto de monitoreo, en el techo se encuentran instalados un escáner cónico, un GPS diferencial. Además, un panel solar que suministra energía a un banco de baterías que se encuentra en el interior de la estación, el cual hace funcionar al instrumento NOVAC, encargado de adquirir, procesar y almacenar los datos.

El **escáner** es un escáner cónico, lo que significa que, en lugar de escanear en un solo plano horizontal, en realidad escanea formando un cono. El escáner cónico se logra reconocer gracias a su tope y ranuras. El escáner es conectado por medio de dos fibras y cables que suministran energías al motor, los cuales se enlazan al propio instrumento de escaneo.

El Sistema de Posicionamiento Global (**GPS**), encargado de la medición y estimación de los flujos de magma que entran y salen del sistema. El GPS instalado es del tipo diferencial y se encuentra alojado en una cúpula de color gris, la cual está fijamente instalada en el techo del puesto de monitoreo. Este GPS diferencial está conectado a un switch Ethernet en las proximidades del instrumento de escaneo.

La **caja electrónica NOVAC** (instrumento NOVAC) ha sido diseñada con el propósito de integrar una variedad de componentes capaz de realizar funciones como centralizar y gestionar la captura de datos del espectrómetro, su procesamiento y almacenamiento. También alberga una

fuentes de energía dedicada, así como un sistema automático de encendido y apagado para todo el sistema. Asimismo, tiene integrado un radiotransmisor para poder conectar un radio externo que permita la transferencia de datos. Es una solución completa y efectiva para la adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos tanto para el espectrómetro y el GPS.

**Espectrómetro** es uno de los componentes fundamentales del instrumento NOVAC, es un espectrómetro del modelo FLAME-S-UV-VIS. Capaz de recopilar los datos generados por el escáner cónico, siendo este considerado como uno de los elementos más importantes en la operación del sistema.

El **ordenador** Axiomtek IFB122 es otro de los componentes fundamentales instalado en el instrumento NOVAC. Se trata de una pequeña computadora con un sistema operativo Linux integrado, utilizada para el procesamiento, almacenamiento, control y monitoreo de los datos.

**Octopus Box (caja pulpo)** La función principal es distribuir energía a todo el sistema, garantizando su funcionamiento.

**Switch ethernet** es el encargado de ofrecer conectividad directa a otros dispositivos, como el GPS o sismómetro si existe. Esto se consigue utilizando un puerto que está disponible en el switch ethernet, permitiendo la transmisión de datos, algo que el sistema no ofrece por sí solo. La necesidad de este interruptor se elimina si se incluye un componente adicional, como el GPS.

**Web relay** es el que permite un apagado y encendido de los componentes a control remoto mediante una conexión Ethernet.

**El temporizador Theben de 12 V** controla el encendido y apagado del sistema NOVAC, permitiendo una programación para encender durante el día y se apague durante la noche. Esto se debe a que el escaneo DOAS no es funcional durante las noches.

Nota: El instrumento NOVAC tiene un sistema de protección contra sobretensiones que protegen los componentes mencionados anteriormente, asegurando que no se vean afectados por las descargas de energía que puedan entrar.

## 2.3 Componentes del sistema

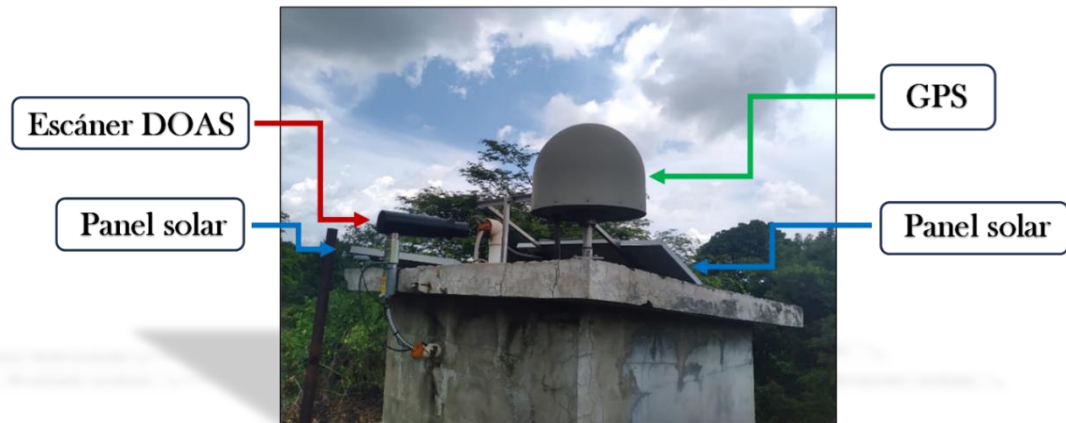


Figura 8. Componentes ubicados en la periferia de la estación DOAS Piedra Azul.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

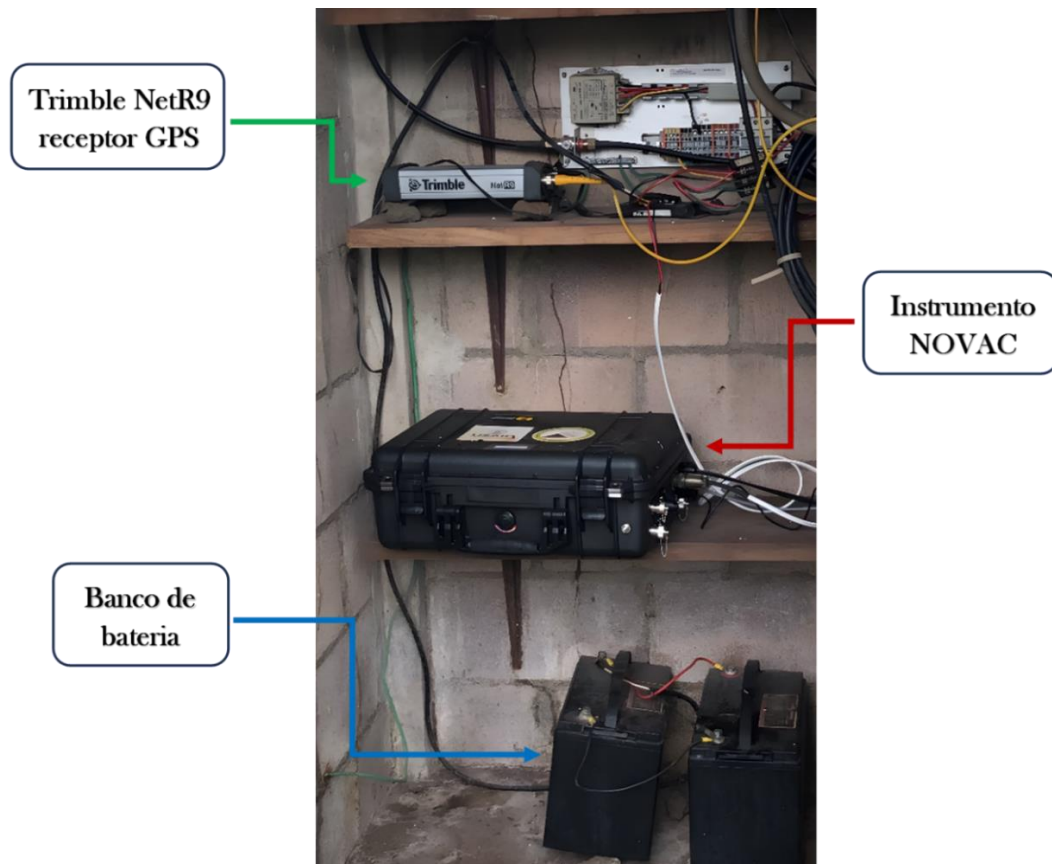


Figura 9. Componentes internos de la estación DOAS Piedra Azul.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

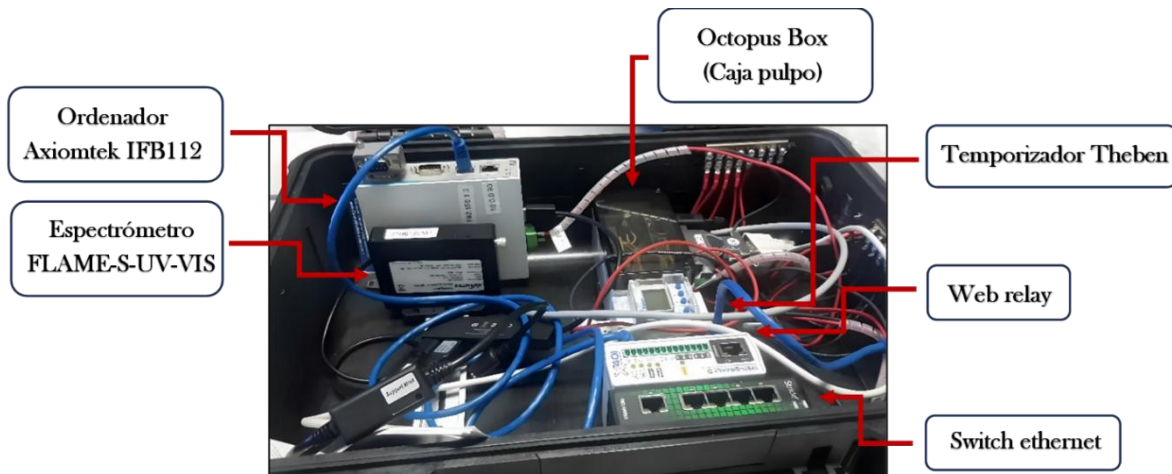


Figura 10. Componentes del instrumento NOVAC  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

## 2.4 Comunicación con el instrumento NOVAC en el campo

La forma más sencilla de acceder al sistema es a través de un cable Ethernet que es conectado a la computadora Axiomtek IFB122, esta computadora tiene dos puertos nombrados LAN1 y LAN2

El LAN1 es un puerto Ethernet que normalmente se recomienda configurar de acuerdo con los requisitos de su red monitoreo.

El LAN2 es un puerto donde se reserva típicamente para la conexión de una computadora portátil. En este puerto se mantiene la configuración inicial del instrumento, incluida la dirección IP predeterminada, establecida como 10.0.0.90. Por lo tanto, para poder comunicarse, es necesario conectar un cable Ethernet desde la computadora Axiomtek IFB122 a la computadora portátil, como se ve en la *Figura 11*.

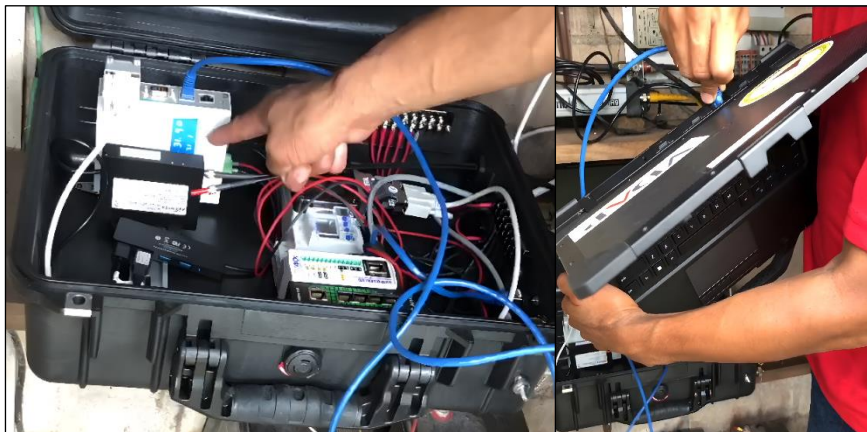


Figura 11. Representación de como acceder al instrumento NOVAC  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

Para establecer una conexión entre la computadora portátil y la computadora Axiomtek IFB122, es necesario asignar una dirección IP a la computadora portátil. Dado que se sabe que LAN2 tiene una dirección de IP predeterminada de 10.0.0.90, el siguiente paso consiste en configurar la IP de la computadora portátil de manera que esté en la misma red.

Para garantizar que ambas computadoras estén en la misma red, es fundamental que los primeros tres segmentos de la dirección IP de la computadora portátil coincidan con los de la dirección IP de la computadora Axiomtek IFB122, en este caso, 10.0.0. Por otro lado, el último número no puede ser el mismo, ya que asignar la misma dirección IP a la computadora portátil que a la Axiomtek IFB122 provocaría un conflicto de direcciones IP. En cambio, debemos asignar un número diferente como, por ejemplo, 91 en lugar de 90.

Para optimizar la máscara de subred y permitir la comunicación más amplia posible, es necesario configurarla a 255.255.255.0, tal y como se ilustra en la *Figura 12*.

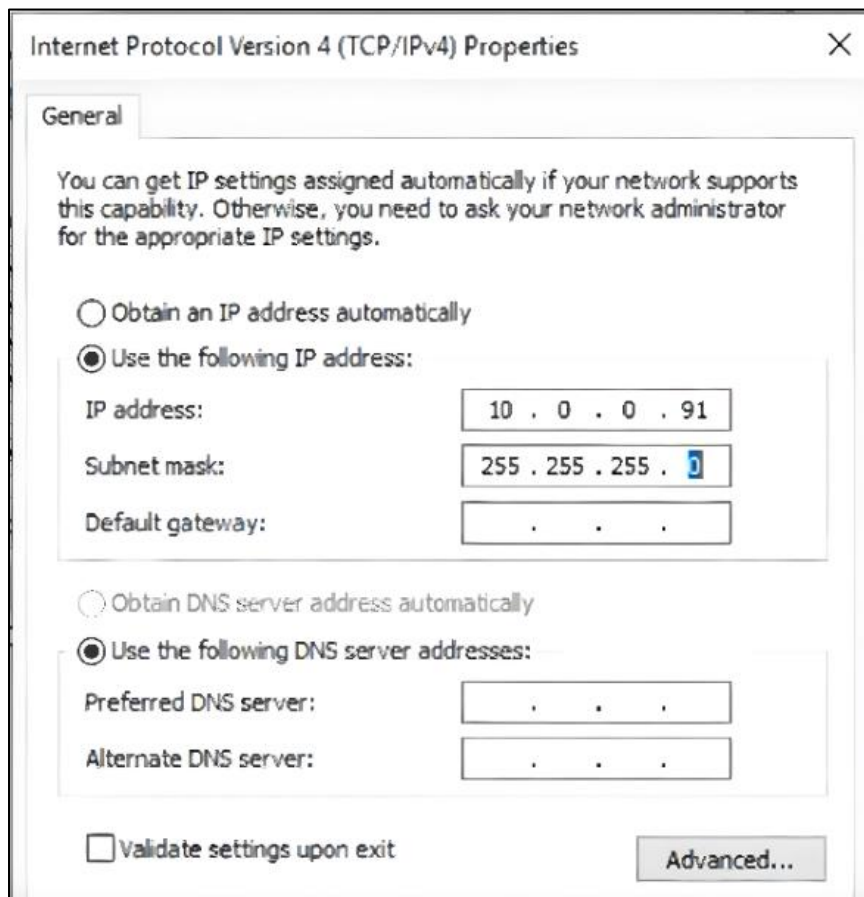


Figura 12. Ilustración de la correcta configuración de la computadora portátil a la computadora del instrumento

Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

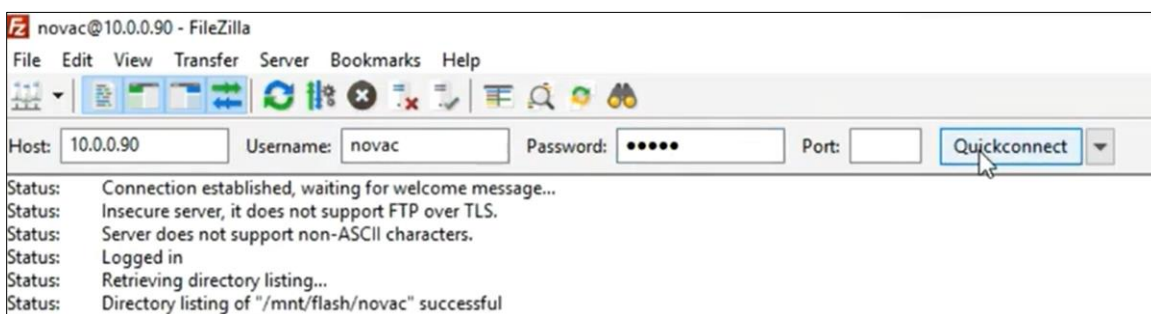
Para observar las operaciones del instrumento, se requiere del uso del software **PuTTY**. La aplicación **PuTTY** no está incluida en Windows de forma predeterminada, pero sin embargo se puede descargar de forma gratuita desde internet. Cabe recalcar que esta aplicación solo se utiliza para visualizar la información que está siendo procesada por el escáner. La *Figura 13* se ilustra el logotipo de presentación de esta aplicación.



*Figura 13. Software PuTTY emulador de terminal.  
Fuente: (López, 2019)*

**FileZilla** es un software que se utiliza para acceder a los archivos del sistema. Nuevamente, esta aplicación no está incluida en Windows, pero está disponible para descargar de forma gratuita en internet.

Al abrir el programa es requisito colocar la dirección IP de la computadora Axiomtek IFB122, el nombre de usuario 'novac' y la contraseña que por defecto es '1225'. Luego de esto se selecciona la opción 'conexión rápida' para que podamos acceder a los archivos del sistema. ver *Figura 14*.



*Figura 14. Configuración para extraer los archivos de la computadora Axiomtek IFB122.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)*



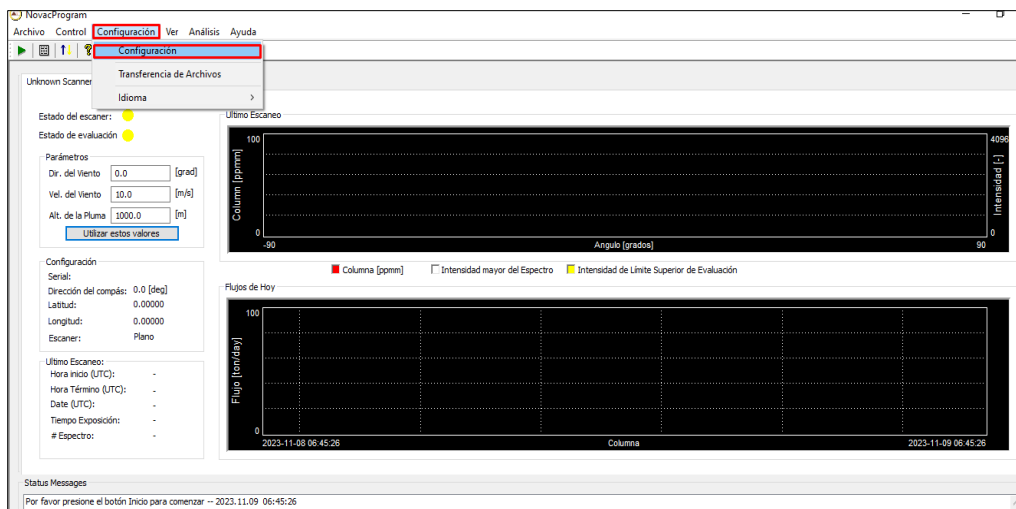


Figura 16. Interfaz de usuario de NovacProgram  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

## 2.6 Configuración del instrumento de escaneo para el observatorio

Los ajustes que se encuentran en la pestaña 'Scanning Instrument' son ajustes individuales para cada uno de los instrumentos de escaneo conectados en la red local.

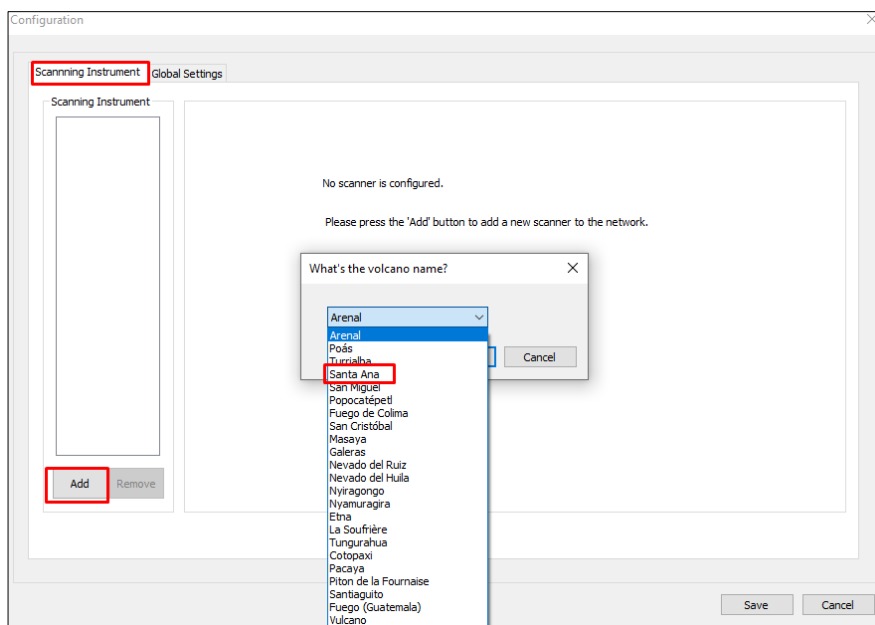


Figura 17. Sección de configuración  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

En la Figura 17, se presenta una lista de instrumentos de escaneo a en el lado izquierdo del cuadro de diálogo, donde se elige un instrumento específico. Las configuraciones serán exclusivas para ese instrumento en particular. En caso de que la lista de instrumentos de escaneo esté vacía,

se puede presionar el botón 'Agregar' debajo de la lista. Además, se pueden incorporar más instrumentos a la lista presionando nuevamente el botón 'Addr'.

- **Información del Instrumento “Info”**

En la pestaña 'Info' se encuentran las configuraciones generales sobre el instrumento de escaneo, que son necesarias para manejar los datos provenientes del instrumento (ver Figura 18). En el grupo “Site”, se puede configurar el nombre del volcán, el nombre del sitio donde se encuentra el instrumento y el nombre del observatorio que realiza las mediciones. Todos los campos deben ser llenados para que el programa funcione correctamente. Si el volcán en estudio no está en la lista, se selecciona 'Otro' y se pedirá el nombre de la fuente y las coordenadas.

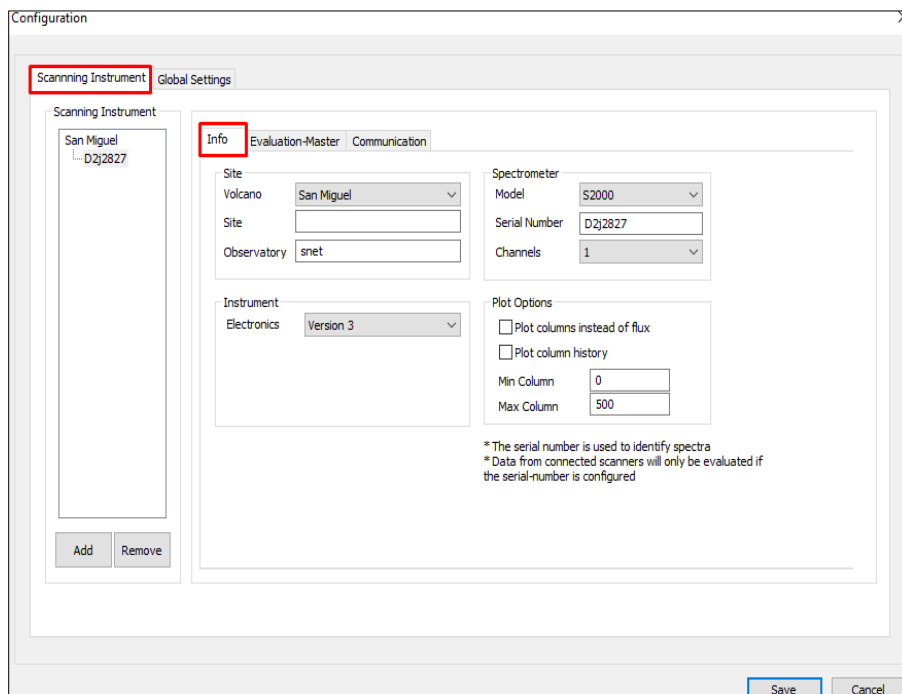


Figura 18. Página de información del instrumento en el cuadro de diálogo de configuración  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

Dentro del conjunto de opciones denominado “Spectrometer”, se encuentran configuraciones que brindan información general sobre el espectrómetro en uso. El número de serie corresponde al identificador único asignado por el proveedor del espectrómetro, y resulta esencial para llevar a cabo evaluaciones de los espectros de manera precisa. En caso de que el espectrómetro cuente con múltiples canales, es imperativo seleccionar el número de canales correspondiente en la lista desplegable, garantizando así que el programa pueda gestionar adecuadamente todos los espectros disponibles.

En el grupo “Instrument”, hay una opción para modificar el tipo de instrumento.

En el grupo “Plot Option”, puede optar por mostrar columnas en lugar de flujos en la ventana principal (en 'Últimas 24 horas') marcando 'Columnas de trazado en lugar de flujo'.

- **Configuración de “Evaluation-Master”**

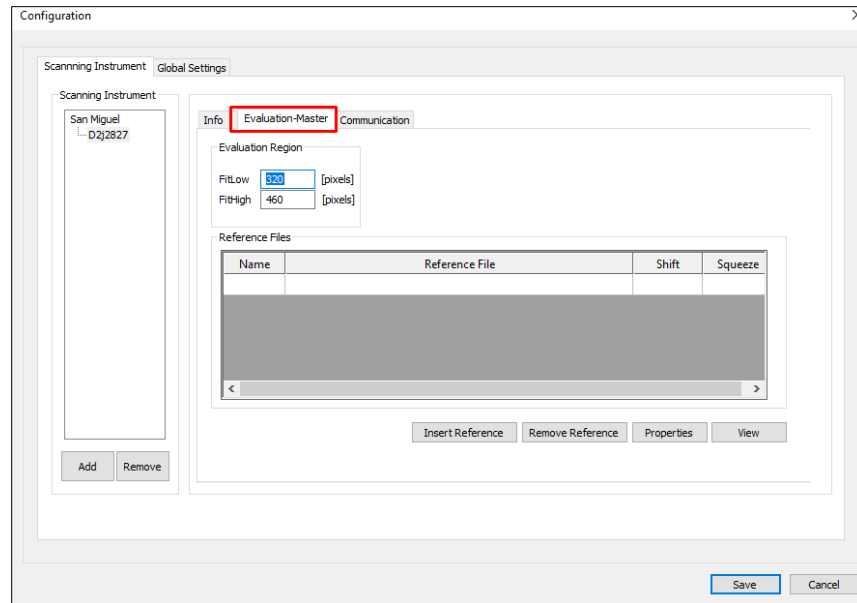


Figura 19. La página de información del instrumento en el diálogo de configuración.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

En la página “Evaluation” (ver Figura 18), puede establecer la configuración sobre cómo realizar la evaluación en tiempo real de los espectros a medida que ingresan al observatorio.

Se debe completar estos ajustes para que la evaluación de los espectros se lleve a cabo o no se tendrá ningún resultado. Para espectrómetros con varios canales, hay una página de evaluación para cada canal en el espectrómetro (estos se etiquetarán como 'Evaluación-Maestro', 'Evaluación-Esclavo1', 'Evaluación-Esclavo2', etc.). Se debe de especificar al menos un archivo de referencia para cada canal. Los valores de ajuste bajo y ajuste alto determinan los píxeles en el espectro que se usarán para evaluar la columna de espectros de gas. Estos se dan en píxeles en el detector y no se ven afectados si los espectros se leen como entrelazados o solo como espectros parciales. Para evaluar los espectros, debe haber al menos un archivo de referencia, normalmente uno para SO<sub>2</sub>. Para agregar un archivo de referencia, presione el botón 'Insert Reference' en la parte inferior del cuadro de diálogo. Para eliminar una referencia, seleccione la referencia que desea eliminar en la tabla y presione el botón 'Remove Reference'.

- **Configuración de Comunicación.**

En la lista de árboles de la izquierda, seleccione el instrumento de escaneo que va a configurar. Luego puede establecer los parámetros de comunicación para este instrumento. Hay tres tipos de comunicación para elegir:

❖ 'Serial Point-to-point'   ❖ 'FreeWave-Serial-to-multipoint'   ❖ 'FTP'

En estas tres configuraciones de comunicación, "Sleep From" y "Sleep To" son parámetros comunes, que se utilizan para configurar el tiempo de suspensión del escáner para que deje de funcionar por la noche y se reinicie a la mañana siguiente. Son comunes para todos los escenarios "Sleep From" es el momento de dejar de escanear. "Sleep To" es el momento de reiniciar el escaneo.

- ❖ 'Serial Point-to-point'

Settings	COM-Port	Baudrate	Handshake	Timeout
<input checked="" type="radio"/> Serial Point-to-Point	COM1	115200	Hardware	5 seconds
<input type="radio"/> Freewave - Serial Point-to-Multipoint				
<input type="radio"/> FTP				

Connection Interval: 0 hr 10 min 0 sec

Sleeping

Sleep From: 20 : 00 : 00 [hh:mm:ss] - Taken from computer time

Sleep To: 6 : 00 : 00 [hh:mm:ss] - Taken from computer time

Figura 20. Configuración de comunicación en modo serie punto a punto  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

**Configuración de Comunicación en Modo Serie Punto a Punto:** Esta configuración se utiliza cuando solo se tiene un escáner en funcionamiento y la comunicación se realiza mediante un cable serie o un par de módems de radio.

- **COM-Port:**

Es el puerto COM de la computadora que se utiliza para conectar el escáner, ya sea mediante un cable serial RS232 o un módem de radio.

- **Baudrate:**

Representa la velocidad de transmisión de datos entre la computadora y el escáner, o entre dos módems de radio que conectan la computadora y el escáner. Por defecto, esta configuración se establece en 115200 baudios.

- **Handshake:**

Debe configurarse en "Hardware" según el sistema actual.

- **Timeout:**

Se refiere al tiempo de espera establecido para la conexión. Si experimentas problemas de conexión, puedes intentar aumentar este valor.

- **Connection Interval:**

Al igual que el "Timeout," establece el tiempo de espera para la conexión. Si enfrentas dificultades en la conexión, puedes intentar aumentar este valor.

❖ **'FreeWave-Serial-to-multipoint'**

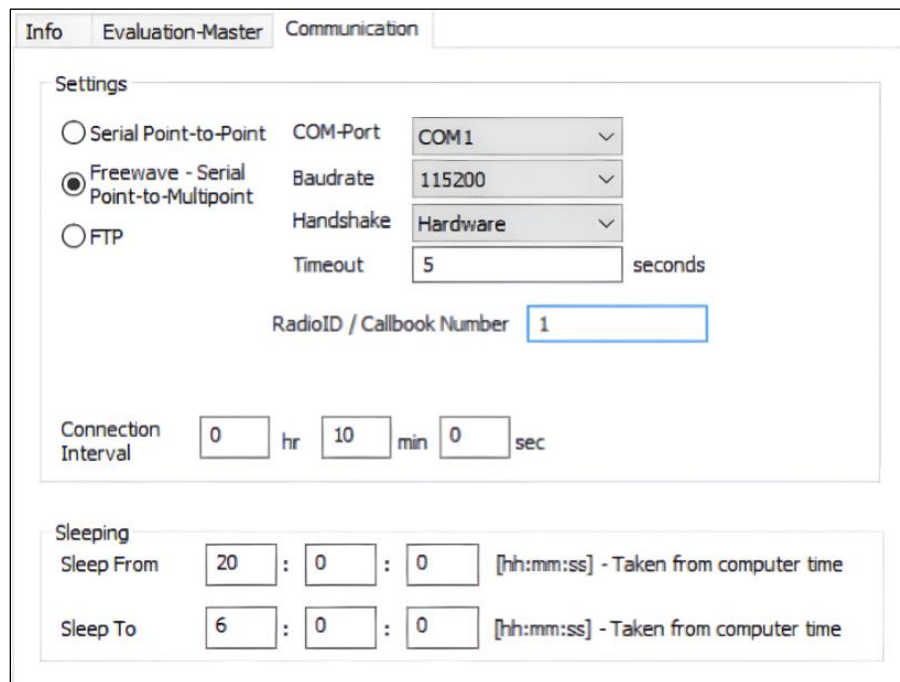


Figura 21. Configuración de comunicación en modo serie punto a multipunto con módem de radio FreeWave  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

**Configuración FreeWave - Serial Point-to-Multipoint** (solo aplicable al radio módems FreeWave): Esta configuración se utiliza cuando hay varios escáneres en funcionamiento y la computadora del observatorio se comunica con múltiples módems de radio FreeWave. En este panel de configuración, los parámetros como COM-PORT, tasa de baudios, tiempo de espera e

intervalo de conexión tienen los mismos significados que en la configuración 'Serial Point-to-Point'.

### ❖ 'FTP'

The screenshot shows the 'Communication' settings window. It features a 'Settings' section with three radio buttons: 'Serial Point-to-Point', 'Freewave - Serial Point-to-Multipoint', and 'FTP' (selected). To the right of these are input fields for 'IP-Address' (192 . 189 . 31 . 71), 'Username' (novac), 'Password' (masked with dots), and 'Timeout' (30 seconds). Below this is a 'Connection Interval' section with fields for 0 hr, 5 min, and 0 sec. At the bottom is a 'Sleeping' section with 'Sleep From' (20 : 0 : 0) and 'Sleep To' (6 : 0 : 0) fields, both labeled '[hh:mm:ss] - Taken from computer time'.

Figura 22. Configuración de comunicación mediante FTP  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

**FTP:** Esta configuración se utiliza cuando el escáner funciona como servidor FTP y la comunicación se realiza a través del puerto Ethernet del instrumento.

- **IP-Address:**

Corresponde a la dirección IP del escáner.

- **Username:**

Es el nombre de usuario necesario para iniciar sesión en el servidor FTP del instrumento. El valor predeterminado es "novac".

- **Password:**

La contraseña requerida para iniciar sesión en el servidor FTP del instrumento. El valor predeterminado es "1225".

- **Timeout:**

Define el tiempo de espera para la conexión. Si se experimenta problemas de conexión, se puede intentar aumentar este valor.

### **Configuración Global**

La pestaña 'Configuración global' contiene configuraciones para las propiedades del programa que no están conectadas a ningún instrumento individual.

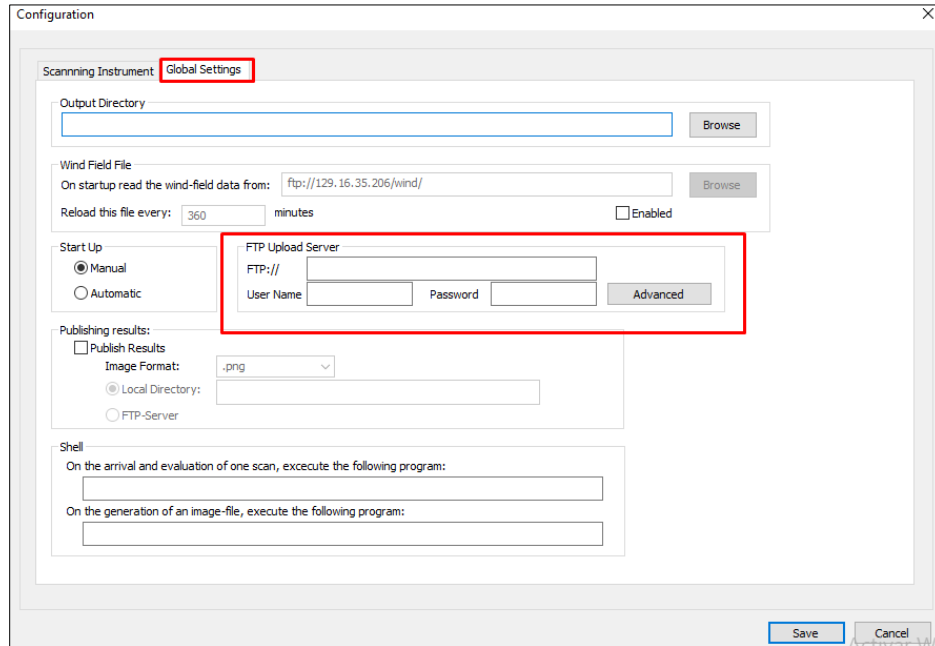


Figura 23. Configuración global  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)

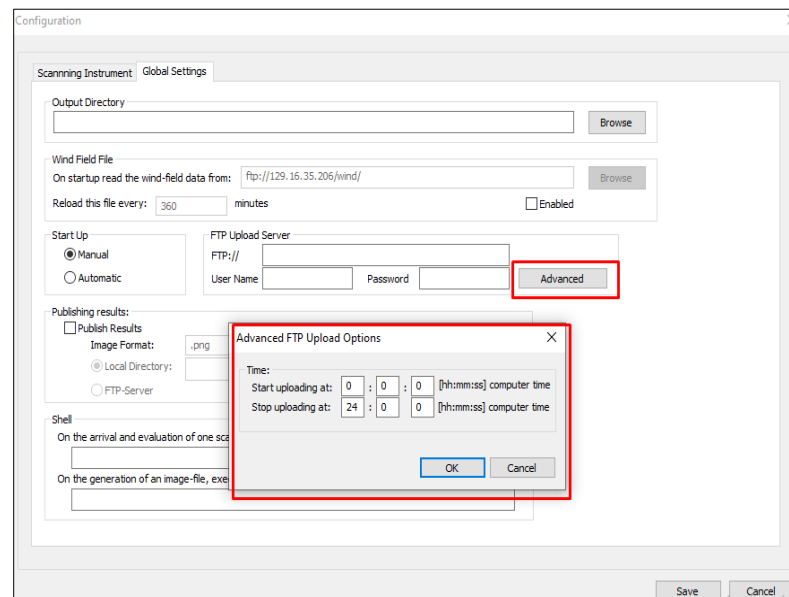
## Output Directory.

En el cuadro de diálogo de configuración, la pestaña "Global settings" es para establecer el directorio de salida para todos los resultados que obtiene el programa. Todos los datos que recopila el sistema se guardarán en este directorio, y todos los archivos temporales generados se colocarán aquí. Es necesario que el usuario que ejecuta el programa tenga acceso de escritura al directorio especificado.

“Wind Field File” El archivo de campo de viento contiene el campo de viento en horas específicas del día y para los escaneos recopilados durante los días especificados en el archivo, el flujo se calculará utilizando un campo de viento interpolado entre las horas especificadas. Este archivo se puede ubicar en la computadora local o en el servidor FTP de NOVAC y se puede recargar en cualquier intervalo dado. La ubicación del archivo y el número de minutos entre cada relectura de este archivo debe especificarse en el grupo “Wind Field File”.

Puesta en marcha El modo de inicio del programa también se puede especificar aquí en el grupo 'Inicio'. Si se selecciona 'Manual', el usuario debe presionar el botón de inicio en la barra de herramientas en la página principal para iniciar las mediciones. Si se selecciona 'Automático', el programa iniciará automáticamente las mediciones cuando se inicie.

En el grupo 'FTP Upload Server', el usuario puede especificar un servidor FTP al que cargar los datos espectrales y evaluados en tiempo real. Se debe especificar una dirección de servidor ftp junto con un nombre de usuario y una contraseña para iniciar sesión en este servidor. Esto se usa normalmente para cargar los datos en la base de datos NOVAC en Gotemburgo. Si la conexión a Internet local es lenta o se comparte con otros instrumentos, es posible restringir el tiempo en que el programa puede cargar datos. Presionando el botón 'advanced' es posible definir un intervalo de tiempo durante el cual el NovacProgram intentará cargar datos. Estos tiempos se toman de la hora local de la computadora en la que se ejecuta NovacProgram (ver *Figura 24*).



*Figura 24. La configuración avanzada de carga de FTP permite restringir la hora del día*  
*Fuente: (Pino & Godoy, 2023)*

Al presionar el botón 'Save' en la parte inferior del cuadro de diálogo de configuración, el cuadro de diálogo se cierra y la configuración se guarda en el archivo 'configuration.xml' en el mismo directorio que NovacProgram. El inicio de sesión (nombre de usuario y contraseña) para el servidor de carga FTP se almacena en un archivo de configuración separado 'ftplugin.xml'.

## **Conexión al instrumento usando FileZilla**

FileZilla, una herramienta FTP gratuita, que permite acceder a los archivos en la PC interna. Se puede descargar este software desde <https://filezilla-project.org/>. Para establecer la conexión, Se debe de enchufar un cable de red en la computadora del equipo, y luego conecta la computadora portátil. Alternativamente, si tienes acceso a internet en el sitio, puedes utilizar un

enlace de telemetría existente. Una vez que hayas iniciado FileZilla, busca en la parte superior izquierda de la pantalla el campo donde debes ingresar el host, nombre de usuario y contraseña como se muestra en la *Figura 25*.



*Figura 25. Parámetros para FileZilla  
Fuente: (Pino & Godoy, 2023)*

En el campo 'Host', escribe la dirección IP del MOXA. Si estás conectado al puerto LAN2 del MOXA, la dirección IP debe ser 10.0.0.90. El nombre de usuario que debes utilizar es 'novac', y la contraseña es '1225'. Después de proporcionar esta información, haz clic en 'Quickconnect'. Si la conexión se establece correctamente, verás una lista de directorios en el lado derecho de la pantalla, que corresponde a la estructura de directorios de la PC interna de MOXA.

### **Configuración de los ajustes de red (dirección IP) del MOXA:**

"Los ajustes de red de la PC integrada MOXA se encuentran en el archivo `\etc\red\interfaces`. Para modificar la configuración de red del dispositivo, es preciso descargar este archivo mediante FileZilla. La descarga se completará en la computadora portátil y se almacenará en la carpeta que se muestra en la parte izquierda de la interfaz de FileZilla."

Los dos bloques que comienzan con `iface eth0 inet static` y `iface eth1 inet static` son donde se pueden configurar los dos puertos LAN. Para que nunca cambie la configuración de LAN2. Se debe mantener siempre en IP 10.0.0.90 y Subred 255.255.0.0. Así nos aseguramos de que siempre que vayamos a un instrumento NOVAC en el campo, siempre podremos iniciar sesión en LAN2.

```

#####
#####
# /etc/network/interfaces -- configuration file for ifup(8), ifdown(8)
#
# A "#" character in the very first column makes the rest of the line
# be ignored. Blank lines are ignored. Lines may be indented freely.
# A "W" character at the very end of the line indicates the next line
# should be treated as a continuation of the current one.
#
# The "pre-up", "up", "down" and "post-down" options are valid for all
# interfaces, and may be specified multiple times. All other options
# may only be specified once.
#
# See the interfaces(5) manpage for information on what options are
# available.
#####
#####

# We always want the loopback interface.

auto eth0 eth1 lo
iface lo inet loopback

# embedded ethernet LAN1
iface eth0 inet static
    address 192.168.1.2
    network 192.168.1.0
    netmask 255.255.255.0

# embedded ethernet LAN2
iface eth1 inet static
    address 10.0.0.90
    network 10.0.0.0
    netmask 255.255.255.0

```

La configuración de LAN1 se puede cambiar a cualquier configuración necesaria para la red de telemetría en un volcán determinado. Sin embargo, Hay que asegurarse de que LAN1 y LAN2 estén en subredes diferentes. Esto significa que el tercer número de la dirección IP debe ser diferente. Configurar ambos puertos Ethernet en la misma subred puede generar resultados inesperados.

Una vez modificado el archivo de interfaces, se vuelve a subir a `\etc\red\directorio` en el MOXA utilizando la misma técnica que antes. Se reemplaza el archivo de interfaces existente. Se reinicia MOXA para que los cambios surtan efecto.

### Capítulo 3: Alternativas Técnicas para la transmisión de datos

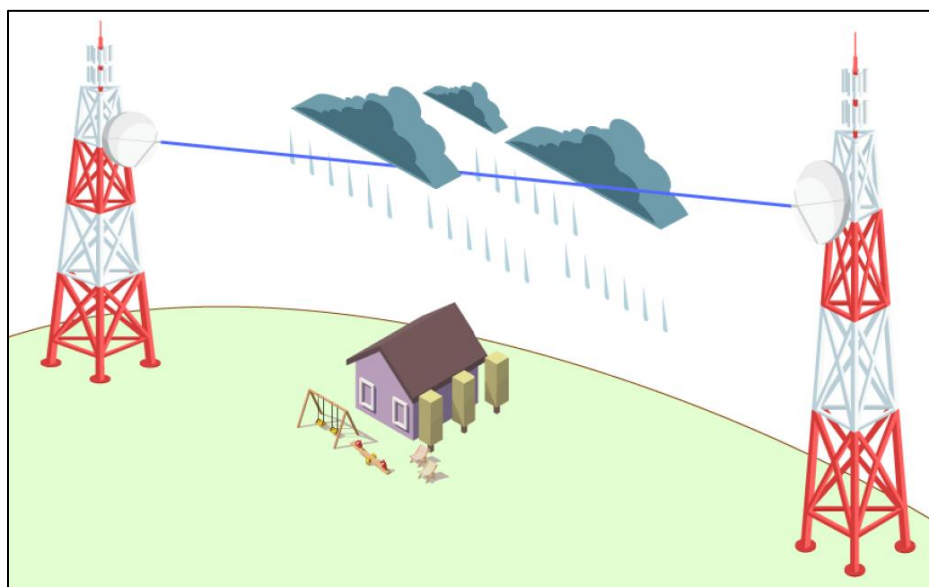
El presente análisis aborda alternativas para la transmisión de datos generados por la estación DOAS Piedra Azul hasta el MARN. Se podría decir que la solución óptima implica el establecimiento de conectividad a Internet mediante infraestructura cableada. Sin embargo, la ubicación remota de la estación plantea desafíos que imposibilita esta acción.

Dadas las limitaciones derivadas de la localización, la opción de establecer una comunicación directa a través de medios convencionales se evalúa como poco práctica. En respuesta a esta problemática, se ha llevado a cabo un estudio detallado, que se presenta en este capítulo, explorando alternativas viables mediante simulaciones en Radio Mobile. Dichas simulaciones abarcan diversas frecuencias y equipos, brindando resultados ajustables a la realidad.

El análisis no solo se limita a la presentación de opciones, sino que profundiza las fortalezas y debilidades de cada alternativa. Esta perspectiva crítica es esencial para una toma de decisiones fundamentada y permite identificar los puntos clave a considerar para la implementación exitosa de un radioenlace estable en este entorno remoto. En la *Figura 27* ilustra geográficamente todos los puntos clave a considerar en la definición de las posibles soluciones.

### 3.1. Radioenlace

Un radioenlace se define como la conexión inalámbrica entre dispositivos de telecomunicación mediante ondas electromagnéticas, facilitando la transmisión de información entre distintos puntos o ubicaciones, especialmente en aquellas áreas donde la implementación de infraestructura cableada no suele ser práctica. Los radioenlaces funcionan a través de ondas de radio, su alcance no se limita a estas frecuencias, también pueden utilizar otras frecuencias dentro del espectro de microondas y otras tecnologías.



*Figura 26. Radioenlace entre dos puntos  
Fuente: (Ramírez, 2022)*



Figura 27. Puntos geográficos clave de análisis para posteriores alternativas  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.2. Problema de transmisión y recepción de datos DOAS Piedra Azul

La estación DOAS Piedra Azul está instalada en una zona remota, lo que dificulta establecer una transmisión y recepción de datos por medio terrestre. En la *Figura 29*, se presenta visualmente las ubicaciones geográficas de las estaciones DOAS Piedra Azul, DOAS Ranchito y el Pacayal. Es importante destacar que tanto las estaciones DOAS Ranchito como DOAS Piedra Azul son propiedad del MARN. Estas estaciones desempeñan la misma función y son prácticamente idénticas en su operación, con la única diferencia que DOAS Ranchito cuenta con la capacidad de transmitir datos, mientras que DOAS Piedra Azul no realiza esta transmisión de datos.

La estación DOAS Ranchito supera los desafíos del entorno remoto mediante el uso de antenas repetidoras. En la *Tabla 1*, se detallan los nombres y coordenadas de los lugares que delimitan la ruta de comunicación entre la estación DOAS Ranchito y el MARN. Además, en la *Figura 28* se visualiza la trayectoria de los enlaces de comunicación entre estos dos puntos.

<b>EL RANCHITO</b>	<b>PACAYAL</b>	<b>CENTRO DE GOBIERNO</b>	<b>MARN</b>
13°26'02.8"N 88°17'18.8"W	13°29'11.3"N 88°18'54.7"W	13°42'16.9"N 89°11'55.9"W	13°41'15.8"N 89°13'52.9"W

*Tabla 1. Ubicación de ruta de comunicaciones datos DOAS Ranchito – MARN San salvado.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)*

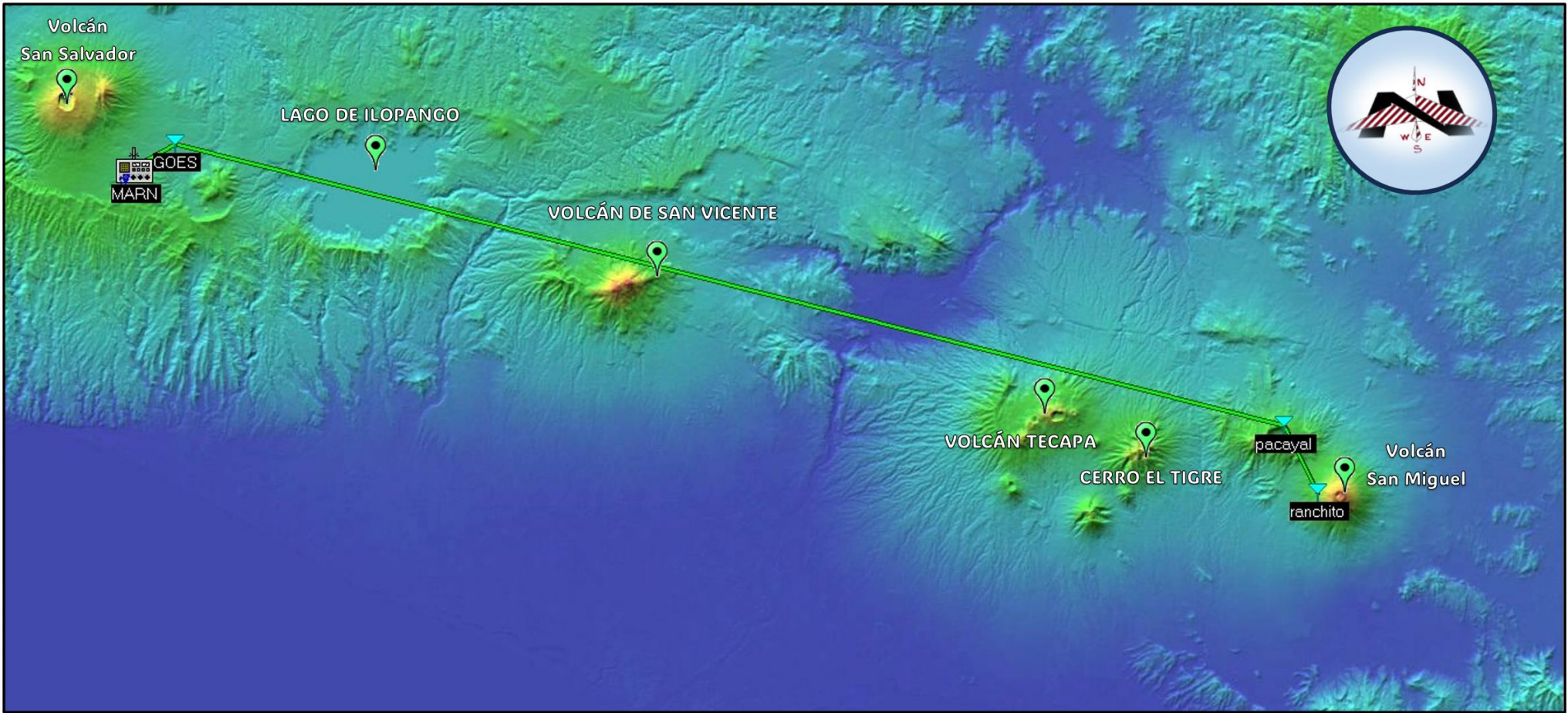


Figura 28. Enlace de comunicación DOAS Ranchito – Pacayal – GOES – MARN.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

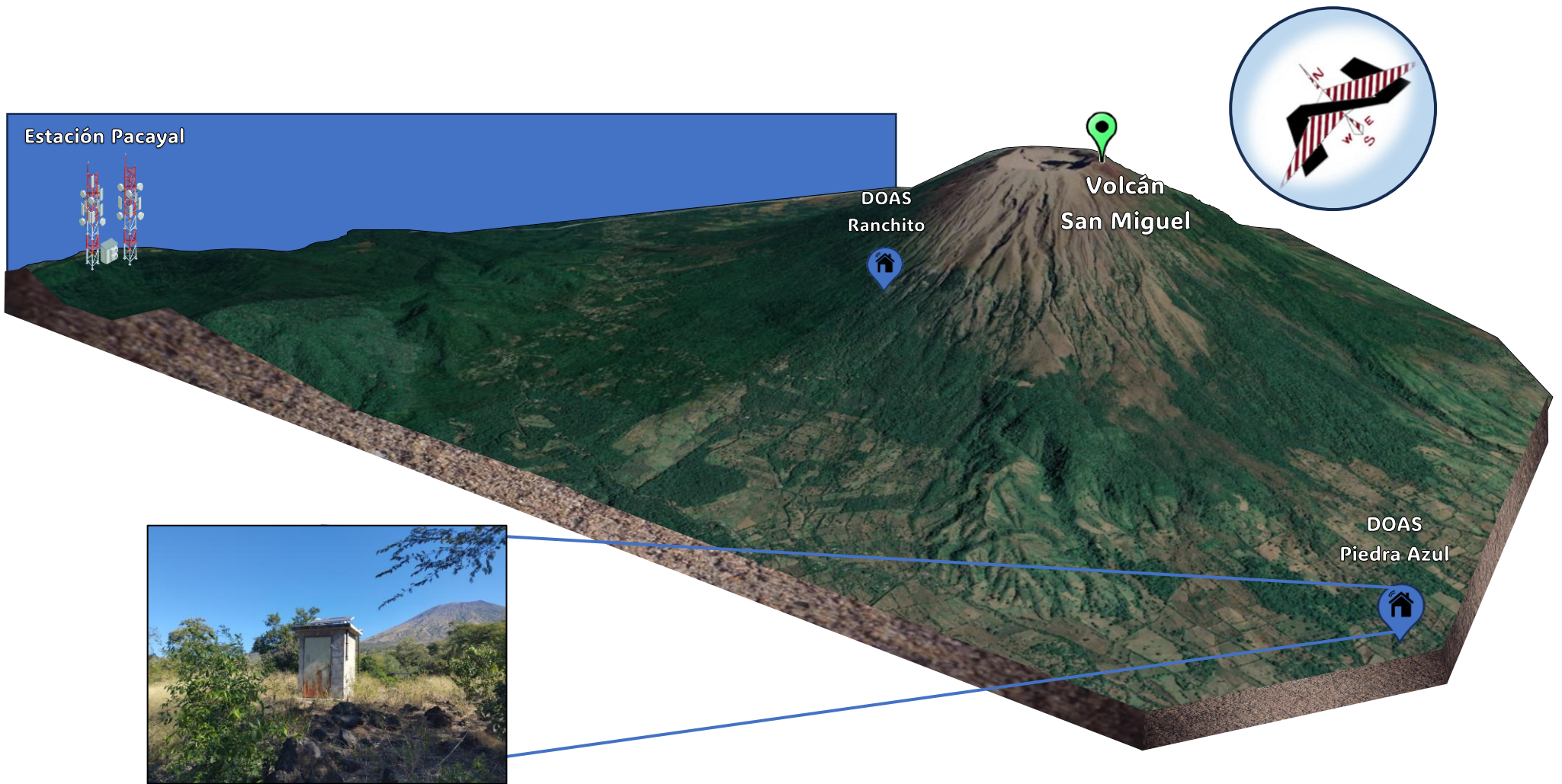
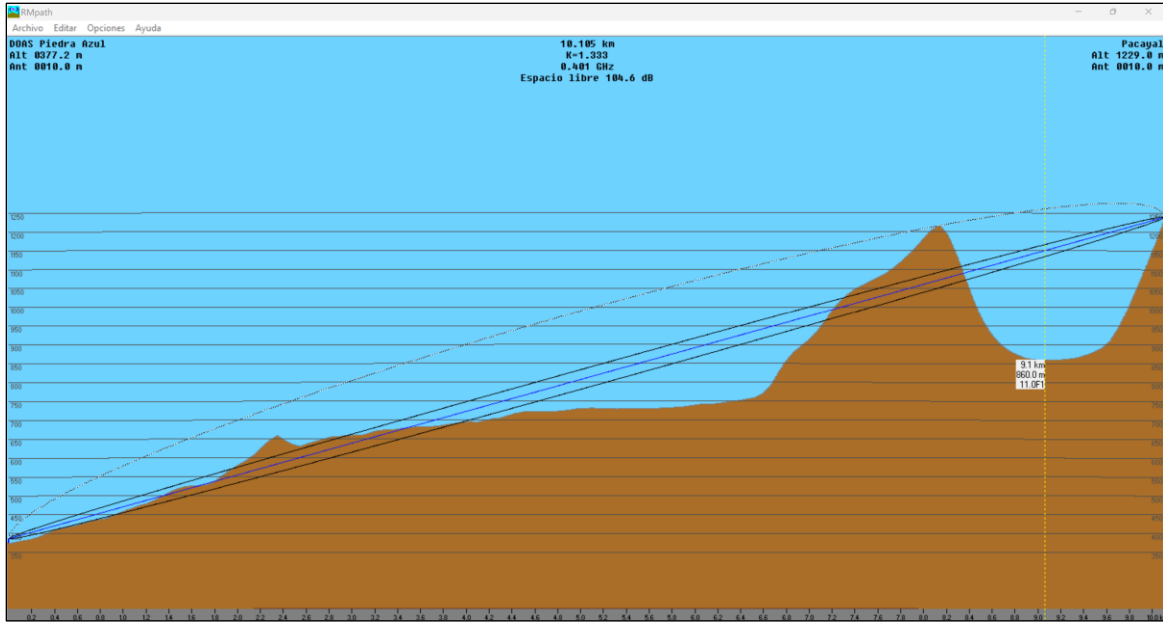


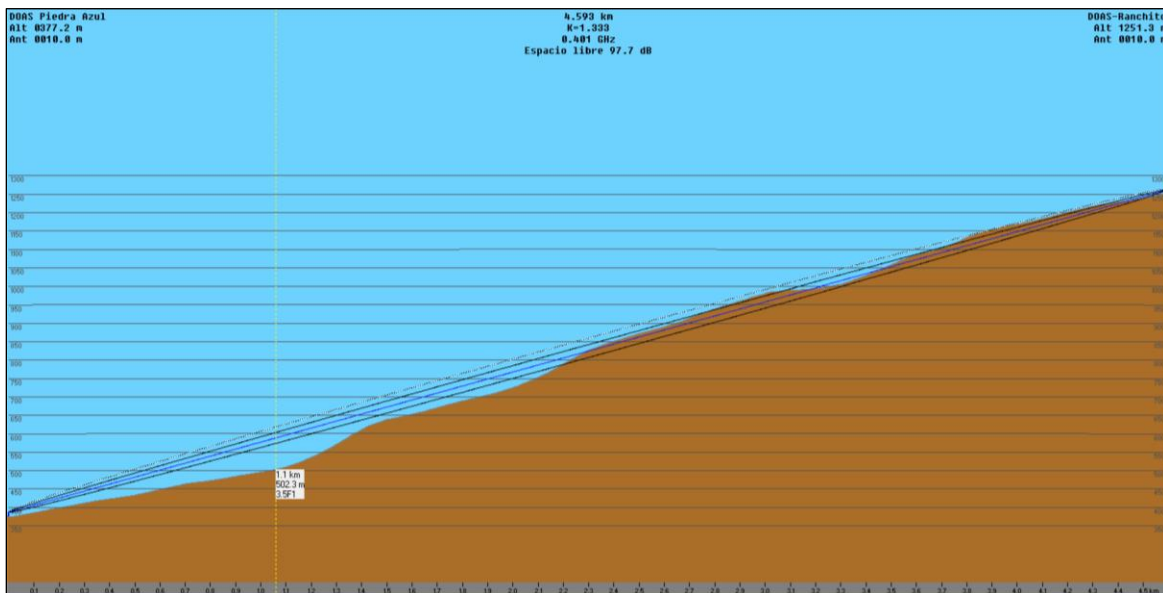
Figura 29. Ubicación geográfica de las estaciones DOAS Piedra Azul, DOAS Ranchito y el Pacayal.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

En las *Figura 30* y *Figura 31* se muestran los perfiles de elevación, donde se observan dificultades para transmitir los datos hacia las estaciones donde el MARN tiene acceso para transmitir, las cuales son: estación Pacayal y estación DOAS Ranchito.

La distancia de la estación Piedra Azul a la estación Pacayal es de 10.09 km, mientras que la distancia de la estación Piedra Azul a la estación Ranchito es de 4.59 km.



*Figura 30. Perfil de elevación de la estación Piedra Azul y el Pacayal.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)*



*Figura 31. Perfil de elevación de la estación Piedra Azul y la estación Ranchito.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)*

En la *Figura 32* se muestra el área de cobertura de la estación DOAS Piedra Azul. En términos de codificación visual, se establece que el color verde representa una señal RX  $\geq 3$  dB, el color amarillo indica una señal RX  $\geq -3$  dB, y el color rojo señala una señal RX  $< -3$  dB.

La representación visual destaca la restricción de la transmisión de datos hacia las estaciones DOAS Ranchito y Pacayal, ya que estas áreas se encuentran marcadas en rojo, indicando una señal insuficiente para establecer radioenlace en estos puntos.

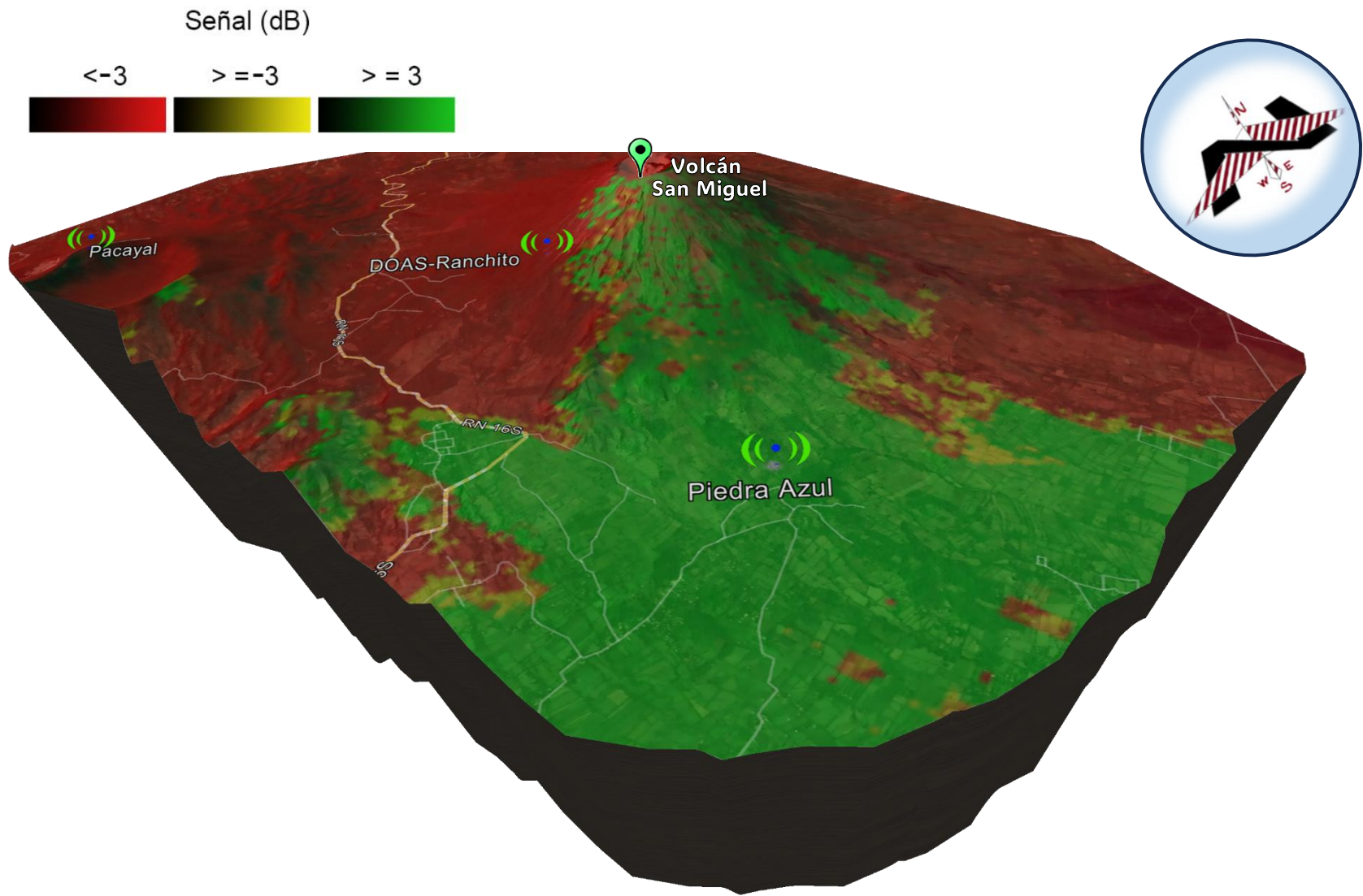


Figura 32. Cobertura para la transmisión de datos desde la estación Piedra Azul  
 Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Al evaluar el perfil de elevación, se concluye que la estación Piedra Azul carece de línea de visión respecto a las estaciones Ranchito y Pacayal. Este escenario presenta desafíos significativos en términos de conectividad de forma directa. Aun así, hay tecnologías y equipos que se pueden considerar para superar este desafío tales como: **Tecnología de microondas, enlaces de Radio Frecuencias (RF) y tecnologías LoRa.**

Considerando que la estación Ranchito es la más cercana a la estación Piedra Azul y presenta el perfil de elevación más favorable, con la ayuda de Radio Mobile se hace un análisis para evaluar las tecnologías de microondas y enlaces de Radio Frecuencias (RF) en este punto.

### 3.2.1. Simulación de enlace microondas desde Piedra Azul hasta Ranchito

Para este análisis con tecnologías de microondas se considera que las antenas tendrán una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo en el lugar de instalación. Además, se tomarán en cuenta las siguientes características; antenas Yagi-Uda con ganancias 25 dBi dirigida al punto del enlace de interés; potencia de transmisor de 40 dBm; Sensibilidad del receptor Rx -107 dBm; a un rango de frecuencia de 5150 - 5925 MHz.

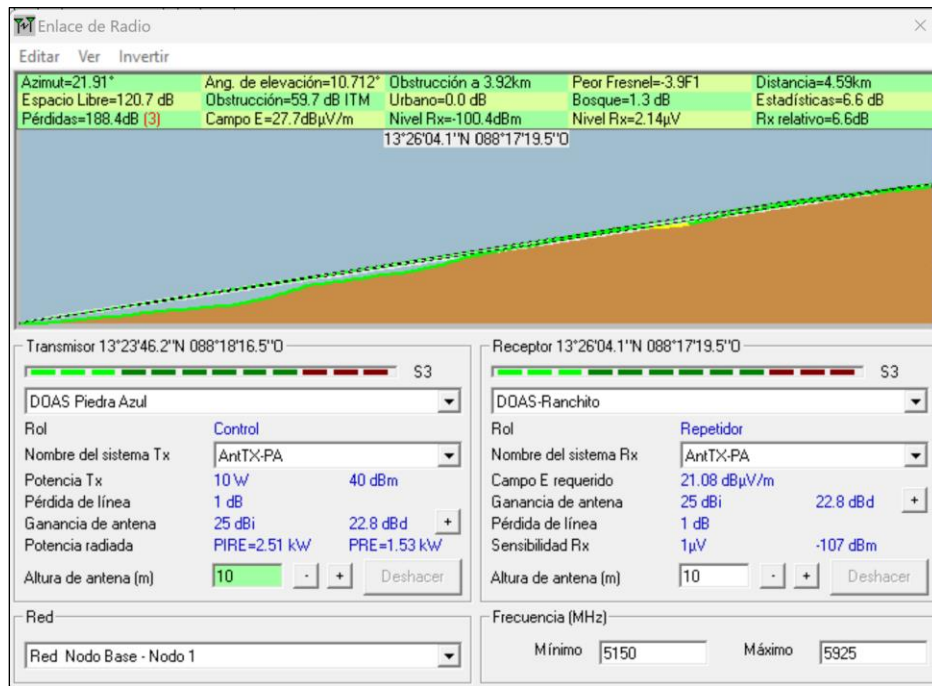


Figura 33. Simulación con tecnología microonda desde Piedra Azul hasta Ranchito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

En base a los resultados de la simulación, se observan pérdidas muy elevadas, lo que indican una atenuación considerable en la señal entre las estaciones Piedra Azul y Ranchito.

Debido a las obstrucciones e irregularidades del terreno se aprecia que la zona de Fresnel esta obstruida -3.9 F1, lo que confirma que dicha zona no se encuentra totalmente despejada afectando la calidad del enlace. A pesar de que el nivel de recepción es técnicamente superior a la sensibilidad del receptor Rx (-107 dBm), las perdidas notables comprometen la integridad de la señal y la capacidad del receptor para recuperar la información de forma fiable.

Para validar la viabilidad de esta solución, se recomienda llevar a cabo pruebas de campo. En virtud de las condiciones actuales vistas en esta simulación, este medio no se presenta como una alternativa recomendable ni viable.

### 3.2.2. Simulación en frecuencia FM desde Piedra Azul hasta Ranchito

Para este análisis con enlace de radio modulación FM se considera que las antenas tendrán una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo en el lugar de instalación. Además, se tomarán en cuenta las siguientes características; antenas Yagi-Uda con ganancias 10.5 dBi dirigida al punto del enlace de interés; potencia de transmisor de 38.5 dBm; Sensibilidad del receptor Rx -60 dBm; en un rango de frecuencia de 90 - 100 MHz.

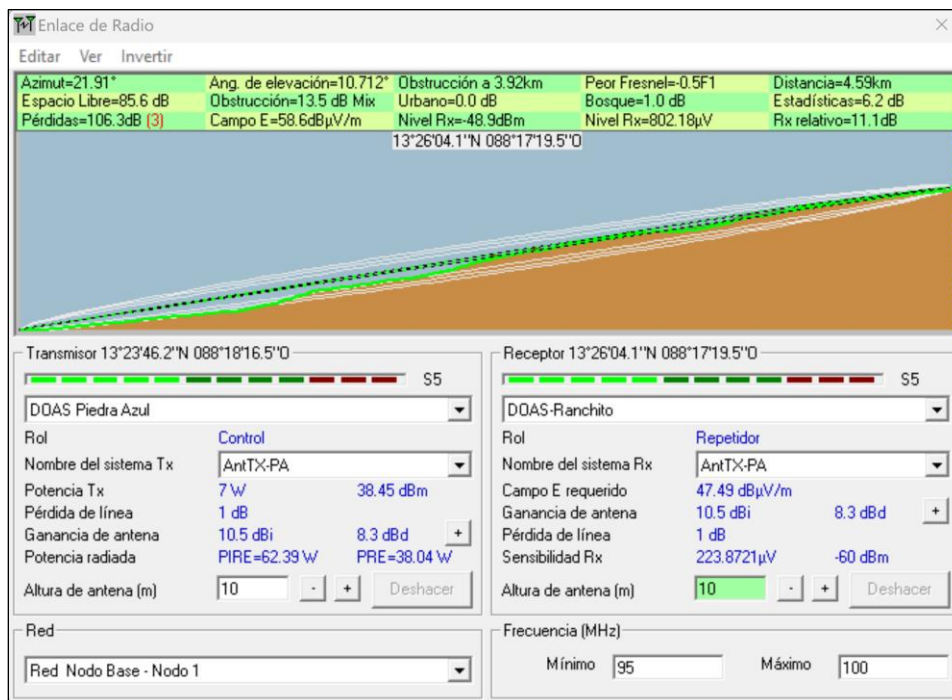


Figura 34. Simulación con frecuencia FM desde Piedra Azul hasta Ranchito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

En base a los resultados de la simulación, se observan altas pérdidas, lo que indican una atenuación considerable en la señal entre las estaciones Piedra Azul y Ranchito. La zona de Fresnel

muestra un valor  $-0.5F1$ , indicando cierta interferencia, aunque su proximidad a cero sugiere un despeje relativo, siendo esto positivo para la propagación de la señal. Aunque las pérdidas son altas, el nivel de recepción es suficientemente alto para superar estas pérdidas.

Los resultados sugieren un estado favorable del radioenlace utilizando el equipo de modulación FM y las condiciones del entorno mencionadas. Sin embargo, no hay manera definitiva de asegurar de su viabilidad. Por lo que se recomienda realizar pruebas de campo y corroborar la información. A la luz de las condiciones vistas en esta simulación, este medio se percibe como viable en comparación a la tecnología de microondas. No obstante, los enlaces de Radio Frecuencias (RF) no se plantea como una alternativa definitiva, ya que se requieren pruebas de campo para confirmar su eficacia.

### 3.2.3. Simulación usando LoRa desde Piedra Azul hasta Ranchito.

El esquema de modulación LoRa (del inglés Long Range) que funciona bajo un rango bien amplio de frecuencias. LoRa utiliza bandas con frecuencias entre 433 y 928MHz.

El Kits de evaluación de redes **LoRa de Microchip Technology**, que se muestra en la Figura 35 y complementando con Radio Mobile, podremos analizar su rendimiento y comprobar si es posible transmitir los datos desde la estación Piedra Azul hasta el Ranchito.

Para este análisis, se consideran alturas de 10 metros en las antenas en ambos puntos de interés, y también es de tener en cuenta que el Kit LoRa consta de dos componentes: el módulo LoRa y Gateway LoRa donde sus frecuencias de operación son en las bandas 433/868 MHz. Las especificaciones de RN2483 incluyen una sensibilidad de  $-146$  dBm, una potencia de transmisión de  $14$  dBm (MAX), junto con antenas dipolo con ganancia de  $2.2$  dBi (Microchip, s.f.).



Figura 35. Kit LoRa.  
Fuente: (Gomes, 2018)

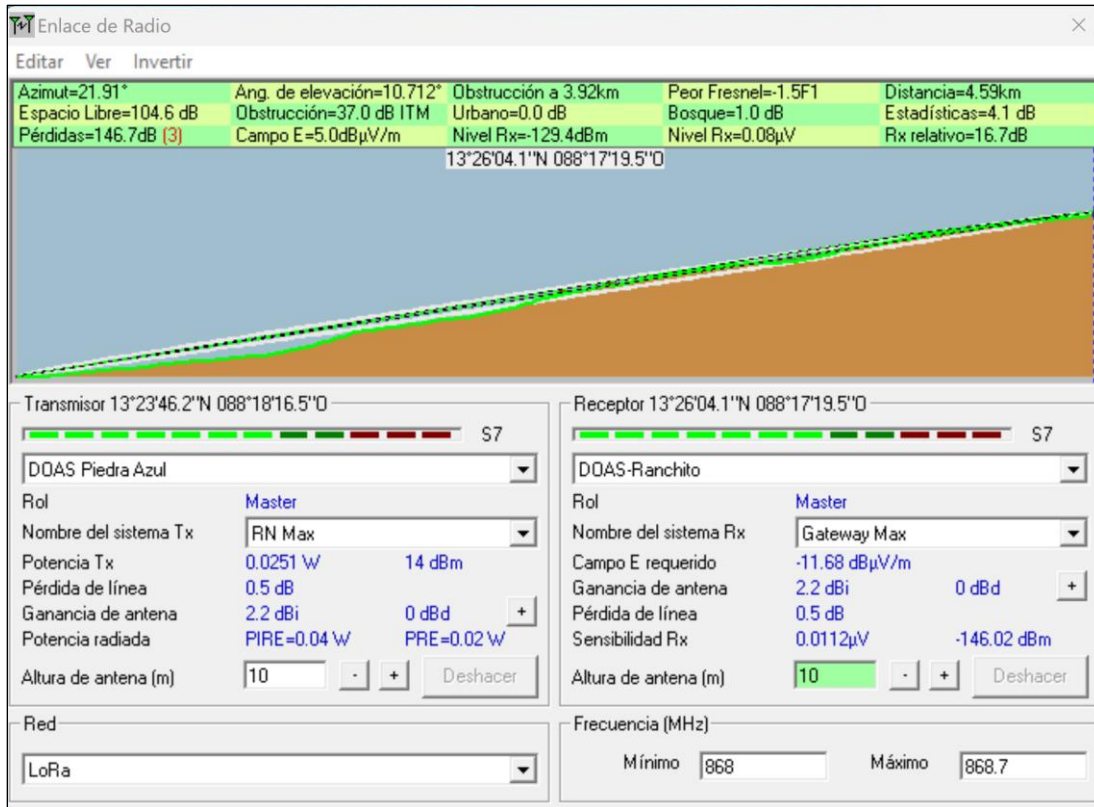


Figura 36. Simulación radioenlace LoRa.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

En base a los resultados en el enlace ranchito recibe una señal de -129.4 dBm indicando en el mapa de cobertura en color verde.

LoRa utiliza ondas de radio que puedes penetrar obstáculos como paredes, árboles y edificios con relativa facilidad. Lo que significa que a pesar de no tener línea vista como es en este caso, los dispositivos podrían comunicarse.

Sin embargo, hay perdidas de 146.7 dB y una distancia de 4.58 Km, lo que puede afectar la calidad de la transmisión. Por lo tanto, aunque la simulación muestre resultados favorables en este escenario, es importante tener en cuenta el entorno y la topografía al planificar la implementación de una red LoRa para asegurar un rendimiento óptimo. Se recomienda realizar pruebas de campo con este tipo de tecnología para confirmar si los valores obtenidos coinciden con la realidad. Es por esto que no se plantea como una alternativa definitiva, ya que se requieren pruebas en terreno para verificar su eficacia.

### 3.3. Cuadro de Carga de los equipos instalados en la estación Piedra Azul

El cuadro de carga eléctrica del equipo de la estación Piedra Azul se muestran en la Tabla 2. Para lo cual se obtuvieron las hojas de datos de los equipos disponibles tanto de los paneles solares como el equipo en la estación.

		<b>cantidad</b>	<b>voltaje [V]</b>	<b>amperios [A]</b>
<b>suministro</b>	panel solar	2	17.70	7.63
<b>consumo</b>	GPS	1	12.00	7.80
<b>consumo</b>	Axiomtek ordenador	1	12.00	2.00
<b>consumo</b>	espectrómetro	1	5.25	2.50
	switch ethernet	deshabilitado		
<b>Suministro total</b>				<b>15.26</b>
<b>Consumo total</b>				<b>12.30</b>
<b>diferencia</b>				<b>2.96</b>

Tabla 2. Cuadro de carga de la estación DOAS Piedra Azul.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Los consumos individuales se encuentran en la Tabla 3. Según la información disponible, los switches de internet por el momento no presentan consumo, ya que la estación no está transmitiendo datos y la recolección de datos se realiza de forma manual.

	<b>amperaje hoja de datos [A]</b>	<b>coeficiente utilización kU</b>	<b>amperaje consumido [A]</b>	<b>amperios totales consumidos [A]</b>
<b>GPS</b>	7.8	0.8	6.24	10.09
<b>ordenador</b>	2.0	0.8	1.60	
<b>espectrómetro</b>	2.5	0.9	2.25	

Tabla 3. Consumo actual de energía en la estación DOAS Piedra Azul.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

De la Tabla 4 se comprueba que los paneles solares por si solos pueden suministrar la cantidad de corriente necesaria para el consumo de los equipos sin necesidad del almacenamiento de las baterías. Actualmente, la estación cuenta con un par de baterías de 50A cada una. por lo que el suministro de corriente para la estación se totaliza en 100A.

<b>capacidad</b>	<b>%</b>	<b>amperios [A]</b>
<b>consumidos</b>	66.12%	10.09
<b>disponible</b>	33.88%	5.17
<b>total</b>		<b>15.26</b>

Tabla 4. Consumo y disponibilidad de energía suministrada en la estación Piedra Azul.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Actualmente la estación consume aproximadamente 10.1 amperios. Para integrar un equipo para la transmisión de datos, es necesario aumentar **el número de baterías, y añadir un panel solar**. para que la carga de las baterías no disminuya durante el consumo y permitirá la recarga durante el día, manteniendo el funcionamiento habitual. Además, esto proporcionará un excedente de energía para cubrir un par de horas adicionales cuando no se tenga la luz solar.

### **3.4. Alternativa colocando una antena repetidora.**

Para establecer un radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul, se requiere la instalación de antenas repetidoras. Aunque la estación DOAS Ranchito parece ser el punto más cercano para instalar una repetidora, las irregularidades del terreno imposibilitan su utilización para este propósito de forma directa. En este apartado, se identifica el lugar óptimo para la instalación de una antena repetidora que actúe como intermediaria entre DOAS Piedra Azul y DOAS Ranchito, con el objetivo de transmitir la señal hasta la estación Pacayal y seguir la ruta de comunicación vista en la *Figura 28*.

La ubicación óptima para la instalación de una antena repetidora se encuentra en el municipio de San Miguel, con las siguientes coordenadas geográficas: 13° 24' 59.42"N, 88° 18' 24.15"O.

Esta elección se basa en el análisis del área de cobertura de transmisión de la estación DOAS Piedra Azul detallada en la *Figura 32*.

En la *Figura 37* proporciona información visual sobre la ubicación geográfica de esta repetidora y su cobertura respecto a las estaciones DOAS Piedra Azul y DOAS Ranchito. En este punto geográfico se espera obtener una buena intensidad de señal, evitando deficiencias en la transmisión de información.

La distancia de la antena Repetidor a la estación Piedra Azul es de 2.27 km, mientras la distancia de la antena Repetidor a DOAS Ranchito es de 2.79 km. Para las simulaciones se considera que las antenas tendrán una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo en el lugar de instalación. Además, se tomarán en cuenta las siguientes características; antenas Yagi-Uda con ganancias 10.5 dBi dirigida al punto del enlace de interés; potencia de transmisor de 30 dBm; Sensibilidad del receptor Rx -112 dBm; ancho de banda de 300 kHz a una frecuencia de operación de 400 MHz.

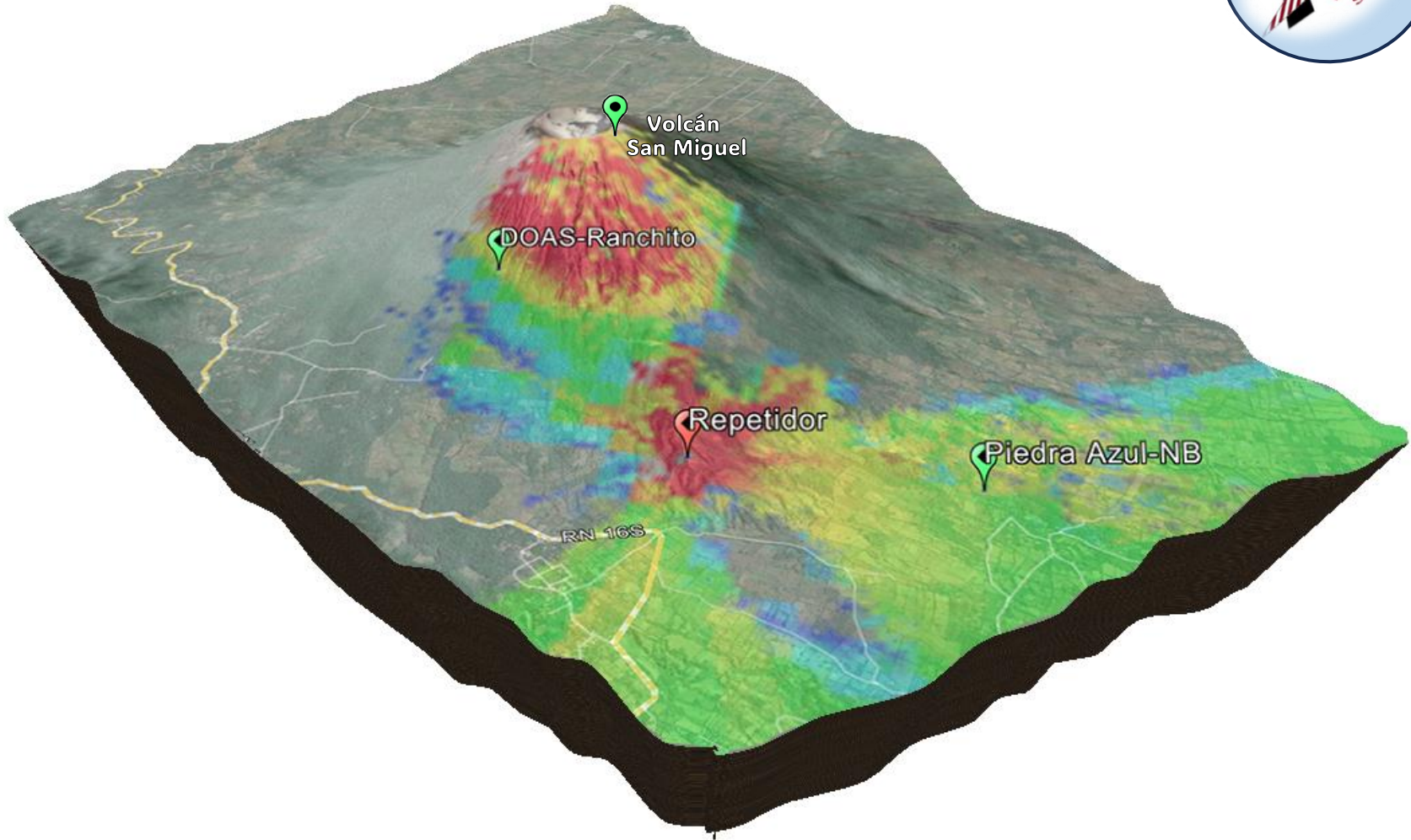
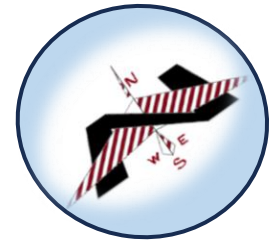


Figura 37. Cobertura vista desde el repetidor  
 Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.4.1. Simulación de enlace de radio, DOAS Piedra Azul y Repetidor

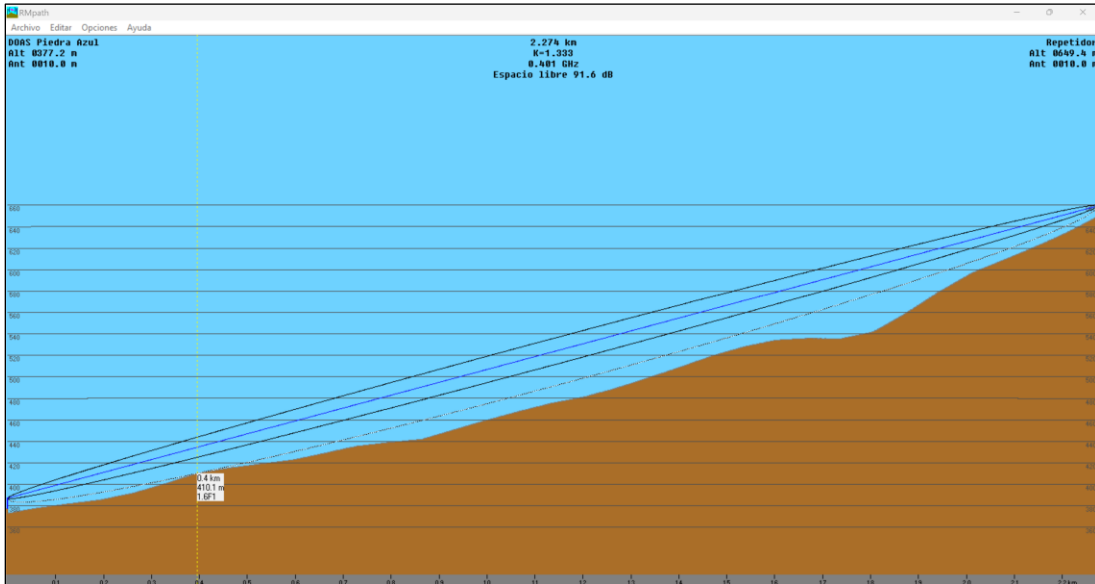


Figura 38. Enlace de Radio, estación Piedra Azul y antena Repetidor  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

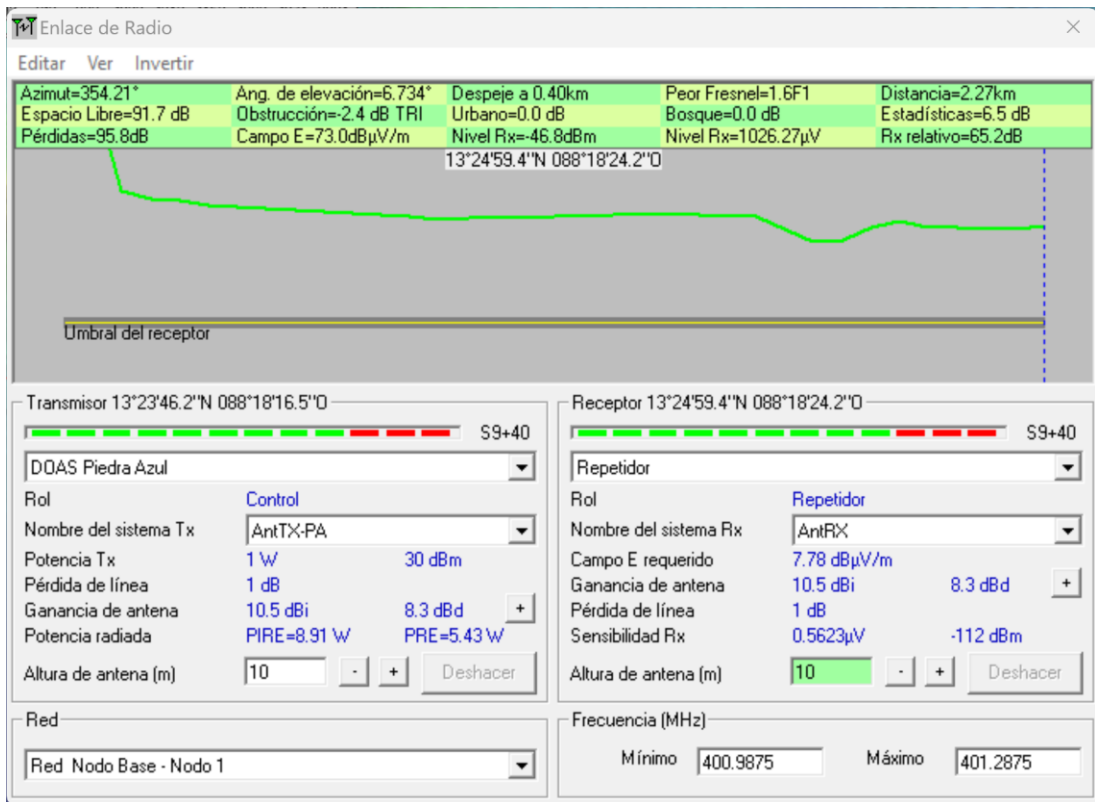


Figura 39. Umbral del receptor respecto a la antena Repetidor  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

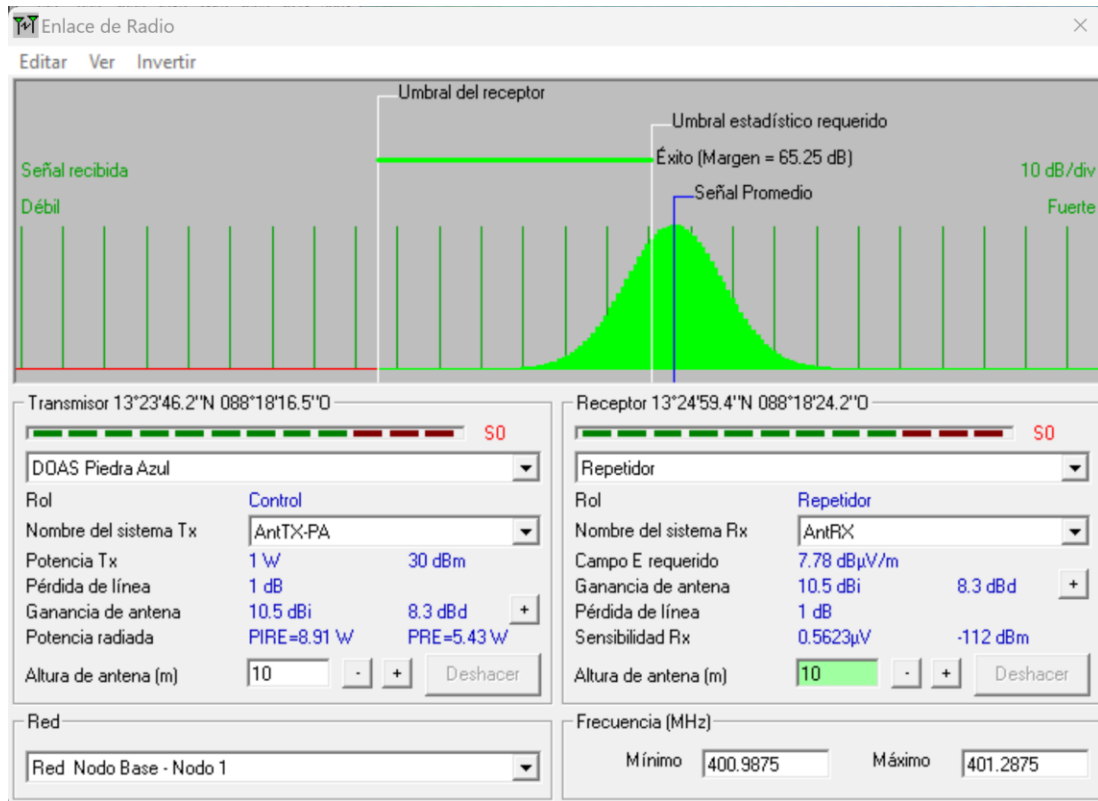


Figura 40. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor de la antena Repetidor  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

**Peor Fresnel:** su valor es de 1.6F1 lo que indica que la primera zona está completamente despejada y el 60% de la segunda zona de Fresnel también está libre. Este valor asegura una propagación de la señal sin interferencias significativas.

**Perdidas:** su valor es de 95.8 dB, hablando en términos generales, se considera que pérdidas de hasta 100 dB pueden ser manejables, en cuanto menores pérdidas, mejor será la calidad del enlace.

**Nivel de Recepción Rx:** su valor es de -46.8 dBm, lo cual es un valor bastante fuerte. La señal recibida es más potente que la sensibilidad del receptor Rx (-112 dBm), lo que indica un margen de señal robusta.

**Distancia y despeje:** la distancia entre estas dos antenas es de 2.27 km, y a pesar de no ser una distancia muy extensa, la presencia de obstáculos cercanos podría influir en el rendimiento del radioenlace. Sin embargo, el despeje se encuentra a 0.4 km, lo que hace más posible la gestión de las pérdidas de manera efectiva, lo que puede contribuir a mejorar la calidad de la conexión.

**Estadísticas y Recepción Relativa (Rx relativo):** las estadísticas muestran un valor de 6.5 dB, y la recepción relativa es de 65.2 dB. Ambos valores señalan una buena robustez de señal.

### 3.4.2. Simulación de enlace de radio, Repetidor y DOAS Ranchito

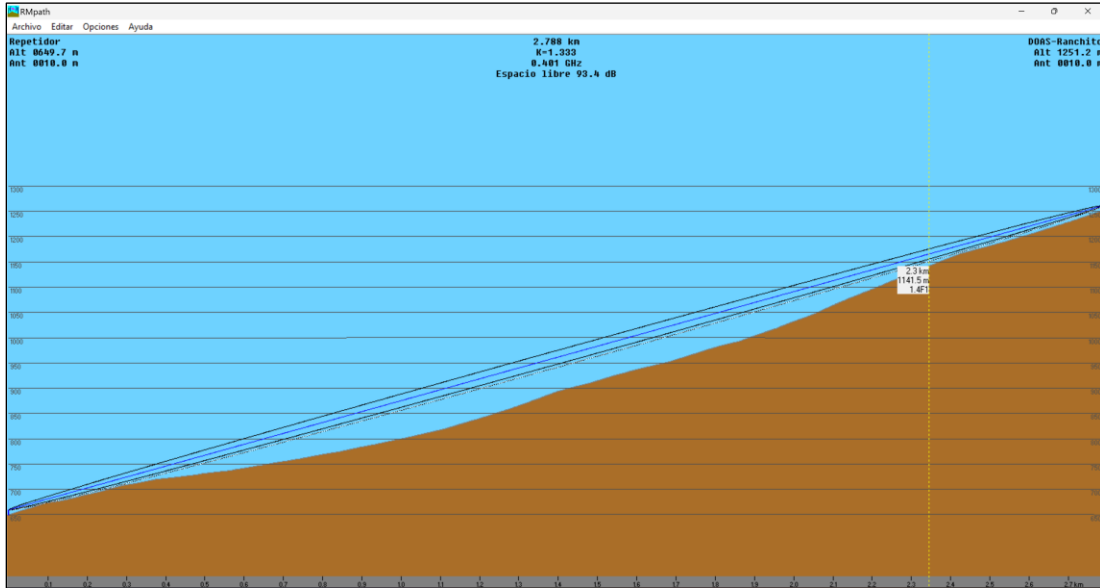


Figura 41. Enlace de radio, Repetidor y DOAS Ranchito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

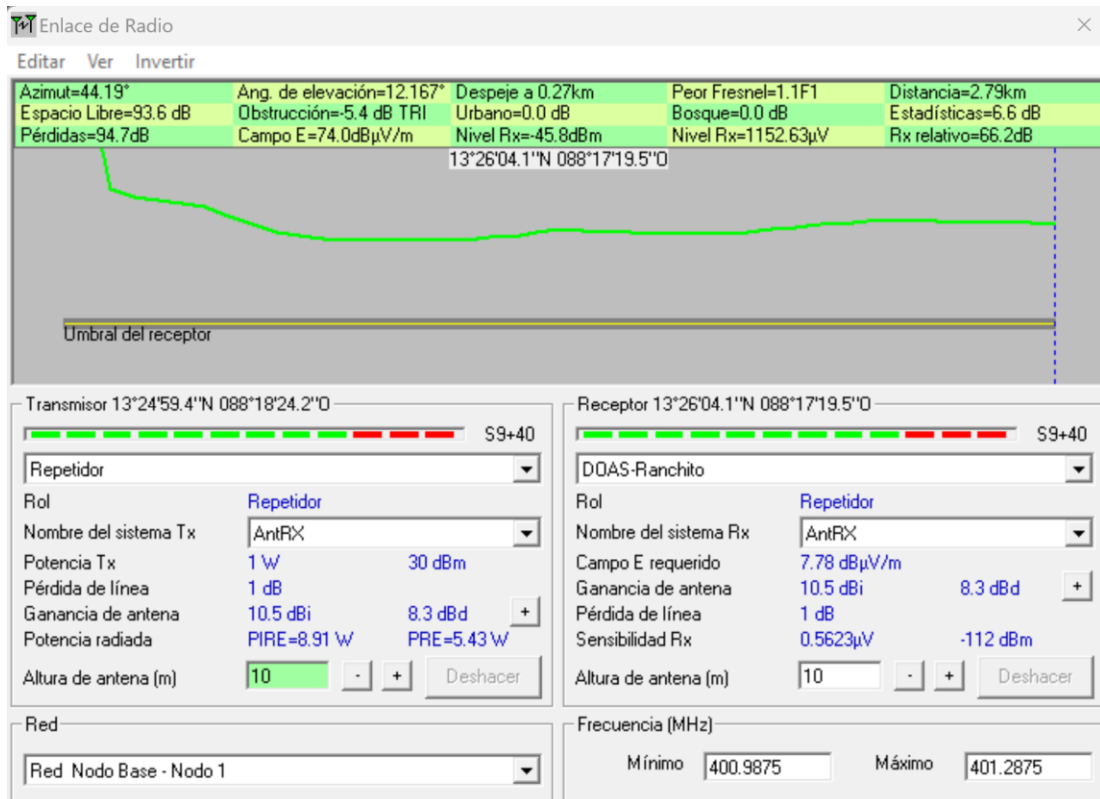


Figura 42. Umbral del receptor respecto a DOAS Ranchito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

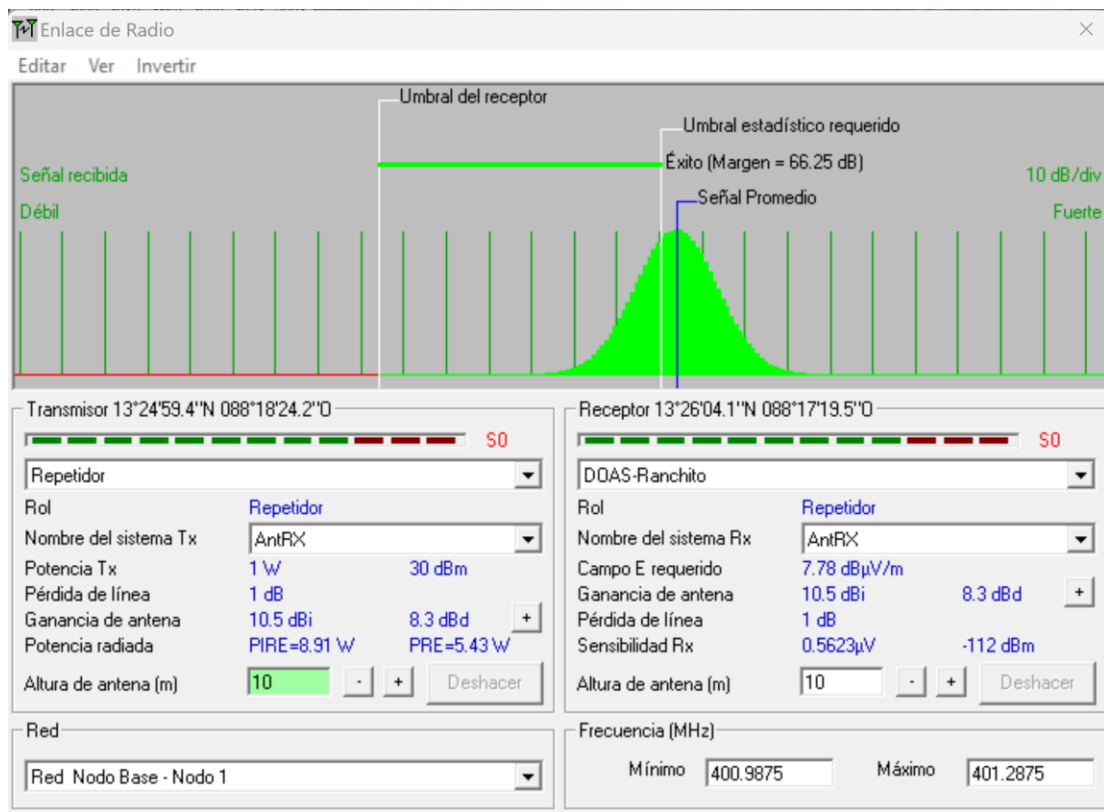


Figura 43. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor DOAS Ranchito.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

**Peor Fresnel:** su valor es de 1.1F1 lo que indica que la primera zona está completamente despejada y el 10% de la segunda zona de Fresnel también está libre. Este valor asegura una propagación de la señal sin interferencias significativas.

**Perdidas:** su valor es de 94.7 dB, hablando en términos generales, se considera que pérdidas de hasta 100 dB pueden ser manejables, en cuanto menores pérdidas, mejor será la calidad del enlace.

**Nivel de Recepción Rx:** su valor es de -45.8 dBm, lo cual es un valor bastante fuerte. La señal recibida es más potente que la sensibilidad del receptor Rx (-112 dBm), lo que indica un margen de señal robusta.

**Distancia y despeje:** la distancia entre estas dos antenas es de 2.29 km, y a pesar de no ser una distancia muy extensa, la presencia de obstáculos cercanos podría influir en el rendimiento del radioenlace. Sin embargo, el despeje se encuentra a 0.27 km, lo que hace más posible la gestión de las pérdidas de manera efectiva, lo que puede contribuir a mejorar la calidad de la conexión.

**Estadísticas y Recepción Relativa (Rx relativo):** las estadísticas muestran un valor de 6.6 dB, y la recepción relativa es de 66.2 dB. Ambos valores señalan una buena robustez de señal.

### 3.4.3. Simulación de enlace de radio, DOAS Ranchito y Pacayal

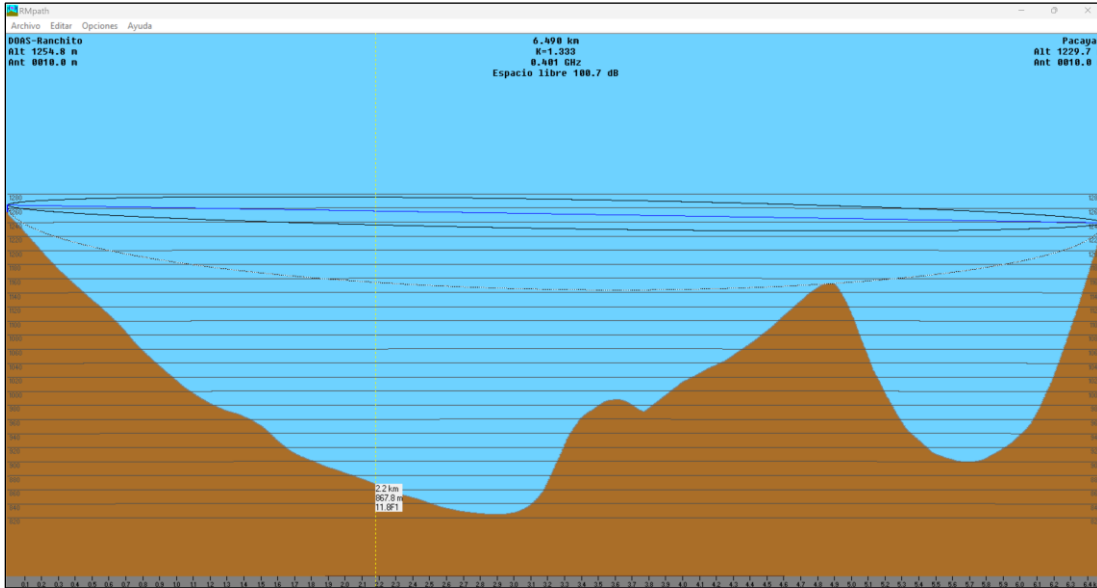


Figura 44. Enlace de radio, DOAS Ranchito y Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

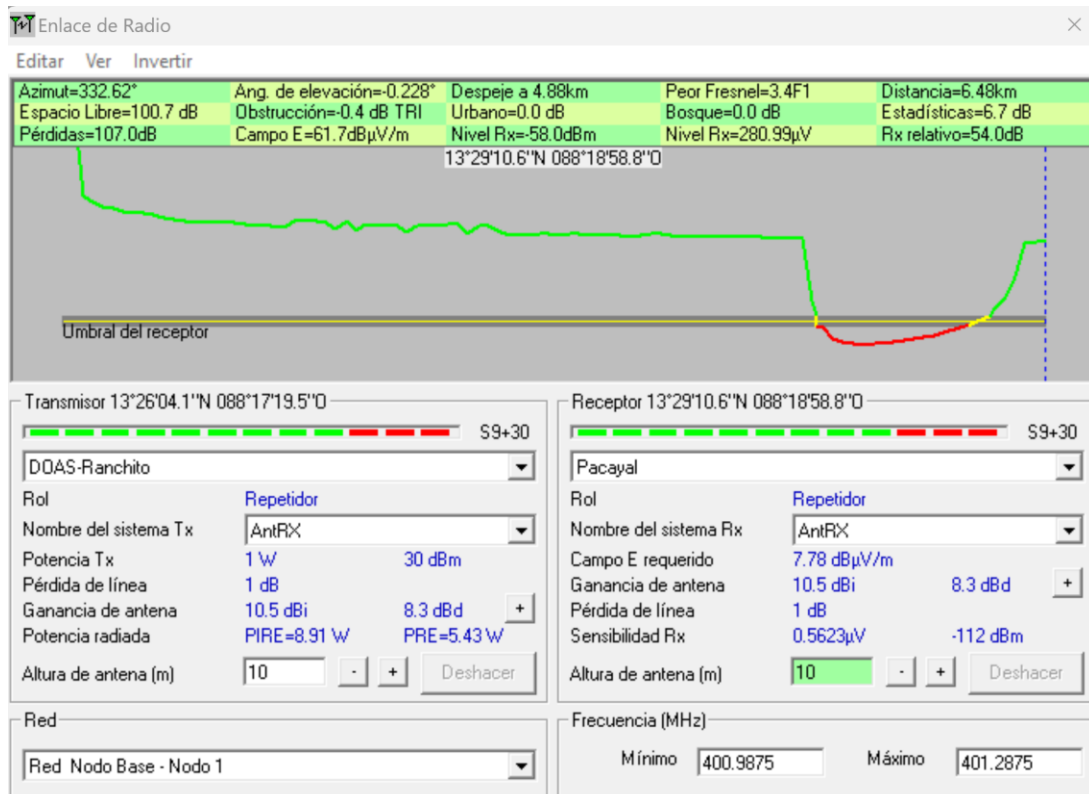


Figura 45. Umbral del receptor respecto a Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

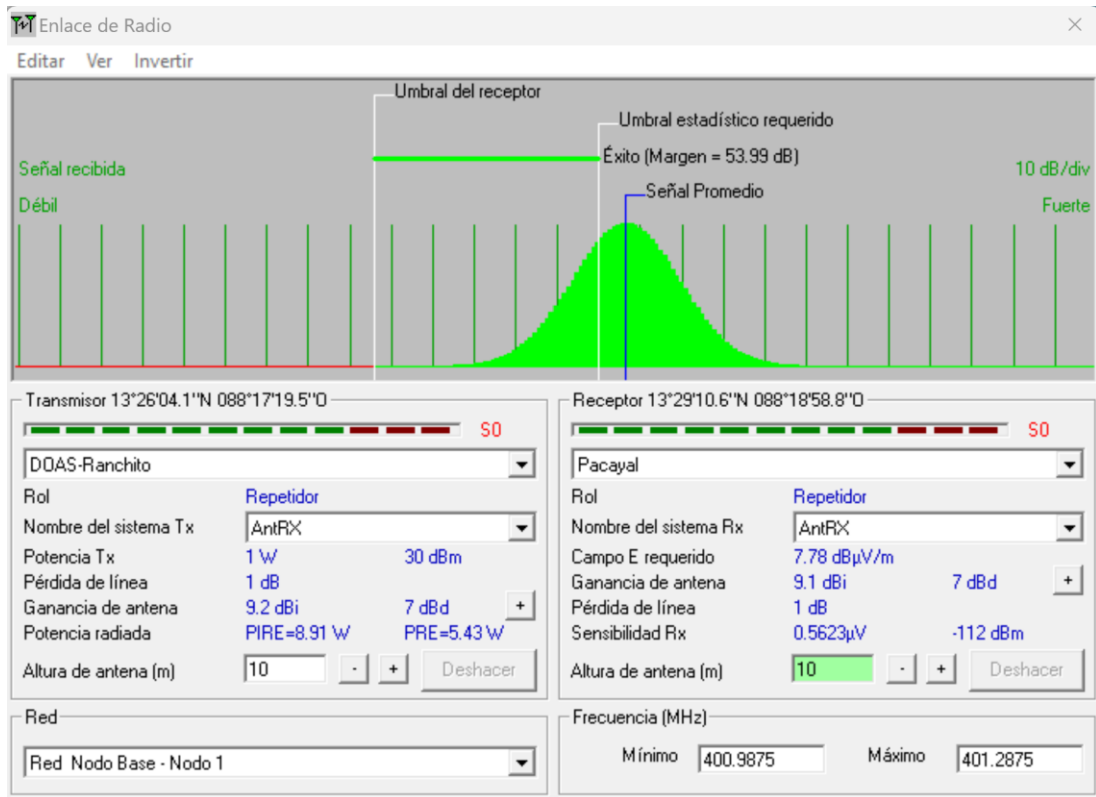


Figura 46. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor a Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

**Peor Fresnel:** su valor es de 3.4F1 lo que indica que la tercera zona está completamente despejada y el 40% de la cuarta zona de Fresnel también está libre. Este valor asegura una propagación de la señal sin interferencias significativas.

**Perdidas:** su valor es de 107.0 dB, hablando en términos generales, se considera que pérdidas de hasta 100 dB pueden ser manejables, en cuanto menores pérdidas, mejor será la calidad del enlace.

**Nivel de Recepción Rx:** su valor es de -58.0 dBm, lo cual es un valor bastante fuerte. La señal recibida es más potente que la sensibilidad del receptor Rx (-112 dBm), lo que indica un margen de señal robusta.

**Distancia y despeje:** la distancia entre estas dos antenas es de 6.48 km, y el despeje se encuentra a 4.88 km.

**Estadísticas y Recepción Relativa (Rx relativo):** las estadísticas muestran un valor de 6.7 dB, y la recepción relativa es de 54.0 dB. Ambos valores señalan una buena robustez de señal.

En la *Figura 47* ilustra la ruta del radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal.

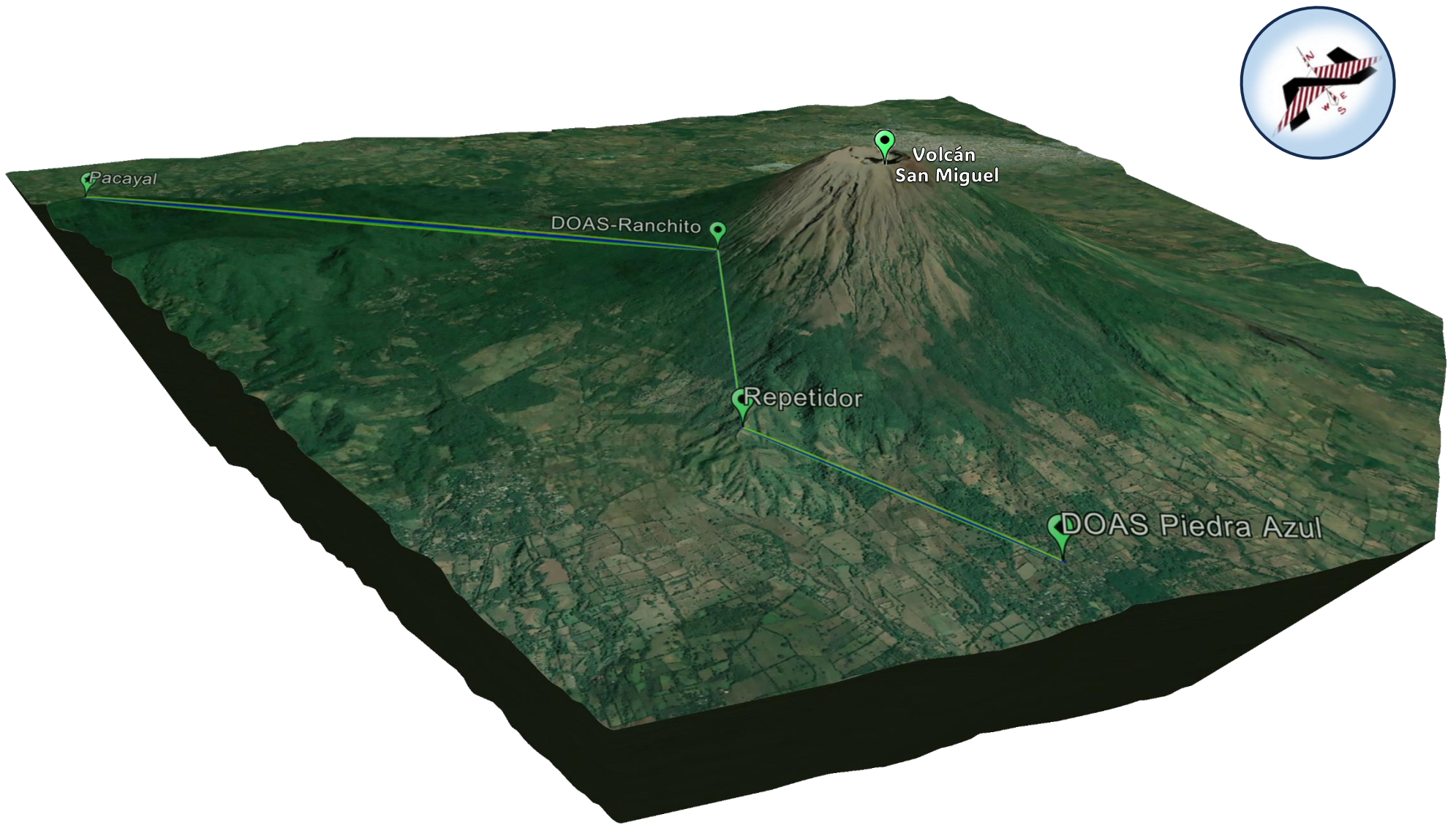


Figura 47. Ruta del radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Basándonos en los resultados, el radioenlace entre estos dos puntos es robusto y eficaz. Si se utilizan equipos que trabajen a una frecuencia de 400 MHz y características dadas, es posible un radioenlace sin problema.

El resultado final refleja una correcta conectividad de los datos transmitido por la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal.

#### **3.4.4. Consideraciones de Costo usando la antena Repetidor.**

Para la alternativa propuesta se necesitan los requerimientos siguientes.

##### **▪ Estación Piedra Azul**

Se necesita una torre de 10 metros de material galvanizado con sus tensores.

1 radio transmisor de frecuencia de 400Mhz

1 antena directiva con su cable y conectores

1 panel solar

1 batería de 12V a 50A

15 metros de cables TSJ 12/3

##### **▪ Estación Repetidora**

Se necesita una torre de 10 metros de material galvanizado con sus tensores.

Se necesita una estructura de hierro para los paneles solares.

1 caseta para la estación.

1 panel solar

15 metros de cables TSJ 12/3

1 radio repetidor de frecuencia de 400Mhz

2 antenas direccionales con sus cables y conectores

2 batería de 12V a 50A

##### **▪ Estación El ranchito**

Se necesita una torre de 10 metros de material galvanizado con sus tensores.

1 radio repetidor de frecuencia de 400Mhz

2 antena directiva con sus cables y conectores

1 panel solar

1 batería de 12V a 50A

15 metros de cables TSJ 12/3

- **Estación Pacayal**

1 antena directiva con su cable y conectores.

Para las torres de 10 metros de altura, deben contar con una estructura metálica del tipo torre z-30, incluyendo polines triangulares soldados a la estructura principal.

La proyección de costos abarca únicamente los materiales y no incluye mano de obra. La naturaleza del trabajo puede requerir cambios en los materiales previstos. Es posible que, al optar por esta alternativa a medidas que avanza el proyecto, surjan necesidades de materiales adicionales o de un tipo diferente a los mencionados en esa lista. Por esta razón, no se mencionan equipos específicos ni marcas; simplemente, se realizará una estimación de costos para evaluar la situación.



*Figura 48. Ejemplo de torre de diseño.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)*

DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD POR ESTACION	MEDIDA	TOTAL 3 ESTACIONES	TOTAL, US\$
SENSOR GALVANIZADO 1/2 PLG	\$ 6.95	15	UNIDAD	45	\$ 312.75
Torreta Tramo Intermedio 360mm Zinc (3m)	\$ 537.44	3	UNIDAD	9	\$ 4,836.96
Torreta Tramo Superior 360mm Zinc (3m)	\$ 481.85	1	UNIDAD	3	\$ 1,445.55
BASE FIJA PARA TORRETAS 360 TELEVES	\$ 210.02	1	UNIDAD	3	\$ 630.06
Pararrayo sintético 21 kV sin herraje	\$ 90.00	1	UNIDAD	3	\$ 270.00
ARGOLLA U GALVANIZADA 5/16 X 2 X 3-1/4 PLG	\$ 1.95	3	UNIDAD	9	\$ 17.55
PERNO CABEZA HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE 1/2 X 4 PLG	\$ 3.10	15	UNIDAD	45	\$ 139.50
Lámina de hierro negro calibre 2.38mm	\$ 55.00	2	UNIDAD	6	\$ 330.00
TUERCA HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE 1/2 PLG	\$ 0.89	15	UNIDAD	45	\$ 40.05
BARRA COPPERWELD 5/8X8	\$ 9.00	3	UNIDAD	9	\$ 81.00
MALLA CICLON CALIBRE 9 2 3/4 X72 PLG GALVANIZADO	\$ 9.75	80	YARDA	240	\$ 2,340.00
CEMENTO MAESTRO ALBAÑILERIA GRIS 93.5 LB HOLCIM	\$ 7.90	4	UNIDAD	12	\$ 94.80
ARENA	\$ 33.75	4	METRO CUBICO	12	\$ 405.00
RADIO SATLINK	\$ 6,000.00	1	UNIDAD	3	\$ 18,000.00
Antena Yagi 400 a 470MHz 10E 9.5-12dBi	\$ 40.24	2	UNIDAD	6	\$ 241.44
baterias	\$ 70.00	2	UNIDAD	6	\$ 420.00
CABLE TSJ 12-3 CONEXIÓN INDUSTRIA NEGRO CORTE	\$ 2.25	15	metro	45	\$ 101.25
BLOQUE ENTERO 10X20X40 CM 19 LIBRAS	\$ 0.50	100	UNIDAD	100	\$ 50.00
LÁMINA TROQUELADA TECHO ALUMINIO CALIBRE 26 (0.40MM) 2.00 M ZINTROALUM	\$ 13.90	2	UNIDAD	2	\$ 27.80
Panel Solar TRINA SOLAR Vertex 495W – Monocristalino	\$ 337.87	1	UNIDAD	3	\$ 1,013.61
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 30,797.32</b>

Tabla 5. Estimación de costos utilizando una antena repetidora como alternativa  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Para la torreta de telecomunicaciones serán 3 secciones intermedias de 360mm de zinc y 1 torreta de tramo superior.

### 3.5. Alternativa usando la estación Caballito como repetidora.

La estrategia es utilizar la estación Caballito como repetidora para dirigir la señal hacia el Pacayal y posterior mente seguir la ruta ya establecida por el MARN. La estación Caballito es propiedad del MARN siendo una estación sismológica equipada con un acelerógrafo Fortimus y un sismógrafo, lo que le permite monitorear y registrar eventos sísmicos para el análisis y la investigación en el campo de sismología. Esta estación está ubicada en el departamento de Usulután municipio de Jucuarán y en la *Figura 49* se encuentra la ubicación geográfica de la estación Caballito: 13°12'56.70"N, 88°13'42.00"O.

La distancia desde la estación DOAS Piedra Azul hasta la estación Caballito es de 21.268 km, para este análisis se considera que las antenas tendrán una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo en el lugar de instalación. Además, se tomarán en cuenta las siguientes características; antenas Yagi-Uda con ganancias 10.5 dBi dirigida al punto del enlace de interés; potencia de transmisor de 30 dBm; Sensibilidad del receptor Rx -112 dBm; ancho de banda de 300 kHz; a una frecuencia de operación de 400 MHz.

#### 3.5.1. Simulación de enlace de radio, DOAS Piedra Azul y Caballito

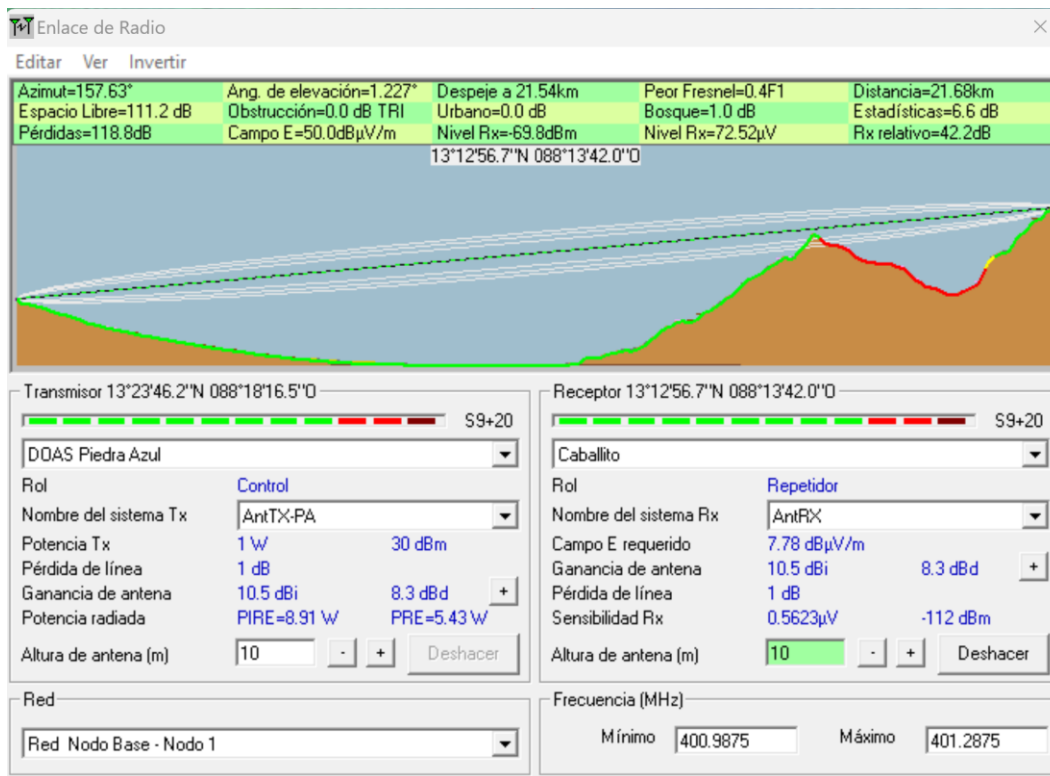


Figura 49. Enlace de radio, DOAS Piedra Azul y Caballito.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

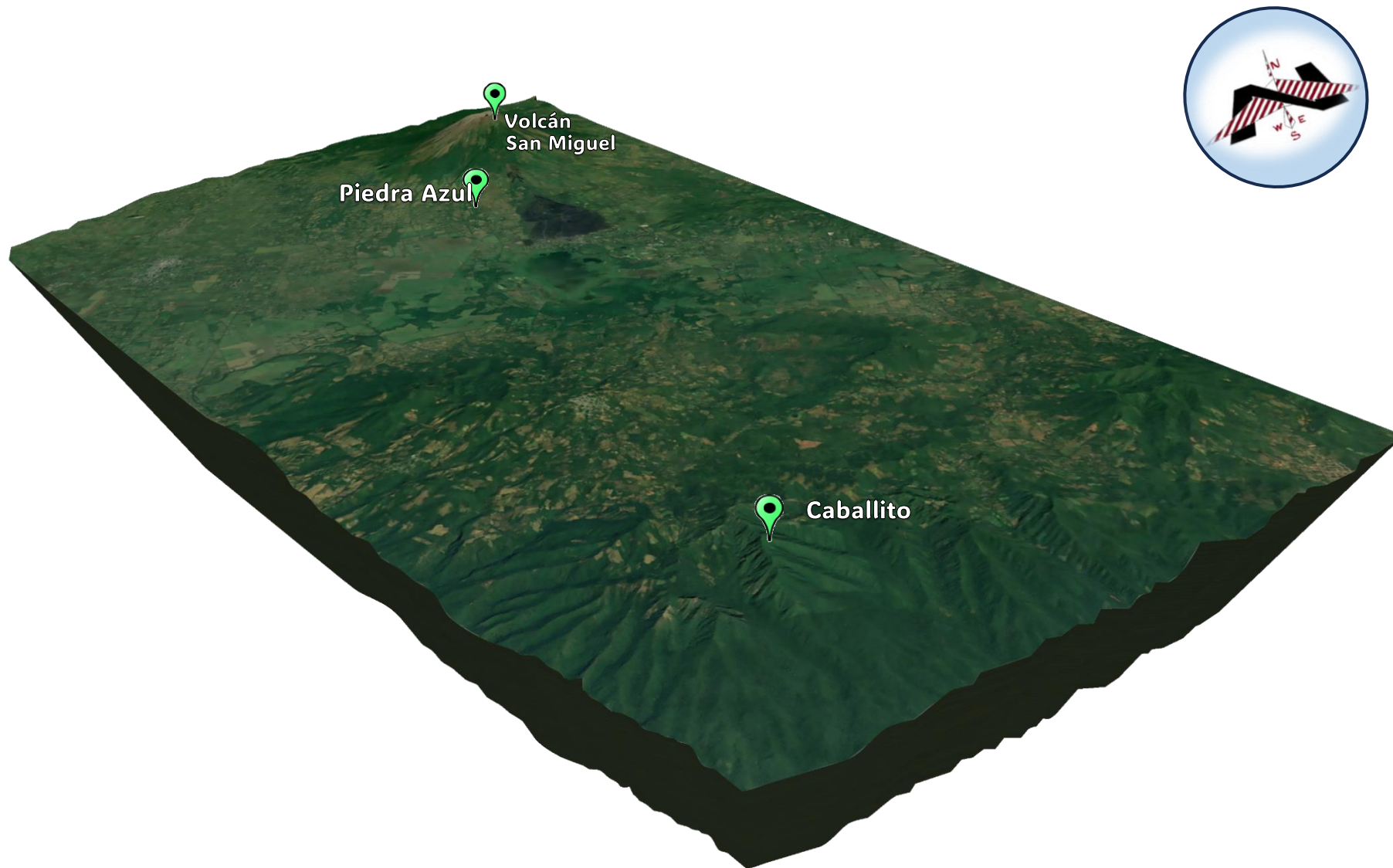


Figura 50. Ubicación geográfica de las estaciones DOAS Piedra Azul y Caballito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

## Resultados de la simulación

**Peor Fresnel:** su valor es de 0.4F1 lo que indica que el 40% de la primera zona de Fresnel está despejada. Se establece como criterio para enlaces entre dos puntos que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel no debe de estar obstruida para mejorar la calidad de la señal transmitida.

**Perdidas:** su valor es de 118.8 dB, hablando en términos generales, se considera que pérdidas de hasta 100 dB pueden ser manejables, en cuanto menores pérdidas, mejor será la calidad del enlace. El valor obtenido no presenta problemas significativos que impidan la recepción de la señal.

**Nivel de Recepción Rx:** su valor es de -69.8 dBm, superando el umbral del receptor Rx (-112 dBm). Lo que confirma que la señal es lo suficientemente fuerte para ser detectada y procesada de manera eficiente por el equipo receptor.

**Distancia y despeje:** la distancia entre estas dos antenas es de 21.68 km, y el despeje se encuentra a 21.54 km.

**Estadísticas y Recepción Relativa (Rx relativo):** las estadísticas muestran un valor de 6.6 dB, y la recepción relativa es de 42.2 dB. Ambos valores señalan una buena robustez de señal.

Con este resultado, podemos concluir que el radioenlace entre estos dos puntos es posible. No obstante, para lograr una mejor calidad de señal, se recomienda reducir las pérdidas, el nivel de recepción RX y garantizar que, al menos, el 60% de la primera zona de Fresnel esté despejada.

Para disminuir las pérdidas se recomienda utilizar equipos de calidad, mejorar la ganancia de las antenas, utilizar cables de baja pérdida para minimizar las pérdidas en la transmisión de la señal entre la antena y el equipo, mejorar la zona de Fresnel, utilizar frecuencias menos congestionadas.

Para obtener mejor un valor de nivel de recepción RX que -69.8 dBm, es recomendable aumentar la ganancia de la antena (dBi).

Para asegurarse que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel este despejada. se pueden considerar dos opciones: incrementar la frecuencia o ajustar las alturas de las antenas.

Para el siguiente análisis, se considera elevar la altura de la antena a 15 metros en la estación Caballito. Este ajuste representa un cambio respecto a las características proporcionadas al inicio de esta sección.

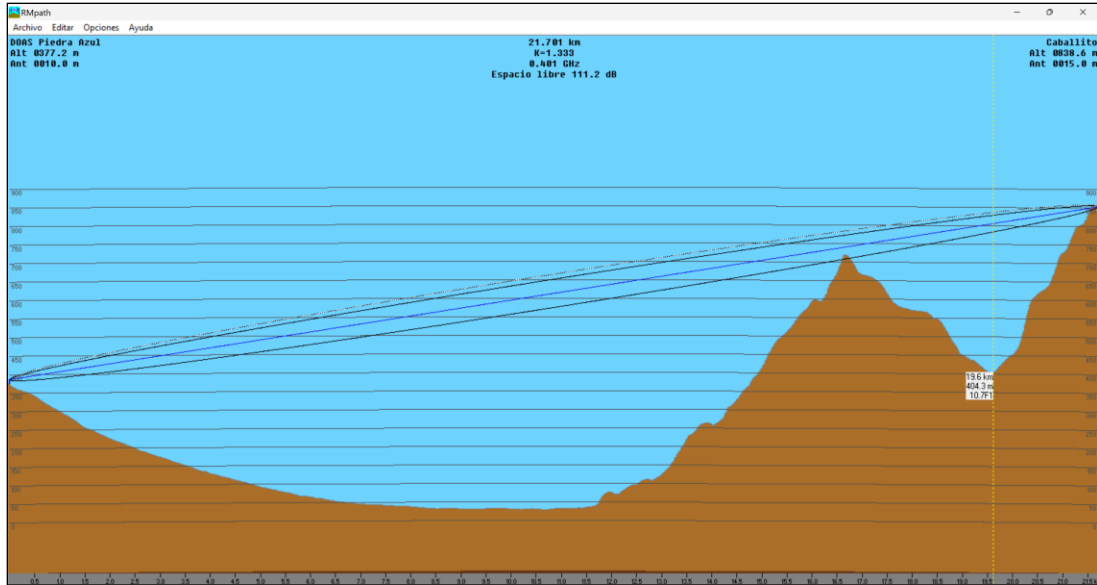


Figura 51. Radioenlace DOAS Piedra Azul y Caballito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

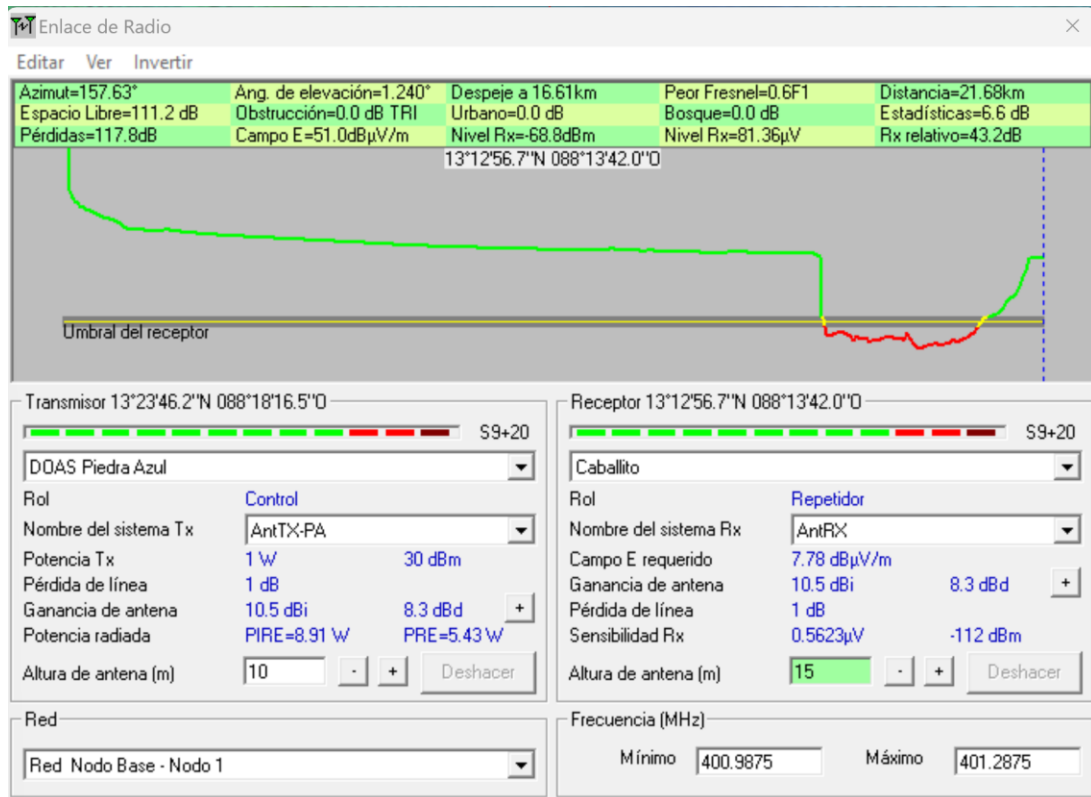


Figura 52. Resultado del radioenlace DOAS Piedra Azul y Caballito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

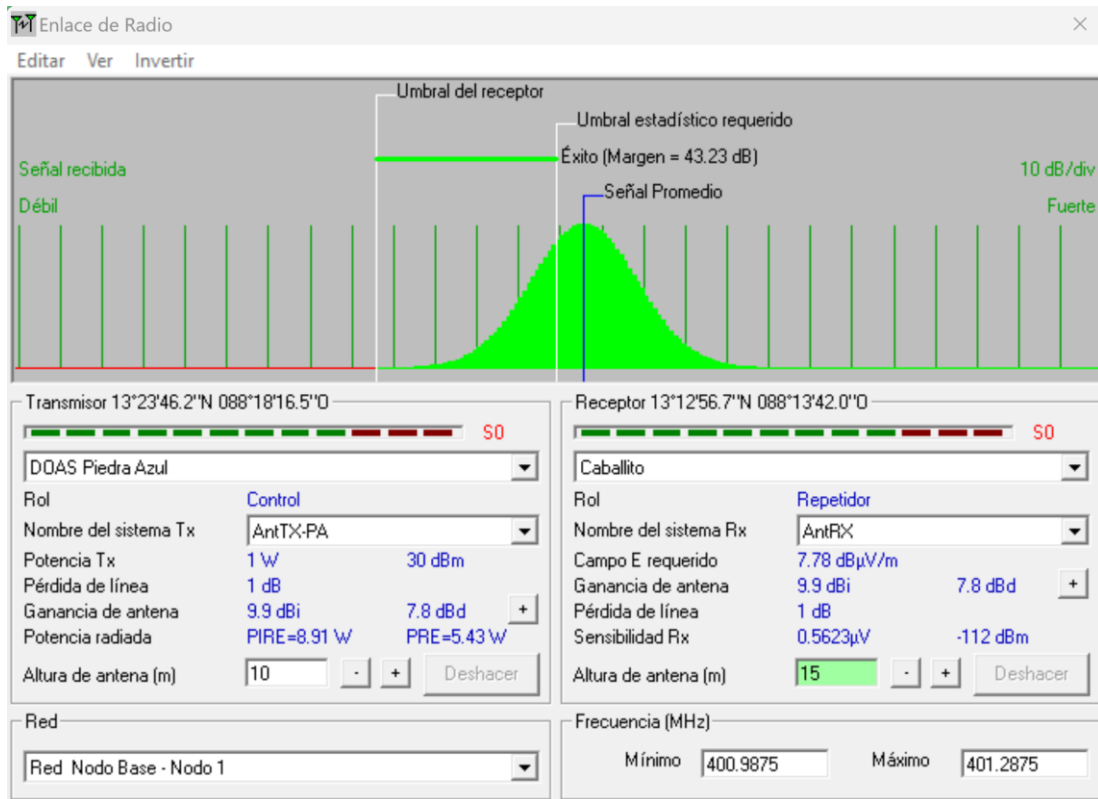


Figura 53. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor a Caballito  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

**Peor Fresnel:** su valor es de 0.6F1 lo que indica que la primera zona de Fresnel está liberada un 60%. Este valor asegura a un más una propagación de la señal respecto al valor 0.4F1.

**Perdidas:** su valor es de 117.8 dB, hablando en términos generales, se considera que pérdidas de hasta 100 dB pueden ser manejables, en cuanto menores pérdidas, mejor será la calidad del enlace.

**Nivel de Recepción Rx:** su valor es de -68.8 dBm, lo cual es un valor bastante fuerte. La señal recibida es más potente que la sensibilidad del receptor Rx (-112 dBm), lo que indica un margen de señal robusta.

**Distancia y despeje:** la distancia entre estas dos antenas es de 21.68 km, y el despeje se encuentra a 16.61 km.

**Estadísticas y Recepción Relativa (Rx relativo):** las estadísticas muestran un valor de 6.6 dB, y la recepción relativa es de 43.2 dB. Ambos valores señalan una buena robustez de señal.

### 3.5.2. Simulación de enlace de radio, Caballito y Pacayal

La distancia desde la estación Caballito hasta el Pacayal es de 31.53 km. Para este análisis se considera que las antenas tendrán una altura de 10 metros en Caballito y 15 metros en el Pacayal sobre el nivel del suelo. Siguiendo las mismas características del equipo proporcionadas al inicio de esta sección.

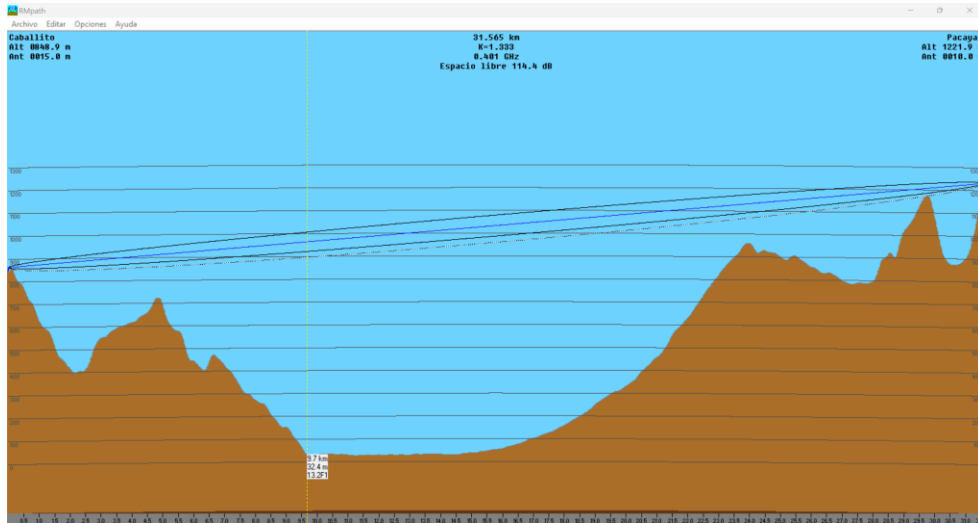


Figura 54. Enlace de radio, Caballito y Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

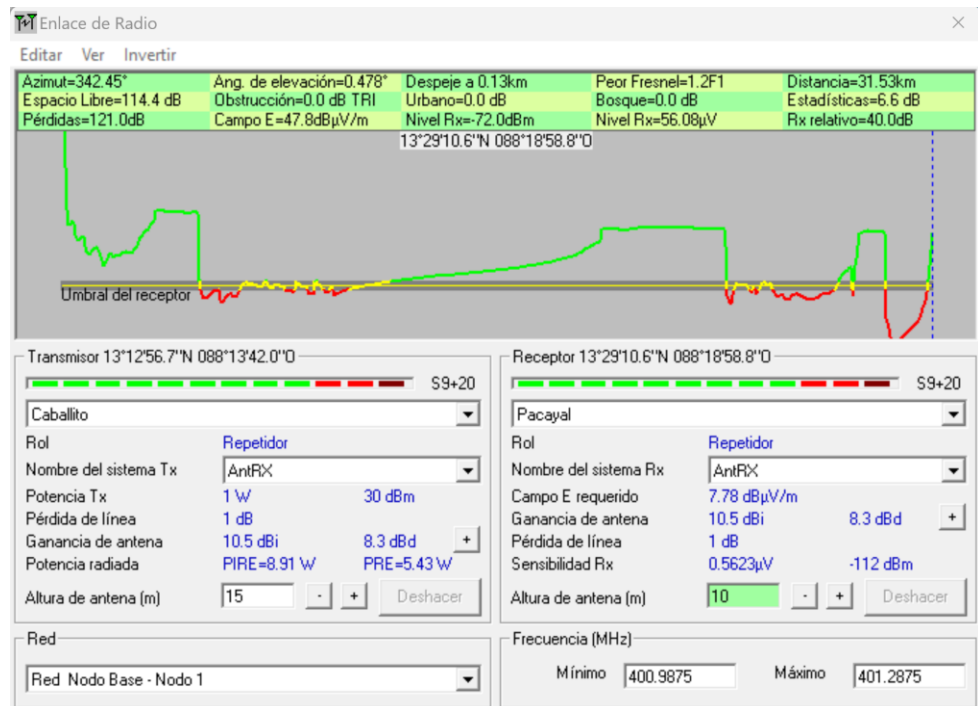


Figura 55. Umbral del receptor respecto a Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

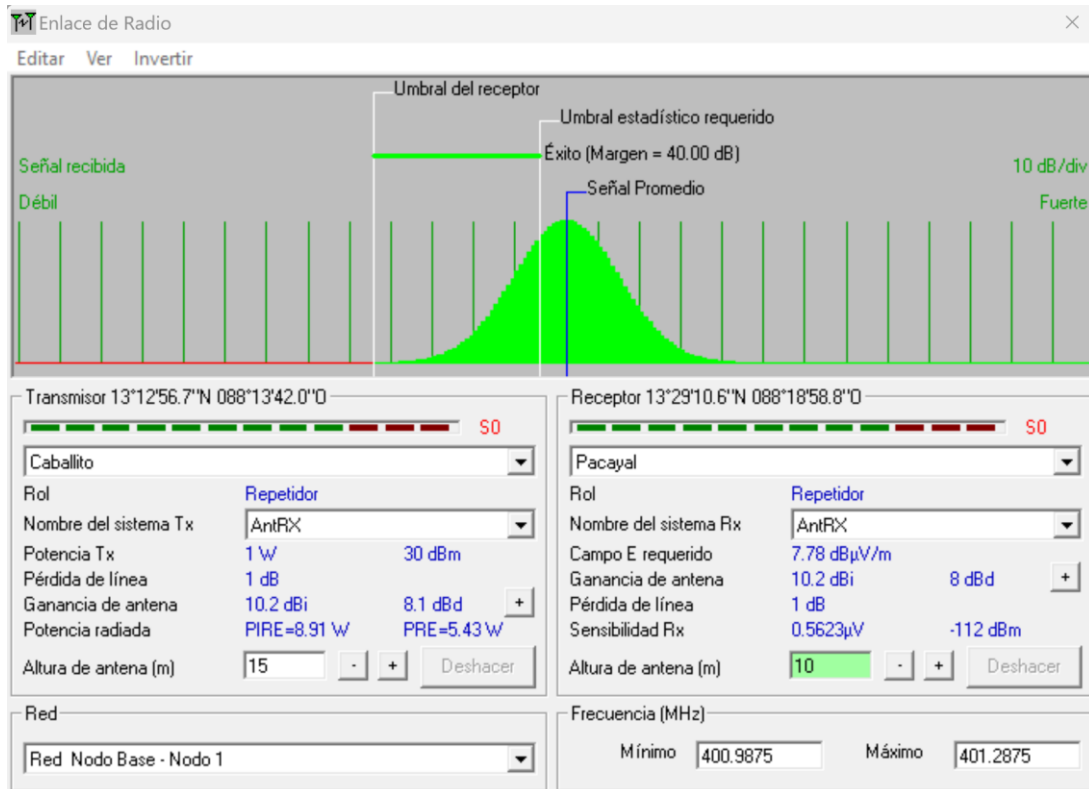


Figura 56. Margen de señal (Rx Relativo) y sensibilidad del receptor a Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

**Peor Fresnel:** su valor es de 1.2F1 lo que indica que la primera zona está completamente despejada y el 20% de la segunda zona de Fresnel también está libre. Este valor asegura una propagación de la señal sin interferencias significativas.

**Perdidas:** su valor es de 121.0 dB, hablando en términos generales, se considera que pérdidas de hasta 100 dB pueden ser manejables, en cuanto menores pérdidas, mejor será la calidad del enlace.

**Nivel de Recepción Rx:** su valor es de -72.0 dBm, lo cual es un valor bastante fuerte. La señal recibida es más potente que la sensibilidad del receptor Rx (-112 dBm), lo que indica un margen de señal.

**Distancia y despeje:** la distancia entre estas dos antenas es de 31.53 km, y el despeje se encuentra a 0.13 km.

**Estadísticas y Recepción Relativa (Rx relativo):** las estadísticas muestran un valor de 6.6 dB, y la recepción relativa es de 40.0 dB. Ambos valores señalan una buena robustez de señal.

En la Figura 57 ilustra la ruta del radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul hasta Pacayal.

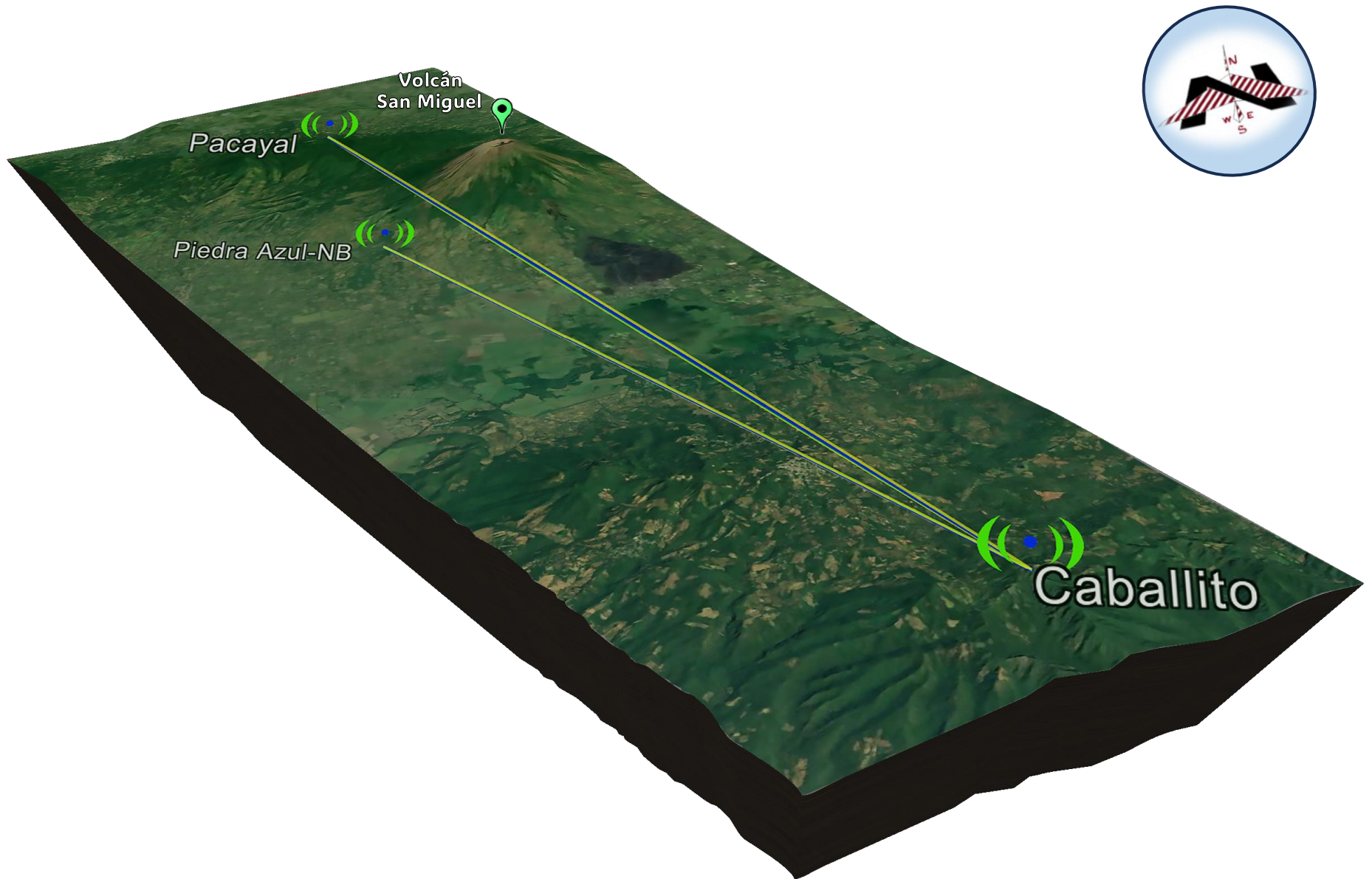


Figura 57. Ruta del radioenlace desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Basándonos en los resultados de estas simulaciones, el radioenlace entre estos tres puntos es posible. Especialmente al emplear equipos que operen a una frecuencia de 400 MHz o superior, y con las características dadas.

El resultado final refleja una correcta conectividad de los datos transmitido por la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal.

### **3.5.3. Consideraciones de Costo usando la estación Caballito como repetidora.**

Para la alternativa propuesta se necesitan los requerimientos siguientes.

#### **▪ Estación Piedra Azul**

Se necesita una torre de 10 metros de material galvanizado con sus tensores.

1 radio transmisor de frecuencia de 400Mhz

1 antena directiva con su cable y conectores

1 panel solar

1 batería de 12V a 50A

15 metros de cables TSJ 12/3

#### **▪ Estación Caballito**

Se necesita una torre de 15 metros de material galvanizado con sus tensores.

Se necesita una estructura de hierro para los paneles solares.

1 panel solar

1 radio repetidor de frecuencia de 400Mhz

2 antenas direccionales con sus cables y conectores

15 metros de cables TSJ 12/3

1 batería de 12V a 50A

#### **▪ Estación Pacayal**

1 antena directiva con su cable y conectores

Para las torres de 15 metros de altura, deben contar con una estructura metálica del tipo torre z-30, incluyendo polines triangulares soldados a la estructura principal.

La proyección de costos abarca únicamente los materiales y no incluye mano de obra. La naturaleza del trabajo puede requerir cambios en los materiales previstos. Es posible que, al optar por esta alternativa a medidas que avanza el proyecto, surjan necesidades de materiales adicionales o de un tipo diferente a los mencionados en esa lista. Por esta razón, no se mencionan equipos específicos ni marcas; simplemente, se realizará una estimación de costos para evaluar la situación.

DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD POR ESTACION	MEDIDA	TOTAL
TENSOR GALVANIZADO 1/2 PLG	\$ 6.95	15	UNIDAD	\$ 104.25
Torreta Tramo Intermedio 360mm Zinc (3m)	\$ 537.44	3	UNIDAD	\$ 1,612.32
Torreta Tramo Superior 360mm Zinc (3m)	\$ 481.85	1	UNIDAD	\$ 481.85
BASE FIJA PARA TORRETAS 360 TELEVES	\$ 210.02	1	UNIDAD	\$ 210.02
Pararrayo sintético 21 kV sin herraje	\$ 90.00	1	UNIDAD	\$ 90.00
ARGOLLA U GALVANIZADA 5/16 X 2 X 3-1/4 PLG	\$ 1.95	3	UNIDAD	\$ 5.85
PERNO CABEZA HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE 1/2 X 4 PLG	\$ 3.10	15	UNIDAD	\$ 46.50
Lámina de hierro negro calibre 2.38mm	\$ 55.00	2	UNIDAD	\$ 110.00
TUERCA HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE 1/2 PLG	\$ 0.89	15	UNIDAD	\$ 13.35
BARRA COPPERWELD 5/8X8	\$ 9.00	3	UNIDAD	\$ 27.00
MALLA CICLON CALIBRE 9 2 3/4 X72 PLG GALVANIZADO	\$ 9.75	80	YARDA	\$ 780.00
CEMENTO MAESTRO ALBAÑILERIA GRIS 93.5 LB HOLCIM	\$ 7.90	4	UNIDAD	\$ 31.60
ARENA	\$ 33.75	4	METRO CUBICO	\$ 135.00
RADIO SATLINK	\$ 6,000.00	1	UNIDAD	\$ 6,000.00
Antena Yagi 400 a 470MHz 10E 9.5-12dBi	\$ 40.24	2	UNIDAD	\$ 80.48
baterias	\$ 70.00	2	UNIDAD	\$ 140.00
CABLE TSJ 12-3 CONEXIÓN INDUSTRIA NEGRO CORTE	\$ 2.25	15	metro	\$ 33.75
BLOQUE ENTERO 10X20X40 CM 19 LIBRAS	\$ 0.50	100	UNIDAD	\$ 50.00
LÁMINA TROQUELADA TECHO ALUMINIO CALIBRE 26 (0.40MM) 2.00 M ZINTROALUM	\$ 13.90	2	UNIDAD	\$ 27.80
Panel Solar TRINA SOLAR Vertex 495W – Monocristalino	\$ 337.87	1	UNIDAD	\$ 337.87
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 10,317.64</b>

Tabla 6. Estimación de costos utilizando la estación Caballito como repetidor  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### **3.6. Alternativa usando internet satelital.**

Esta alternativa busca aprovechar el servicio satelital que ofrece STARLINK para establecer una conexión a internet en este lugar remoto, específicamente en la estación DOAS Piedra Azul. Esto permitirá la comunicación con los equipos de medición de la estación sin importar que tan apartada sea su ubicación.

#### **3.6.1. STARLINK – Servicio Estándar**

El servicio estándar de STARLINK es un plan para soluciones de ubicación fija, las características principales de este plan es que es un internet de alta velocidad y baja latencia con datos limitados.

El Kit STARLINK incluye: equipo STARLINK, base, enrutador, cable STARLINK (50 pies), cable de CA (6 pies) y es todo lo que se necesita para conectarse. Las especificaciones de este producto lo encontrar en el anexo

#### **3.6.2. Estación DOAS Piedra Azul con STARLINK – Servicio Estándar**

Para hacer uso de esta alternativa es necesario acoplar con los equipos necesarios para que podamos acceder a los datos generados por la estación Piedra Azul y extraerlos de forma remota usando el plan estándar de STARLINK, para ello haremos uso de los siguientes equipos y herramientas:

- **Equipo de conexión:**

Computadora (CPU) sin monitor, junto con una tarjeta WIFI para la conectividad inalámbrica al servicio satelital. Con esta computadora se conectará directamente por medio de un cable Ethernet a la computadora del instrumento NOVAC.

- **Suministro de Energía:**

Tanto la computadora como el enrutador del servicio STARLINK se alimentan por medio de corriente alterna, por lo que se requeriría de un inversor de corriente continua a alterna el cual estará conectado de forma directa al banco de baterías.

- **Optimización del consumo de energía:**

Programar la computadora para encender y apagarse automáticamente de la misma manera de cómo se apaga y se enciende el instrumento NOVAC para optimizar la energía eléctrica.

### Conexión de forma remota:

Para conectarnos de forma remota se recomienda utilizar la aplicación TeamViewer. Para lograr esta conexión es necesario instalar la aplicación en la computadora de la estación DOAS Piedra Azul y en la computadora la cual tendrán los permisos para conectarse de forma remota.

Todo los equipos y herramientas para la realización de esta alternativa están señaladas en el anexo.

### 3.6.3. Consideraciones de costo usando STARLINK

De acuerdo con el cuadro de carga de la estación en piedra azul, el consumo de baterías se presenta de la siguiente manera al agregar el equipo STARLINK:

CUADRO DE CARGA DE LA ESTACIÓN PIEDRA AZUL				
	amperios consumidos A	coeficiente utilización kU	amperios consumidos A	amperios totales A
GPS	7.8	0.8	6.24	11.69
Ordenador	2	0.8	1.6	
espectrómetro	2.5	0.9	2.25	
Kit STARINK	1	0.8	0.8	
Computadora con tarjeta wifi	1	0.8	0.8	

Tabla 7. Cuadro de carga de la estación Piedra Azul, muestra la incorporación de equipos para la comunicación mediante STARLINK

Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

De la computadora puede ser un equipo de bajo consumo debido a que solo servirá de enlace para la comunicación de datos, por lo que puede ser una computadora económica. Al agregar un equipo adicional, de servicio de internet el consumo llega a los 11.69A, manteniendo un amperaje neto disponible de las baterías actuales de 48Ah, de lo cual en la siguiente tabla se presenta el consumo en Ah de la estación con las baterías disponibles:

	Ah	consumo total Ah
Espectrómetro	0.25	11.25
GPS	7	
Ordenador	2	
Kit STARINK	1	
Computadora con tarjeta wifi	1	

Tabla 8. Cuadro de consumo en Ah

Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Por lo que la estación DOAS piedra azul se mantendría funcionando hasta 3 horas pasadas las 5 de la tarde, es decir hasta las 8 p.m. aproximadamente de acuerdo con el estado de las baterías, por lo que si se desea un aumento de duración de las baterías y por tanto la transmisión de datos sea continua el número de baterías debe ser de **5 baterías para que mantenga la carga hasta el día siguiente.**

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	MEDIDA	TOTAL, US\$
Dell Optiplex 7050 SFF PC de escritorio Intel i7-7700 4 núcleos 3.60GHz 32GB DDR4 1TB SSD Wifi BT	1	\$229.00	UNIDAD	\$229.00
BATERIAS	3	\$70.00	UNIDAD	\$210.00
Panel Solar TRINA SOLAR Vertex 495W – Monocristalino	2	\$337.87	UNIDAD	\$675.74
Kit STARLINK	1	\$524.00	UNIDAD	\$524.00
Inversor de corriente de 500 W CC 12 V a CA 120 V	1	\$83.00	UNIDAD	\$83.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$1,721.74</b>

Tabla 9. Estimación de costos utilizando internet satelital STARLINK  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

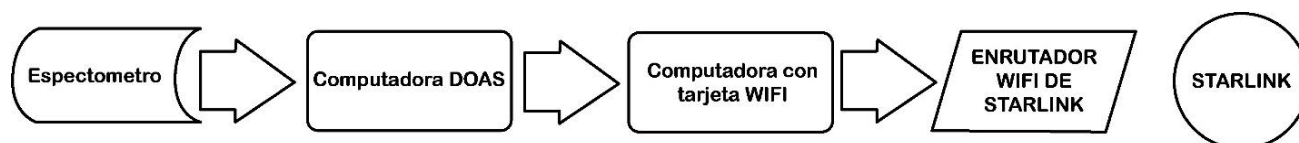


Tabla 10. Acceso a internet usando un servicio STARLINK estándar  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.7. Alternativa de comunicación a través de proveedor de internet comercial (ISP).

La operación seguirá el mismo proceso que se ofrece con la alternativa de internet satelital, salvo la diferencia de que, en lugar de suscribirnos al servicio satelital, optar por el servicio de un **proveedor de internet comercial (ISP).**

“Tigo Business ha agrupado sus productos en cuatro soluciones tecnológicas: Soluciones de Voz, Soluciones de Conectividad, Soluciones en La Nube y Soluciones Avanzadas, cada una de ellas están diseñadas para satisfacer las necesidades de los clientes dependiendo su rubro, giro y actividad a la que se dediquen.

A continuación, le presentaremos la solución a la falta de comunicación con la estación DOAS Piedra Azul.”

En cuanto al servicio es el siguiente y citamos el MIFI INALAMBRICO:

**Oferta económica**

MIFI INALAMBRICO



**PLAN:**

Modelo	Unidades	Cargo Básico	Cuota de Equipo	Total Mensual/Unidad	TOTAL	Meses Compromiso
ALCATEL LINK ZONE	1	\$30.00	\$0.00	30.00	\$ 30.00	12
					TOTAL IMPUESTO DE IVA	\$ 30.00

**BENEFICIOS:**

Modelo	Cargo Básico	Navegación	Redes Sociales
ALCATEL LINK ZONE	\$30.00	30GB	WS+FB TEXTO E IMAGENES

Figura 58. Oferta económica proveedor de internet comercial (ISP)  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.7.1. Condiciones

- GB consumibles, recargables mensualmente
- Plan de Datos incluye navegación especificada en beneficios
- Cuota cobrada por equipo es mensual, adicional a cargo básico
- Rendimiento continuo hasta 7 horas
- Acceso de WIFI MÓVIL de 7 a 14 Conexiones
- Mediante la aplicación LINK, podrás gestionar fácilmente su carga, el estado de conexión y la velocidad de datos que mejor se adapte a tus necesidades
- Cobro al segundo exacto
- Costo mensual incluye IVA
- Plan de Datos incluye navegación especificada en beneficios
- Cuota cobrada por equipo es mensual, adicional a cargo básico

- Monto de Plan Siempre Comunicado dependerá de gama de equipo y es un cobro mensual, este es un beneficio opcional
- El cliente podrá adquirir Group Calling de manera opcional para tener el beneficio de llamadas ilimitadas a móviles postpago y línea fija que estén a nombre de la empresa
- Los minutos para llamar a redes móviles y/o redes fijas dependerán del plan
- Llamadas en roaming se cobran al minuto redondeado
- Llamadas en roaming backhome, locales, entrantes e internaciones entre los países de Nación serán cobrados al minuto exacto y a la misma tarifa local del plan. **Proveedor de internet comercial (ISP)** incluye Estados Unidos, México, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia

### 3.7.2. Datos Móviles

El servicio de datos móviles permite suministrar datos a través de tecnología inalámbrica, en las zonas de cobertura dentro del territorio nacional, lo cual le permitirá subir y descargar datos hacia y desde Internet.

**proveedor de internet comercial (ISP)** cuenta con la red más grande de El Salvador brindando el servicio a través de tecnología 4G (HSDPA +) cuyo principal beneficio es obtener mayores velocidades de transmisión de datos. La velocidad promedio de servicio está sujeta a disponibilidad de cobertura de la Red 4G, que se encuentra disponible en los centros urbanos de las principales ciudades del país

### 3.7.3. Redes sociales

De lo que podemos concluir de esta cotización respecto al servicio que:

Se encuentra en la capacidad de brindar un servicio de internet las 24 horas 7 días de la semana.

Que se encuentra con la capacidad de brindar el servicio en la ubicación de Piedra Azul con un servicio continuo.

Ofrece 30Gb de capacidad de datos para el servicio de internet, así como el equipo es proporcionado sin costo siendo una (1) sola unidad.

### 3.7.4. Consideraciones de costos utilizando proveedor de internet comercial (ISP).

De acuerdo con el cuadro de carga de la estación en piedra azul, el consumo de baterías se presenta de la siguiente manera al agregar el equipo proporcionado por **proveedor de internet comercial (ISP)**:

CUADRO DE CARGA DE LA ESTACIÓN PIEDRA AZUL				
	amperios consumidos A	coeficiente utilización kU	amperios consumidos A	amperios totales A
GPS	7.8	0.8	6.24	11.69
Ordenador	2	0.8	1.6	
espectrómetro	2.5	0.9	2.25	
Modem	1	0.8	0.8	
Computadora con tarjeta wifi	1	0.8	0.8	

*Tabla 11. Cuadro de carga de la estación Piedra Azul, muestra la incorporación de equipos para la comunicación mediante proveedor de internet comercial (ISP)  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)*

De la computadora puede ser un equipo de bajo consumo debido a que solo servirá de enlace para la comunicación de datos, por lo que puede ser una computadora económica. Al agregar un equipo adicional, de servicio de internet el consumo llega a los 11.69A, manteniendo un amperaje neto disponible de las baterías actuales de 48Ah, de lo cual en la siguiente tabla se presenta el consumo en Ah de la estación con las baterías disponibles:

	Ah	consumo total
Espectrómetro	0.25	11.25
GPS	7	
Ordenador	2	
Modem	1	
Computadora con tarjeta wifi	1	

*Tabla 12. Cuadro de consumo en Ah  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)*

Por lo que la estación DOAS piedra azul se mantendría funcionando hasta 3 horas pasadas las 5 de la tarde, es decir hasta las 8 p.m. aproximadamente de acuerdo con el estado de las baterías, por lo que si se desea un aumento de duración de las baterías y por tanto la transmisión de datos sea continua el número de baterías debe ser de **5 baterías para que mantenga la carga hasta el día siguiente.**

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	MEDIDA	TOTAL
Baterías	3	\$70.00	UNIDAD	\$210.00
CABLE TSJ 12-3 CONEXIÓN INDUSTRIA NEGRO CORTE	15	\$2.25	METRO	\$33.75
Panel Solar TRINA SOLAR Vertex 495W – Monocristalino	1	\$337.87	UNIDAD	\$337.87
Inversor de corriente de 500 W CC 12 V a CA 120 V	1	\$83.00	UNIDAD	\$83.00
Dell Optiplex 7050 SFF PC de escritorio Intel i7-7700 4 núcleos 3.60GHz 32GB DDR4 1TB SSD Wifi BT	1	\$229.00	UNIDAD	\$229.00
<b>proveedor de internet comercial (ISP)</b> compromiso 12 meses	1	\$360.00	UNIDAD	\$360.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$1,253.62</b>

Tabla 13. Estimación de costos utilizando proveedor de internet comercial (ISP)

Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

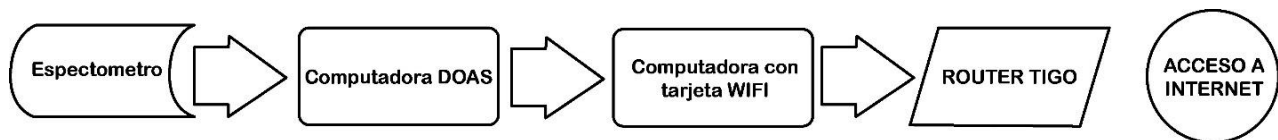


Tabla 14. Acceso a internet usando un servicio de un proveedor de internet comercial (ISP)

Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

Este presupuesto es una aproximación a los materiales a utilizar y sin incluir mano de obra por lo que las cantidades y costos pueden aumentar, así también no se incluye el costo total del servicio de internet por un año sino únicamente el valor de ajuste de la estación para permitir el servicio.

Por lo que las ventajas de este servicio es que la transmisión de todos los datos sería únicamente a través de internet, donde los datos recolectados serían de acuerdo con direcciones IP del MARN, por lo que ya no sería necesario una antena ni plantear un enlace entre diferentes estaciones. Así también una desventaja es que la transmisión se mantendría bajo el régimen de servicio de acceso de internet de un **proveedor de internet comercial (ISP)**, por lo que en caso de no tenerse servicio de acceso a internet no se recolectarían datos por ese periodo de tiempo.

De lo cual planteamos que las ventajas en cuanto a costos y trabajo es una buena opción utilizar un servicio de acceso de internet para esta estación.

### 3.8. Tabla resumen de alternativas

Alternativas	Descripción	Costo de implementación	Capacidad de Datos	Ventajas	Desventajas
1	Instalación de antena repetidora	\$30,797.32	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utiliza una ubicación óptima basada en análisis detallados del área de cobertura de transmisión.</li> <li>-Distancias relativamente corta a las estaciones DOAS Piedra Azul y DOAS Ranchito.</li> <li>-Se espera obtener una buena intensidad de señal en la ubicación seleccionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo inicial Alto.</li> <li>- Dependerá de la infraestructura de la antena repetidora.</li> <li>- Costo implementará si el lugar de instalación resulta privado.</li> </ul>
2	Utilización de la estación Caballito como repetidora	\$10,317.64	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aprovecha una ubicación existente propiedad del MARN.</li> <li>-Permite el establecimiento de un radioenlace viable entre los puntos necesarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo inicial considerable.</li> <li>-Limitación de la estación Caballito para otros fines</li> </ul>
3	Uso de internet satelital (STARLINK)	\$1,721.74 (costo inicial) + \$49.00 mensuales	Ilimitado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utiliza servicio satelital para asegurar la conectividad en áreas remotas.</li> <li>-Provee una solución continua con una duración extendida y datos ilimitados.</li> <li>-Costo inicial razonable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se requiere pagos mensuales, lo que aumenta el costo a largo plazo</li> </ul>
4	Comunicación a través de un proveedor de internet comercial (ISP)	\$1,253.62 (costo inicial para el primer año) + \$30.00 mensuales	30 GB mensuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ofrece un servicio de internet inalámbrico confiable y continuo</li> <li>-Proporciona 30 GB de capacidad de datos mensuales.</li> <li>-Costo inicial accesible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se requiere pagos mensuales, lo que aumenta el costo a largo plazo</li> </ul>

Tabla 15. Resumen de alternativas  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.9. Criterio de disponibilidad

Alternativas	Instalación de antena repetidora	Utilización de la estación Caballito como repetidora	Uso de internet satelital (STARLINK)	Comunicación a través de un ISP
<b>Disponibilidad de energía eléctrica</b>	<b>Alta:</b> Cuenta con sistema de energía solar y baterías de respaldo	<b>Alta:</b> Cuenta con sistema de energía solar y baterías de respaldo	<b>Alta:</b> Cuenta con sistema de energía solar y baterías de respaldo	<b>Alta:</b> Cuenta con sistema de energía solar y baterías de respaldo
<b>Fiabilidad del enlace de comunicaciones</b>	<b>Alta:</b> Transmisión de radio a 400 MHz con línea de visión directa, ofreciendo una conexión confiable y eficiente en entornos remotos.	<b>Media:</b> Transmisión de radio a 400 MHz con línea de visión directa, ofreciendo una conexión confiable y eficiente en entornos remotos, aunque su distancia puede afectar la calidad de la señal.	<b>Alta:</b> Utiliza conexión satelital diseñado para aguantar diferentes condiciones climáticas: resistir agua nieve, lluvias intensas y vientos fuertes	<b>Media:</b> Utiliza telefonía móvil esta soportada sobre la red de tecnología 4G- LTE.
<b>Mantenimiento y soporte técnico</b>	<b>Buena:</b> soporte técnico disponible en horas laborales	<b>Buena:</b> soporte técnico disponible en horas laborales	<b>Buena:</b> contrato de mantenimiento con proveedor.	<b>Media:</b> contrato de mantenimiento con proveedor local.
<b>Capacidad de autodiagnóstico</b>	<b>Sí:</b> Dispone de diagnósticos automáticos básicos, pero requiere intervención humana para reparaciones	<b>Sí:</b> Dispone de diagnósticos automáticos básicos, pero requiere intervención humana para reparaciones	<b>Sí:</b> Dispone de diagnósticos automáticos básicos, pero requiere intervención humana para reparaciones	<b>Sí:</b> Dispone de diagnósticos automáticos básicos, pero requiere intervención humana para reparaciones
<b>Estabilidad y adaptabilidad</b>	<b>Sí:</b> Puede escalar fácilmente para satisfacer mayores demandas en el futuro.	<b>Sí:</b> Puede escalar fácilmente para satisfacer mayores demandas en el futuro.	<b>Sí:</b> Puede escalar fácilmente para satisfacer mayores demandas de datos en el futuro.	<b>Sí:</b> Puede escalar fácilmente para satisfacer mayores demandas de datos en el futuro.
<b>Costo de implementación y mantenimiento</b>	<b>Alto:</b> Los costos iniciales son altos, y los gastos de mantenimiento son bajos.	<b>Medio:</b> Los costos iniciales son moderados, y los gastos de mantenimiento son bajos.	<b>Bajo:</b> Costos iniciales son bajos, como el plan de servicio	<b>Bajo:</b> Costos iniciales son bajos, como el plan de servicio
<b>Tiempo de implementación</b>	<b>3 a 4 meses:</b> Requiere tiempo para la instalación de equipos y configuración del sistema.	<b>3 a 4 meses:</b> Requiere tiempo para la instalación de equipos y configuración del sistema.	<b>1 meses:</b> Requiere menos tiempo de instalación debido a la tecnología involucrada.	<b>1 meses:</b> Requiere menos tiempo de instalación debido a la tecnología menos compleja involucrada.

Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.10. TNC Packet Radio en las comunicaciones Digitales.

El TNC (Terminal Node Controller) Packet Radio ha sido una herramienta fundamental desde sus labores en la década de 1970. Este dispositivo ha permitido a los radioaficionados y a otros usuarios transmitir datos digitales a través de ondas de radio, facilitando la comunicación remota y el intercambio de información en entornos donde las infraestructuras convencionales pueden ser limitadas o inexistentes.

#### 3.10.1. TNC Packet Radio: Conceptos y Funcionamiento

El TNC Packet Radio es un dispositivo que actúa como intermediario entre una estación de radio y un dispositivo informático, como una computadora. Su función principal es convertir los datos digitales en paquetes de señales de radio y viceversa, permitiendo la transmisión y recepción de datos a través de ondas de radio. Esto se logra mediante la modulación y demodulación de señales, así como la gestión de la comunicación entre estaciones utilizando el protocolo AX.25.

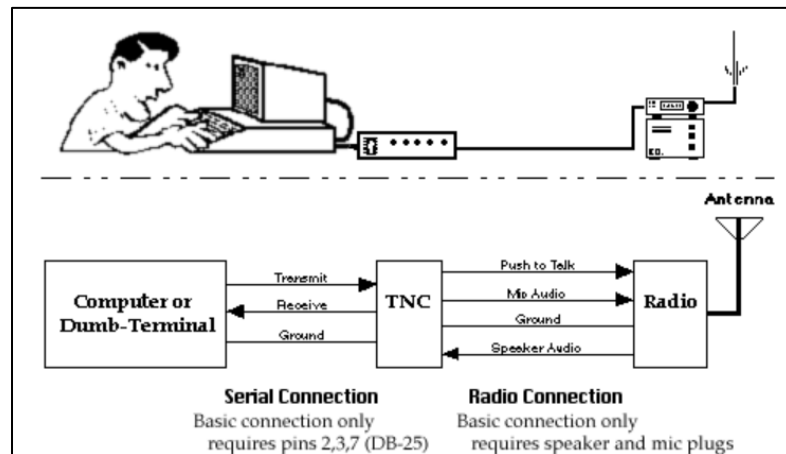


Figura 59. Estación Packet Radio.  
(Ea7glu, 2006)

En contraste con las comunicaciones de voz, el sistema de radio paquete tiene la capacidad de admitir múltiples conversaciones simultáneas en una misma frecuencia, gracias a la técnica de compartición temporal del canal.

A diferencia de las comunicaciones de voz, el radio paquete puede manejar múltiples interacciones en una misma frecuencia al mismo tiempo mediante la compartición temporal del

canal, aunque aún puede haber colisiones si se transmite mientras otro dispositivo está activo en el canal.

El Packet radio emplea el protocolo AX.25 para gestionar la compartición del canal, basándose en el acceso múltiple por detección de portadora (CSMA). Cuando una estación desea transmitir, el TNC monitoriza el canal para verificar su disponibilidad antes de enviar el paquete.

AX.25, el protocolo estándar utilizado en radioaficionados fue desarrollado en los años 70 y se basa en el protocolo de redes X.25 adaptado a las necesidades específicas del medio radioeléctrico.

Una característica distintiva de AX.25 es su inclusión de un campo "**digipeater**", que permite a otras estaciones repetir automáticamente los paquetes para ampliar el alcance de la transmisión.

Una ventaja clave de AX.25 es que cada paquete transmitido contiene información de la estación emisora y receptora, lo que permite una clara identificación de los participantes en cada comunicación.

Los dispositivos conocidos como digipeaters cumplen un papel fundamental en la transmisión de paquetes de datos en entornos donde la propagación de señales puede ser problemática. Estos actúan como estaciones de retransmisión, extendiendo la cobertura de la red y facilitando la comunicación entre estaciones origen y destino. Los digipeaters pueden operar en distintas frecuencias y modos, siendo los digitales aquellos que retransmiten sobre la misma frecuencia y almacenando temporalmente los paquetes antes de reenviarlos, mientras que los de voz utilizan frecuencias diferentes para recibir y transmitir.

Es importante destacar que los digipeaters solo retransmiten paquetes destinados específicamente para este fin, y pueden ser configurados automáticamente en la mayoría de los casos. Aunque cualquier estación radio paquete puede funcionar como digipeater, se recomienda limitar su uso a uno o dos a la vez para evitar congestiones y posibles colisiones de paquetes, especialmente en momentos de alto tráfico de datos. Además de los digipeaters tradicionales, existe otra forma de retransmisión conocida como "nodo", que también facilita la comunicación con estaciones distantes al reconocer los paquetes enviados y redistribuirlos a otras estaciones de la red .

- **Conclusión.**

sobre la tecnología TNC Packet Radio y su capacidad para facilitar la transmisión de datos a través de ondas de radio, sería pertinente profundizar en esta tecnología y evaluar su funcionalidad para establecer una comunicación directa entre la estación DOAS Piedra Azul y el MARN San Salvador. Esta evaluación sería crucial dado que la distancia entre estos dos puntos es considerable, con aproximadamente 105 km y teniendo en cuenta el perfil de elevación del terreno, como se ilustra en la figura 60.

Dada la capacidad de los dispositivos TNC Packet Radio para operar como digipeaters y nodos, podríamos explorar la posibilidad de configurar una red de comunicación que permita la transmisión eficiente de datos entre estas dos ubicaciones distantes. Esto implicaría un análisis detallado de la topografía entre los puntos de origen y destino, así como la selección adecuada de frecuencias y modos de transmisión para garantizar una comunicación confiable.

Además, sería necesario considerar aspectos técnicos como la potencia del transmisor, el tipo de antena y la configuración del equipo TNC para optimizar el rendimiento de la transmisión. Una vez establecida la viabilidad técnica de la comunicación, se podría proceder con pruebas piloto para evaluar la calidad y la estabilidad de la conexión en condiciones reales.

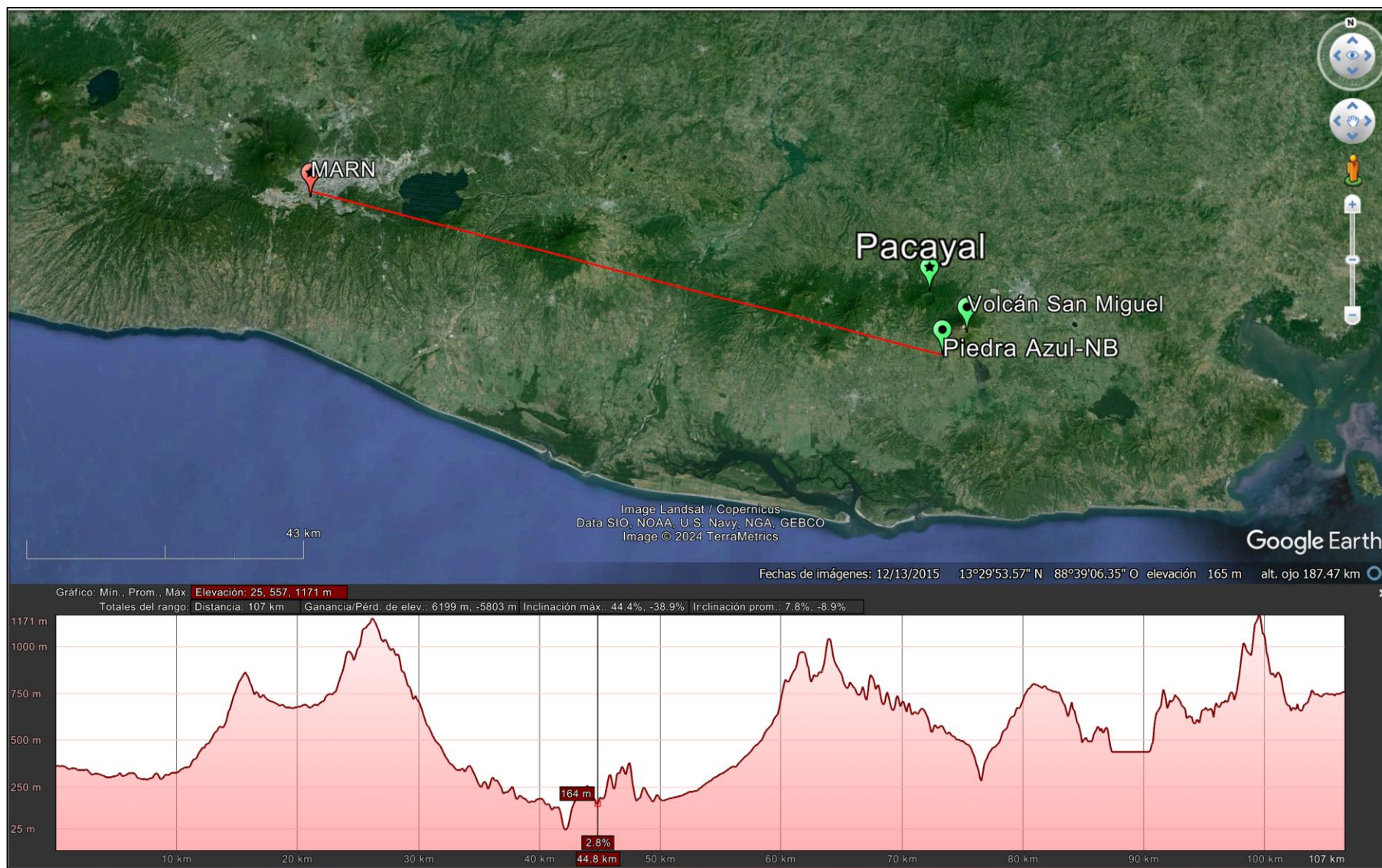


Figura 60. Perfil de elevación del MARN hasta la estación Piedra Azul.  
Fuente: (Pino & Godoy, 2024)

### 3.11. Radiocomunicación por onda ionosférica

#### 3.11.1. Introducción

Son todas las bandas de frecuencias comprendidas entre 1,5 y 30 MHz, para distancias superiores a unos 100 km, puede producirse propagación de ondas de radio mediante reflexiones sobre capas ionizadas que circundan la Tierra en alturas comprendidas entre unos 90 y 500 km. El conjunto de estas capas configura la llamada **ionosfera**, que se comporta como un repetidor pasivo para las ondas. Es un repetidor natural, invulnerable, accesible desde cualquier punto de la Tierra y de utilización gratuita.

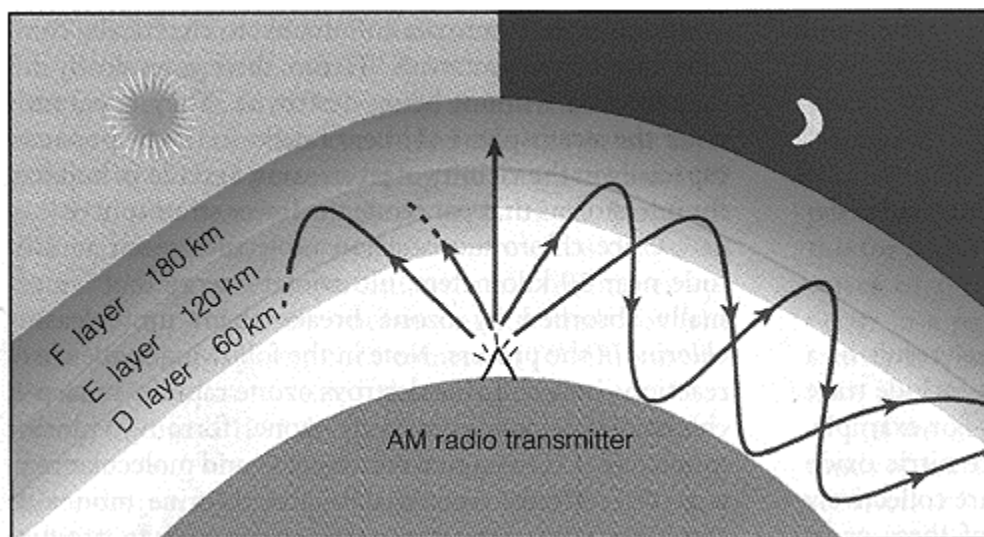


Figura 61. Transmisión de ondas usando la ionosfera y sus diferentes capas  
Fuente: (Rábanos, 2006)

La propagación por reflexión ionosférica es un mecanismo **selectivo en frecuencia**. Por debajo de 1,5 MHz, las ondas son absorbidas por la ionosfera, prácticamente apenas progresan. Por encima de 30 MHz, las ondas atraviesan la ionosfera y no vuelven a tierra. Como la banda 3-30 MHz es la de ondas decamétricas, también se denomina a los enlaces que utilizan la propagación ionosférica sistemas de radiocomunicaciones por ondas decamétricas o, abreviadamente, **sistemas HF (B. dam**, abreviatura métrica para la banda).

Las radiocomunicaciones por ondas decamétricas son posibles con equipos terminales de bajo costo y potencias moderadas. Pueden establecerse radioenlaces entre cualesquiera puntos de la superficie terrestre, lo que es muy ventajoso en situaciones de emergencia en que no se dispone de infraestructura de red de telecomunicaciones.

La utilización de la ionosfera para las radiocomunicaciones tiene también algunos inconvenientes que afectan al diseño de los enlaces, y entre los que cabe destacar.

- El carácter aleatorio de la estructura de la ionosfera y la densidad de ionización, que incide sobre las posibles frecuencias de trabajo.
- La presencia de ruido, sobre todo el de tipo natural, de gran intensidad en estas bandas.
- El elevado nivel de interferencia, debida a los numerosos usuarios de las bandas, en especial las emisoras de radiodifusión que utilizan potencias altas.
- El desvanecimiento debido a la propagación multitrayecto.
- Los valores reducidos de las frecuencias, que imposibilitan las transmisiones de banda ancha.

La variabilidad de la ionosfera tiene una influencia directa sobre la frecuencia de trabajo de un enlace, la cual ha de elegirse en función del comportamiento previsto de la ionosfera. Por ello, los equipos disponen de varias frecuencias que suelen cambiar con el tiempo para un enlace determinado.

En determinadas épocas, hora y lugar, la gama de frecuencias utilizables para un enlace ionosférico entre dos puntos está limitada por dos frecuencias: **una mínima denominada LUF** (Lowest Usable Frequency: Frecuencia utilizable más baja) y otra máxima, designada por MUF (Maximum Usable Frequency: Frecuencia utilizable más alta). Por debajo de la LUF, la absorción es tan intensa que la señal puede quedar atrapada por el ruido y, por encima de la MUF, la onda atraviesa la ionosfera y no es reflejada a la tierra.

Debido al carácter aleatorio del comportamiento de la ionosfera, los métodos de predicción de la MUF para un mes determinado son complicados de predecir. La variabilidad de la ionosfera influye también en la pérdida de propagación, sobre todo a través de la absorción ionosférica, desviación y desenfoque del haz radioeléctrico, lo cual se traduce en una variabilidad de la señal recibida, por lo que habrá que formular especificaciones de fiabilidad de las frecuencias y circuitos.

El cálculo de los circuitos ionosféricos comprende el conjunto de actividades necesarias para obtener los parámetros de explotación. Se procede para ello siguiendo tres etapas básicas:

- 1 Predicción de frecuencias: Se determinan las frecuencias máximas utilizables y la probabilidad de existencia de circuito ionosférico para las frecuencias disponibles, eligiéndose las más idóneas. Estos cálculos se suelen hacer con una antelación de hasta 6 meses. Se utilizan

métodos manuales o informáticos basados en trayectografía de rayos y modelos de capas ionosféricas.

- 2 Cálculo de la pérdida básica de propagación: Se evalúa la pérdida teniendo presentes los diversos mecanismos disipativos. Como los sistemas HF están limitados por interferencia y ruido, el umbral de funcionamiento viene determinado por la intensidad de campo utilizable.
- 3 Cálculo de la relación señal/ruido (S/N): Se determina la S/N prevista y se compara con la S/N de explotación recomendada por el UIT-R (Sector de Radiocomunicaciones).
- 4 Cálculo de la fiabilidad: Se evalúan la fiabilidad del propio circuito ionosférico y la probabilidad de que la S/N real supere el valor objetivo, combinándose para obtener una cifra de fiabilidad global.

La ionosfera es una región ionizada de la atmósfera superior que se forma al incidir los rayos X y ultravioleta procedentes del Sol sobre las moléculas de la alta atmósfera, produciéndose iones y electrones libres. **Esta zona se extiende** entre los 60 y 500 km sobre la superficie terrestre, aunque se concentra en varias capas en las cuales la ionización alcanza valores máximos relativos. Estas capas se designan mediante las letras D, E y F siguiendo un orden creciente de alturas. La última, capa F, se subdivide en dos: F1 y F2. Como consecuencia de las variaciones de la radiación solar, la distribución de la densidad de ionización (medida en electrones/m<sup>3</sup>) varía en función de diversos factores, tales como la hora, el mes, el año y la situación geográfica del lugar.

Si se representa la densidad electrónica en función de la altura, se obtienen los llamados perfiles de ionización o de densidad.

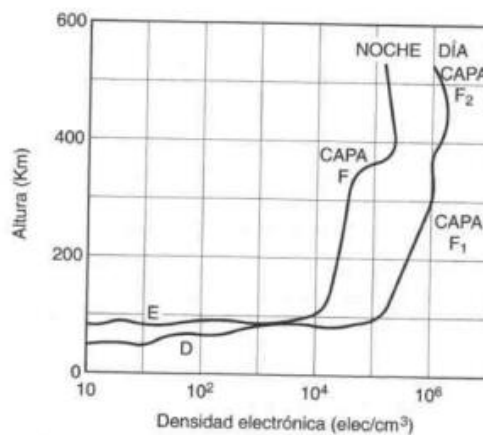


Figura 62. Perfil de ionización  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Se observa que para las capas D y E la densidad electrónica varía muy rápidamente con la altura. Por el contrario, para las capas F1 y F2, la densidad presenta menor variación con la altura y alcanza un valor máximo, tras el cual se produce un ligero decrecimiento.

Las características generales de las capas ionosféricas son las siguientes:

Capa D: Está situada entre 60 y 90 km aproximadamente y existe sólo durante el día. Su densidad de ionización varía en función del ángulo cenital del Sol. Refleja las frecuencias bajas y atenúa, por absorción parcial, las frecuencias medias y altas.

Capa E: Situada entre 90 y 130 km, se caracteriza por una gran regularidad en su formación y comportamiento. Su densidad de ionización se corresponde también con el ángulo cenital del Sol. Su altura depende de la estación del año. Es importante para la propagación HF diurna a distancias inferiores a 1.600 km y nocturna a distancias superiores a 1.600 km. En alturas de unos 100-120 km se encuentra a veces una capa de gran ionización denominada Es (E esporádica), que puede provocar la aparición de interferencias.

Capa F1: Situada entre 150 y 250 km, existe principalmente durante las horas del día, siendo máximo su efecto a mediodía. Ocasionalmente, puede ser la capa reflectora para transmisión HF, pero lo normal es que las ondas de incidencia oblicua que atraviesan la capa E también penetren la F1 y sean reflejadas por la F2, por lo que la F1 introduce una atenuación por absorción, pudiendo influir en el alcance por modificación de la trayectoria del rayo.

Capa F2: Situada entre 300 y 450 km, es la principal capa reflectora para las radiocomunicaciones HF a larga distancia. La altura y densidad de la ionización presentan una variación diaria, estacional y con el ciclo de actividad solar. De noche la capa F1 se une con la F2 a una altura de unos 300 km.

### **3.11.2. La propagación ionosférica**

La trayectoria de una onda en la ionosfera puede estudiarse en términos del **Índice de refracción** de la región ionizada, el cual, en el caso de un plasma sin colisiones y despreciando el efecto del campo magnético terrestre, viene dado por:

$$n(h) = \left[ 1 - \frac{e^2 * N_e(h)}{4\pi^2 m \epsilon_0 f^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.11.1)$$

Fuente: (Rábanos, 2006)

e = Carga del electrón

m = Masa del electrón

$\epsilon_0$  = Permitividad del espacio libre

f = Frecuencia de la onda radioeléctrica (Hz)

$N_e(h)$  = Densidad electrónica (electrones/m<sup>3</sup>)

h = Altura sobre el nivel del mar

Introduciendo los valores de las constantes físicas y resolviendo:

$$n(h) = \left[ 1 - \left[ \frac{f_p(h)}{f} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.11.2)$$

Donde  $f_p(h) = 9\sqrt{N_e(h)}$

Si  $f > f_p$  :  $n(h)$  es real y la onda atravesara la capa.

Si  $f < f_p$  :  $n(h)$  es complejo y la onda se refleja en la capa y retorna a la tierra.

Si  $f = f_p$  :  $n(h) = 0$  frecuencia critica es igual al valor máximo de la densidad de ionización para la capa de que se trate.

Frecuencia crítica de la capa para incidencia vertical : es la frecuencia límite para la cual la onda atraviesa la capa. Se designa a tal frecuencia mediante el subíndice «o» y la indicación de la capa. Así  $f_oE$  denota la frecuencia crítica de la capa E.

$$f_0 = 9 \sqrt{N_e \max} \quad (3.11.3)$$

*Ejemplo:* Si deseamos que la onda alcance la capa F2 de noche. ¿Cuál será el valor de la frecuencia crítica y que frecuencia será viable para que se refleje hacia la tierra?

La altura máxima h de la capa F2 es de 450km por lo que máxima densidad de ionización para capa  $N_e \max = 10^{12}$  electrones/m<sup>3</sup> (obtenido del perfil de ionización), la frecuencia critica

$f_0F2 = 9 \sqrt{10^{12}} = 9 \times 10^6 \text{ Hz} = 9 \text{ MHz}$ . Por lo que toda frecuencia menor a 9MHz se verá reflejada hacia la tierra en la capa F2.

La velocidad de propagación de la onda es constante en la ionosfera y si  $\tau$  es el tiempo en que tarda la onda en reflejarse la altura que alcanzara la onda es

$$h_v = c/2\tau \quad (3.11.4)$$

$c$ : es la velocidad de propagación

$h_v$  : es la altura virtual

$\tau$ : es el tiempo que tarda la onda en reflejarse

### 3.11.3. Ionogramas

Los ionogramas es la representación de la altura virtual en función de la frecuencia, se obtienen a través de un sondeador ionosférico vertical que es un equipo de radar de impulsos que transmite verticalmente frecuencias de la banda HF con cierta periodicidad a la atmosfera con el se mide cada frecuencia de interés, el tiempo que transcurre entre la emisión y la recepción de un impulso, basándose en la ventaja de frecuencia con incidencia vertical ya que esta regresa al mismo punto donde se transmitió y es menor que la frecuencia critica que es la frecuencia que atraviesa la atmosfera.

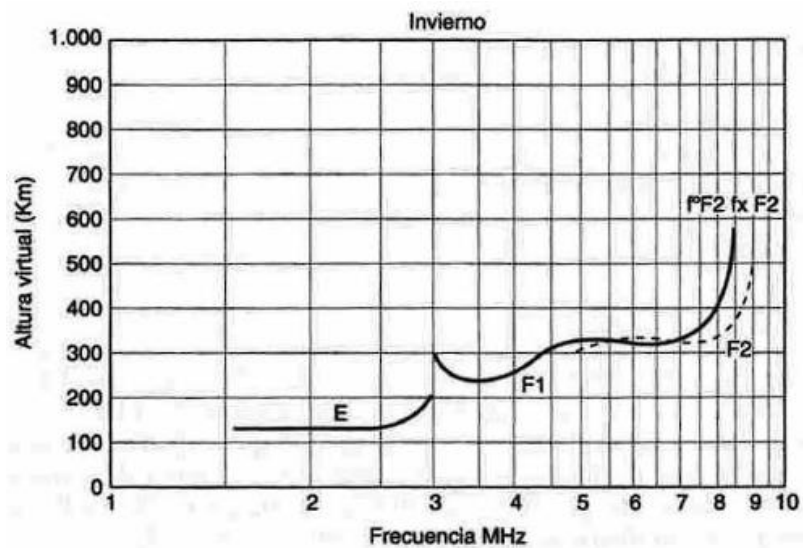


Figura 63. Ionograma de invierno a diferentes frecuencias con incidencia vertical para cada una de las capas  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Los ionogramas terminan con una asíntota vertical (en la figura en  $F=3\text{MHz}$ ), que corresponde a la frecuencia crítica de la capa. Además de su obtención experimental con sondeadores ionosféricos, pueden modelarse mediante funciones matemáticas que utilizan parámetros obtenidos también por sondeo.

### 3.11.4. Geometría de la reflexión ionosférica

Debido a que el fenómeno ionosférico es complejo, se elabora un modelo geométrico simplificado, aplicando los llamados teoremas o relaciones de equivalencia que relacionan frecuencias, trayectos virtuales y absorciones de dos ondas, reflejada con incidencia oblicua e incidencia vertical, ambas desde la misma altura real.

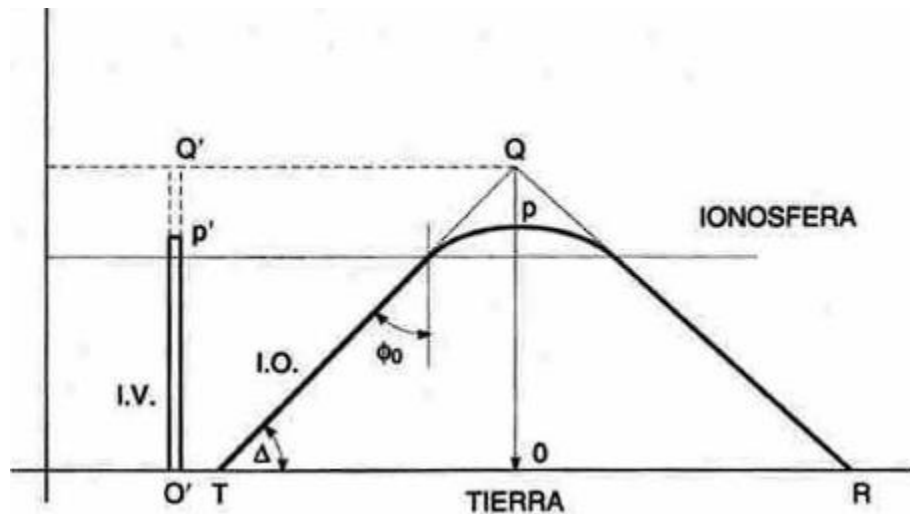


Figura 64. Trayectoria de la onda  
Fuente: (Rábanos, 2006)

T: transmite una frecuencia  $f_{ob}$  frecuencia oblicua (una onda con ángulo respecto al suelo).

$\Delta$  : ángulo respecto al suelo (incidencia oblicua).

frecuencia  $f_p$  frecuencia de plasma a la altura OP.

R : receptor.

$\Phi_0$ : ángulo límite de incidencia.

Por lo que relacionando términos  $\text{sen}\Phi_0 = n(h)$ ,  $f_{ob} = f$ ,  $f_v = f_p(h)$  quedando así la ecuación de índice de refracción:

$$\text{sen}\Phi_o = \left[ 1 - \left[ \frac{f_v(h)}{f_{ob}} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3.11.5)$$

Resolviendo:

$$(\text{sen}\Phi_o)^2 = 1 - \left[ \frac{f_v(h)}{f_{ob}} \right]^2 \quad (3.11.6)$$

Obteniendo la **ecuación de la ley de la secante**

$$f_{ob} = f_v(h) * \text{sec}(\Phi_o) \quad (3.11.7)$$

$f_v$  frecuencia de incidencia vertical (incidencia vertical es la onda que vuelve a la tierra en el mismo punto que se transmitió).

Lo que demuestra la expresión de la ley de la secante es que con incidencia oblicua la ionosfera puede reflejar frecuencias mucho más elevadas que con incidencia vertical, por lo que la incidencia oblicua es la que tiene mayor interés en las radiocomunicaciones en HF.

### 3.11.5. Curvas de transmisión

Las llamadas curvas de transmisión son el lugar geométrico de los puntos (hp, fe) que satisfacen la geometría del trayecto y la ley de la secante para una frecuencia  $f_{ob}$  y una distancia  $d$  determinadas. En lo sucesivo, designaremos la frecuencia de incidencia oblicua simplemente mediante «f».

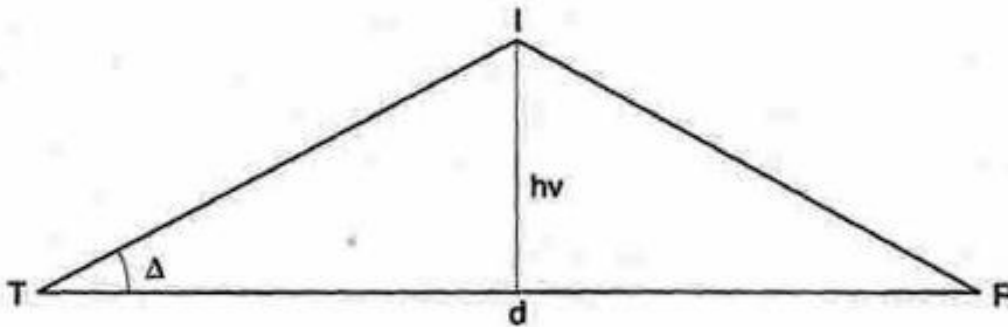


Figura 65. Geometría del trayecto  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Formulando de la ley de la secante

$$f = f_v \left[ 1 + \left( \frac{d}{2h_v} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.11.8)$$

Una vez cada conocido el ionograma, su intersección con las curvas de transmisión proporciona las frecuencias verticales y alturas equivalentes para cada frecuencia oblicua

Si desea enlazar los puntos T y R que distan  $d$  km entre sí y vamos ensayando distintas frecuencias oblicuas  $f$ , representando la curva de transmisión correspondiente en el mismo papel que el ionograma. La frecuencia  $f_A$  correspondiente a la curva A no hay intersección ionograma, ni frecuencia vertical equivalente; por lo tanto, una onda de esta frecuencia penetra en la capa y se pierde. Si disminuimos  $f$ , encontramos otra frecuencia  $f_B < f_A$  que corta el ionograma en dos puntos 1 ( $f_{v1}$ ,  $h_{v1}$ ) y 2 ( $f_{v2}$ ,  $h_{v2}$ ). La  $f_B$  se puede enlazar T con R con dos posibles trayectorias llamadas «rayo alto, RA» (altura  $h_{v2}$ ) y «rayo bajo, RB (altura  $h_{v1}$ ) y dos ángulos de salida ( $\Delta_2$  y  $\Delta_1$ ).

Entre las frecuencias  $f_A$  y  $f_B$  existe otra,  $f_M$ , tal que la curva de transmisión es tangente al ionograma. Para esta frecuencia, los rayos alto y bajo se funden en uno solo. A la frecuencia  $f_M$  se le llama «frecuencia de unión» y también frecuencia máxima utilizable (MUF), con incidencia oblicua, para el enlace en cuestión. Cualquier otra frecuencia  $f > f_M$  escapa y no se refleja y si  $f < f_M$ , se refleja con dos posibles trayectorias. Como el rayo alto efectúa un mayor recorrido a través de la ionosfera, experimenta una más intensa.

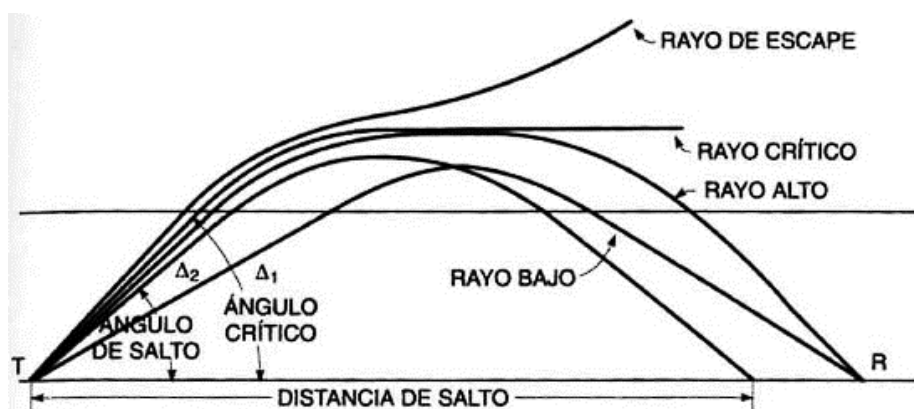


Figura 66. Curvas de transmisión  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Si, para una frecuencia oblicua dada  $f$ , variamos la distancia  $d$ , se obtiene Otro conjunto de curvas de transmisión en las que  $d$  es el parámetro. Al superponerlas al ionograma, vemos que

también hay distancias para las cuales el enlace no es posible con esa frecuencia y otras para las cuales nuevamente aparecen dos rayos, «alto» y «bajo» con alturas virtuales y frecuencias verticales diferentes. Por último, existe una distancia  $d_s$  para la cual la curva es tangente al ionograma. A esta distancia se le llama «distancia de salto» y representa la mínima longitud de trayecto posible con la frecuencia  $f$ . Por consiguiente, la distancia de salto es aquella para la cual la frecuencia dada es la frecuencia máxima utilizable.

Considerando la curvatura de la Tierra, el modelo geométrico es

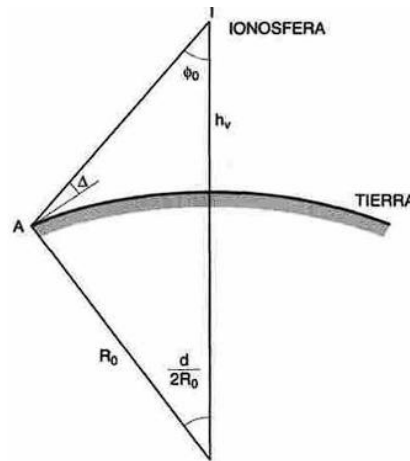


Figura 67. Modelo geométrico  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Los parámetros de geometría del trayecto toman, en este caso, los siguientes valores:

Ángulo de incidencia en la ionosfera:

$$\phi_0 = \operatorname{tg}^{-1} \left[ \frac{\operatorname{sen}(d/2R_0)}{1 + (h_v/R_0) - \operatorname{cos}(d/2R_0)} \right] \quad (3.11.9)$$

Ángulo de salida:

$$\Delta = \frac{\pi}{2} - \left( \phi_0 + \frac{d}{2R_0} \right) \quad (3.11.10)$$

Altura virtual:

$$h_v = \frac{R_0 \operatorname{cos} \Delta}{\operatorname{cos}(\Delta + d/2R_0)} - R_0 \quad (3.11.11)$$

$R_0$  es el radio terrestre: 6371km

### 3.11.6. Predicción de las muf (frecuencia máxima utilizable).

Como punto de partida para el proyecto de un enlace ionosférico, es necesario efectuar la predicción de las MUF básica y de explotación del enlace. Para previsiones a corto plazo, el mejor procedimiento es la utilización de ionogramas, pero ello no siempre es posible, por lo que se han establecido métodos empíricos válidos para predicciones a corto y a largo plazo, que hacen uso de representaciones aproximadas de las capas ionosféricas.

En las décadas de los años 50 y 60, la predicción de las frecuencias MUF se efectuaba, prácticamente en todo el mundo, según el método propuesto por el Central Radio Propagation Laboratory (CRPL). Se trataba de un método sistemático y manual. Para la capa E se utilizaban curvas y ábacos. Para la capa F2 era necesario disponer de mapas ionosféricos que contenían predicciones del estado de la ionosfera y que eran enviados periódicamente por esa Institución.

Datos necesarios para la predicción de las MUF

Los datos necesarios para efectuar la predicción pueden clasificarse como sigue:

1. Datos geográficos: Longitud ( $w$ ) y latitud ( $l$ ) de los puntos transmisor ( $w_1, l_1$ ) y receptor ( $w_2, l_2$ ), cuyos rangos son:

$$-180^\circ \leq w_i \leq 180^\circ \text{ (signo + para longitud E)}$$

$$-90^\circ \leq l_i \leq 90^\circ \text{ (signo + para longitud N)}$$

2. Parámetros de efemérides: Día y hora en que se desean las predicciones. Generalmente éstas se realizan para el día 15 del mes deseado de dos en dos horas, pero puede contemplarse una fecha concreta. Las predicciones se hacen siempre para la hora universal (UTC).

3. Datos de actividad solar: La radiación solar, al ser la responsable de la formación de la ionosfera, ejerce una notable influencia sobre las frecuencias máximas. La dependencia de éstas con respecto a la actividad solar puede expresarse en función de diversos parámetros, como son el número medio de manchas solares para 12 meses o media móvil  $R_{12}$  o el valor medio del flujo radioeléctrico solar en 10,7 cm,  $\phi_{12}$ . El número de manchas solares varía de unos años a otros, siguiendo ciclos de unos 11 años.

La Recomendación UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) P.371, facilita las siguientes relaciones entre estos dos índices de actividad solar, que pueden utilizarse para efectuar las predicciones:

$$\Phi_{12} = 63.7 + 0.728R_{12} + 0.00089R_{12}^2 \quad (3.11.12)$$

$$R_{12} = \sqrt{95.524 + 1.123\Phi_{12}} - 408.8 \quad (3.11.13)$$

$R_{12}$  : Número medio de manchas solares en 12 meses consecutivos.

$\Phi_{12}$ : Valor medio móvil de 12 meses de  $\Phi$ , en 10-22 W/m<sup>2</sup>Hz

### 3.11.7. Métodos de predicción de las muf

Las MUF se designan mediante las notaciones: E(d) MUF, F1(d) MUF, F2(d) MUF

Donde d es la longitud del circuito terrestre en km.

Capa E

Para la capa E se considera que tanto el modelo de perfil electrónico como el ionograma tienen parámetros constantes, por lo cual se han propuesto métodos cerrados para el cálculo de la frecuencia crítica  $f_0E$  y el factor de conversión de distancia  $M(d)$ .

Según la Recomendación UIT-R P.533, para distancias hasta 2.000 km el valor de E(d) MUF es igual a:

$$E(D)MUF = f_0E * \sec i_{110} \quad (3.11.14)$$

Donde  $f_0E$  es la frecuencia crítica de la capa E calculada en el punto de control e  $i_{110}$  es el ángulo de incidencia en la ionosfera a la altura de reflexión especular de 110 km, cuyo valor es:

$$i_{110} = \operatorname{tg}^{-1} \left\{ \frac{\operatorname{sen}(d/2R_0)}{1.01727 - \operatorname{cos}(d/2R_0)} \right\} \quad (3.11.15)$$

Siendo d la distancia y  $R_0$  el radio terrestre.

### **3.11.8. Disponibilidad de modos**

Sea un enlace entre dos puntos T y R, para el cual se ha determinado la MUF básica,  $f_m$ , para algún modo de propagación (E, F2). Se interpreta  $f_m$  como la mediana de los valores diarios de la MUF durante un mes para ese circuito. Es decir, se considera que existirá enlace por reflexión ionosférica en la frecuencia  $f_m$  durante el 50% de los días del mes o, en otras palabras, decimos que la disponibilidad del circuito es el 50%.

Para una frecuencia determinada  $f$ , cabe preguntarse cuál será la disponibilidad del circuito para esta frecuencia o, a la inversa, qué frecuencia deberá elegirse para constituir un enlace con una disponibilidad determinada.

La disponibilidad es superior al 50% para frecuencias inferiores a la MUF, por lo que tendrán mayor disponibilidad los circuitos para los cuales  $f$  sea lo más pequeña posible. Parece que ello aconsejaría la utilización de frecuencias muy inferiores a la MUF. Sin embargo, como la absorción que experimenta una onda en su tránsito por la ionosfera es mayor cuanto menor es su frecuencia, aunque una frecuencia baja asegure la existencia de circuito, puede tener asociada una pérdida tan elevada que tal frecuencia no sea viable para el enlace. Por consiguiente, será necesario buscar una solución de compromiso.

En la práctica, un valor razonable para la disponibilidad es el 90%, llamándose FOT (frecuencia óptima de trabajo) a la frecuencia para la cual se obtiene esta disponibilidad.

Para los modos E, la FOT es igual al 95% de la MUF, es decir, un circuito constituido y disponible durante el 95% de los días del mes.

### **3.11.9. Planteamiento de comunicación de la estación Piedra Azul y el MARN usando ondas ionosféricas de HF.**

**Distancia piedra azul al MARN 105.26km**

**Selección de la capa F2**

$d=105.26\text{km}$

**Perfil de ionización**

Del perfil de ionización a partir de la altura para encontrar la frecuencia crítica.

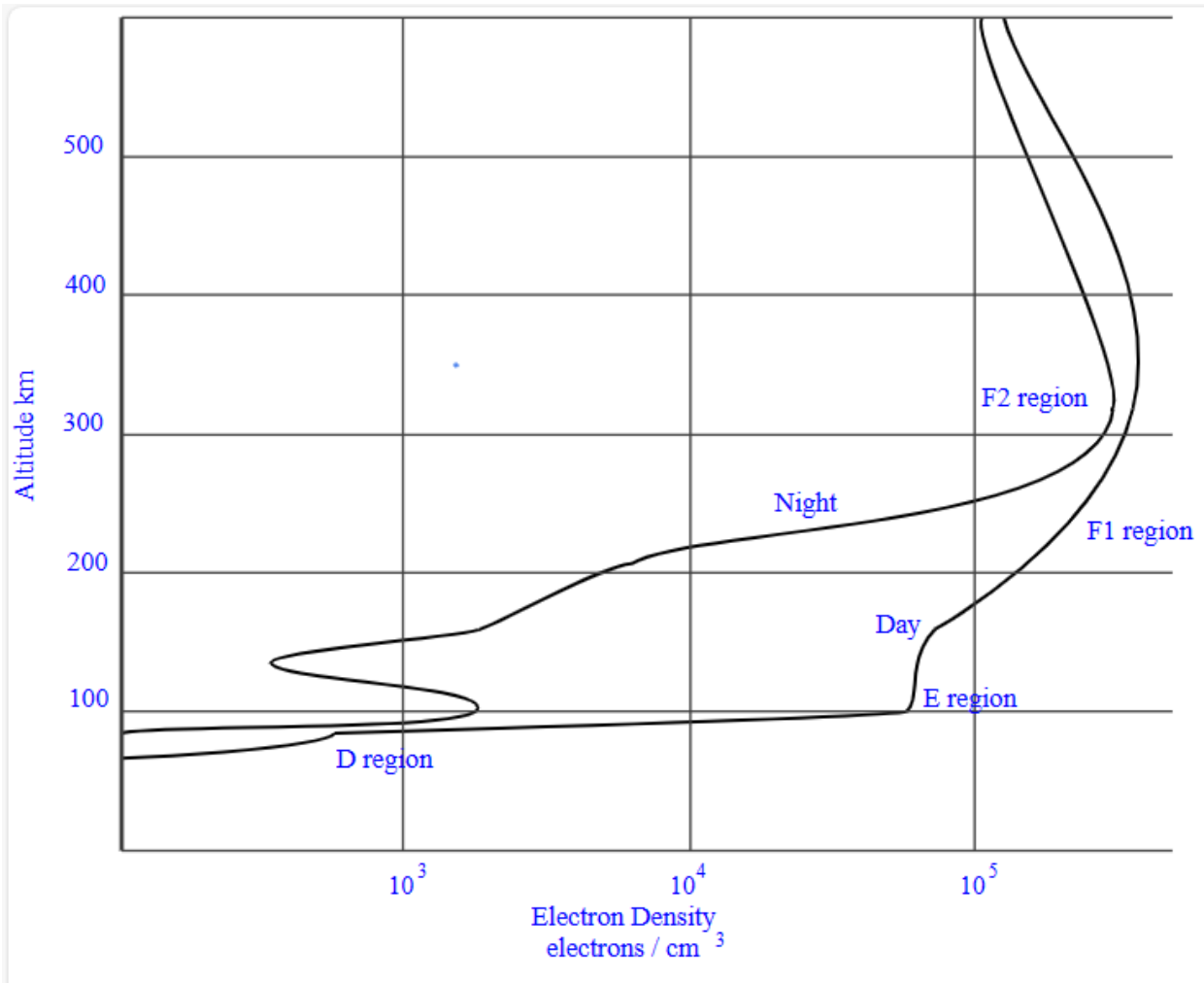


Figura 68. Máxima densidad de ionización de la capa E  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Buscando la frecuencia crítica que es la altura máxima que alcanza una onda en una capa y que se refleja y que no se escapa a la siguiente capa, por lo que, Altura = 130km.

Densidad electrónica (400km) =  $4 \cdot 10^5$  elec/cm<sup>3</sup> convirtiéndolos en m<sup>3</sup>

$$10^5 \frac{\text{elec}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ cm}^3}{0.000001 \text{ m}^3} = 10^5 \frac{\text{elec}}{1 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 10^{11} \frac{\text{elec}}{\text{m}^3}$$

Ne max =  $2 \cdot 10^{11}$  elec/m<sup>3</sup>

Frecuencia crítica ( $f_0E$ )

$$f_0E = 9 \sqrt{Ne \text{ max}} = \sqrt{2 * 10^{11}} = 4024922.359 \text{ Hz}$$

$$f_oF_2 = 4.024\text{MHz}$$

### Ionograma de la capa E

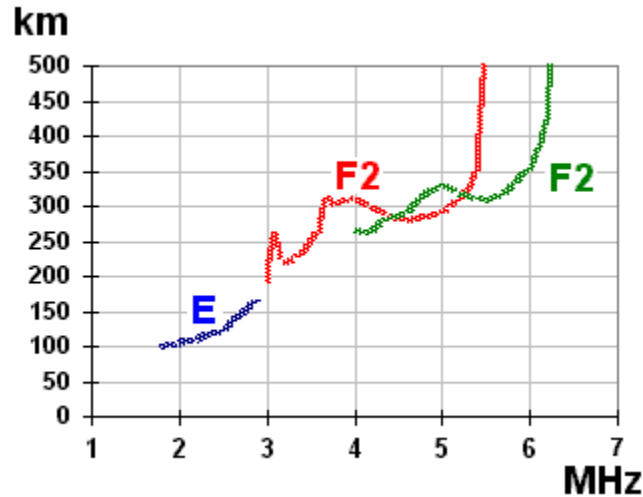


Figura 69. Ionograma de la capa F2  
Fuente: (Rábanos, 2006)

Del grafico a una frecuencia de 4.024Mhz la altura virtual es de 310km

$$h_v = 450\text{km}$$

### Ángulo de incidencia en la ionosfera

Sustituyendo los valores y trabajando las identidades trigonométricas en grados:

$$\Phi_o = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{\text{sen}(d/2R_o)}{1 + (h_v/R_o)\text{cos}(d/2R_o)} \right] = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{\text{sen}(105.26/2 * 6371)}{1 + (450/6371) - \text{cos}(105.26/2 * 6371)} \right]$$

$$\Phi_o = 9.63^\circ$$

### Ángulo de salida:

$$\Delta = \pi/2 - (\Phi_o + d/2R_o) = 90^\circ - (9.63 + 105.26/2 * 6371)$$

$$\Delta = 80.36^\circ$$

### Frecuencia de máxima utilización (MUF)

Para formular predicciones, cuando se determina la MUF operacional (véase la Recomendación UIT-R P.373) para un modo F2 se expresa en términos de la MUF básica. En el

la figura 70 se observa la relación entre la MUF operacional y la MUF básica para las diferentes estaciones del año, horas del día y potencia radiada del transmisor, relaciones que pueden utilizarse cuando no se dispone de información concreta sobre el circuito en cuestión. Cuando se determina la MUF operacional para un modo E o F1, se toma igual a la MUF básica correspondiente

**Relación ( $R_{op}$ ) entre la MUF operacional mediana y la MUF básica mediana para un modo F2**

Potencia isotrópica radiada equivalente (dBW)	Verano		Equinoccio		Invierno	
	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día
$\leq 30$	1,20	1,10	1,25	1,15	1,30	1,20
$> 30$	1,25	1,15	1,30	1,20	1,35	1,25

Figura 70. Relación MUF operacional  
Fuente: (REC UITR, 2005)

Por lo tanto, MUF para el invierno

$$F2(d)MUF = f_0F_2 * 1.30 = 4024922.359 * 1.30$$

$$F2(d)MUF = 5232399.067\text{Hz}$$

### Disponibilidad de modos

Para los modos E, la FOT (Frecuencia Optima de Trabajo) es igual al 90% de la MUF.

$$FOT = 90\% * F2(d)MUF = 0.90 * 5232399.067 = 4709159.161$$

$$FOT = 4.70\text{MHz}$$

**Por lo que una frecuencia de 4.70MHz con un ángulo de salida de 80.36° tendrá una buena interconexión entre la estación DOAS piedra azul y el MARN en el invierno.**

El transmitir los datos a través de la ionosfera es posible, lamentablemente, el tiempo disponible no nos permite explorar su viabilidad con mayor profundidad. No obstante, este aspecto queda evidenciado para futuros trabajos de graduación que busquen explorar alternativas mediante este medio.

## Capítulo 4: Conclusiones

La evaluación de cobertura y perfiles de elevación de la estación Piedra Azul hacia las estaciones Ranchito y Pacayal muestra desafíos significativos para establecer radioenlaces de forma directa, especialmente en la estación Pacayal, donde se demostró en la sección 3.2 que la acción de establecer una transmisión de datos por medios terrestre a este lugar es impracticable. Por lo tanto, el lugar con mayor posibilidad para un radioenlace es la estación Ranchito. La simulación usando tecnología de microondas desde Piedra Azul hasta la estación Ranchito muestra una zona de Fresnel de  $-3.9F1$ , generando pérdidas significativas, lo que lo hace poco recomendable debido a la interferencias y obstáculos. En cambio, la simulación con modulación FM demuestra una zona de Fresnel de  $-0.5F1$  con pérdidas superables y con un nivel de recepción suficientemente alto siendo una opción más prometedora. Aunque esta opción parece buena, se subraya la necesidad de llevar a cabo pruebas de campo para respaldar su eficiencia y confirmar su viabilidad, ya que los enlaces RF carecen de certeza definitiva sin validación práctica.

La alternativa de instalar una repetidora que sea intermediaria para poder transmitir los datos generados de la estación DOAS Piedra Azul hasta la estación Pacayal, implica un costo de implementación de alrededor de \$30,797.32 dólares. Las simulaciones demuestran niveles robustos de señal, pérdidas superables y una buena calidad de enlace. La ruta usando una antena repetidora en las coordenadas proporcionadas manifiesta una conectividad eficaz, respaldando la viabilidad de un radioenlace sin problemas. Además, al optar por esta alternativa, se abre un amplio abanico de posibilidades para transmitir los datos utilizando equipos que van más allá de la frecuencia indicada de 400MHz, de esta manera concluimos que el uso de una antena repetidora es altamente funcional.

La alternativa de utilizar la estación Caballito como repetidora para dirigir la señal desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal se presenta como una estrategia viable en términos de conectividad de datos, la implementación de esta estrategia implica un costo alrededor de \$10,317.64 dólares. La simulación del radioenlace entre DOAS Piedra Azul y Caballito muestra una señal robusta, aunque se sugiere la reducción de pérdidas y mejoras en la zona de Fresnel para optimizar la calidad de la conexión tal como se mostró en la sección 3.5.1. La continuación de la estación Caballito hacia el Pacayal son resultados similares, destacando una correcta conectividad

de los datos transmitidos desde la estación DOAS Piedra Azul hasta el Pacayal. En conclusión, la estrategia de utilizar la estación Caballito como repetidora se muestra como una opción efectiva, respaldada por simulaciones detalladas y con los ajustes por si se desea optimizar aún más el rendimiento de este radioenlace.

La alternativa de aprovechar el servicio satelital de STARLINK para establecer una conexión a Internet en la estación DOAS Piedra Azul se presenta una solución inmediata de implementar, simple y básica. Requiere elementos como una computadora con su tarjeta WIFI, las baterías, el panel solar, inversor de corriente, y el Kit STARLINK, esta opción ofrece una implementación sencilla y eficiente. Para la conexión remota es por medio del programa TeamViewer en su versión gratuita. Con un costo aproximado de \$1,721.00 dólares, de allí pagar una cuota mensual por el servicio de internet satelital dicho valor es \$49 dólares mensualmente.

La alternativa de aprovechar la telefonía móvil de un **proveedor de internet comercial (ISP)** para establecer una conexión a Internet en la estación DOAS Piedra Azul se presenta una solución inmediata de implementar, simple y efectiva. Requiere elementos básicos como una computadora con su tarjeta WIFI, baterías, panel solar, inversor de corriente continua a corriente alterna y el MIFI INALAMBRICO. Esta opción ofrece una implementación sencilla y eficiente, facilitando la conexión remota a través del programa TeamViewer en su versión gratuita. Con un costo aproximado de \$1,253.62 dólares, considerando un pago adelantado del servicio de internet por un año, y con una cuota mensual de \$30 dólares, esta alternativa se posiciona como la solución más practica y económica para satisfacer las necesidades de la conexión de la estación.

## Bibliografía

Aguirre, J. (2005). *Caracterización de la fracción líquida de condensados de emisiones fumarólicas y sedimentos en varios puntos de la cadena volcánica activa de El Salvador* [Para optar al grado de: licenciado en ciencias químicas, Universidad de El Salvador]. Repositorio UES.

<https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/89c0922d-a25b-45ff-bb34-62f8e69c0010/content>

Arellano, S., Kern, C. (2018) *Optical Remote Sensing Group, Department of Radio and Space Sciences, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden* [Imagen]. NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change).

<https://usermanual.wiki/Pdf/NOVACinstrumentmanual.156730123.pdf>

Bordino, J. (2022). *VULCANOLOGÍA* [Imagen]. Ecología Verde.

<https://www.ecologiaverde.com/vulcanologia-que-es-y-objetivos-3646.html>

Colectiva-Mente (RoCur). [@ColectivaMent1]. (2021, 30 de septiembre). *En el caso de los volcanes, la exploración geofísica ayuda a estimar los conductos y caminos por el que el magma se desplazó en el pasado. No sólo eso, ¡sino que podemos también aproximar cuánto magma se encuentra almacenado en reservorios bajo el volcán!* [Imagen]. Twitter.

<https://twitter.com/ColectivaMent1/status/1443467883648933890>

Cruz Roja Salvadoreña. (2013, diciembre 29). *Erupción Volcánica Chaparrastique - Informe de Situación No.1*. ReliefWeb.

<https://reliefweb.int/report/el-salvador/erupci-n-volc-nica-chaparrastique-informe-de-situaci-n-no1>

Ea7glu. (2006). *TCP/IP sobre AX25*. <https://ea7glu.ure.es/tcpip00.htm>

Fuentes, A. (2012). *IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN ÓPTICA PARA EL MONITOREO REMOTO DE LA CALIDAD DEL AIRE* [Tesis para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Físicas, Universidad de Concepción]. Scribd.

<https://es.scribd.com/document/562195764/A1-Tesis-DOAS-Rodrigo-Fuentes>

Gomes, N. (2018). *Device LoRa: From device to cloud* [Imagen]. Slideshare.

<https://es.slideshare.net/slideshow/webinar-tecnologia-lora-do-dispositivo-nuvm/125899621>

IAQS. (2013). *DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)* [Imagen]. IAQS.info.

<https://www.iaqs.info/?p=553&lang=es>

Iturralde, M. (2011). *Serie “Aprendamos a protegernos” Las erupciones volcánicas*.

<http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/bitstream/handle/123456789/77/Aprendamos-a-protegernos-Las-Erupciones-Volcanicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kern, C. (2023). *Redes DOAS mejoradas en los volcanes San Miguel y Santa Ana, El Salvador*. NOVAC.

<https://novac-community.org/2023/06/doas-networks-upgraded-at-san-miguel-and-santa-ana-volcanoes-el-salvador>

López Martínez, J. L., & Mandujano Mejía, C. (2005). *Sistema de Absorción Óptica Diferenciada del Espectro (DOAS) para evaluar la calidad del aire* [Imagen]. Revista CENIC. Ciencias Químicas, 36( ), .

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620511024>

López, P. (2019). *PuTTY libera una actualización de seguridad que corrige 8 graves errores* [Imagen]. Una al día. <https://unaaldia.hispasec.com/2019/03/putty-libera-una-actualizacion-de-seguridad-que-corrige-8-graves-errores.html/amp>

Ministerio de Medio Ambiente. (s.f.). *Decreto de creación*.  
<https://www.snet.gob.sv/ver/snet/decreto+de+creacion/>

Ministerio de Medio Ambiente. (s.f.). *Servicio Geológico Nacional*.  
<https://www.snet.gob.sv/ver/snet/areas+de+snet/servicio+geologico/>

Ministerio de Medio Ambiente. (s.f.). *Volcanes activos*.  
<https://www.snet.gob.sv/ver/vulcanologia/volcanes+de+el+salvador/volcanes+activos/>

Ministerio de Medio Ambiente. (s.f.). *Informe Especial No. 38, VIGILANCIA. Se mantiene baja actividad en el volcán de San Miguel*.  
<https://www.snet.gob.sv/ver/vulcanologia/informes+especiales/#:~:text=Se%20mantiene%20baja%20actividad%20en%20el%20volc%C3%A1n%20de,presentan%20cambios%20significativos%20y%20se%20han%20mantenido%20bajos>

Ministerio de Medio Ambiente. (s.f.). *Vulcanología*.  
<https://www.snet.gob.sv/informacion/?area=vulcanologia>

Ministerio de Medio Ambiente. (2000-2001). *Memoria de Labores*.  
<https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/memoria-de-labores-2000-2001/>

Ministerio de Medio Ambiente. (2014). *Aprendamos a protegernos ante la exposición al dióxido de azufre*.  
<https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/aprendamos-a-protegernos-ante-la-exposicion-al-dioxido-de-azufre/>

Microchip. (s.f.). *RN2483*. <https://www.microchip.com/en-us/product/RN2483>

NOVAC. (s.f.). *Qué es Novac*. <https://novac-community.org/>

NOVAC. (2018). *VOLCANES* [Imagen]. NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change). <https://novac-community.org/volcanoes>

Ramírez, G. (2022). *Sistemas de Transmisión de Datos*. [Imagen].  
<https://gabrielsistemasdetransmision.blogspot.com/2022/11/sistemas-de-transmision-de-datos.html?m=1>

Rábanos, H. (2006.). *Transmisión por radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces.  
<https://es.scribd.com/document/205037129/Transmision-por-radio-Sexta-Edicion-H-Rabanos>

Villasante, J. (s.f.). *Vulcanismo* [Geografía Física General, Universidad Nacional del Altiplano]. Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/434502783/trabajo-de-vulcanismo>

# Anexos

**STANDARD KIT** STARLINK

Dish Base Router Starlink Cable AC Cable

Dish: 52 m (18 ft) | AC Cable: 18 m (6 ft)

**DISH**

513 mm (20.2 in) | 303 mm (12 in) | 34 mm (1.3 in) | 380 mm (15 in) | 544 mm (21.4 in)

**Antenna** Electronic Phased Array  
**Field of View** 100°  
**Orientation** Motorized Self Orienting  
**Dish Weight** 2.9 kg (6.4 lbs) without Cable  
 3.6 kg (7.9 lbs) with 15.2 m (50 ft) Cable  
**Environmental Rating** IP54  
**Operating Temperature** -30°C to 50°C (-22°F to 122°F)  
**Wind Speed** Operational: 80 kph • (50 mph+)  
**Snow Melt Capability** Up to 40 mm / hour (1.5 in / hour)  
**Power Consumption** Average: 50-75 W

100° Field of View

support.starlink.com

**ROUTER** STARLINK

180 mm (7.1 in) | 65 mm (2.6 in) | 254 mm (10 in)

Starlink | C4 Power | LED

**Wi-Fi Technology** 802.11ac Dual Band  
**Generation** Wi-Fi 5  
**Radio** Dual Band - 3 x 3 MIMO  
**Operating Temperature** -30°C to 50°C (-22°F to 122°F)  
**Weight** 1 kg (2.2 lbs)  
**Security** WPA2  
**Range** Up to 185 m<sup>2</sup> (2000 ft<sup>2</sup>)  
 \*Varies on placement, interference, and building materials  
**Environmental Rating** IP54 - Configured for Indoor Use  
**Power Indicator** White LED | Base of Router  
**Mesh Compatibility** Compatible with up to 12 Starlink Nodes  
**Devices** Connect up to 128 devices

support.starlink.com

**BASE** STARLINK

513 mm (20.2 in) | 378 mm (14.9 in) | 122 mm (4.8 in)

Section A | Section B | Section C

118.8 ± 1 | 76.3 ± 0.1 | 34.3 ± 0.2 | 10° | 3.02 ± 0.2 | 11.9 | 35.2

support.starlink.com

**STANDARD STARLINK CABLE** STARLINK

15.2 m (50 ft) | 24.8 mm (0.98 in) | 66 mm (2.6 in) | 16 mm (0.6 in) | 58 mm (2.3 in) | 78 mm (3.1 in)

Cable Guide for Routing | 24.8 mm (0.98 in) Cable

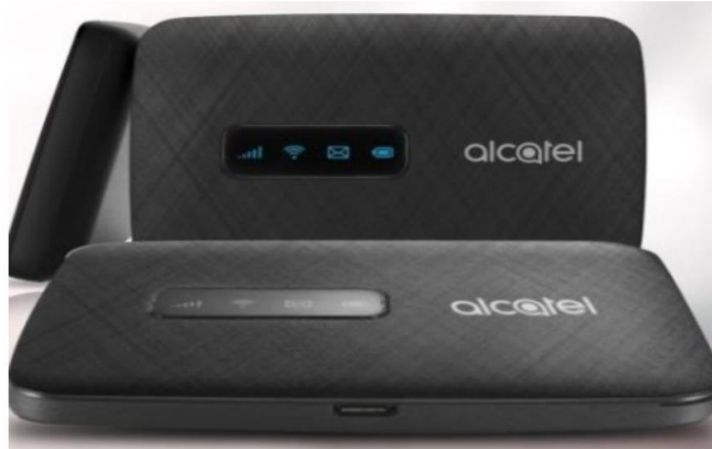
End	Pin	Ethernet Pin	Wire Color	Pin	End
Dish	A1, A2	B-	Orange White	A1, A2	Wi-Fi
	A3, A4	B+	Orange	A3, A4	
	A5, A6	A-	Green White	A5, A6	
	A7, A8	A+	Green	A7, A8	
	B1, B2	-	N/C	B1, B2	
	B3, B4	-	N/C	B3, B4	
	B5	D+	Brown White	B5	
	B6	D-	Brown	B6	
	B7	C-	Blue White	B7	
	B8	C+	Blue	B8	
	B9, B10	-	N/C	B9, B10	
	B11, B12	-	N/C	B11, B12	
Shield/Cable	-	Drain Wire	Shield		

support.starlink.com

## Internet WIFI proveedor de internet comercial (ISP)

### + Oferta económica

#### MIFI INALAMBRICO



#### PLAN:

Modelo	Unidades	Cargo Basico	Cuota de Equipo	Total Mensual/Unidad	TOTAL	Meses Compromiso
ALCATEL LINK ZONE	1	\$30.00	\$0.00	30.00	\$ 30.00	12
				TOTAL IMPUESTO DE IVA	\$ 30.00	

#### BENEFICIOS:

Modelo	Cargo Básico	Navegación	Redes Sociales
ALCATEL LINK ZONE	\$30.00	30GB	WS+FB TEXTO E IMAGENES

**Beneficios tienen vigencia de 90 días, desde la activación mensual**

# HOJA DE DATOS ESPECTROMETRO FLAME



1: Introduction

## Specifications Summary

Specification	FLAME-S	FLAME-T
<b>SPECTROSCOPIC</b>		
Optical resolution	~0.1-10.0 nm FWHM (configuration dependent)	
Signal-to-noise ratio	250:1	300:1
Integration time	1 ms – 65 seconds	3.8 ms – 10 seconds
Corrected linearity	>99.8%	
<b>ELECTRONIC</b>		
A/D resolution	16 bit	
Power requirement (spectrometer functions)	250 mA @ +5 VDC	
Inputs/Outputs	8 x digital user programmable GPIOs	
Trigger modes	4 modes	
Strobe functions	Yes	
Gated delay feature	Yes	
Connectors	Micro-USB and JAE DD4 40-pin connector	
<b>DETECTOR</b>		
Detector	Sony ILX511B linear silicon CCD array	Toshiba TCD1304AP linear CCD array
Detector range	190–1100 nm	
Pixels	2048 pixels	3648 pixels
<b>PHYSICAL</b>		
Dimensions	88.9 mm x 63.5 mm x 31.9 mm	
Weight	265 g	

225-0000-000-11-201604

5



1: Introduction

## Product Versions

Many variants of the Flame Spectrometer exist. Ocean Optics offers both preconfigured units as well as custom-configured units, enabling you to order a customized spectrometer optimized for your application. You can tell which kind of spectrometer you have by looking at the product code, located on the bottom of your spectrometer.

You can find more information about the various components and possible configuration options in Chapter 5: [How the Flame Spectrometer Works](#).

### Product Code Taxonomy

Spectrometer Family?	Detector Type?	Preconfigured or Custom?
FLAME-	S- (Sony ILX511B)	UV-VIS, VIS-NIR, XR CUSTOM
	T- (Toshiba TCD1304AP)	UV-VIS, VIS-NIR, XR CUSTOM
	F- (Hamamatsu S11639)	UV-VIS, VIS-NIR, XR CUSTOM

### Preconfigured Models

FLAME-S Preconfigured Models (Sony ILX511B Detector)								
	Model	Range (nm)	Slit (µm)	Resolution slit slit (nm)	Grating #	Mirror Type	Filters & Detector Options*	Lens
General Purpose	FLAME-S-UV-VIS	200-850	25	-1.5	1	Al	OSF 200-850	no
	FLAME-S-UV-VIS-ES							L2
	FLAME-S-VIS-NIR	350-1000	25	-1.5	3	Al	OSF 350-1000	no
	FLAME-S-VIS-NIR-ES							L2
Extended Range	FLAME-S-XR1	200-1025	25	-2	31	Al	OSF 200-1100	no
	FLAME-S-XR1-ES							L2
Irradiance	FLAME-S-RAD	360-1000	50	-3	2	Al	UV Window	no

225-0000-000-11-201604

6

## Chapter 6

# Technical Specifications

Specification	FLAME-S	FLAME-T
<b>Optical and Spectroscopic</b>		
Integration Time	10 µs – 65 seconds	3.8 ms to 10 seconds
Dynamic Range for single acquisition <sup>1</sup>	1300:1	
Dynamic Range of system <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>3</sup>	3.4 x 10 <sup>3</sup>
Signal-to-Noise (single acquisition)	250:1	300:1
Resolution (FWHM)	0.1 – 10.0 nm (configuration dependent)	
Scan rate (max) <sup>3</sup>	400 Hz	260 Hz
Spectrometer Channels	One	
Thermal Stability	0.02 nm/°C for 650 nm range, 0.08 pixels/°C	
Triggering	4 modes	
Triggering Jitter	21 nanoseconds	
<b>Detector</b>		
Type	Sony ILX511B CCD	Toshiba TCD1304AP CCD
Detector range	190–1100 nm	
Pixels	2048 pixels	3648 pixels
Pixel size	14 µm x 200 µm	8 µm x 200 µm
Electronic shutter	No	Yes
Pixel well depth	~62,500 electrons	~100,000 electrons
Readout noise (single dark spectrum)	50 counts RMS, 300 counts peak-to-peak	

225-0000-000-11-201604

46

## 6: Technical Specifications



Specification	FLAME-S	FLAME-T
Corrected linearity	>99.8%	
Filters (optional)	2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> order rejection, long pass	
<b>Electrical</b>		
Power requirement (spectrometer functions)	250 mA at +5 VDC	
Supply voltage	4.75 – 5.25 V	
Power-up time	~2s	
Connectors	Micro-USB and JAE DD4 (DD4RA40JA1) 40-pin connector	
Micro-USB Absolute Maximum Ratings: V <sub>CC</sub>	+ 5.5 VDC	
DD4 Absolute Maximum Ratings: V <sub>CC</sub> (Pin 40) Voltage on any pin (other than input power)	+ 5.5 VDC +4VDC	
Interface: USB RS-232	USB 2.0, 480 Mbps 2-wire RS-232	
<b>Mechanical</b>		
Spectrometer Design	Asymmetric crossed Czerny-Turner	
Input Fiber Connector	SMA 905 or FC	
Gratings	15 different gratings. See Chapter 5: <a href="#">How the Flame Spectrometer Works</a> for more information.	
Entrance Slit	5, 10, 25, 50, 100, or 200 µm slits. (Slits are optional. In the absence of a slit, the fiber acts as the entrance slit.)	
Physical Dimensions	88.9 mm x 63.5 mm x 31.9 mm	
Weight	265 g	
<b>Environmental</b>		
Temperature: Storage	-30° to +70° C 0 to 50° C	

225-0000-000-11-201604

48

# HOJA DE DATOS AXIOMTEC PROCESSOR

## FB112

Robust RISC-based DIN-rail Fanless Embedded System with i.MX 6UL Processor, COM, CANbus, 2 LANs and DIO (2-in/1-out)

### Features

- RISC-based i.MX UltraLite processor 528 MHz
- 256MB DDR3 SDRAM onboard
- 4GB eMMC flash onboard
- 1 PCI Express Mini Card slot (Wi-Fi or 3G/4G)
- 1 CAN Bus
- 2 digital inputs and 1 digital output
- 9 to 48 VDC wide range power input with terminal block
- Embedded Linux operating system (Yocto)
- Fanless and compact design
- Wide operating temperature range from -40°C to +70°C



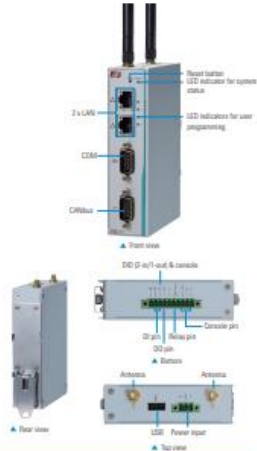
### Introduction

The FB112 is a robust RISC-based embedded system utilizing the low power RISC-based i.MX 6UL processor and is designed to withstand temperatures ranging from -40°C to +70°C for safety in extreme operating environments and industrial automation applications.

The FB112 features one RS-232/422/485 serial port, dual LAN, one CANbus, two digital input channels, one digital output channel, LED for user programming and one eMMC onboard 4 GB. Its compact DIN-rail form factor makes it easy to install the system in a small cabinet. The ready-to-run FB112 is especially designed for remote control monitoring management applications like automated control system, industrial machines, automatic parking lot, traffic suburban and more.

### Specifications

Construction	Embedded aluminum and heavy-duty steel IP60
CPU	807 i.MX 6UL processor, ARM9 Cortex-A7, 512 Kbit/s
System Memory	1 x 256 MB DDR3 onboard, 256 MB
System I/O Device	Serial Port 1 x RS-232/422/485 RS-232/422/485 interface select by software
CAN Bus	1 x CAN 2.0 B (3B) connector Mikrotik 100M standard Software control terminal resistor 320 ohm can high speed up to 10Mbit/s for broadcast receive
LAN	2 x 10/100 Mbps Ethernet Magnetic isolation protection 1.5 kV
Relay	1 x Relay
USB	1 x USB 2.0
DIO	1 x DIO (2-in/1-out) 25 switches DIO unit Input channels: 2, 5-voltage type Input voltage: 0 to 24 VDC digital input level for 0 is contacts Logic level 0: close to GND Logic level 1: open Signal input levels for used contacts: Logic level 0: Close to GND Logic level 1: +0.7 to +24 V max. 25V Output channels: 1, sink type Output current: max. 200 mA per channel On-state voltage: 24 VDC nominal, open
Connect Port	Yes for user setting with ledging
EEPROM	1 x EEPROM 256/128 bit
Wireless	1 x PCI Express Mini Card slot USB signal only 1 x 3.5mm audio socket



Watchdog Timer	WDT: 0.5 to 128 sec. with a time resolution of 0.5 sec.
LEDs	1 x LED for power status 1 x LED for reset status 4 x LED (as required by client)
Storage	1 x eMMC 4GB flash onboard
Power Supply	9 to 48VDC power input range
Operating Temperature	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Storage Temperature	-40°C to +85°C (-40°F to +185°F)
Humidity	10% to 90%
Vibration Endurance	3 Gms @ 10 to 1500 Hz sine wave, operational
Dimensions	21 mm (1.22") H x 160 mm (6.3") L x 125 mm (4.92") W
Weight (net/gross)	0.2 kg (0.44 lb) / 0.4 kg (0.88 lb)
Installation	25k-volt, gold finish
OS Linux	OS: Yocto (3.1) (64)
OS Linux	Kernel: 3.14.22
Certifications	CE2 part 15, Heavy Industrial CE

### Ordering Information

Standard	
FB112-4G	Robust DIN-rail fanless embedded system with i.MX 6UL processor, COM, CANbus, 2 LANs and DIO (2-in/1-out) (-40°C to +70°C)

### Optional

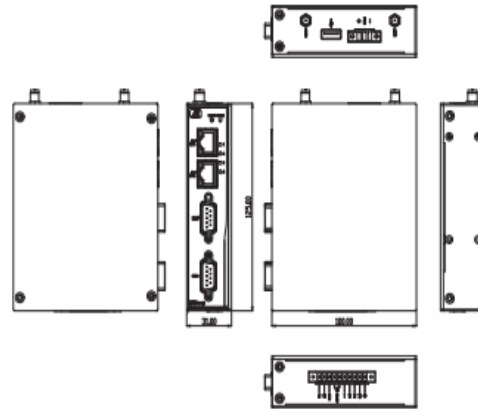
Wall mount kit  
Wireless 2G/GPS or 3G/4G module

### Packing list

1 x DIO
4 x Screws
1 x Din rail kit
1 x Console cable
1 x 3-pin terminal block for power part
1 x 8-pin terminal block for DIO part

\* Specifications and photos may vary based on different requirements.

### Dimensions



# HOJA DE DATOS GPS NETR9 TRIMBLE.

### SATELLITE TRACKING

- Two advanced Trimble Maxwell 6 GNSS chipsets for a total of 400 channels
- Trimble eXtREME™ multipath signal rejection
- Trimble B-track™ technology
- High precision multiple correlator for GNSS pseudorange measurements
- Unfiltered, unsmoothed pseudorange measurements data for low noise, low multipath error, low time domain correlation and high dynamic response
- Very low noise GNSS carrier phase measurements with <math><1\text{ mm}</math> precision in a 1 Hz bandwidth
- Signal-to-noise ratios reported in dB-Hz
- Proven Trimble low elevation tracking technology
- Current satellite signals tracked simultaneously
  - GPS, L1 CA, L2C, L2E (Trimble method for tracking L2P), L5
  - GLONASS, L1 CA and unencrypted P code, L2 CA and unencrypted P code
  - Galileo GIOVE-A and GIOVE-B
  - SBAS: L1 CA, L5 supporting WAAS, EGNOS and MSAS
  - L-Band Omnistar VBS, HP and XP

### POSITIONING PERFORMANCE

Code Differential GNSS Positioning<sup>1</sup>

Horizontal	0.25 m + 1 ppm RMS
Vertical	0.50 m + 1 ppm RMS
WAAS differential positioning accuracy <sup>2</sup>	typically <math><5\text{ m}</math> SBASMS

Static GNSS Surveying<sup>3</sup>

Baseline <math><30\text{ km}</math>	
Horizontal	3 mm + 0.1 ppm RMS
Vertical	4 mm + 0.4 ppm RMS
Baseline >math>30\text{ km}</math>	
Horizontal	4 mm + 0 ppm RMS
Vertical	9 mm + 0 ppm RMS

Real Time Kinematic Surveying<sup>4</sup>

Single Baseline <math><30\text{ km}</math>

Horizontal	8 mm + 1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS

Networked RTK<sup>5</sup>

Horizontal	8 mm + 0.5 ppm RMS
Vertical	15 mm + 0.5 ppm RMS

Initialization time: typically <math><10\text{ seconds}</math>  
 Initialization reliability: typically >math>99.9\%</math>

### COMMUNICATION

- Serial Ports
  - One D9 Male, EIA-574 RS-232C/24 Full 9 wire serial
  - One Lemo 7 pin D-sub, 3 wire serial with power input, 1 PPS output and event input
  - One Mini B USB 5 pin, supports Device and Host mode operation
- Bluetooth<sup>®</sup>
  - Integrated 2.4 GHz Bluetooth, supports 3 simultaneous connections
- Ethernet
  - Integrated RJ45 jack
  - Full-duplex, auto-negotiate 100Base-T
  - Power over Ethernet (PoE) support with a Class 3 PoE supply
  - HTTP, HTTPS, TFTP, L2P, FTP, NTP Client, NTP Server, NTP Push
  - Proxy server support
  - Roaming table support
  - NTP Server, NTP Client support
  - UPnP and Zeroconf support
  - Email Alerts and File Push

### DATA LOGGING

Storage Capacity	8 GB
On-board memory	greater than 1 TB
External memory <sup>6</sup>	>math>50\text{ Hz}</math>
Maximum logging rate	5 minutes to continuous
File durations	8 concurrent independent sessions with dedicated memory pooling and ring buffers
Storage systems	Google Earth, KMZ
File formats	TOT, BINEX v2.11, BINEX v3.0, BINEX, Google Earth, KMZ
File naming options	multiple
Data retrieval and transfer	HTTP, FTP Server, USB, FTP Push and Email Push
Events	definable file protection on events

### PHYSICAL SPECIFICATIONS

Dimensions (L x W x H)	36.5 mm x 13.0 mm x 5.5 mm (1.43 in x 0.51 in x 0.22 in)
Weight	1.75 kg (3.85 lb)

### INPUT/OUTPUT FORMATS

- Conversion Formats
  - CMR, CMR6, CMR6, RTCM 2.1, RTCM 2.2, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1
- Observables
  - RT17, RT27, BINEX, RTCM 3.x
- Position/Status I/O
  - BINEX-CIRI v2.30, GSOF
- Up to 50 Hz Output
- 10 MHz External Frequency Input
  - Normal input level 0 to +13 dBm
  - Maximum input level +17 dBm, <math>\pm 35\text{ V DC}</math>
  - Input impedance 50 Ohms @ 10 MHz, DC blocked
- 1 PPS Output
- Event Input
- Merit® Sensor Support



### ENVIRONMENT

Rated to	IP67 and MIL-STD 883F
Operating temperature <sup>1</sup>	-40 °C to +65 °C (-40 °F to +149 °F)
Storage temperature	-40 °C to +80 °C (-40 °F to +176 °F)
Humidity	100% condensing
Shock	Survival: Non-operating 75 g, 8 ms; Operating to 25 g, 10 ms, sinusoidal, designed to survive a 1 m drop onto hard surface
Vibration	Operating: 7.5 Hz to 330 Hz 0.015 g <sup>2</sup> /Hz, 330 Hz to 500 Hz 0.006 g <sup>2</sup> /Hz <math><4\text{ dB/Octave}</math>; Non-Operating: 10 Hz to 300 Hz 0.04 g <sup>2</sup> /Hz, 300 Hz to 1000 Hz <math>-4\text{ dB/Octave}</math>
Ingress protection	Rated to IP67, waterproof for temporary immersion to a depth of 1 m (3.28 ft), dustproof

### USER INTERFACE

- Front Panel Display
  - 2-line x 16-character vacuum fluorescent display
  - Advanced power saving modes
  - Escape and Enter key for menu navigation
  - 4 arrow keys (up, down, left and right) for scrolling and data entry
  - Power button and indication LED
- Web User Interface
  - Secure
  - Allows remote configuration, data retrieval and firmware updates
  - Programmatic interface
  - Allows for open, non-proprietary access, control and configuration

### ANTENNA SUPPORT

Output voltage	5.0 V DC nominal
Maximum output current	150 mA
Maximum cable loss	12 dB
Recommended antenna	Trimble Zephyr Geodetic™ 2, Trimble GNSS Choke Ring

### SECURITY

- Optional HTTP login
- HTTPS
- Real-time stream authentication
- Programmatic interface authentication
- NTP


### ELECTRICAL

- Power over Ethernet (PoE) (802.3af) requires a Class 3 PoE supply
- 9.5 V DC to 28 V DC input on Lemo port
  - User-configurable power-on voltage
  - User-configurable power-down voltage
- Integrated internal battery 7.4 V, 7000 mAh, Li-Ion; 15 hours of continuous operation, dependent on user settings
- Internal battery operates as a UPS in the event of power source outage
- Seamless switching between external/internal power sources
- Internal battery will charge from external power source when input voltage is >math>12\text{ V DC}</math>
- Integrated charging circuitry
- Power consumption 3.8 W nominal, dependent on user settings

### REGULATORY COMPLIANCE

- RoHS
- China RoHS
- FCC Part 15.247 FCC certifications
- Class B Device FCC Part 15 and ICES-003 compliance
- RSS-310 and RSS-310 Industry Canada compliance
- CE mark compliance
- C-Tick mark compliance
- UN ST/GSAC 10.1 (Riv. 2, Aramid, 1 (Li-Ion battery))
- UN ST/GSAC 10.2 (Agd. 2 (Li-Ion battery))
- WEEE

1. IEC 60068-2-27  
 2. Operating time for subject to degradation by multipath interference, interference, satellite geometry and atmospheric conditions. Storage and non-operational storage conditions.  
 3. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 4. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 5. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 6. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 7. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 8. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 9. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 10. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 11. See the user manual for details on the use of the choke ring.  
 12. See the user manual for details on the use of the choke ring.





## OFERTA proveedor de internet comercial (ISP) TIGO

San Salvador, 28 de Agosto de 2023

Presentes

Estimados: **MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

Reciba un cordial saludo, esperando éxitos en sus labores cotidianas.

En esta ocasión queremos presentarnos como Tigo Business, un socio estratégico para su empresa y negocio, que pone a su disposición un portafolio de soluciones tecnológicas que permiten una comunicación efectiva a través de nuestros servicios de Voz y Datos. Esta integración facilita a nuestros clientes vivir el estilo de vida digital, en la oficina, en el hogar y en lo personal, generando así el control y acceso total de la información en todo momento y todo lugar.

Tigo Business ha agrupado sus productos en cuatro soluciones tecnológicas: Soluciones de Voz, Soluciones de Conectividad, Soluciones en La Nube y Soluciones Avanzadas, cada una de ellas están diseñadas para satisfacer las necesidades de nuestros clientes dependiendo su rubro, giro y actividad a la que se dediquen.

A continuación, le presentaremos la solución que hemos diseñado para su empresa, la cual estamos seguros se adaptará a las necesidades que posee actualmente, ya que esta solución es flexible y adaptable según sean sus requerimientos.

Atentamente,

*Esmeralda Ponce*  
2121 8484 opc 1-5 ó 2121-8374  
*keponce@sv.tigo.com*  
**B2B Sales Executive**

Las soluciones de Voz y Conectividad han sido diseñadas para que puedan tener una comunicación entre líneas fijas y líneas móviles en todo momento, de tal manera que se cree una red privada de telecomunicaciones la cual sea utilizada para hacer y recibir llamadas, navegar en internet y/o transmitir datos y video.

Dichas soluciones están agrupadas entre telefonía fija y telefonía móvil, a continuación, se describen cada uno de los grupos:

#### **Telefonía Móvil**

La telefonía móvil esta soportada sobre nuestra red de **tecnología 4G- LTE**, la cual nos permite brindar servicios digitales avanzados tales como (Presentación de Número, Buzón de Voz, Desvío de Llamada y Conferencia Tripartita), estos servicios se integran en planes móviles; los cuales se adaptan a las necesidades del negocio del cliente. A continuación, las opciones de Planes al contratar Tigo Business:

##### **Planes Individuales Controlados (Control)**

Estos planes han sido diseñados para poder tener el control del presupuesto de telecomunicaciones mes a mes; cada uno de los planes tiene un cargo básico definido, el cual es cobrado mensualmente. Los cargos básicos tienen disponibilidad de beneficios, los cuales pueden ser utilizados para ser consumidos en: llamadas telefónicas, navegación de internet y suscripciones de servicios adicionales. Cuando estos beneficios son agotados, el usuario puede realizar recargas y con su saldo recargado puede seguir comunicado en cualquier momento, manteniendo los beneficios de tarifas y servicios del plan.

Los beneficios tienen una vigencia de 30 días y son renovados mes a mes, dependiendo del ciclo de facturación del cliente, es decir, no son acumulables. El beneficio de Nación Tigo posee Roaming automático con Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, USA y México. Esto quiere decir que cuando el cliente active el Roaming permitido dentro del plan, el presupuesto sigue controlado con el **saldo** asignado al plan.

La consulta del consumo puede ser en tiempo real y en cualquier momento, marcando el **\*725#**.

---

##### **Planes Individuales Abiertos (Conviene)**

Los Planes Individuales Abiertos han sido diseñados para poder hablar en cualquier momento sin restricción de saldo, de tal manera que pueden efectuar cualquier tipo de llamadas y éstas se cobrarán posteriormente en su facturación mensual.

Los planes abiertos tienen un cargo básico mensual, el cual se cobrará independientemente sea consumido en su totalidad o no. Si los minutos del plan son consumidos en su totalidad y el usuario necesita seguir realizando llamadas, las podrá hacer, y el consumo adicional será cargado en su facturación al final del mes, manteniendo los beneficios de tarifas y servicios contratados.

Los Planes Abiertos poseen Roaming automático mundial, el consumo de llamadas realizadas en roaming, se cargará adicionalmente al cargo básico del plan y será cobrado según las tarifas establecidas del país visitado.

##### **Group Calling**

Estos planes han sido diseñados para poder llamar entre los miembros de una empresa. Tienen un cobro adicional al de su Cargo Básico, y son utilizados principalmente cuando los planes no tienen Tigo Ilimitado.

##### **Beneficio Nación Tigo**

El Beneficio Nación Tigo está disponible en los planes con cargos básicos de \$26.99 o superiores. Con el Beneficio de Nación Tigo puedes llamar desde Estados Unidos hasta Colombia a la misma tarifa de tu plan, éste cubre tus llamadas en roaming y tus llamadas en larga distancia. El beneficio Nación Tigo cubre tus llamadas en roaming: salientes, backhome, entrantes y llamadas internacionales entre países de Nación Tigo.