



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN TRANSMISOR DE DATOS DEL DISDRÓMETRO
UBICADO EN EL IASA-ESPE, PARA LA EMPRESA PUBLICA INAMHI-
EPMAPS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: Bryan José Ortega Vera
Dayana Brigith Ortiz Sarmiento
TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan José Ortega Vera con documento de identificación N° 1724181498 y Dayana Brigith Ortiz Sarmiento con documento de identificación N° 1500970361; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de marzo del año 2022

Atentamente,



Bryan José Ortega Vera

1724181498



Dayana Brigith Ortiz Sarmiento

1500970361

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Bryan José Ortega Vera con documento de identificación No. 1724181498 y Dayana Brigith Ortiz Sarmiento con documento de identificación No. 1500970361, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación : “Desarrollo de un transmisor de datos del disdrómetro ubicado en el IASA- ESPE, para la empresa pública INAMHI-EPMAPS”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 18 de marzo del año 2022

Atentamente,



Bryan José Ortega Vera
1724181498



Dayana Brigith Ortiz Sarmiento
1500970361

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N° 1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN TRANSMISOR DE DATOS DEL DISDRÓMETRO UBICADO EN EL IASA-ESPE, PARA LA EMPRESA PÚBLICA INAMHI-EPMAPS realizado por Bryan José Ortega Vera con documento de identificación N° 1724181498 y por Dayana Brigith Ortiz Sarmiento con documento de identificación N° 1500970361, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto de Titulación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
1717985830

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1	13
ANTECEDENTES	13
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Justificación del proyecto	13
1.3 Objetivos.....	14
CAPÍTULO 2	16
MARCO CONCEPTUAL	16
2.1 Disdrómetro	16
2.2 Funcionamiento del disdrómetro óptico	16
2.3 Precipitación	16
2.4 Raspberry Pi.....	18
2.5 Enlace de radiofrecuencia.....	19
2.6 Enlace punto a punto.....	20
2.7 RadioMobile	21
2.8 LNM VIEW	22
2.9 Convertidor 232/435	22
2.10 Servidor FTP.....	23
CAPÍTULO 3	24
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	24
3.1 ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS	24
3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA	25
3.2.1 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS	27
3.2.2 SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	30
3.2.3 SUBSISTEMA RECEPCIÓN DE DATOS.....	41
3.2.4 SUBSISTEMA DE ENERGÍA.....	42
3.2.5 DISEÑO DEL GABINETE	45
CAPÍTULO 4	46
PRUEBAS Y RESULTADOS	46
4.1 SUBSISTEMA RECEPCIÓN DE DATOS.....	46
4.1.1 Creación de carpetas cliente-servidor	46
4.1.2 Recepción de datos	49

4.1.3 Transmisión de datos al servidor FTP	51
4.2 PRUEBAS DEL SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN DE DATOS.....	53
4.3 RESULTADOS SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	55
4.4 RESULTADOS SUBSISTEMA DE ENERGÍA.....	56
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS.....	64
Anexo 1 Funcionamiento del disdrómetro.....	64
Anexo 2 Configuración antena de transmisión.....	73
Anexo 3 Configuración subsistema de recopilación de datos	78
Anexo 4 Configuración servidor FTP.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Estación del IASA-ESPE.....	26
Figura 3.2 Diseño de la propuesta.....	27
Figura 3.3 Esquema conexión disdrómetro.....	28
Figura 3.4 Diagrama de funcionamiento disdrómetro	30
Figura 3.5 Conexión enlace punto a punto.....	31
Figura 3.6 Perfil de elevación	32
Figura 3.7 Simulación enlace punto a punto	33
Figura 3.8 Simulación radiofrecuencia	37
Figura 3.9 Perfil topográfico IASA/CHILLOS.....	37
Figura 3.10 Perfil topográfico CHILLOS/ANTENAS	38
Figura 3.11 Perfil topográfico ANTENAS/IÑAQUITO.....	39
Figura 3.12 Diagrama de funcionamiento fotovoltaico	42
Figura 4.13 Carpeta de datos.....	46
Figura 4.14 Comunicación Serial.....	47
Figura 4.15 Servidor LNM Server	47
Figura 4.16 Dispositivo en el servidor de datos.....	48
Figura 4.17 Conexión éxitos PC-Disdrómetro.....	48
Figura 4.18 Formato árbol.....	49
Figura 4.19 LNM VIEW	50
Figura 4.20 Espectro de precipitación.....	51
Figura 4.21 Servidor FTP.....	52
Figura 4.22 Servidor FTP.....	52
Figura 4.23 Convertidor de datos existentes	53
Figura 4.24 Convertidor de datos existentes	54
Figura 4.25 Antena de Recepción	55
Figura 4.26 Antena de Transmisión	55
Figura 4.27 Equipos primer gabinete	57
Figura 4.28 Voltaje módulo XL6009.....	58
Figura 4.29 Gabinete de subsistema de comunicación	58
Figura 30 Administrador de dispositivos (Puertos COMM) (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	64
Figura 31 Programa Thies Device Utility (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	65
Figura 32 Configuración manual interfaz serial (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	65
Figura 33 Interfaz modo serial (COMx) (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	66

Figura 34 Puerto de entrada de datos disdrómetro (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	66
Figura 35 Tipo interpretación disdrómetro (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	66
Figura 36 Tasa de baudios (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	67
Figura 37 Dirección del disdrómetro (ID) (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	67
Figura 38 Contraseña del equipo (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	67
Figura 39 Cuadro de comandos (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	68
Figura 40 Configuración ID (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	68
Figura 41 Configuración Dx (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	69
Figura 42 Configuración modo usuario (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	70
Figura 43 Configuración tasa de baudios (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	70
Figura 44 Configuración tipo de comunicación serial (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	71
Figura 45 Configuración hora y fecha del disdrómetro (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	71
Figura 46 Activación transmisión de datos (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	72
Figura 47 Configuración antena tx (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	73
Figura 48 Configuración tx network (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	74
Figura 49 Configuración tx system (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	74
Figura 50 Configuración Rx (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	75
Figura 51 Configuración Rx Wireless (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	76
Figura 52 Configuración Rx network (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	77
Figura 53 Configuración Rx system (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	77
Figura 54 Carpeta Equipo (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	78
Figura 55 Administrador de archivos windows (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	78
Figura 56 Archivos de programa x86 (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	79
Figura 57 Carpeta de Thies clima (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	79
Figura 58 LNM view (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	80
Figura 59 Servidor de LNM (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	80
Figura 60 Crear la carpeta en el servidor (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	81
Figura 61 Posición del dispositivo (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	82
Figura 62 LNM View (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	82
Figura 63 Descarga FileZilla (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	83
Figura 64 Instalación de FileZilla (Bryan Ortega,Dayana Ortiz)	83
Figura 65 Descarga FileZilla (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	84
Figura 66 Advertencia conexión insegura (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	84
Figura 67 Servidor FTP (Bryan Ortega,Dayana Ortiz).....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Ubicación disdrómetro	25
Tabla 3.2 Características de un disdrómetro óptico	27
Tabla 3.3 Comandos Disdrómetro	29
Tabla 3.4 Direcciones enlace Punto a Punto	30
Tabla 3.5 Ubicación Antenas Tx/Rx	31
Tabla 3.6 Parámetros Antenas Tx/Rx	33
Tabla 3.7 Parámetros Antenas Tx/Rx	36
Tabla 3.8 Parámetros IASA/CHILLOS	38
Tabla 3.9 Parámetros CHILLOS/ANTENAS	39
Tabla 3.10 Parámetros ANTENAS/IÑAQUITO	40
Tabla 3.11 Parámetros Enlace de Redundancia	40
Tabla 3.12 Características Raspberry PI 4 modelo B	41
Tabla 3.13 Alimentación fotovoltaica.....	43
Tabla 4.14 Enlace Punto a Punto	56
Tabla 4.15 Voltajes primer gabinete.	57
Tabla 4.16 Voltajes segundo gabinete.	59
Tabla 3.17 Parámetros disdrómetro	69

RESUMEN

La Estación pluviométrica IASA-ESPE, contaba con un pluviómetro para medir la cantidad de lluvia que se genera en el sector, el principal inconveniente con estos equipos es que no se puede saber con exactitud el tipo de fenómeno meteorológico que está presente en el sector, por tal motivo es necesario de un observador que recopile esta información cada 4 horas. En el presente trabajo se plantea llevar a cabo la instalación de un disdrómetro y que estos datos se puedan observar en tiempo real y a cualquier hora, el problema es que la estación no contaba con un dispositivo que recopile la información del disdrómetro, tampoco con un enlace para poder transmitir los datos. Se empieza con la configuración del disdrómetro para comenzar a transmitir los datos y con la ayuda de un raspberry pi 4 para la lectura de los mismos, para ello se instaló el sistema operativo de Windows 10 para abrir el programa LNM View, el cual transforma el paquete de datos que envía el disdrómetro para visualizar los datos mediante gráficas, esta información se va actualizando cada minuto. Para acceder remotamente a la Raspberry se requiere un enlace punto a punto, para tener conexión a internet dentro de la estación pluviométrica, además se realizó un diseño de radiofrecuencia que actúe como redundancia en caso de que llegue a fallar el ISP. Por último, todos los equipos estarán funcionando con un sistema fotovoltaico que garantice que estos funcionen las 24 horas del día.

ABSTRACT

The IASA-ESPE pluviometric station had a pluviometer to measure the amount of rain that is generated in the sector, the main drawback with this equipment is that it is not possible to know exactly the type of meteorological phenomenon that is present in the sector, for this reason it is necessary for an observer to collect this information every 4 hours. In the present work, it is proposed to carry out the installation of a disdrometer and that these data can be observed in real time and at any time, the problem is that the station did not have a device that collects the information from the disdrometer, nor with a link in order to transmit the data. It begins with the configuration of the disdrometro to begin transmitting the data and with the help of a raspberry pi 4 to read them, for this the Windows 10 operating system was installed to open the LNM View program, which transforms the data package sent by the dysdrometer to visualize the data through graphs, this information is updated every minute. To remotely access the Raspberry, a point-to-point link is required, to have an internet connection within the rain gauge station, in addition, a radio frequency design was made to act as redundancy in case the ISP fails. Finally, all the equipment will be working with a photovoltaic system that guarantees that it will work 24 hours a day.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe pérdida de información al momento de utilizar los pluviómetros como instrumentos de medida porque con estos equipos no se puede saber con exactitud el tipo de fenómeno meteorológico que se presentó en el sector lo que podría generar predicciones erróneas. La implementación de un disdrómetro ayudaría analizar los datos con mayor facilidad y además estos equipos ayudarían a calibrar el radar meteorológico que se encuentra en la ciudad de Quito.

El presente trabajo se divide en 4 capítulos, en el capítulo I se muestra el planteamiento del problema y la justificación, además se indica la metodología necesaria para poder cumplir con todos los objetivos propuestos.

El capítulo II establece conceptos claves que permiten comprender el funcionamiento de los equipos y enlaces que se están utilizando en el proyecto como las características principales del raspberry pi 4, el programa de simulación numérica radiomobile para realizar los diseños de radiofrecuencia y el programa LNM View para visualizar los datos del disdrómetro.

En el capítulo III se detalla los 4 subsistemas que trabajan en conjunto para el óptimo funcionamiento de los equipos para la transmisión y recopilación de datos, donde el subsistema de comunicación está estructurado por el enlace punto a punto con antenas ubiquti para obtener un punto de conexión a internet en la estación pluviométrica de IASA-ESPE, el subsistema de transferencia de datos se encuentra el disdrómetro que sirve para medir la precipitación y determinar el tipo de fenómeno existente como lluvia, lluvia con nieve, granizo, etc. El subsistema de recepción de datos está diseñado con una raspberry pi en la cual está instalado el sistema operativo de Windows 10, por último, el subsistema de energía que está implementando un sistema fotovoltaico que garantice que los equipos funcionen las 24 horas del día.

Finalmente, en el capítulo IV se lleva a cabo el desarrollo de la propuesta y la recopilación de los resultados obtenidos por cada uno de los subsistemas para que los datos puedan ser observados desde los servidores FTP de la empresa pública INAMHI

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

La estación pluviométrica de IASA-ESPE perteneciente a la EPMAPS cuenta con un pluviómetro automático que mide la intensidad y cantidad de precipitación en el sector en un determinado tiempo por lo que no se tiene una alerta temprana para avisar a la ciudad el tipo de fenómeno meteorológico. Por lo que se desea instalar un disdrómetro tipo láser que sirve para medir el volumen, diámetro y velocidad de caída de las gotas de lluvia, lo que permite conocer qué tipo de fenómeno está presente en el sector, pero existe el problema de que en esta estación no cuenta con un medio para transmitir los datos de este equipo y se requiere de un método de transmisión sin perder información sobre los fenómenos meteorológicos que están ocurriendo en el sector.

1.2 Justificación del proyecto

El proyecto se basa en el desarrollo de un transmisor que recopile la información, la procese y la envíe mediante internet hacia la empresa pública INAMHI, se podría elevar el nivel confianza al utilizar internet como medio de transporte y almacenamiento de datos, se procederá a instalar un disdrómetro tipo láser en la estación pluviométrica IASA-ESPE conforme lo estipula el proyecto de investigación “Diseño de la red pluviométrica en el Distrito Metropolitano de Quito”. Se plantea además el diseño de un sistema de redundancia que contemple enlaces radioeléctricos con el uso de frecuencias libres para el envío de información desde la terminal en mención. El equipo contará con todas las condiciones técnicas para garantizar operatividad en un nivel de confianza en altos porcentajes

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de comunicación para el transporte de datos de un disdrómetro ubicado en la estación pluviométrica de IASA-ESPE propiedad del EPMAAPS hacia los servidores del INAMHI.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar documentos y manuales sobre el uso del Raspberry Pi, ISP, enlaces de radiofrecuencias, frecuencias libres para el establecimiento los criterios técnicos del diseño
- Diseñar un terminal que envíe los datos a través de internet, de un disdrómetro óptico que se encuentra en la estación pluviométrica de IASA-ESPE hacia los servidores del INAMHI para la calibración de los radares ubicados en la ciudad de Quito.
- Implementar un terminal a través de un Raspberry PI para el transporte de datos por un ISP de un disdrómetro tipo láser ubicado en la estación pluviométrica de IASA-ESPE
- Verificar las pruebas de operación y funcionamiento que garanticen que los datos se estén transmitiendo para que puedan ser visualizados en la empresa pública INAMHI.
- Simular un radioenlace a través de un software de simulación con el fin de que funcione como un sistema de redundancia para futuras implementaciones.

1.4 Metodología

El método inductivo obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares es decir que se encontrará falencias en el diseño de enlace punto a punto. tras la etapa de análisis y clasificación. Se alcanza a determinar la calidad de conexión al cliente (CCQ) que tendrá la conexión a internet en la estación pluviométrica de IASA-ESPE.

El método de la Observación científica permite realizar un diagnóstico del problema y mediante técnicas de observación directa o indirecta se puede describir y explicar el comportamiento de los subsistemas de energía, transmisión de datos y recopilación de datos.

El método experimental determina las variables que ayuden a que el terminal que se conecta al ISP esté funcionando de manera óptima, también que las variables del diseño de radiofrecuencia sean las correctas es decir a que potencia puede trabajar la estación meteorológica para garantizar que la información llegue al INAMHI.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1 Disdrómetro

El disdrómetro es una herramienta que permite el tamaño, velocidad, cantidad de lluvia y distribución de las gotas de lluvia de manera continua y automática, este sensor fue diseñado para medir las gotas de lluvia de manera precisa. El equipo o sensor ayuda a calibración de los radares meteorológico como pluviómetro, pluviógrafo. (Falcón et al. 2013).

El diseño del disdrómetro óptico se basa en la interpretación parcial de un haz de luz infrarroja donde una parte se absorbe por los diferentes estados vibracionales y rotacionales característicos del agua (Falcón et al. 2013).

En la actualidad en el mercado existen dos tipos de disdrómetro disponibles: el disdrómetro de pulsos eléctricos y los ópticos. (Falcón et al. 2013)

2.2 Funcionamiento del disdrómetro óptico

El disdrómetro consta de un sensor óptico dentro de una estructura y algunos componentes eléctricos apropiados que permite registrar los datos de lluvia o precipitación durante las 24 horas al día, la base del instrumento es un sensor que produce una hoja de luz horizontal de 30mm de ancho y 1 mm de largo aproximadamente que se transforma en una señal eléctrica, en ausencia de caídas el receptor emite una señal de 5V, las partículas que atraviesan la lámina luminosa tiene un margen de medición de 54 cm^2 . Estos valores se caracterizan por tener una elevada precisión que permanece estable a largo plazo (Parsivel n.d.).

2.3 Precipitación

La precipitación es cualquier agua, puede ser líquida o sólida, que se forma en la atmósfera y cae en la Tierra. Este fenómeno contiene lluvia, llovizna, granizo, entre otras formas de condensación. La precipitación en cierta medida en la superficie de la tierra es lluvia o pluviométrico.

La fase precipitación se forma cuando el agua sólida o líquida se condensa dentro de la atmósfera y depende en gran medida del perfil de temperatura vertical a través del cual cae. Dependiendo del entorno ya sea con una capa de fusión arriba y una capa recongelada debajo se pueden formar varios tipos de precipitaciones, es decir si una nube es cálida por estar en niveles bajos caerá lluvia o llovizna mientras que si la nube es más fría por estar en elevadas altitudes caerá granizo, nieve, entre otros. En conclusión, el estado del agua depende de la altura de la nube. (Tapia 2016)

Aproximadamente 505.000 kilómetros cuadrados de agua caen en forma de precipitación cada año, de los cuales 398.000 kilómetros cuadrados caen al océano. Teniendo en cuenta el área de la superficie de la tierra, esto significa que la precipitación anual promedio global aproximadamente es de 1 m, y el 1.1 m de precipitación promedio al año del océano (Tapia 2016)

2.3.1 Tipos de precipitación

Granizo: El granizo se forma a partir de pequeños embriones congelados que se elevan en la corriente ascendente de una tormenta eléctrica que se encuentran con una región de agua super enfriada y crecen por acumulación o escarcha y pueden llegar a alcanzar un gran tamaño en cualquier continente, donde se registran piedras de 200 mm (Tapia 2016).

Lluvia: las gotas de lluvia suelen ser mayor a los 0.5 mm aunque rara vez logran alcanzar los 6mm o más porque las gotas grandes se destruyen durante la caída, mientras que las gotas pequeñas tienen una forma casi esférica la cual llega a ese punto al alcanzar zonas bastante altas de la atmósfera (a Precipitación, 2021).

2.3.2 Características de la precipitación

La humedad que ingresa a la atmósfera da como resultado la evaporación del agua y las superficies terrestres donde se transporta con flujos de aire, este se condensa y vuelve a caer como precipitación. La humedad atmosférica total se estima en 12 a 14 km^3 lo que formaría una capa de agua de 25 mm. Dependiendo del mecanismo de desarrollo y estructura de las nubes, las precipitaciones pueden ser continuas (Tapia 2016).

2.3.3 Medición de la precipitación

Para calcular la precipitación es necesario contar con un sensor que mida la cantidad de lluvia que se presenta un determinado sector, estos pueden ser un pluviómetro estándar o un disdrómetro, dependiendo el sensor utilizara distintos métodos para medir la cantidad de lluvia (Tapia 2016).

2.4 Raspberry Pi

Se trata de un miniordenador de bajo coste su tamaño es alrededor de la palma de la mano y cuenta con varias conexiones como USB, Ethernet/Wi-Fi, HDMI SD card, por lo que es totalmente funcional donde se puede implementar un sistema operativo Linux o Windows. Raspberry pi puede ser considera como una computadora accesible que se puede usar para aprender a codificar o construir varios prototipos de robots u otros proyectos maravillosos, la raspberry pi es capaz de realizar las mismas funciones que una computadora o ordenador normal, pero tiene ciertas limitantes, este dispositivo necesita de una tarjeta SD donde este instalado cualquier sistema operativo como Raspbian, Linux o Windows (Araujo Evelyn, 2015).

2.4.1 Raspberry Pi 4 Modelo B

La Raspberry Pi 4 modelo B es una de las últimas incorporaciones a la popular familia de computadoras Raspberry Pi. Ofrece innovaciones en la velocidad de procesamiento, la memoria y conectividad, tiene modelos de 2, 4 y 8 GB de memoria ram lo que permite instalar sistema operativos más pesados como Windows 10 arm aunque es necesario contar con una tarjeta SD de 32 GB y un voltaje aproximado de 5.5 V para arrancar este sistema sin mayores inconvenientes (Hattersley 2019).

2.4.1.1 Especificaciones

- *Procesador:* quad-core de 64 bits de alto rendimiento
- *Memoria:* 2GB, 4GB, 8GB ram
- *Conectividad:* LAN inalámbrica, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, puertos USB 3.0 y puertos USB 2.0.
- *GPIO:* 40 pines estándar
- *Sonido del video:* 2 puertos micro HDMI

- *Tarjeta SD*: tarjeta micro SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos
- *Potencia de entrada*: 5/5.5 V CC a través del conector USB-C

2.5 Enlace de radiofrecuencia

Un enlace de radiofrecuencia varia entre el rango de 30 KHz a 300 GHz que se propaga entre el receptor y transmisor, en algunas ocasiones no se tiene una línea de vista directa entre ambas estaciones debido a muchos efectos como la difracción, alteración, reflexión y dispersión que sufre la señal hasta llegar a su destino

La comunicación por medio de radio frecuencia tiene lugar cuando una señal que pueda estar ubicada entre el rango de 30KHz a 300 GHz que trasciende entre transmisor y receptor, entre estos dos puntos no siempre suele existir una línea de transmisión lo que puede generar que la señal soporte diversos efectos al momento que llegue a su destino. Existe una línea de vista cuando no existen impedimentos entre transmisor y receptor, puede tener efectos como la difracción, refracción, reflexión y dispersión. La difracción aparece cuando existe un obstáculo y debido a los bordes cambia la trayectoria de la señal lo que presenta un patrón de interferencia que consta de un punto central menos intenso. La refracción se genera como un cambio en la dirección de las ondas de luz donde pasan de un medio a otro por lo tanto cuando exista este fenómeno se tiene también la reflexión que ocurre cuando se tienen dos medio diferentes como por ejemplo el aire y el agua de modo que el frente de onda regresa al medio que se origino y por último el fenómeno de la dispersión que es un movimiento ondulatorio que choca con dimensiones pequeñas a velocidades que dependerán de las longitudes de onda (Gutierrez 2016).

2.5.1 Modelos de propagación

En modelo de propagación es el conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos que permiten predecir la propagación y la atenuación de señales de radiofrecuencia a medida que viajen por un medio, por lo que juega un papel muy importante en la planificación de cualquier sistema de comunicación. Los modelos de propagación mas conocidos son el modelo de Okumura y Walfish-Ikegami el desempeño se medirá por la veracidad de los resultados en comparación con medidas de campo real (Garcia-Alvarez and Rogriguez 2002).

2.5.2 Pérdidas en el espacio libre

En un enlace punto a punto es necesario conocer la atenuación en el espacio libre entre las antenas isotrópicas, las pérdidas en el espacio libre estarán dadas por una operación aritmética entre la potencia recibida y la potencia transmitida por lo que se puede tener la siguiente ecuación:

$$Lf_s = 32.45 + 20 \log(D) + 20 \log(f) \quad \text{Ec (2.1)}$$

El término de la frecuencia está presente porque este término tiene que ver con el área efectiva de la antena isotrópica y se debe tener presente que las ganancias de las antenas están en referencia con las ganancias de las antenas isotrópicas ideales. (Pitrelli n.d.)

2.6 Enlace punto a punto

Un sistema basado en un enlace punto a punto proporciona una conexión directa entre los dos dispositivos mediante un canal inalámbrico de comunicación teniendo una distancia máxima de 50 Km para considerar que el enlace es viable (Pernia, 2018).

2.6.1 Usos de los enlaces punto a punto

1. Puede conectar dos puntos remotos de manera directa y transmitir datos de red, internet y video, esto es una ventaja porque se puede compartir un sistema ISP a lugares donde los servicios de internet no llegan.
2. Interconexión de las redes de 2 ubicaciones o extensión de la red para intercambiar datos sin la necesidad de estar conectados directamente al internet u otro medio de transmisión (Pernia, 2018).

2.6.2 Ventajas del enlace punto a punto.

- Se puede agrupar los datos en un mismo
- Ahorro de costes en equipos y sistemas de comunicación
- Agilidad en las comunicaciones
- Servicios de telefonía IP

- Copias de seguridad
- Mayor control sobre equipos y sistemas

2.6.3 Resolución ARCOTEL

El estado ecuatoriano reserva los derechos de administrar, regular y gestionar el uso de las frecuencias dependiendo la aplicación que se quiera implementar según lo estipula los principios de sostenibilidad ambiental. Los sectores estratégicos exclusivos del estado son aquellos que por su trascendencia tienen mayor influencia económica, social, política o ambiental dentro del país. Las bandas libres para un enlace punto a punto varían entre los 915 MHz a 64 GHz, aunque se tiene que considerar que para la banda de 5 [GHz] se debe utilizar dispositivos con antenas de transmisión con una ganancia mayor a 6 dBi, tanto la potencia de transmisión como la densidad espectral deberán ser reducidos para que superen la ganancia de la antena de 6 dBi. Para esta banda de 5 [GHz] se tendrá que contar con sistemas que dispongan de la opción dinámica de frecuencia en caso de operar al interior de recintos cerrados. (Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones, 2017).

2.7 RadioMobile

Es un software libre que funciona para la simulación y cálculo de radio enlaces de largas distancias con terrenos irregulares, utiliza perfiles topográficos combinados con información de equipos que desean simularse. Este software trabaja en el rango de 20 [MHz] a 40[GHz] que pertenecen a las bandas HF y EHF, trabaja con longitudes de trayecto de entre 1 y 2000Km.

RadioMobile utiliza el perfil geográfico para la evaluación de los enlaces en las zonas de trabajo, dependiendo la zona que se desee trabajar estos mapas se pueden realizarse directamente desde las propiedades del programa o también descargarlos directamente de internet, los mapas disponibles son: SRTM, los GTOPO30 y los DTED (García Garrancho 2006).

2.8 LNM VIEW

El programa LNM VIEW pertenece a la empresa THIES CLIMA este software permite mostrar los datos generados por el monitor de precipitación láser del disdrómetro estéreo 3D de Thies, archivar los datos transferidos desde el LNM también mostrarlos en una pantalla gráfica (Thies, 2016) .

Características

- Posibilidad de instalación en la red
- Visualización gráfica de diferentes valores de medición para LNM y disdrómetro
- Arquitectura Cliente-Servidor para la adquisición central de datos y visualización remota
- Exportación de datos en Microsoft EXCEL
- Impresión de gráficos
- Visualización de datos como calendario o formato de árbol
- Visualización de imágenes del tipo de precipitación detectado, lluvia con nieve, lluvia, nieve, granizo, granizo e insectos.

2.9 Convertidor 232/435

El convertidor RS-232 sirve para que dos dispositivos dotados de este púrtico puedan comunicarse entre sí, generalmente para propósitos de configuración o para conectarse con módems. Las interfaces RS-422 y RS-485 se diseñaron para conectar físicamente dispositivos hasta una distancia de 1.200 m y con una velocidad de 10 Mbits (MARBACH, 2005) .

Características

- Tensión nominal: 95 a 240 V AC
- Tensión de funcionamiento: 85,5 a 264 V AC
- Frecuencia nominal: 48- 62 Hz/DC
- Polaridad independiente

2.10 Servidor FTP

FTP (Protocolo de transferencia de archivos) es un protocolo para la transferencia de archivos entre un cliente y un servidor en una red informativa. Una computadora actúa como servidor para almacenar información la cual será conocida como servidor FTP, otras computadoras actuarán como clientes para enviar o solicitar archivos al servidor, normalmente utiliza el puerto 21 como medio de comunicación.

Los servidores FTP realizan dos tareas básicas, “Poner” y “Obtener” se pueden colocar archivos u obtener archivos, si la seguridad no es una limitante es una forma fácil y económica de lograrlo, la ventaja es que se puede acceder de manera remota al servidor no es necesario estar conectados a la misma red, se puede configurar rápidamente un servidor que acepte la transferencia de datos o crear copias de seguridad. El servidor FTP tiene 3 aplicaciones, las más comunes suelen ser el alojamiento web, el servicio que utilizan sus clientes para cargar sus páginas web y los archivos correspondientes o como servidor de respaldo para archivos importantes que pueda tener una empresa (Castañeda, 2012).

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS

La estación pluviométrica de IASA-ESPE cuenta con un pluviómetro automático que mide la intensidad y cantidad de lluvia en el sector, el principal problema con estos equipos es que no se puede saber con exactitud los tipos de precipitación como:

- Llovizna
- Lluvia
- Chubascos de agua
- Granizo
- Nieve granulada

Estos datos son necesarios para realizar un pronóstico más acertado del clima por tal motivo se propone instalar un disdrómetro Thies y un Raspberry pi que recopile la información y la procese, es necesario utilizar el sistema operativo de Windows debido a que el programa LNM View que funciona para visualizar los datos que envía el disdrómetro tiene solo una versión para Windows.

La ventaja que se puede tener al utilizar este sistema operativo es el archivo GBF que va creando un árbol de datos especificando el año, mes y día que se va actualizando cada minuto. También se tiene el archivo LBN que permite que los datos se puedan abrir desde cualquier programa LNM View y de esta manera los datos se pueden ir almacenando en el servidor FTP del INAMHI con el programa FileZilla.

La estación pluviométrica no cuenta con un medio de transmisión para acceder a la Raspberry pi de manera remota y observar los datos en tiempo real, tampoco se podría almacenar los datos en el servidor FTP del INAMHI. Por este motivo es necesario efectuar un enlace punto a punto, a partir del Switch ubicado en ganadería directamente a la estación y así tener conexión a internet en la Raspberry pi.

3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA

Se elaboró un análisis de 45 estaciones localizadas en el área de estudio para determinar conglomerados, es decir, la acumulación de elementos dentro de la zona que definen similitudes entre estaciones meteorológicas o pluviométricas, para ello se toman en cuenta parámetros como precipitación, altura y localización geográfica, a partir de este análisis se definen estaciones representativas que puedan formar parte de la red pluviométrica del Distrito Metropolitana de Quito. (Llerena 2013)

Uno de los criterios más importantes es la zonas pluviométricas en el DMQ, la ubicación se establece tomando en cuenta que existen diferentes zonas que se caracterizan por la cantidad de precipitación recibida, se tomó en cuenta la zona de precipitación alta, intermedia y baja, otros parámetros que se tomaron en cuenta para la ubicación de los sensores son la infraestructura actual en el DMQ por lo que existen una gran red de estaciones meteorológicas y pluviométricas cuya infraestructura se quiere aprovechar con la implementación de disdrómetro. (Llerena 2013)

Se trata de localizar el disdrómetro a lo largo de un eje longitudinal en cada valle con el propósito de medir la cantidad, la intensidad y el tipo de precipitación con gran precisión en varias zonas del DMQ, esta disposición puede ser parte del ajuste de los radares ubicados en Quito, esto sería muy útil para monitorear múltiples puntos a lo largo del mismo haz del radar.

Una de las zonas en las cuales está permitido colocar un disdrómetro es en el sector IASA-ESPE, en la tabla 3.1 se puede observar la ubicación del disdrómetro y la antena de transmisión.

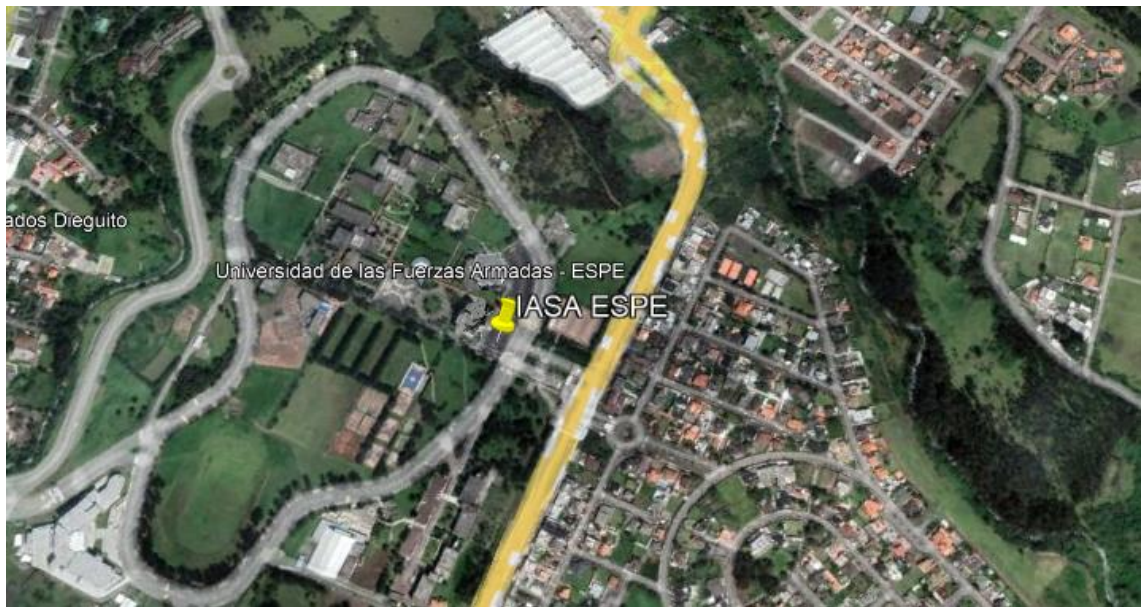
Tabla 3.1 Ubicación disdrómetro

Nombre de la estación	Institución encargada	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
IASA-ESPE	EPMAPS	0°18'53"S	78°26'36"O	2683

Latitud y longitud conexión del disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la figura 3.1 muestra la ubicación exacta de la estación pluviométrica dentro de IASA-ESPE perteneciente a la empresa EPMAPS.

Figura 3.1 Estación del IASA-ESPE

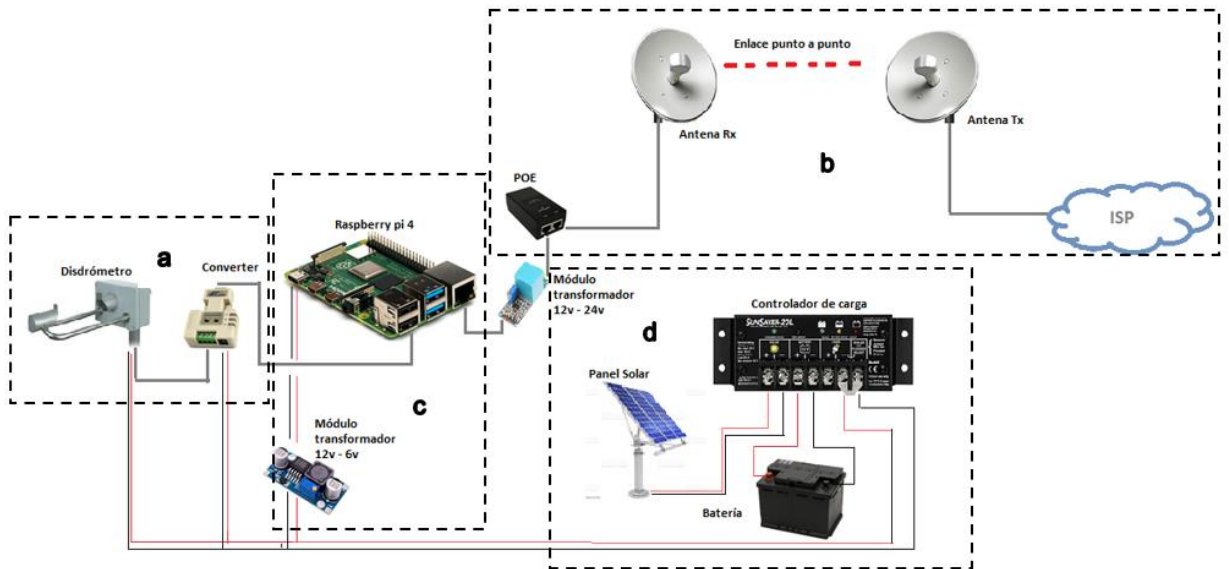


Ubicación de la estación IASA-ESPE en Google Earth, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Para el desarrollo de un transmisor de datos del disdrómetro ubicado en el IASA-ESPE, para la empresa pública INAMHI-EPMAPS se procede a dividir por subsistemas para tratar de manera general el prototipo como se puede apreciar en la figura 3.2 donde:

- a) Subsistemas de transmisión de datos
- b) Subsistemas de comunicación
- c) Subsistemas de recepción de datos
- d) Subsistemas de energía

Figura 3.2 Diseño de la propuesta



Diseño del transmisor de datos, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

3.2.1 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

El transmisor de datos consta de un dispositivo disdrómetro óptico que permite medir la precipitación de la lluvia, el equipo funciona mediante la precipitación por medio de la sombra que provoca cuando atraviesa la banda láser sus principales características desarrolladas en la tabla 3.2.

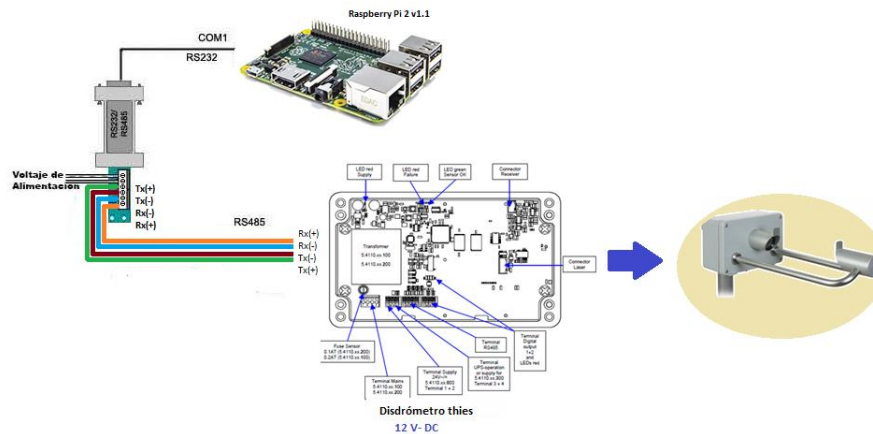
Tabla 3.2 Características de un disdrómetro óptico

Características	Descripción
Modelo	Óptico
Precisión	Lluvia: <15% para lluvia entre 0,5 y 20 mm/h
Interfaces	RS-485/422
Rango de medición	Tamaño de las partículas: 0,16 a > 8 mm Rango de Intensidad: Mínima 0,005 mm/h Máxima 250 mm/h
Alimentación de energía	12 v de corriente continua

Tabla de características principales del disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La figura 3.3 muestra la conexión del disdrómetro en la estación receptora IASA - ESPE y la Raspberry pi 4.

Figura 3.3 Esquema conexión disdrómetro



Conexión del disdrómetro, convertidor RS 232 y RASPBerry PI 4, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Para la transmisión de datos se requiere configurar el disdrómetro para lo cual es preciso instalar el programa “Thies Device Utility” que funciona para la configuración de sensores y equipos de la marca “Thies”. Primero se debe hacer una búsqueda de los equipos que están conectados directamente en la computadora, en caso de no encontrar ningún equipo es necesario realizar una configuración manual como:

- Puerto COM
- Ethernet: 4800, 9600, 19200
- Data bits: 8
- Paridad: No

Para ingresar a la configuración se debe ingresar a la opción “Terminal”, la mayoría de los dispositivos viene con ID 0 y contraseña 234. En el anexo 1 se presenta el funcionamiento del disdrómetro de manera visual y un segundo método mediante el programa “Thies Device Utility” que sirve para entrar a la configuración de estos equipos.

En la tabla 3.3 muestra los comandos principales para que el disdrómetro empiece a transmitir la información en tiempo real de la precipitación.

Tabla 3.3 Comandos Disdrómetro

Tipo de comando	Comando	Descripción
ID	ID	Indica la dirección en que se encuentra el equipo
DX	DX	Muestra si existe algún problema o advertencia en el disdrómetro.
KY	KY00001/KY00000	Permite poner en modo usuario o en modo configuración, para realizar las configuraciones en el disdrómetro es necesario que este en modo configuración
BR	BR00004	Cambia la tasa de baudios a 4800
BD	BD00000	Selecciona el tipo de comunicación serial
ZH/ZM/ZS	ZH00021/ZM00054/ZS00000	Estos comandos permiten configurar la hora del disdrómetro ZH es para la hora, ZM es para los minutos y ZS para los segundos
ZD/ZN/ZY	ZD00030/ZM00012/ZY00022	Estos comandos permiten configurar la fecha en el disdrómetro ZD es para los días, ZN es para los meses y ZY es para el año.
ZT	ZT	Comprobar la hora y fecha que está configurada en el equipo
TM	TM00005	Activa los puertos auxiliares para la conexión RS-485, es necesario para que el disdrómetro empiece a transmitir el paquete de información

Tabla de códigos principales de configuración disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

El diagrama de flujo de la figura 3.4 describe el funcionamiento del disdrómetro, los comandos de configuración del telegrama y fecha necesarios para transmitir los datos al programa LNM View .

Figura 3.4 Diagrama de funcionamiento disdrómetro

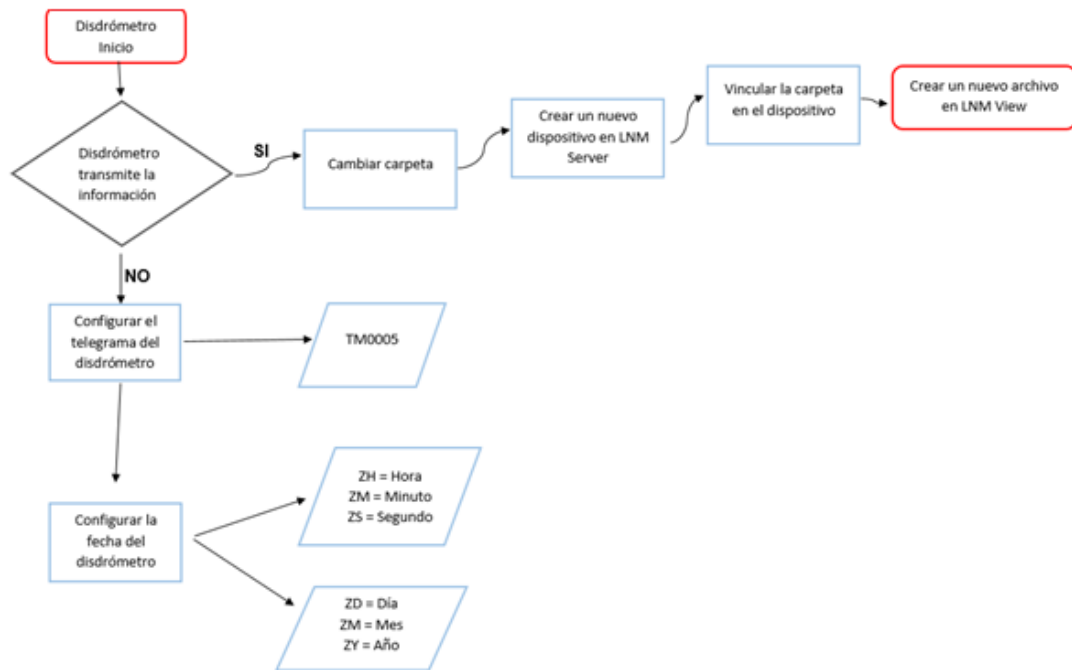


Diagrama de funcionamiento del disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

3.2.2 SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN

3.2.2.1 Diseño de enlace punto a punto

En la tabla 3.4 se indican las direcciones con las cuales están configuradas las antenas de transmisión y recepción, también se indica el ancho de banda con las que están trabajando.

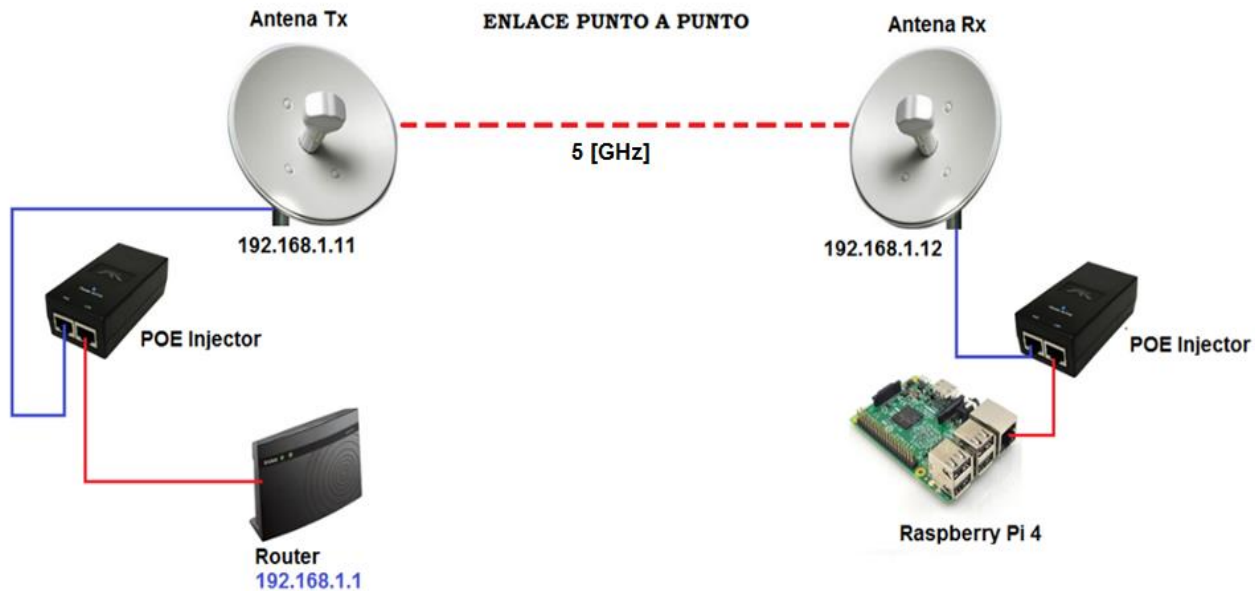
Tabla 3.4 Direcciones enlace Punto a Punto

Nombre de la Antena	Dirección IP	Máscara	Ancho de banda
INTERNET (TX)	192.168.1.11	255.255.255.0	20 [MHz]
IASA (RX)	192.1681.12	255.255.255.0	20 [MHz]

Tabla de direcciones receptora y trasmisora, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La figura 3.5 indica el diagrama de conexión para el enlace punto a punto con una frecuencia de trabajo de 5 [GHz] permitiendo compartir internet a la estación pluviométrica para que los datos se observen en tiempo real desde la empresa pública INMAHI.

Figura 3.5 Conexión enlace punto a punto



Conexión de antenas ubiquiti y enlace punto a punto, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la tabla 3.5 se especifica la ubicación de las antenas de transmisión y recepción, las alturas correspondientes de las torres y la altura donde estarán ubicadas las antenas dentro de las torres.

Tabla 3.5 Ubicación Antenas Tx / Rx

Nombre de la antena	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Altura de la torre	Altura de la Antena
IASA	0°23'30.89"S	78°24'51.87"O	2747	15 m	13 m
INTERNET	0°23'36.34"S	78°24'47.87"O	2755	15 m	13 m

Tabla ubicación de antenas Tx y Rx, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz.

Con Google Earth se puede determinar si existe línea de vista directa entre la antena de transmisión y recepción. En la figura 3.6 se especifican las ubicaciones de las antenas, la distancia entre ambas que aproximadamente es de 211 m.

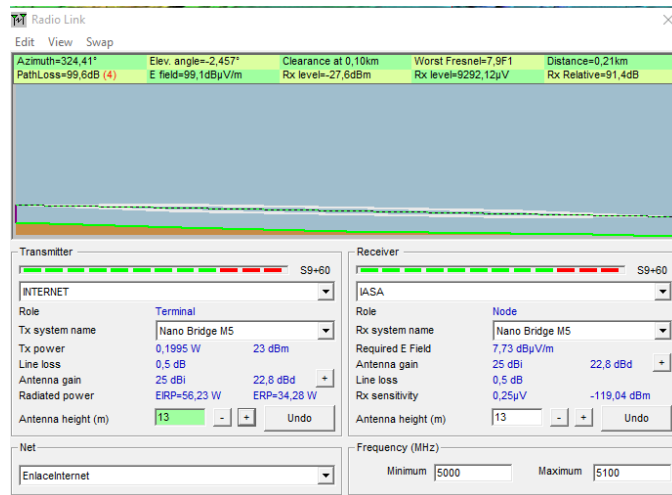
Figura 3.6 Perfil de elevación



Ubicación del perfil de elevación en Google Earth Pro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La figura 3.7 muestra el perfil topográfico entre los terminales transmisor (INTERNET) y receptor (IASA), donde se observa que no existe ningún obstáculo en la primera zona de fresnel y de esta manera se puede comprobar que existe línea de vista, la distancia entre transmisor y receptor es de 0.21 [km].

Figura 3.7 Simulación enlace punto a punto



Simulación del enlace punto a punto en Radio Mobile, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz.

La tabla 3.6 muestra los ángulos correspondientes de azimut y elevación para las antenas de transmisión y recepción, también se indica las alturas y frecuencias con las que están operando las antenas en el enlace punto a punto.

Tabla 3.6 Parámetros Antenas Tx/Rx

Estación	Azimut	Elevación/Tilt	Altura de la antena	Frecuencia
INTERNET	324,41°	-2,65°	13 m	5000 Hz
IASA	144,41°	2,648°	13 m	5000 Hz

Tabla de parámetros de las antenas Tx y Rx, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

3.2.2.2 Cálculos del enlace punto a punto

Primero es necesario determinar la zona de Fresnel donde se asignan los valores correspondientes a d_1 y d_2 como un posible obstáculo, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$rF = 547,73 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}} \quad \text{Ec (3.2)}$$

Donde:

- d_1 = Distancia desde punto 1 hacia el obstáculo en km
- d_2 = Distancia desde punto 2 hacia el obstáculo en km
- f = frecuencia en MHz
- d = Distancia entre transmisor y receptor en km

El cálculo de la zona de Fresnel es el siguiente:

$$rF = 547,73 \sqrt{\frac{0.103 * 0.108 [km]}{5050 [MHz] * 0.21[km]}}$$

$$rF = 547.73 * 0.003238$$

$$rF = 1.7739 [m]$$

El segundo cálculo necesario es determinar las pérdidas en el espacio libre, la ecuación que permite realizar este cálculo es la siguiente:

$$L_{fb} = 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad \text{Ec (3.3)}$$

Donde:

- f = frecuencia del enlace en MHz
- d = distancia entre Tx y Rx en Km

El cálculo de pérdidas en el espacio libre es:

$$L_{fb} = 32,45 + 20 \log(5050) + 20 \log(0.21)$$

$$L_{fb} = 32,45 + 74.06 [dB] - 13.55 [dB]$$

$$L_{fb} = 92.96 [dB]$$

Con el cálculo anterior se puede determinar el valor de la potencia del receptor mediante la ecuación 3.4.

$$P_{in} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} + L_s + L_{bf} + L_{ad} \quad \text{Ec (3.4)}$$

Donde:

- P_{in} = Potencia de recepción en dBm
- P_{tx} = Potencia de transmisión en dBm

- G_{rx} = Ganancia de la antena del receptor en dBi
- G_{tx} = Ganancia de la antena del transmisor en dBi
- L_s = Pérdidas debido a una cumbre en dB
- L_{bf} = Pérdidas en el espacio libre en dB
- L_{ad} = Pérdidas en cables y conectores en dB

Siendo el parámetro de la potencia del receptor igual a:

$$P_{in} = 23 [dBm] + 25[dBi] + 25[dBi] - 92.96[dB] - 2 [dB]$$

$$P_{in} = -21.96 [dBm]$$

Para obtener el valor del margen de desvanecimiento se debe conocer el tipo de fenómeno que inciden en la pérdida de energía de la señal. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_m = 30\log(d(Km)) + 10 \log(6 * A * B * f) - 10(\log(1 - R)) - 70 [dB]$$

Donde:

R = Confiabilidad

A = Factor geográfico

- 4 – Terreno plano o sobre agua
- 1 – Terreno promedio (rugosidad moderada)
- 0.25 – Terreno montañoso

B = Factor climático

- 0.5 - Costa (cálidos)
- 0.25 - Templado
- 0.125 – Zonas montañosas o secas

El factor geográfico es 1 mientras que el factor climático es de 0.125. Considerando la confiabilidad del enlace de 99.99999% el margen de desvanecimiento es igual a:

$$F_m = 30\log(0.21) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 5050 [MHz]) - 10\log(1 - 0.99999) - 70$$

$$F_m = -20.33[dB] + 35.78[dB] + 70[dB] - 70$$

$$F_m = 15.45 [dB]$$

Conociendo los valores del margen de desvanecimiento y potencia de recepción se puede conocer el umbral de recepción con la siguiente ecuación

$$U_r = P_{in} - F_m \text{ [dBm]} \quad \text{Ec (3.5)}$$

El cálculo para el umbral de recepción son los siguientes:

$$U_r = -21.96 - 15.45$$

$$U_r = -37.11 \text{ [dBm]}$$

En la tabla 3.7 se muestran los valores principales del enlace punto a punto considerando una frecuencia promedio de 5050 [MHz]

Tabla 3.7 Parámetros Antenas Tx/Rx

Pérdidas de Propagación	92.96 [dB]
Margen de desvanecimiento	15.45 [dBm]
Potencia del transmisor	23 [dBm]
Potencia del receptor	-21.96 [dBm]
Ganancia antena del transmisor	25 [dBi]
Ganancia antena del receptor	25 [dBi]
Umbral de recepción	-37.11 [dBm]

Tabla de parámetros de la antena Tx y Rx, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

3.2.2.4 Diseño Enlace de Redundancia

Un enlace de radiofrecuencia consiste en la conexión de dos o más terminales, lo que permite conectar la estación de IASA-ESPE con la estación de Iñaquito y de esta manera se podría tener otro medio de transmisión para transmitir los datos. Es necesario contar con un enlace de redundancia para garantizar que no se tenga pérdidas de información con el disdrómetro. Considerando la distancia entre ambas estaciones es necesario colocar repetidores debido a que la capacidad de las antenas disponibles que es máximo de 20 [Km], el primer repetidor será colocado en la estación “ Los Chillos” y el segundo repetidor en las Antenas de Quito La figura 3.8 se indica la trayectoria que tendría el enlace de radiofrecuencia entre la estación IASA con la estación de Iñaquito.

Figura 3.8 Simulación radiofrecuencia

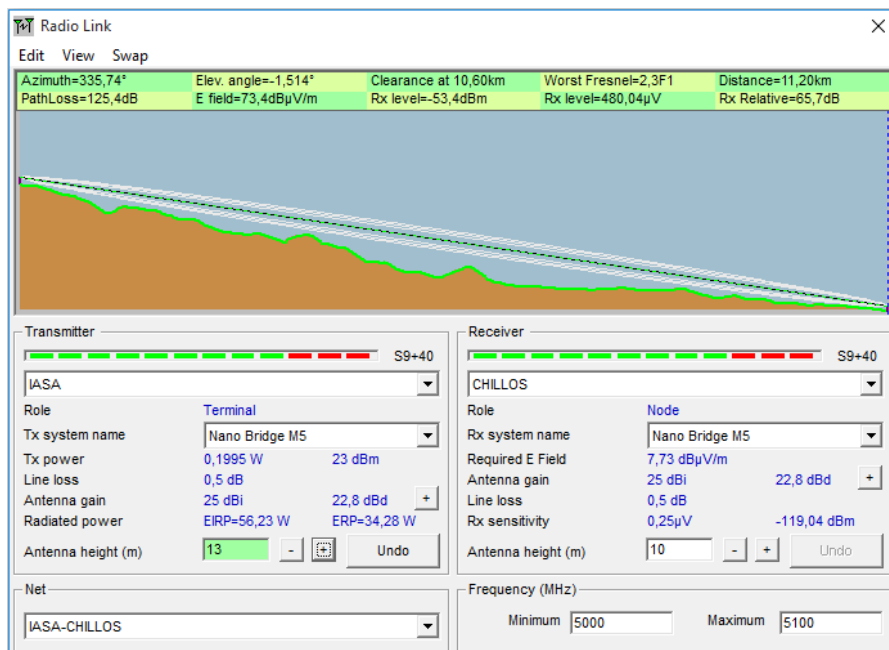


Enlace de redundancia de radiofrecuencia, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Simulación IASA/CHILLOS

La figura 3.9 muestra el perfil topográfico entre los terminales transmisor (IASA) y repetidor (LOS CHILLOS), con una distancia aproximada de 11.20 [Km] no existe obstáculos en la primera zona de fresnel por lo tanto tiene línea de vista directa entre las dos estaciones.

Figura 3.9 Perfil topográfico IASA/CHILLOS



Perfil topográfico de la antena Tx/Rx IASA-Chillos, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La tabla 3.8 muestra los ángulos correspondientes de Azimut y elevación obtenidas en la simulación.

Tabla 3.8 Parámetros IASA/CHILLOS

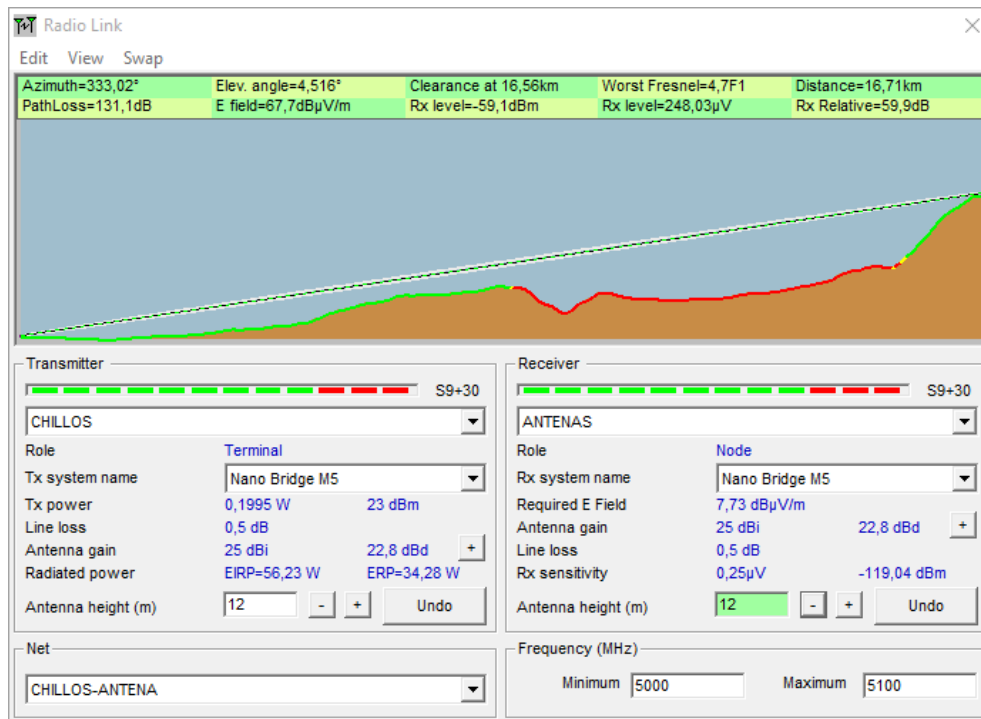
Estación	Azimut	Elevación/Tilt	Altura de la antena
IASA	335.7°	-1.5141°	13 m
CHILLOS	155.7°	1.4133°	10 m

Tabla de parámetros de azimut, elevación y altura de la antena, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Simulación CHILLOS/ANTENAS

La figura 3.10 muestra el perfil topográfico entre los repetidores “Los Chillos” y “Antenas” con una distancia aproximada de 16.71 [Km] existe línea de vista directa entre ambas estaciones.

Figura 3.10 Perfil topográfico CHILLOS/ANTENAS



Perfil topográfico de las antenas Chillos en RadioMobile, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La tabla 3.9 muestra los ángulos correspondientes de azimut y elevación para las antenas de “Los Chillos” y “Antenas” obtenidas por simulación.

Tabla 3.9 Parámetros CHILLOS/ANTENAS

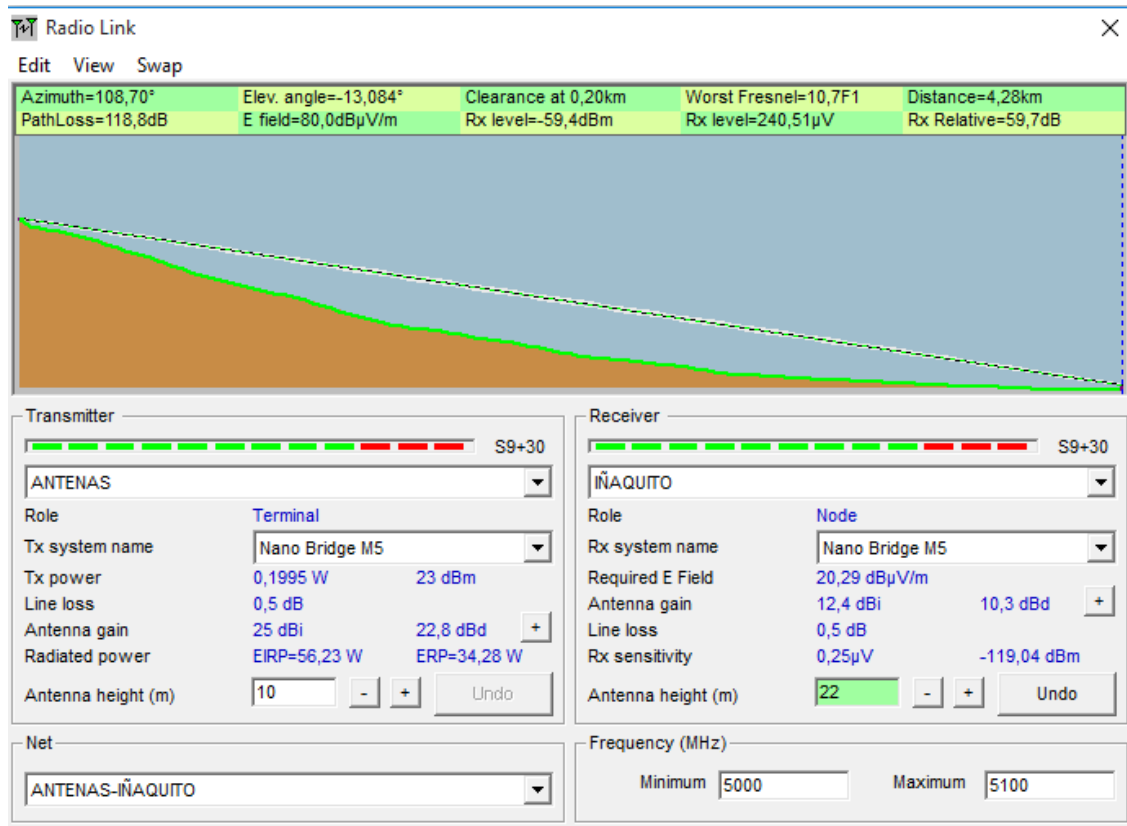
Estación	Azimut	Elevación/Tilt	Altura de la antena
CHILLOS	333°	4.5156°	12 m
ANTENAS	153°	-4.6660°	10 m

Tabla de posición de la antena chillos, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Simulación ANTENAS/IÑAQUITO

La figura 3.11 muestra el perfil topográfico entre el repetidor “Antenas” y el receptor “Iñaquito”, entre ambas estaciones se tiene una distancia de 4.28 [Km] y no existe ningún obstáculo en la primera zona de fresnel.

Figura 3.11 Perfil topográfico ANTENAS/IÑAQUITO



Perfil topográfico de las antenas Iñaquito en radio Mobile, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La tabla 3.10 muestran los ángulos correspondientes de Azimut y elevación para las antenas de “Antenas” e “Iñaquito”.

Tabla 3.10 Parámetros ANTENAS/IÑAQUITO

Estación	Azimut	Elevación/Tilt	Altura de la antena
CHILLOS	333°	4.5156°	12 m
ANTENAS	153°	-4.6660°	10 m

Tabla de posición e la antena azimut, elevación y altura de la antena Iñaquito, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La tabla 3.11 indica los parámetros más importantes para los enlaces de radiofrecuencia.

Tabla 3.11 Parámetros Enlace de Redundancia

Enlace IASA/CHILLOS		
Sitios Tx y Rx	IASA	LOS CHILLOS
Longitud	78°24'51.87 O	78°27'21.00'' O
Latitud	0°23'30.89'' S	0°18'00'' S
Altura del terreno	2147 [m]	2456 [m]
Altura de las antenas	13 [m]	10 [m]
Pérdidas de propagación	127 [dB]	
Margen de desvanecimiento	41.23 [dBm]	
Potencia del transmisor	23 [dBm]	
Potencia del receptor	-56.5 [dBm]	
Ganancia antena del transmisor	25 [dBi]	
Ganancia antena del receptor	25 [dBi]	
Umbral de recepción	-97.73 [dBm]	
Enlace CHILLOS/ANTENAS		
Sitios Tx y Rx	LOS CHILLOS	ANTENAS
Longitud	78°27'21.00'' O	78°31'26.53'' O
Latitud	0°18'00'' S	0°9'67.72'' S
Altura del terreno	2456 [m]	3769 [m]
Altura de las antenas	12 [m]	12 [m]
Pérdidas de propagación	130.97 [dB]	
Margen de desvanecimiento	46.45 [dBm]	
Potencia del transmisor	23 [dBm]	
Potencia del receptor	-59.97 [dBm]	
Ganancia antena del transmisor	25 [dBi]	
Ganancia antena del receptor	25 [dBi]	
Umbral de recepción	-106.42 [dBm]	

Enlace ANTENAS/IÑAQUITO		
Sitios Tx y Rx	ANTENAS	IÑAQUITO
Longitud	78°31'26.53" O	78°27'21.00" O
Latitud	0°9'67.72" S	0°18'00" S
Altura del terreno	3769 [m]	2456 [m]
Altura de las antenas	10 [m]	22 [m]
Pérdidas de propagación	119.14 [dB]	
Margen de desvanecimiento	34.72 [dBm]	
Potencia del transmisor	23 [dBm]	
Potencia del receptor	-48.14 [dBm]	
Ganancia antena del transmisor	25 [dBi]	
Ganancia antena del receptor	25 [dBi]	
Umbral de recepción	-82.86 [dBm]	

Tabla de resultados de los parámetros del enlace de redundancia, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

3.2.3 SUBSISTEMA RECEPCIÓN DE DATOS

El subsistema recepción de datos cuenta con una placa prototipo Raspberry Pi 4 Modelo B con las principales características descritas en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Características Raspberry PI 4 modelo B

Características	Descripción
Marca	Raspberry pi 4
Memoria ROM	32 Gb
Procesador	ARM Cortex-A72
Memoria RAM	4 Gb
Procesador de video	VideoCore VI
Conectividad	Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet

Tabla de características de la RASPBERRY PI, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En el diseño de software hay un conjunto de programas que se emplean para la transmisión de datos del disdrómetro. El sistema operativo Windows 10 ARM que funciona en raspberry pi 3 y 4, este sistema tiene una interfaz totalmente gráfica ya que es una versión simplificada de Windows 10 y cuenta con drivers necesarios para el correcto funcionamiento de aplicaciones, cabe señalar que la conectividad Wifi o Bluetooth aún no se usa.

El puerto serie que permite la comunicación dispositivos externos y ordenadores tiene una interfaz de datos en serie o puerto serial que trabaja bajo el estándar RS-232.

El software THIES proporciona varias aplicaciones para la valoración, visualización y archivo de datos. Considerando todos los beneficios del programa LNM VIEW para mostrar los datos generados por el monitor de precipitación láser de Thies, la creación de una nueva carpeta donde mostrara los datos arquitectura Cliente-Servidor para la adquisición central de datos y visualización.

3.2.4 SUBSISTEMA DE ENERGÍA

Las conexiones eléctricas para el disdrómetro, raspberry pi y el resto de los equipos vienen dadas por un sistema de alimentación con energía fotovoltaica como se muestra en el diagrama de funcionamiento de la figura 3.12

Figura 3.12 Diagrama de funcionamiento fotovoltaico

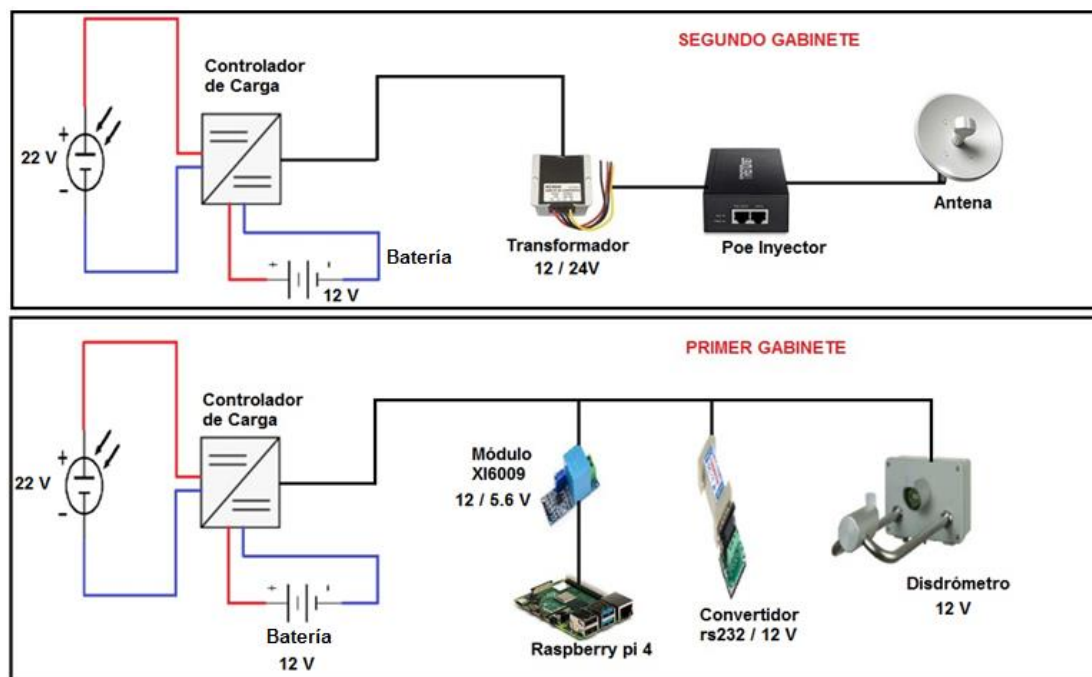


Diagrama unifilar de funcionamiento del subsistema de energía para las antenas, disdrómetro y raspberry, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La tabla 3.13 muestra la distribución de voltaje en cada equipo utilizado que estarán funcionando 24 horas al día.

Tabla 3.13 Alimentación fotovoltaica

Equipo	Cantidad	Consumo	Uso al día	Energía Wh/d
NanoBridge M5	1	5.5W	24	132
Módulo elevador 12-24V DC	1	0.576W	24	13.8
Atc-105 convertidor RS232 a RS422/485	1	1W	24	24
Disdrómetro Thies	1	18/9	24	216
Raspberry Pi	1	15 W	24	360
Módulo regulador 12-5V DC	1	0.576	24	13.8
Total				759.6

Tabla de distribución del subsistema de energía, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

3.2.4.1 Cálculos de la corriente pico del módulo fotovoltaico

B1: Carga diaria CC

$$B1 = 759.6 \left[\frac{Wh}{día} \right] \quad \text{Ec (3.6)}$$

B2: Carga CC (de cargas CA)

$$B1 = 0 \left[\frac{Wh}{día} \right] \quad \text{Ec (3.7)}$$

B3: Carga CC total

$$B3 = B1 + B2 \quad \text{Ec (3.8)}$$

$$B3 = 759.6 + 0 \left[\frac{Wh}{día} \right]$$

$$B3 = 759.6 \left[\frac{Wh}{día} \right]$$

B4: Tensión CC del sistema

$$B4 = 12 V \quad \text{Ec (3.9)}$$

B5: Carga diaria corriente

$$B5 = \frac{B3}{B4} \quad \text{Ec (3.10)}$$

$$B5 = \frac{759.6 \left[\frac{Wh}{\text{día}} \right]}{12 V}$$

$$B5 = 63.3 Ah$$

B6: Factor de seguridad

$$B6 = 1.2 \quad \text{Ec (3.11)}$$

B7: Carga corriente corregida

$$B7 = 63.3 Ah * 1.2 \quad \text{Ec (3.12)}$$

$$B7 = 75.96 Ah$$

B8: Radiación solar:

$$B8 = 4 \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad \text{Ec (3.13)}$$

B9: Corriente pico del sistema

$$B9 = B7/B8 \quad \text{Ec (3.14)}$$

$$B9 = \frac{75.96 Ah}{4 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}$$

$$B9 = 18.99 A$$

3.2.4.2 Cálculo módulo fotovoltaico

C1: Corriente pico del sistema

$$C1 = 18.99 A$$

C2: Corriente pico del panel solar

$$C2 = 6.72 A$$

C3: Arreglo de módulos

$$C3 = C1/C2$$

$$C3=2.82$$

C4: Arreglo de módulos aproximado al orden superior

$$C4 = 2$$

C5: Tensión CC del sistema

$$C5 = 12 V$$

C6: Tensión del módulo

$$C6 = 1$$

C7: Número total de módulos

$$C7 = C4 * C6$$

$$C7 = 2$$

3.2.5 DISEÑO DEL GABINETE

En el gabinete de equipos electrónicos tiene una estructura metálica en su exterior está cubierto por partículas de fibra óptica que impiden su manipulación para evitar robos, protección contra la humedad y el polvo del ambiente. Dentro del gabinete se colocarán todas las piezas del transmisor, posee gran amplitud para la conexión de los equipos y cableado, dentro del mismo están los siguientes equipos:

Batería 12V

Controlador de Carga

POE Inyector

Transformador 3v a 32v

Convertidor RS232

Raspberry Pi

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

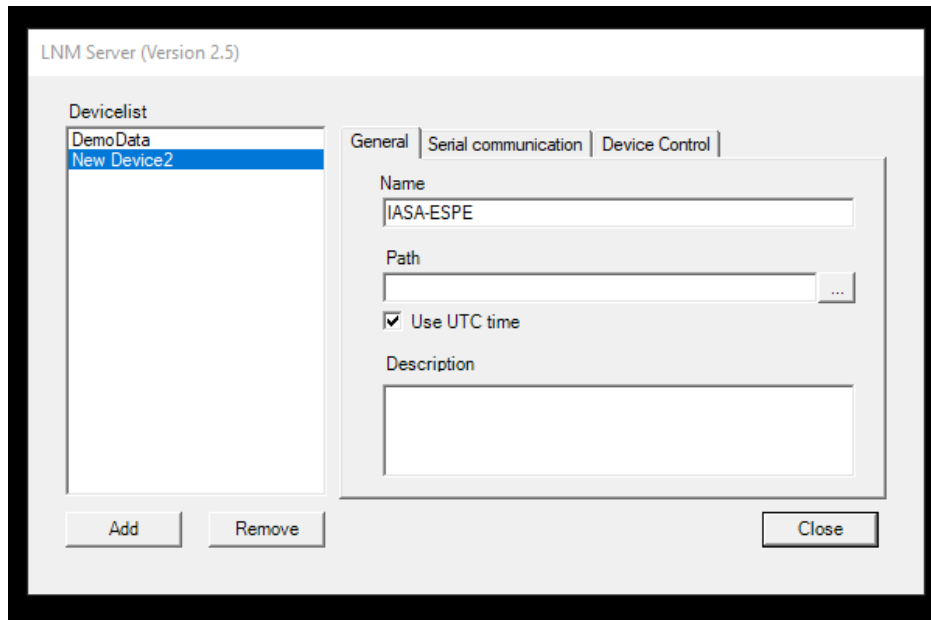
4.1 SUBSISTEMA RECEPCIÓN DE DATOS

4.1.1 Creación de carpetas cliente-servidor

Considerando todos los beneficios del software el primer paso es ingresar la aplicación del LNM VIEW para mostrar los datos generados por el monitor de precipitación láser de Thies.

La figura 4.13 muestra la creación de una nueva carpeta para mostrar los datos arquitectura Cliente-Servidor para la adquisición central de datos y visualización remota, vincular la carpeta para guardar los datos del disdrómetro. En el anexo 3 se presenta el procedimiento para crear un nuevo dispositivo en el Software” LNM Server”.

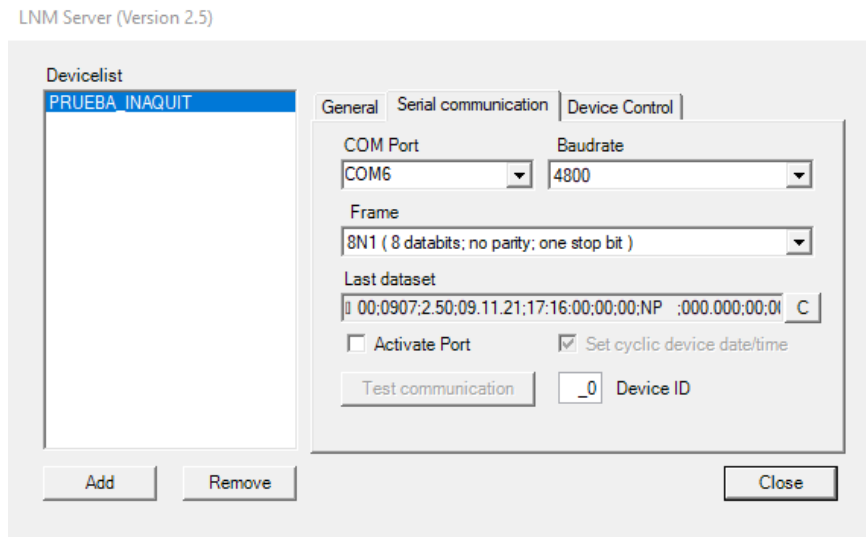
Figura 4.13 Carpeta de datos



Aplicación LNM view para crear la carpeta cliente, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Para la comunicación serial reconocer el puerto RS232 y activar el puerto para establecer la conexión con el disdrómetro como se muestra en la figura 4.14.

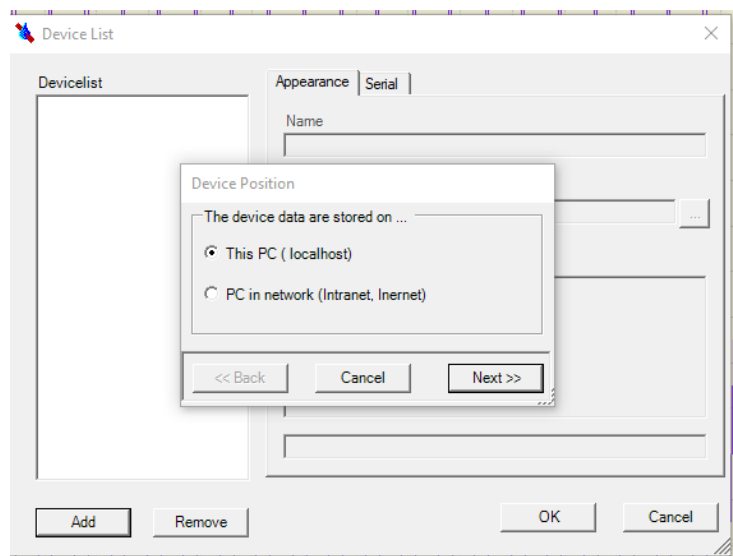
Figura 4.14 Comunicación Serial



Prueba de conexión puerto COM, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la figura 4.15 se establece conexión con el servidor LNM Server la conexión mediante el dispositivo PC es localhost.

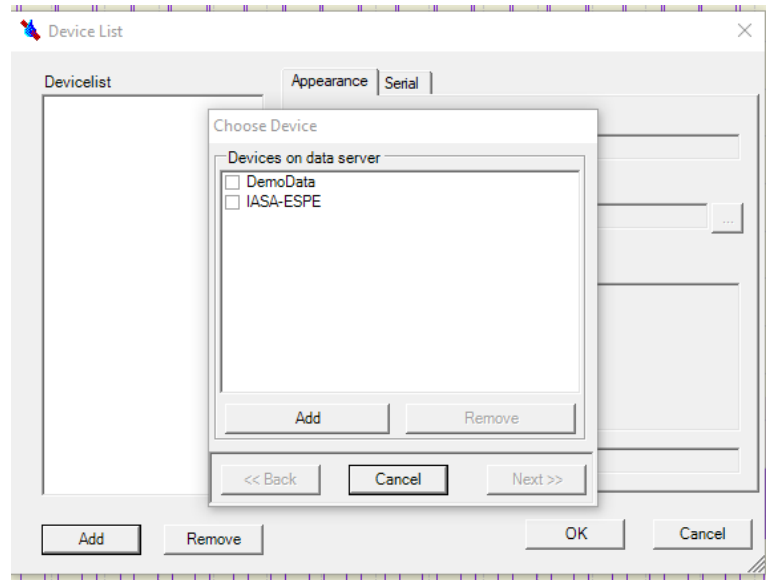
Figura 4.15 Servidor LNM Server



Conexión del servidor LNM Server con la computadora, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Seleccionar la carpeta donde se almacenará los datos transmitidos por el disdrómetro como se muestra en la figura 4.16.

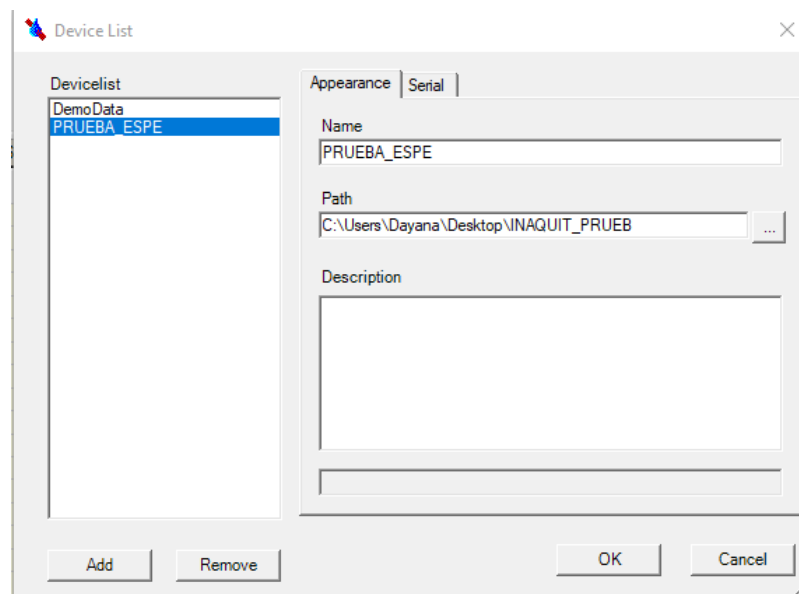
Figura 4.16 Dispositivo en el servidor de datos



Conexión de la carpeta IASA-ESPE con el disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La figura 4.17 indica la comunicación exitosa entre la PC y el disdrómetro

Figura 4.17 Conexión PC-Disdrómetro

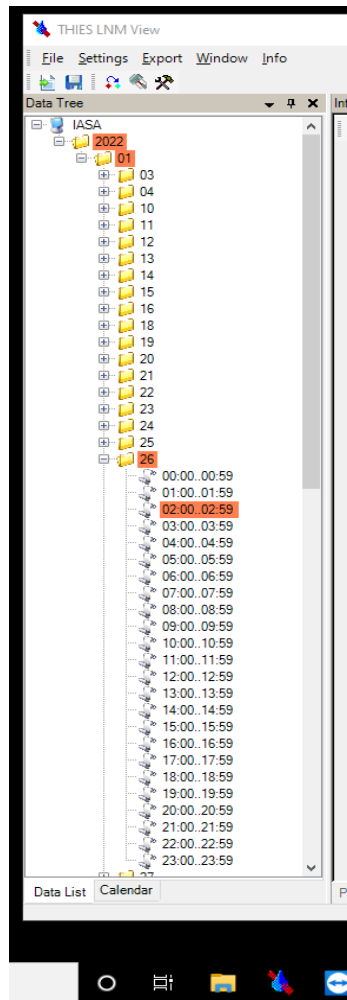


Comprobación de conexión PC- disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

4.1.2 Recepción de datos

LNМ View puede mostrar una descripción general de los datos en forma de árbol con los niveles Año, Mes, Día, Hora. La figura 4.18 presenta el sistema de archivos de datos leídos que se pueden visualizar hora por hora.

Figura 4.18 Formato árbol



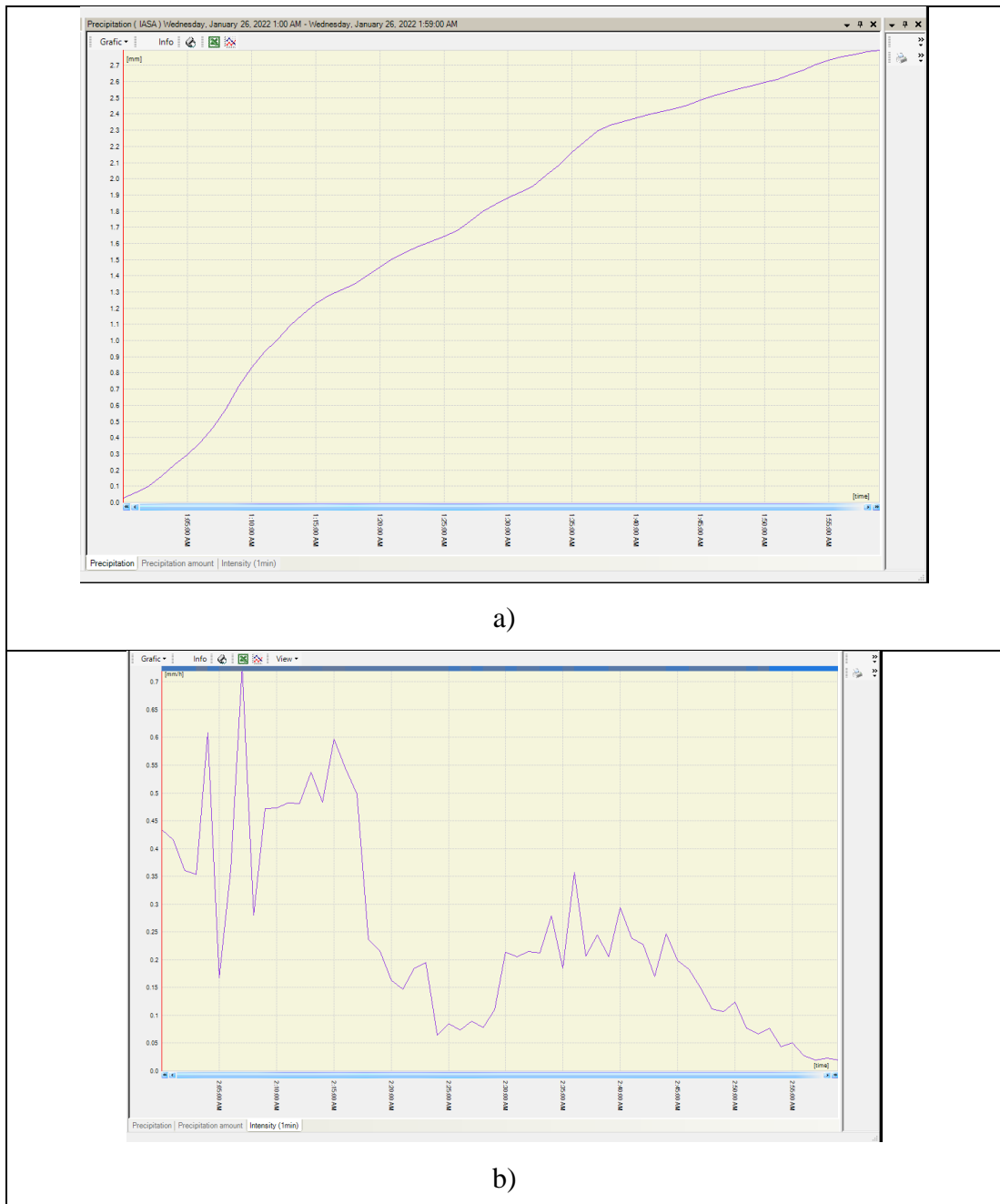
Recopilación de datos en formato árbol, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La gráfica de precipitación indica el nivel de intensidad de la lluvia en un determinado tiempo, logrando detectar el tipo de fenómeno. Este sistema trabaja discriminando los objetos o insectos que crucen por el haz de luz.

La figura 4.19a se puede apreciar el resultado de la gráfica de precipitación tiempo vs mm, además el tiempo de almacenamiento de datos es por horas, utiliza el horario UTC (Tiempo Universal Coordinado) asignado directamente por el software.

En la figura 4.19b se puede observar la intensidad de lluvia en minutos sobre hora, se puede visualizar en cualquier fase.

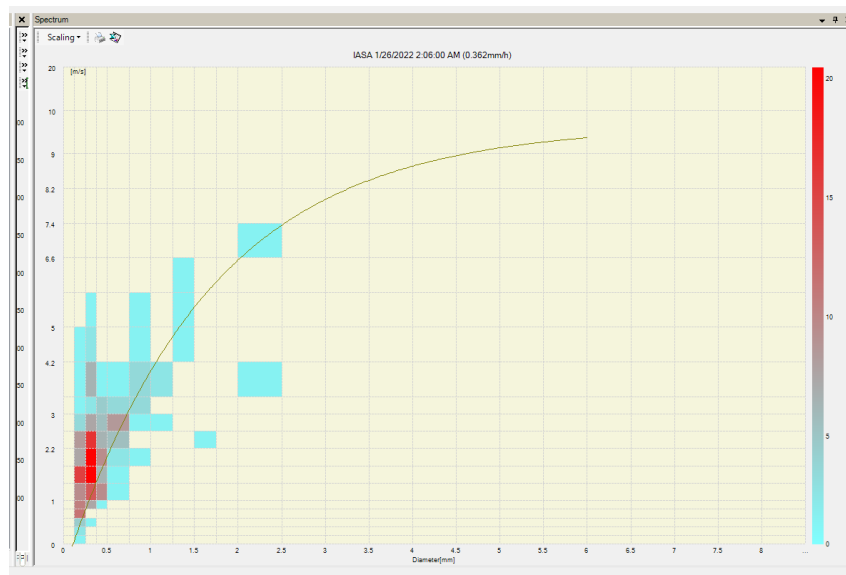
Figura 4.19 LNM VIEW



Gráficas de precipitación e intensidad en un determinado tiempo , Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la figura 4.20 se puede apreciar el espectro de precipitación donde indica el diámetro vs m/s de las gotas donde se determina el tipo de fenómeno como lluvia, lluvia con nieve, nieve o granizo, La gráfica del espectro esta representada por una regleta de colores donde el celeste indica lluvia pasajera y el color rojo intenso es granizo.

Figura 4.20 Espectro de precipitación



Gráfica del espectro de precipitación en una hora, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

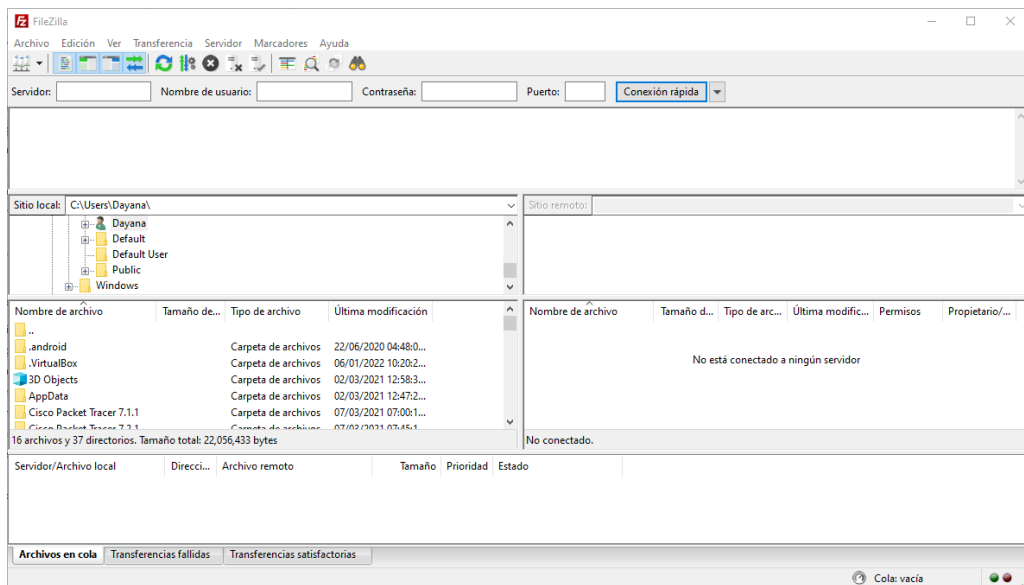
4.1.3 Transmisión de datos al servidor FTP

La empresa INAMHI trabaja con el servidor FileZilla que es una aplicación FTP de código abierto que consta de un cliente y un servidor, soporta los protocolos FTP, SFTP en el anexo 5 se puede apreciar el procedimiento para instalar el servidor.

En la figura 4.21 muestra en la conexión rápida al servidor FTP (Protocolo de transferencia de archivos) de la empresa, donde se ingresa por siguientes datos.

- Servidor
- Nombre
- Contraseña
- Puerto

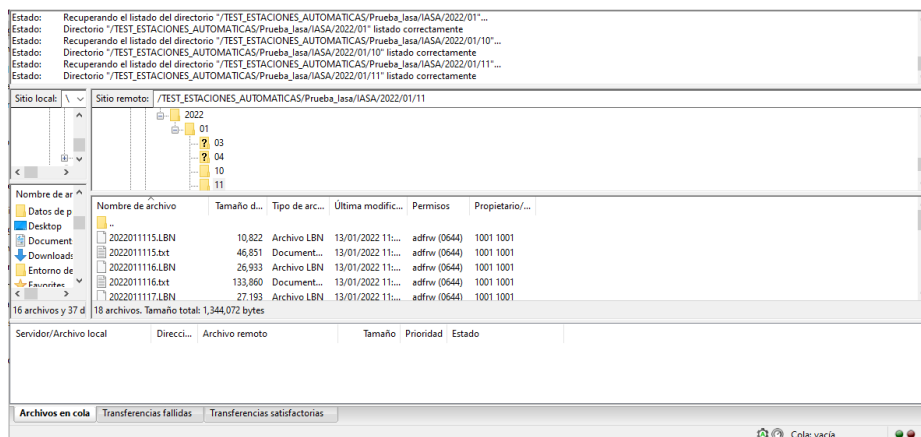
Figura 4.21 Servidor FTP



Programa FileZilla medio para servidor FTP, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

El servidor de la empresa INAMHI está desarrollada por secciones, la carpeta de datos del disdrómetro está en la sección TEST_ESTACIONES_AUTOMATICAS, PRUEBA_IASA, para la transferencia de archivos entre un cliente y un servidor como se muestra en la figura 4.22.

Figura 4.22 Servidor FTP

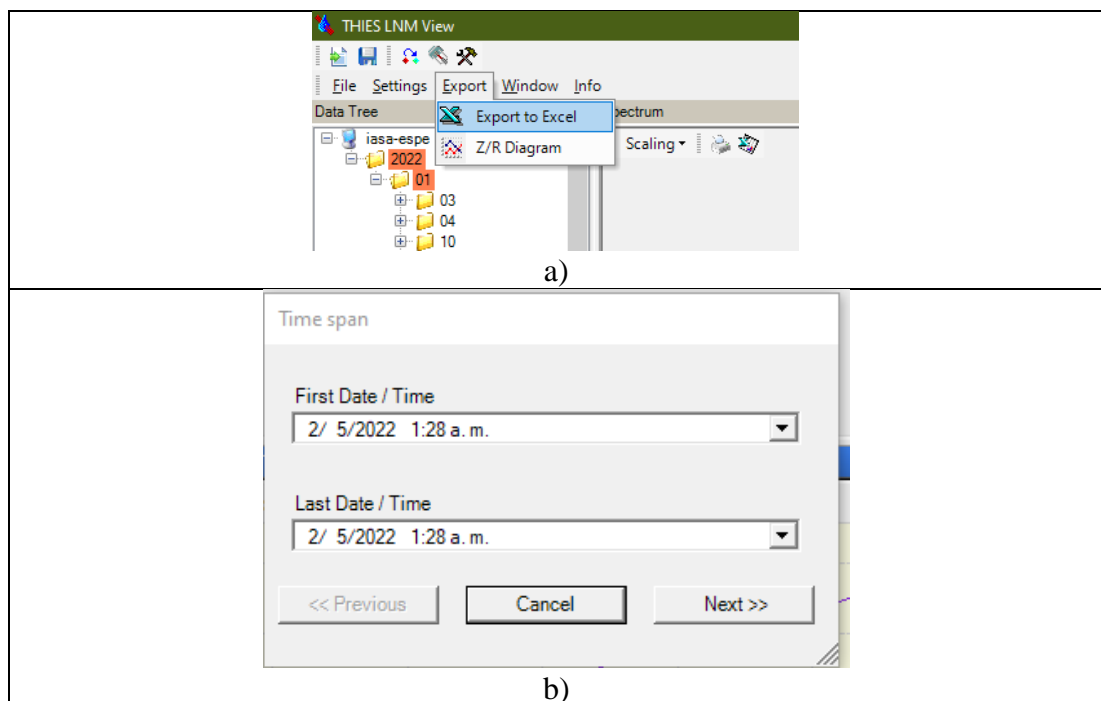


Servidor FTP de la empresa INAMHI, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

4.2 PRUEBAS DEL SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN DE DATOS

LNМ view es una aplicación dinámica fácil de manejar para el usuario, permite exportar los datos a un formato Excel para saber el tipo de fenómeno meteorológico que estuvo presente durante todo el día. Para exportar los datos seleccionar <<export excel >> como se muestra en la figura 4.23a.

Figura 4.23 Convertidor de datos existentes



Convertidor de datos de la aplicación LNМ view, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Se tiene que seleccionar el rango de tiempo que se requiere analizar los datos como se muestra en la figura 4.23b.

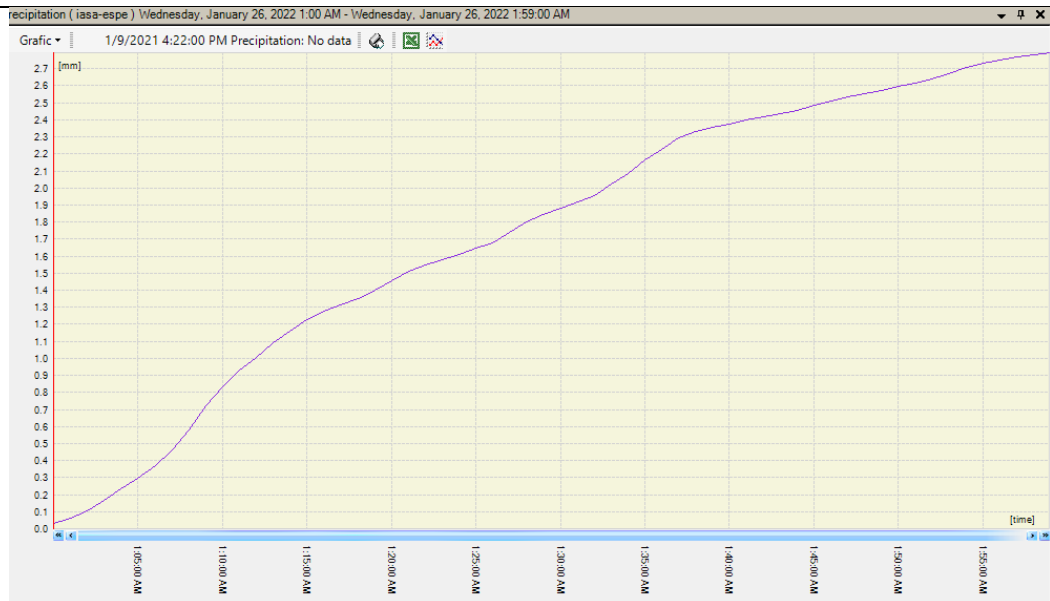
En la figura 4.24a se observan los datos exportados al Excel, para determinar el tipo de fenómeno es necesario discriminar los ceros en los datos que fueron exportados, como se indica en la figura 4.24b

Figura 4.24 Convertidor de datos existentes

Export data

DateTime	Precipitation
26/01/2022 01:05 a. m.	0.3
26/01/2022 01:06 a. m.	0.37
26/01/2022 01:07 a. m.	0.46
26/01/2022 01:08 a. m.	0.58
26/01/2022 01:09 a. m.	0.72
26/01/2022 01:10 a. m.	0.83
26/01/2022 01:11 a. m.	0.93
26/01/2022 01:12 a. m.	1.01
26/01/2022 01:13 a. m.	1.09
26/01/2022 01:14 a. m.	1.16
26/01/2022 01:15 a. m.	1.23
26/01/2022 01:16 a. m.	1.28
26/01/2022 01:17 a. m.	1.31
26/01/2022 01:18 a. m.	1.35
26/01/2022 01:19 a. m.	1.4
26/01/2022 01:20 a. m.	1.45
26/01/2022 01:21 a. m.	1.51

<< Previous Cancel Next >>



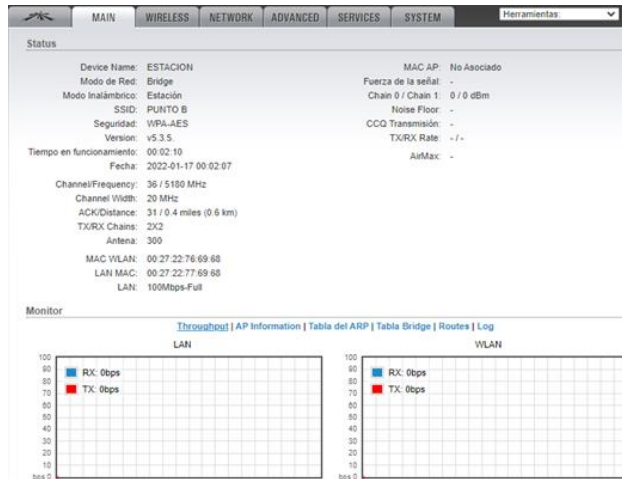
b)

Gráfica de datos en Excel, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

4.3 RESULTADOS SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN

La figura 4.25 indica el funcionamiento de la Antena de recepción que está relacionado con el SSID que fue nombrado Punto B de la antena de transmisión. Está trabajando a una frecuencia de 5180 [MHz] y un ancho de banda de 20MHz

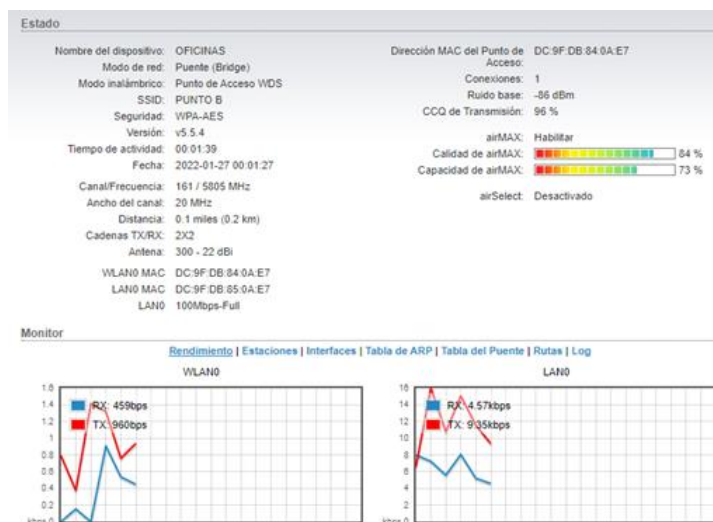
Figura 4.25 Antena de Recepción



Funcionamiento Antena Rx (Ubiquiti), Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Al momento de que las dos antenas están encendidas, una vez realizadas las configuraciones, las antenas se conectaran automáticamente. En la figura 4.26 indica el funcionamiento de la antena de transmisión donde el CCQ de transmisión es del 96% y para compartir la señal de internet es necesario que este valor este entre el 90 y 100%.

Figura 4.26 Antena de Transmisión



Funcionamiento de la antena Tx (Ubiquiti), Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La tabla 4.14 indica los parámetros más importantes para el enlace punto a punto, para que la estación de IASA-ESPE cuente con un punto de conexión a Internet.

Tabla 4.14 Enlace Punto a Punto

SSID	PUNTO B
Seguridad	WPA-AES
Frecuencia	5805 [MHz]
Ancho del canal	20 [Mhz]
Distancia	0.2 [KMm]
Ruido base	-86 [dBm]
CCQ de transmisión	96 %

Tabla de resultados de la antena Tx, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

4.4 RESULTADOS SUBSISTEMA DE ENERGÍA

Para abastecer de energía a todos los equipos fue necesario de dos paneles solares, de esta manera el primer panel solar abastecerá de energía a los siguientes equipos:

Disdrómetro

Convertidor rs232 a rs485

Raspberry pi 4

Mientras que el segundo panel abastecerá de energía a la antena de transmisión que consume una corriente entre 2 a 3 Amperios. La figura 4.27 indica los equipos que están colocados en el primer gabinete, los cuales están conectados en paralelo con un fusible para su protección.

Figura 4.27 Equipos primer gabinete



Primer gabinete con los equipos (raspberry,batería,controlador de carga,batería,convertidor RS 232,módulo transformador), Fuente: Bryan Ortega,Dayana Ortiz

La tabla 4.15 indica las tensiones en el regulador de carga y en los equipos del primer gabinete. Donde se puede observar que existe una caída de voltaje para los 22 [V] que genera el panel solar.

Tabla 4.15 Voltajes primer gabinete.

Equipo	Tensión
Módulo	13.90 [V]
Convertidor rs232	13.91[V]
Disdrómetro	13.91[V]
Batería	13.98 [V]
Regulador de carga	15.75 [V]

Tabla de resultados del subsistema de energía primer gabinete, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la figura 4.26 se indica la caída de voltaje que produce el módulo XL6009, Para el funcionamiento y arranque de la raspberry pi.

Figura 4.28 Voltaje módulo XL6009



Resultado de energía en el módulo XL6009, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La figura 4.29 indica los equipos conectados en el segundo gabinete, este servirá para abastecer la energía al subsistema de comunicación. Para ello se utiliza un transformador de 12 V a 24 V para que pueda funcionar la antena Ubiquiti.

Figura 4.29 Gabinete de subsistema de comunicación



Segundo gabinete con el subsistema de comunicación (batería, controlador de carga, batería, POE)

Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la tabla 4.16 se observa los valores de voltaje que tiene el regulador y sus respectivas cargas.

Tabla 4.16 Voltajes segundo gabinete.

Equipo	Tensión
Transformador	13.80 [V]
Batería	14.46 [V]
Regulador de carga	19.50 [V]

Resultados del segundo gabinete subsistema de energía, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

CONCLUSIONES

Considerando la zona en la que se encuentra la estación pluviométrica de IASA-ESPE, la mejor opción para transmitir los datos es que existe una conexión a internet en la misma (ISP). Para lo cual fue necesario realizar un enlace punto a punto para compartir internet con la estación donde se obtuvo que CCQ de transmisión es del 96% considerando que se quiere compartir internet el rango de CCQ debe variar entre los 90 y 100%. Considerando que la confiabilidad del enlace es del 99.99999%, baja la indisponibilidad lo que garantizaría que el enlace pueda estar trabajando todo el día.

Al utilizar un disdrómetro como instrumento de medición de precipitación, ya no se requiere la presencia de un observador para conocer el tipo de fenómeno meteorológico que ocurre durante el día. Para el subsistema de recepción de datos fue necesario contar con Windows 10 en la Raspberry pi 4 que permite el uso del LNM View, donde se visualiza en tiempo real la precipitación en el sector IASA-ESPE (Sangolquí) y una gráfica que indica el comportamiento de lluvia, además este programa permite exportar los datos a Excel lo que ayuda a la empresa pública INAMHI hacer un mejor pronóstico. Por último, estos datos sirven para la calibración del radar meteorológico que se encuentra en la ciudad de Quito.

El enlace de redundancia podría garantizar que se siga visualizando los datos que proporciona el disdrómetro en caso de que llegue a fallar el sistema ISP. Debido a la distancia entre la estación pluviométrica y la empresa INMAHI, fue necesario colocar dos repetidores: Uno en los Chillos y otro en las antenas de Quito, además se trabajó con una frecuencia libre de 5 [GHz] donde la potencia de recepción varía entre los -48 a -60 dBm llegando a tener un máximo de 130.97 dB de pérdidas en el espacio libre.

RECOMENDACIONES

La raspberry pi trabaja con el sistema operativo de Windows 10, por tal motivo no se debe apagar el dispositivo debido a que el diseño de la RASPBERRY PI no tiene un botón de encendido para volver arrancar el sistema operativo de Windows.

Se recomienda dejar las configuraciones de seguridad por defecto del sistema operativo, para evitar la desactivación de los drivers necesarios para el funcionamiento del programa Inm view y puertos COM

Dejar el tipo de conexión dúplex del disdrómetro que viene por defecto, si cambia esta configuración, solo el disdrómetro enviará la señal, pero la RASPBERRY pi ya no podrá comunicarse.

Se recomienda en futuro se implemente el diseño del enlace de redundancia para garantizar que se puedan seguir observando los datos durante todo el día en caso de que falle el sistema ISP.

REFERENCIAS

- Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones. (2017). resolución 12-09-arcotel-2017. Arcotel, regulación y control de las telecomunicaciones, 151.
- Chen, x., pan, y, Wu, y., & Zheng, g. (2014). Research on Doppler spread of Multipath Channel in subway tunnel. 2014 iee international conference on communication problem-solving, ICCP 2014, JUNE 56–59.
<https://doi.org/10.1109/iccps.2014.7062216>
- Gutiérrez, G. (2016). Conceptos de radiofrecuencia. 23.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf
- Pitrelli, i. d. (nd). Introducción a los enlaces atómicos introducción. 5–7.
- Series, p. (2009). Multipath propagation and parameterization of its characteristics series radio wave propagation. 4.
- A. Ghasemi; a. abedi; f. Ghasemi, “propagation engineering in radio links design”. Editorial Springer, 2013.
- Falcón, Nelson, Jessica Garzón, Orión Falcón, and Ramón Viñas-García. 2013.
“Disdrómetro óptico de bajo costo para la determinación del tamaño y velocidad de las gotas de lluvia.” revista de climatología 13:17–25.
- García-Alvarez, Julio-Cesar, and Omar-Andres Rogriguez. 2002. “Desempeño de modelos de propagación en comunicación móvil para la zona de caldas parte 1: modelos para áreas urbanas.” X congreso internacional de telecomunicaciones.
- García Garrancho, Patricia. 2006. “Manual de uso de radiomobile.” 31.
- Gutierrez, Gustavo. 2016. “Conceptos de radiofrecuencia.” 23.
- Hattersley, lucy. 2019. “Raspberry pi the magpi.” (84).
- Llerena, Santiago. 2013. “Diseño de la red pluviométrica en el Distrito Metropolitano de Quito.” 104.
- Pitrelli, Ing Diego. n.d. “Introducción a los enlaces atómicos introducción.” 5–7.

Tapia, Juan Diego. 2016. "Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal." Universidad de Cuenca 1–71.

Llerena, s. (2013). Diseño de la red pluviométrica en el Distrito Metropolitano de Quito. 104.

ANEXOS

Anexo 1 Funcionamiento del disdrómetro

Se tienen dos maneras de comprobar el funcionamiento del disdrómetro la primera es visual y se comprueba mediante el funcionamiento del led:

- **SUMINISTRO:** se encuentra ubicado en la parte superior del disdrómetro y debe brillar una vez se suministre energía CA/CC, parpadea constantemente.
- **SENSOR:** el led se encuentra ubicado a lado del led de “SUMINISTRO”, es de color verde y parpadea más rápido que el led anterior.
- **ERROR:** por último, se tiene el led que indica un error o advertencia, se encuentra ubicado en el centro del disdrómetro, parpadea rápido si encontró un error y más lento si solo es una advertencia.

El segundo método para comprobar el funcionamiento es mediante un programa terminal, se puede utilizar el “Hyper Terminal” o “Thies Device Utility” es recomendable utilizar el segundo ya que este programa es específico para la comunicación y configuración de este tipo de equipos, que es la misma marca del disdrómetro.

Para conectarse al programa primero se debe dirigir hacia “Administrador de dispositivos” y verificar en que puerto está conectado el disdrómetro.

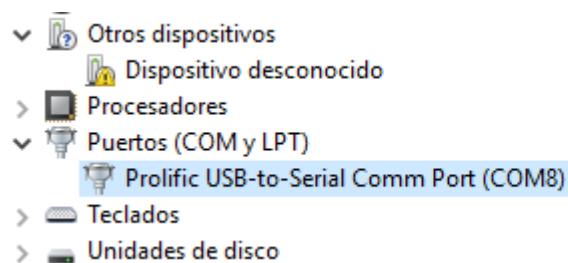


Figura 30 Administrador de dispositivos (Puertos COMM), Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Después al abrir el programa se selecciona el idioma de preferencia que en esta ocasión es el inglés y se debe seleccionar “Here to find connected devices” para ver si reconoce al disdrómetro.

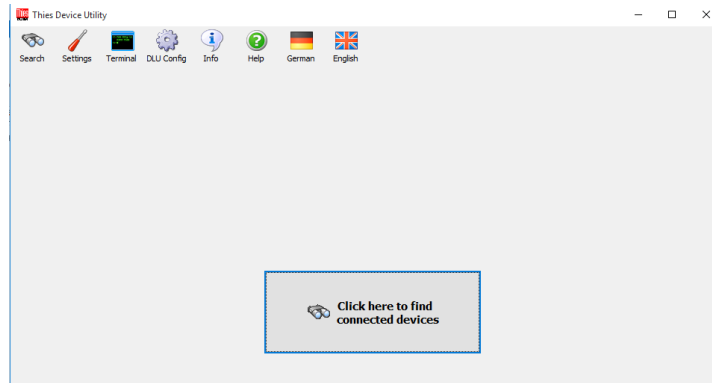


Figura 31 Programa Thies Device Utility, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En caso de que no se reconozca ningún dispositivo se debe configurar manualmente la interfaz serial, esto quiere decir que se debe seleccionar el “COM” que se comprobó en el administrador de dispositivos, también la velocidad de transmisión, el número de bits, los bits de paridad el tiempo de respuesta para los comandos, entre otros.



Figura 32 Configuración manual interfaz serial, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Dar clic en el Terminal del programa, la primera opción que indica es el tipo de comunicación ya sea Ethernet o Serial. Para este caso el tipo de comunicación es Serial.

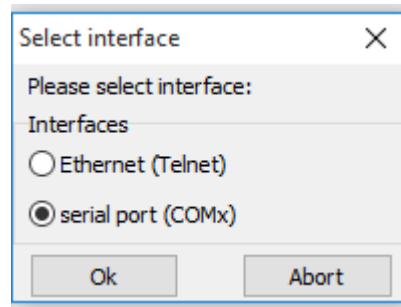


Figura 33 Interfaz modo serial (COMX), Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz)

Después aparecerán todos los puertos que están conectados, se debe seleccionar el puerto en el que está conectado el disdrómetro.

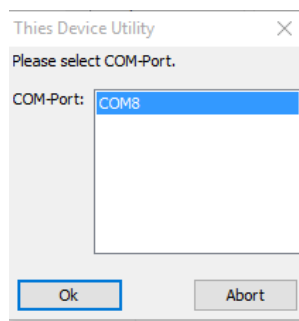


Figura 34 Puerto de entrada de datos disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

El siguiente parámetro es seleccionar el tipo de interpretación, al ser un equipo y programa THIES, se debe seleccionar la opción "THIES"

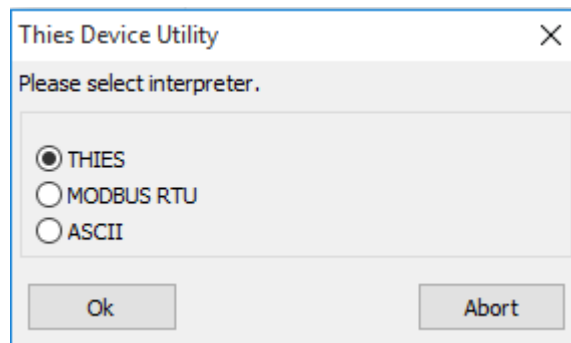


Figura 35 Tipo interpretación disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Se debe seleccionar la tasa de baudios, por defecto el disdrómetro viene configurado con 9600 este valor puede ser configurado después.

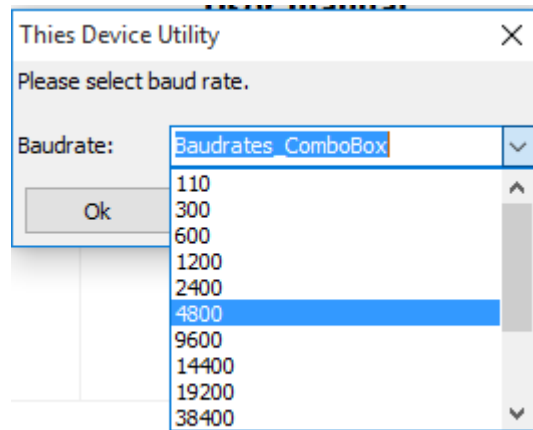


Figura 36 Tasa de baudios, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Se debe seleccionar la dirección del disdrómetro, la dirección por defecto es la 0 este equipo cuenta con 100 direcciones posibles, como en esta ocasión solo es un disdrómetro se puede dejar este valor por defecto.

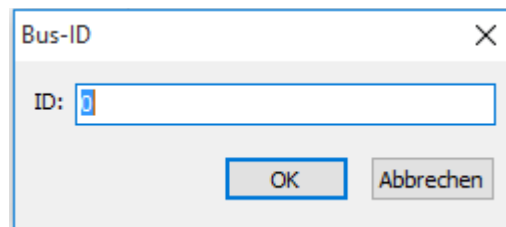


Figura 37 Dirección del disdrómetro (ID), Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Por último, se debe escribir la contraseña del equipo que es "234".

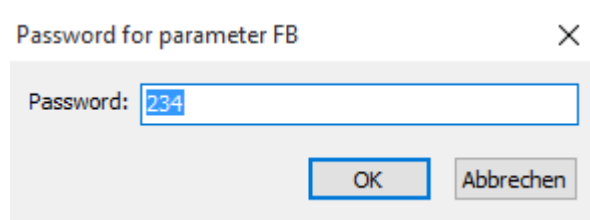


Figura 38 Contraseña del equipo, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Enseguida aparecerá la pantalla para ingresar los comandos para ver las configuraciones y funcionamiento del disdrómetro.

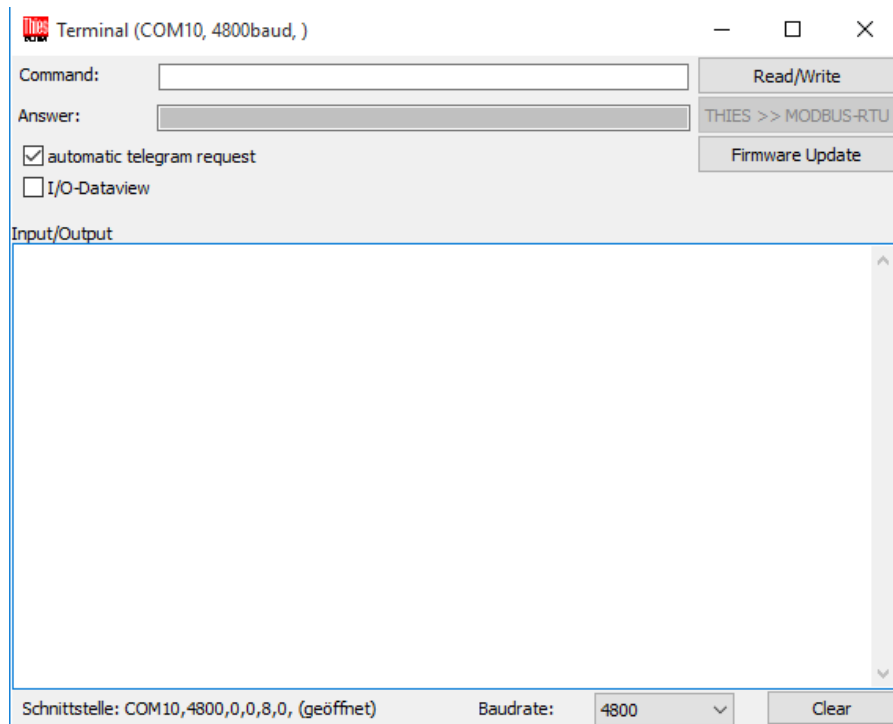


Figura 39 Cuadro de comandos, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

El valor que primero se debe comprobar es la dirección por lo que se debe ingresar el comando “ID”.

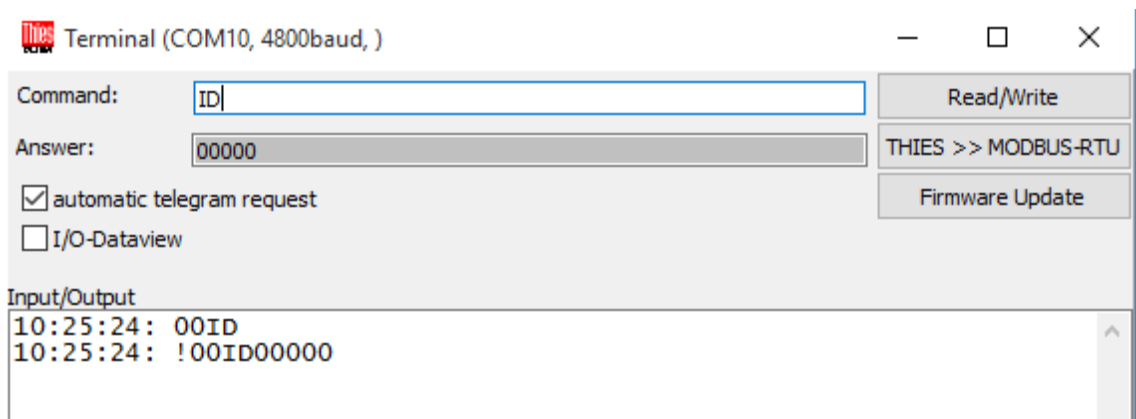


Figura 40 Configuración ID, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Una vez realizada todas las configuraciones se puede poner el comando para comprobar el funcionamiento del disdrómetro.

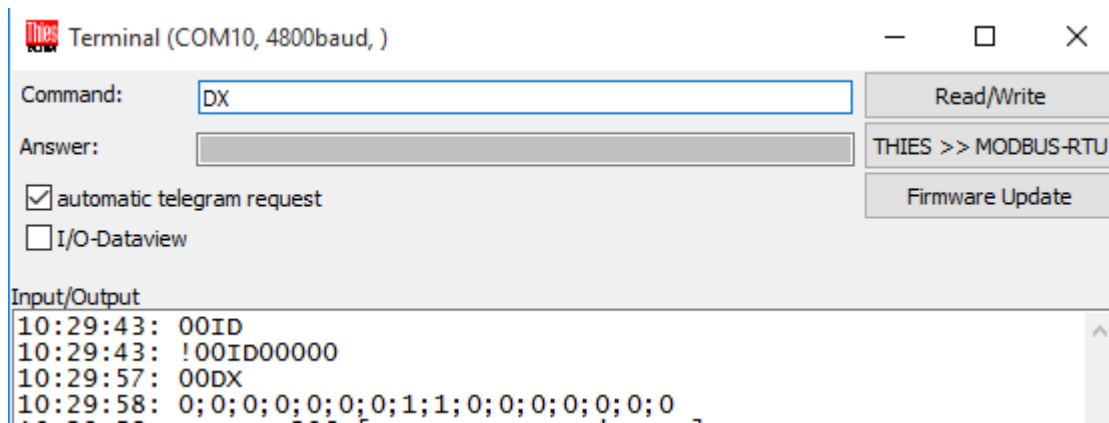


Figura 41 Configuración DX, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Cuando no existe ningún error los números deben aparecer con un “0”, mientras que si existe un error o una advertencia se indica con el número “1”. La siguiente tabla indicara el parámetro que se evalúa dependiendo el número que se encuentra ubicada en la columna

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
0	Láser encendido o apagado
1	Señal estática fuera del rango permitido
2	Temperatura del láser (analógica)demasiado alta
3	Temperatura del láser (digital) demasiado alta
4	Corriente láser (analógica) demasiado alta
5	Corriente láser (digital) demasiado alta
6	Suministro de sensor fuera de rango permitido
7	Cabezal láser de calentamiento de paneles
8	Cabezal receptor de calefacción de panel
19	Sensor de temperatura
10	Suministro de calefacción fuera del rango permitido
11	Carcasa de calefacción
12	Cabezales calefactores
13	Portadores de calefacción
14	Potencia láser de salida
15	No se utiliza por el momento

Tabla 1 Parámetros disdrómetro

3.7 Configuración arranque del Disdrómetro

- Comando KY: permite poner al disdrómetro en modo usuario o en modo configuración, la primera configuración es poner al disdrómetro en modo configuración con el comando KY00001

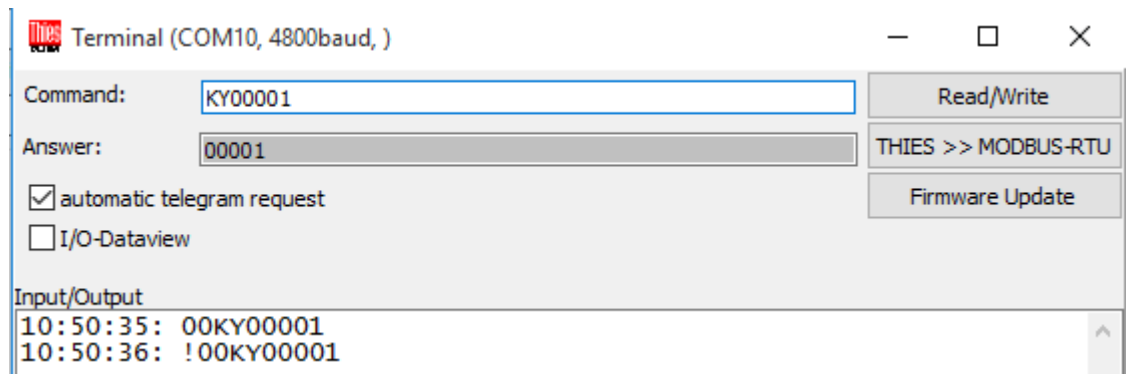


Figura 42 Configuración modo usuario, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

- COMANDO BR: sirve para cambiar la tasa de baudios, este parámetro se lo puede dejar por defecto. En caso de que se requiera cambiar a 4800 el comando es BR00004.

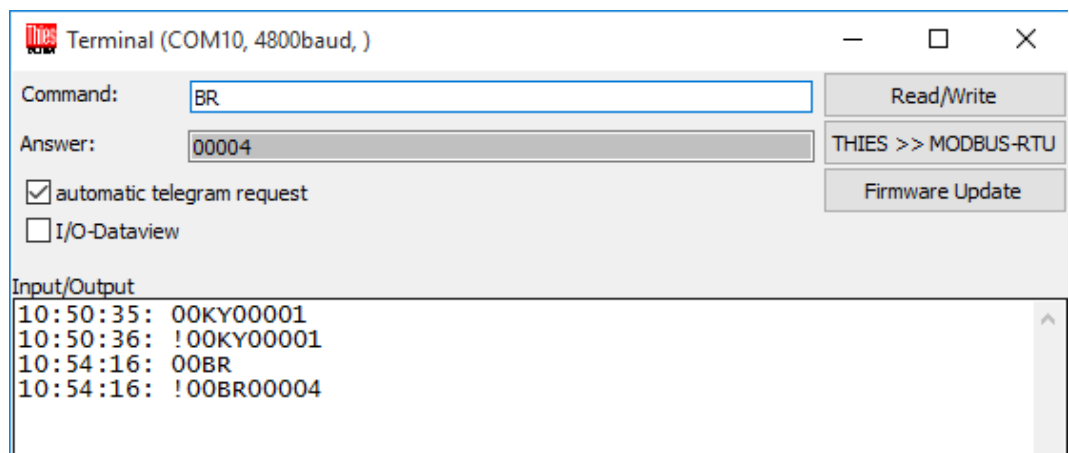


Figura 43 Configuración tasa de baudios, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

- COMANDO BD: nos permite seleccionar el tipo de comunicación serial. Se debe dejar el valor por defecto para seguir realizando las configuraciones.

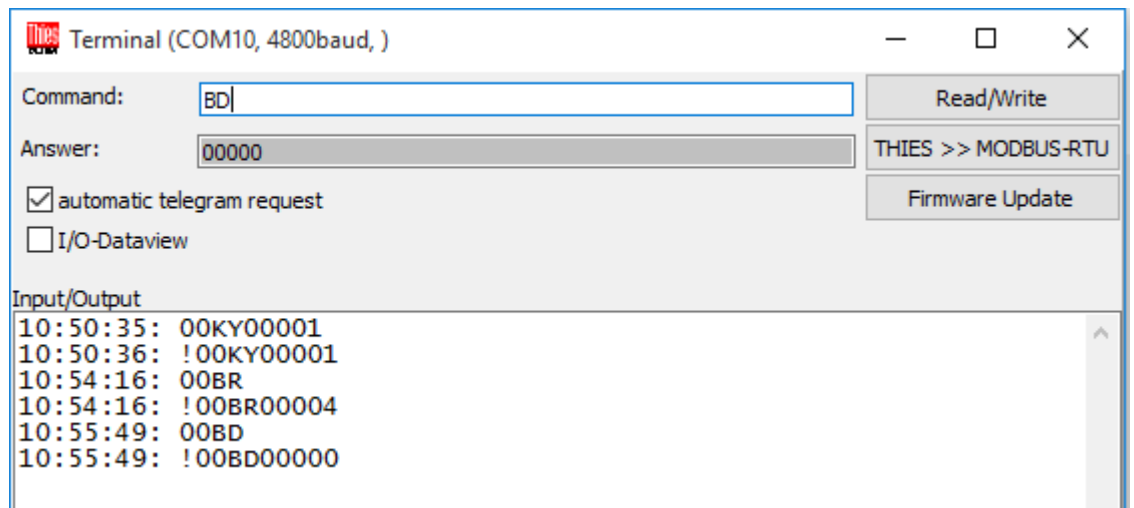


Figura 44 Configuración tipo de comunicación serial, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

- COMANDOS ZH, ZM, ZS, ZD, ZN, ZY: estos comandos permiten configurar la hora y fecha del disdrómetro, estos valores son importantes para que los datos se envíen en con la fecha respectiva. Y con el comando ZT se puede comprobar la fecha que tiene el disdrómetro.

```

8:56:57: 00ZH
8:56:57: !00ZH00000
8:57:57: 00ZH00008
8:57:58: !00ZH00008
8:58:00: 00ZH
8:58:00: !00ZH00000
8:58:07: 00ZH00008
8:58:07: !00ZH00008
8:58:22: 00ZM00058
8:58:23: !00ZM00058
8:58:34: 00ZD00029
8:58:34: !00ZD00029
8:59:10: 00ZN00010
8:59:11: !00ZN00010
8:59:20: 00ZY00021
8:59:20: !00ZY00021
8:59:27: 00ZT
8:59:27: 29.10.21;08:59:59

```

Figura 45 Configuración hora y fecha del disdrómetro, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

- COMANDO TM: para que el disdrómetro envíe el paquete de datos hacia el programa THIES LNM View. Se debe seleccionar la opción 5 para que se active los puertos auxiliares para la conexión RS-485.

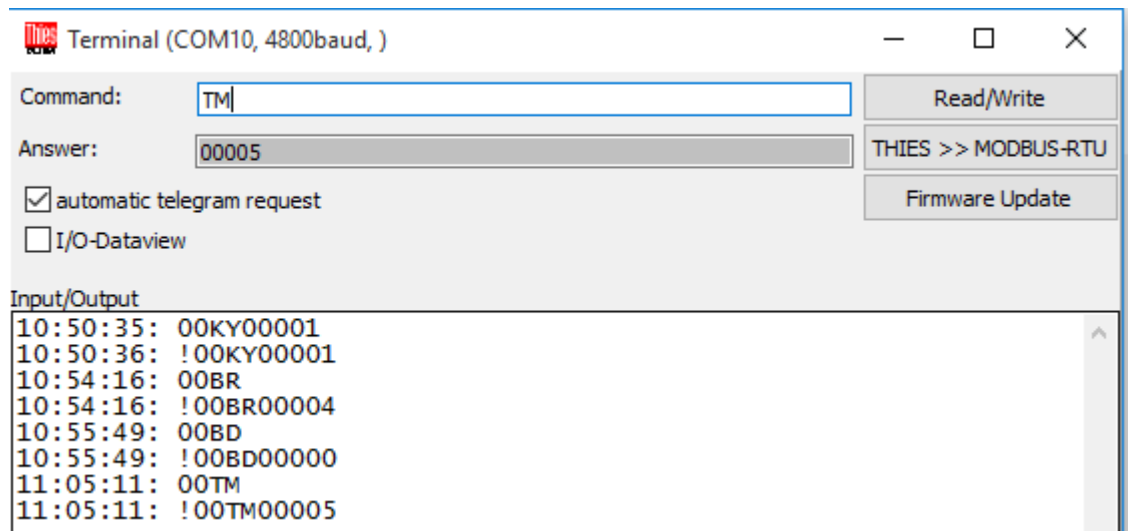


Figura 46 Activación transmisión de datos, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Anexo 2 Configuración antena de transmisión

En la pestaña “WIRELESS” están configurados los siguientes parámetros:

Modo inalámbrico: Punto de Acceso

WDS (Modo Puente Transparente): Habilitado

SSID: PUNTO A

Código del país: Ecuador

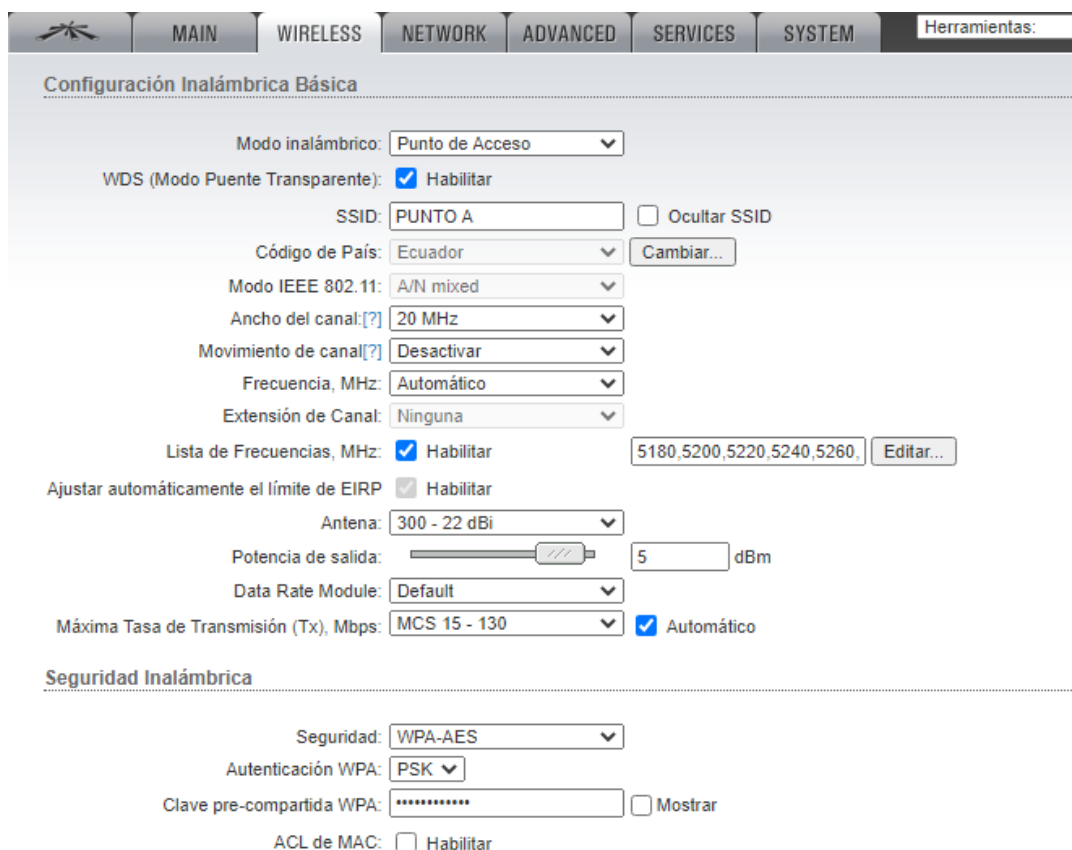
Ancho del canal: 20 MHz

Movimiento del canal: Desactivado

Frecuencia MHz: Automático

Lista de frecuencias: Habilitados

Antena: 300 -22dBi



The image shows a screenshot of the Mikrotik WinBox configuration interface. The top navigation bar includes tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, SYSTEM, and Herramientas. The 'WIRELESS' tab is selected, and the 'Configuración Inalámbrica Básica' section is visible. The configuration parameters are as follows:

- Modo inalámbrico: Punto de Acceso
- WDS (Modo Puente Transparente): Habilitar
- SSID: PUNTO A Ocultar SSID
- Código de País: Ecuador
- Modo IEEE 802.11: A/N mixed
- Ancho del canal: 20 MHz
- Movimiento de canal: Desactivar
- Frecuencia, MHz: Automático
- Extensión de Canal: Ninguna
- Lista de Frecuencias, MHz: Habilitar (5180,5200,5220,5240,5260)
- Ajustar automáticamente el límite de EIRP: Habilitar
- Antena: 300 - 22 dBi
- Potencia de salida: 5 dBm
- Data Rate Module: Default
- Máxima Tasa de Transmisión (Tx), Mbps: MCS 15 - 130 Automático

The 'Seguridad Inalámbrica' section is also visible, with the following settings:

- Seguridad: WPA-AES
- Autenticación WPA: PSK
- Clave pre-compartida WPA: Mostrar
- ACL de MAC: Habilitar

Figura 47 Configuración antena tx, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la siguiente pestaña de Network se tiene la configuración de la dirección IP y máscara mencionadas en el capítulo 3 además del DNS público de Google y la puerta de acceso al Router.

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas

Rol de la red

Modo de red:

Desactivar red:

Modo de Configuración

Modo de Configuración:

Configuración de Administración de red

Dirección IP de Administración: DHCP Estática

Dirección IP:

Máscara de red:

IP de la Puerta de Acceso:

IP del DNS principal:

IP DNS Secundario:

MTU:

VLAN de Administración: Habilitar

IP aliasing automático: Habilitar

STP: Habilitar

Figura 48 Configuración tx Network. Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Para finalizar la configuración de la antena, en la pestaña “SYSTEM” se encuentra el nombre del dispositivo y la zona horaria con la cual empieza a trabajar la antena.

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas Cerrar sesión

Actualización de Firmware

Versión de Firmware: XM.v5.5.4

Número de la versión: 16501

Subir Firmware: Ningún archivo seleccionado

Buscar actualizaciones: Habilitar

Cuentas de Sistema

Dispositivo

Nombre del dispositivo:

Idioma de la interfaz:

Configuración de fecha

Zona horaria:

Fecha de inicio: Habilitar

Fecha de inicio:

Nombre de usuario de Administrador:

Cuenta de sólo lectura: Habilitar

Misceláneo

Botón de reinicializar: Habilitar

Lugar

Latitud:

Longitud:

Figura 49 Configuración tx System. Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la pestaña de Wireless se tienen las siguientes configuraciones:

- Modo inalámbrico: Estación
- SSID: Se encuentra el sitio de la antena de transmisión



The screenshot shows a web browser window with the title "ESTACION: [NanoBridge M5] - Encuesta de Sitios - Google Chrome". The address bar shows "192.168.1.12/survey.cgi?iface=ath0". The page content includes a section titled "Encuesta de Sitios" with a sub-section "Scanned Frequencies" listing frequencies: 5.18GHz, 5.2GHz, 5.22GHz, 5.24GHz, 5.26GHz, 5.28GHz, 5.3GHz, 5.32GHz, 5.745GHz, 5.765GHz, 5.785GHz, 5.805GHz, and 5.825GHz. Below this is a table of detected networks:

Dirección MAC	SSID	Device Name	Cifrado	Señal / Noise, dBm	Frecuencia, GHz	Canal
<input type="radio"/> EC:E1:A9:8E:CF:3F	INAMHI_INVITADOS		WPA	-89 / -96	5.32	64
<input type="radio"/> EC:E1:A9:8E:CF:3E	INAMHI_DIRECTORES		WPA	-89 / -96	5.32	64
<input type="radio"/> EC:E1:A9:B0:A3:5F	INAMHI_INVITADOS		WPA	-89 / -96	5.32	64
<input type="radio"/> EC:E1:A9:B0:A3:5E	INAMHI_DIRECTORES		WPA	-89 / -96	5.32	64
<input checked="" type="radio"/> DC:9F:DB:84:0A:E7	PUNTO A	OFICINAS	WPA	-35 / -89	5.745	149
<input type="radio"/> 48:8F:5A:C7:F4:90	LINKNET360	LOPEZMENA CLARO	NONE	-81 / -90	5.825	165
<input type="radio"/> 6E:3B:6B:A7:87:DC	BS15031C30	CC2DE0F5EBFA	NONE	-91 / -96	5.765	153

Below the table is a blue message box: "Selectable SSID's must be visible and have compatible channel bandwidth and security settings". At the bottom right, there are three buttons: "Lock to AP", "Seleccione", and "Explorar".

Figura 50 Configuración Rx, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

- Código del país: Ecuador
- Ancho de banda del canal: 20 MHz
- Cambio de canal: Inhabilitado
- Lista de frecuencias: Habilitado
- Antena: 300 -22 dBi

MAIN | WIRELESS | NETWORK | ADVANCED | SERVICES | SYSTEM | Herramientas:

Configuración Inalámbrica Básica

Modo Inalámbrico:[?] Estación

SSID:

Vincular al MAC AP:

Código País: Ecuador

Modo IEEE 802.11: A/N mixed

Channel Width:[?] 20 MHz

Cambio de canal:[?] Inhabilitado

Frequency Scan List, MHz: Habilitado

Auto Adjust to EIRP Limit:

Antena: 300 - 22 dBi

Potencia de salida: dBm

Max TX Rate, Mbps: MCS 15 - 130 Automatic

Seguridad inalámbrica

Seguridad: WPA-AES

WPA Authentication: PSK

WPA Clave Pre-Compartidas: Show

Figura 51 Configuración Rx Wireless, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la pestaña “NETWORK” se encuentra la dirección, máscara, puerta de enlace y DNS público de Google.

Network Role

Modo de Red:

Disable Network:

Configuración de la red

Dirección IP Bridge: DHCP Estático

Dirección IP:

Máscara de red:

IP Puerta de Enlace:

IP DNS Primario:

IP DNS Secundario:

MTU:

Spanning Tree Protocol:

Auto IP Aliasing:

IP Aliases:

VLAN Network Settings

Enable VLAN:

Firewall Settings

Enable Firewall:

Figura 52 Configuración Rx Network, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

En la pestaña de “SYSTEM” se encuentra el nombre del dispositivo y la misma zona horaria que se configuro en la antena de transmisión.

Device

Device Name:

Interface Language:

Date Settings

Timezone:

Enable Startup Date:

Startup Date:

System Accounts

Usuario Administrador:

Enable Read-Only Account:

Miscellaneous

Enable Reset Button:

Location

Latitude:

Longitude:

Administración de la Configuración

Copia de seguridad de la configuración:

Subir configuración: Ningún archivo seleccionado

Mantenimiento del dispositivo

Figura 53 Configuración RX SYSTEM, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Anexo 3 Configuración subsistema de recopilación de datos

Para abrir el software LNM VIEW, dirigir a equipo y seleccionar WINDOWS de la RASPBERRY PI.

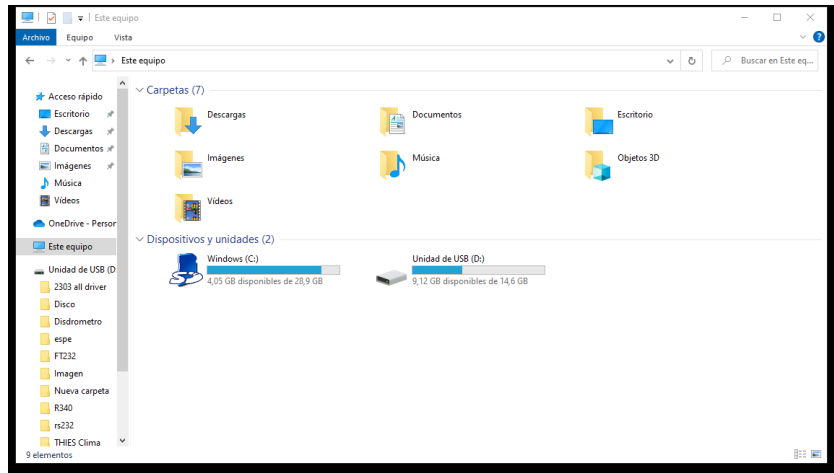


Figura 54 Carpeta Equipo, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Seleccionar la carpeta Archivo de programa para x86

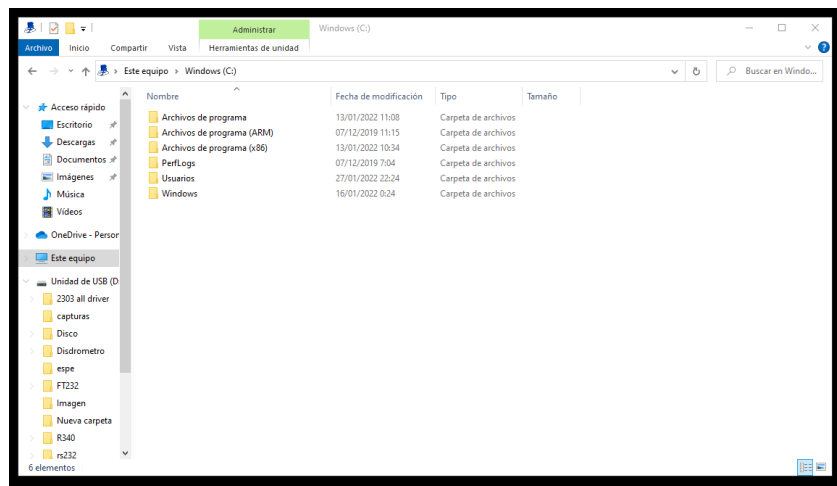


Figura 55 Administrador de archivos Windows, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Seleccionar la carpeta THIES Clima

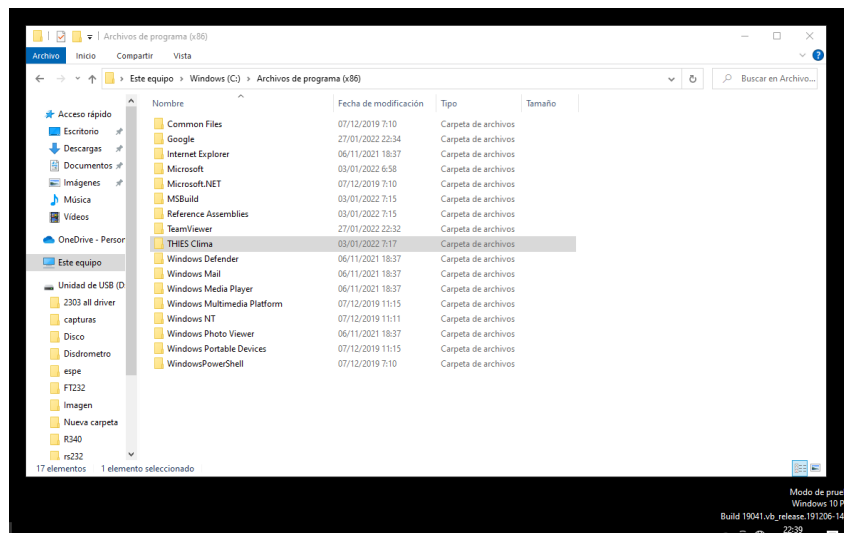


Figura 56 Archivos de programa x86, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Clic derecho en la aplicación LNM VIEW, ejecutar como administrador, luego dar un clic para abrir complemente la aplicación.

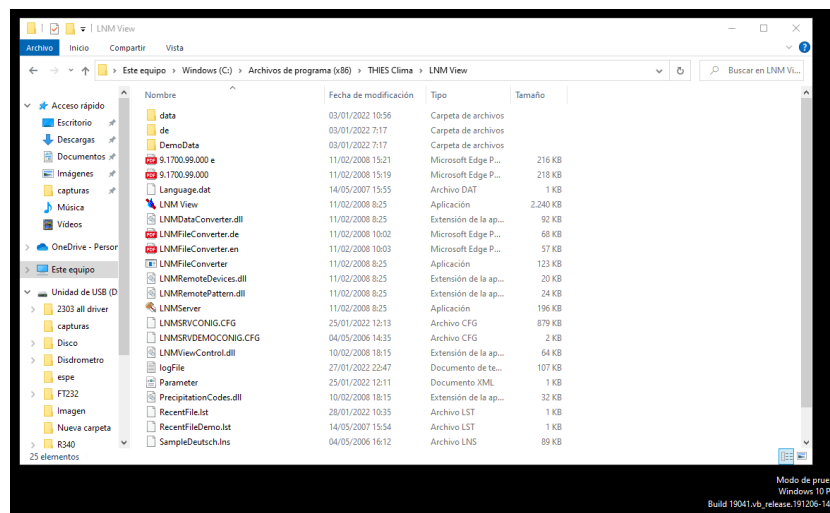


Figura 57 Carpeta de Thies clima, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Para crear la carpeta seleccionar, después en exit

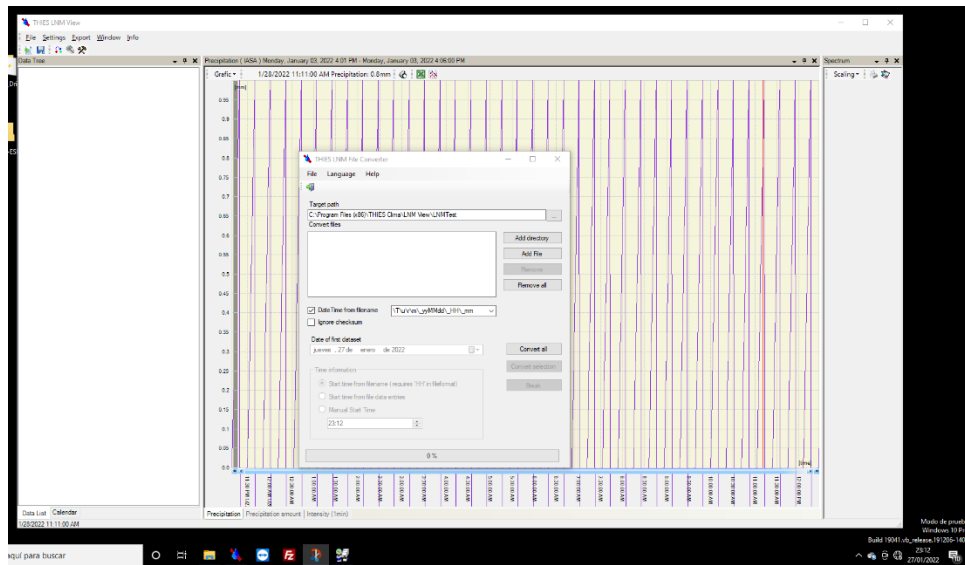


Figura 58 LNM VIEW, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Colocar el nombre de la carpeta y seleccionar la carpeta donde se guardarán los datos.

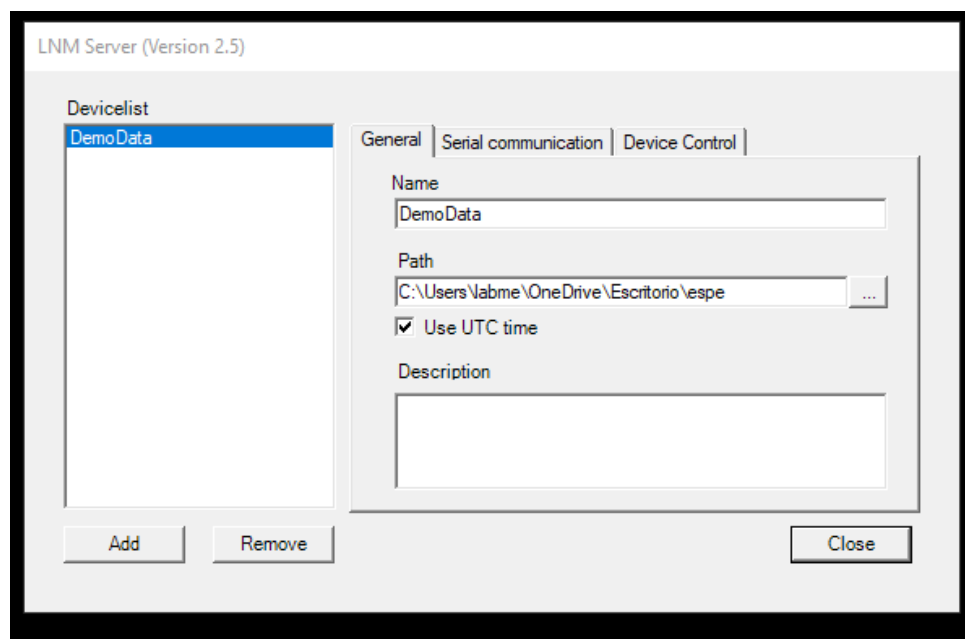


Figura 59 Servidor de LNM, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Crear la carpeta y seleccionar la carpeta dentro del escritorio donde se almacenarán los datos el disdrómetro.

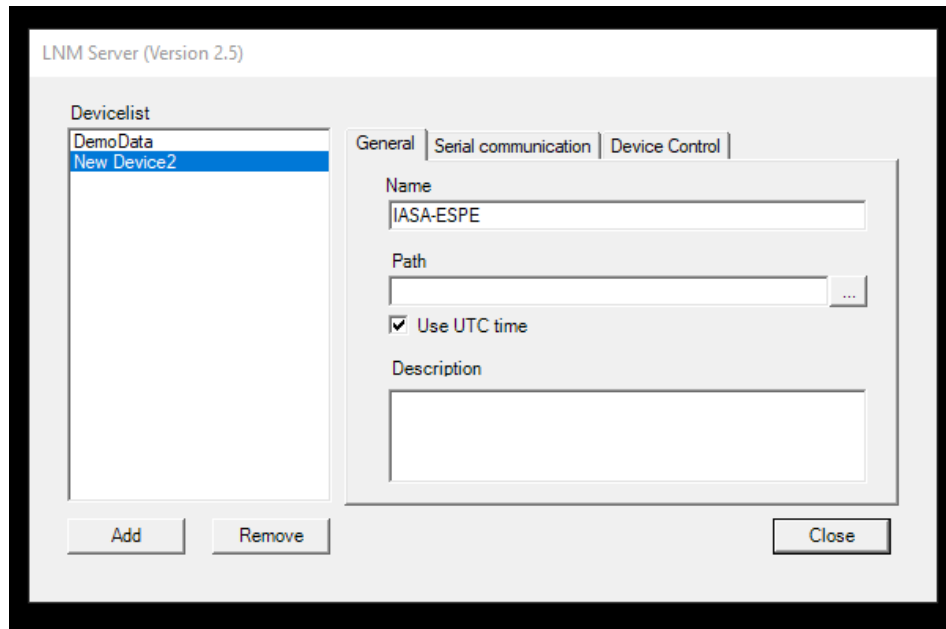
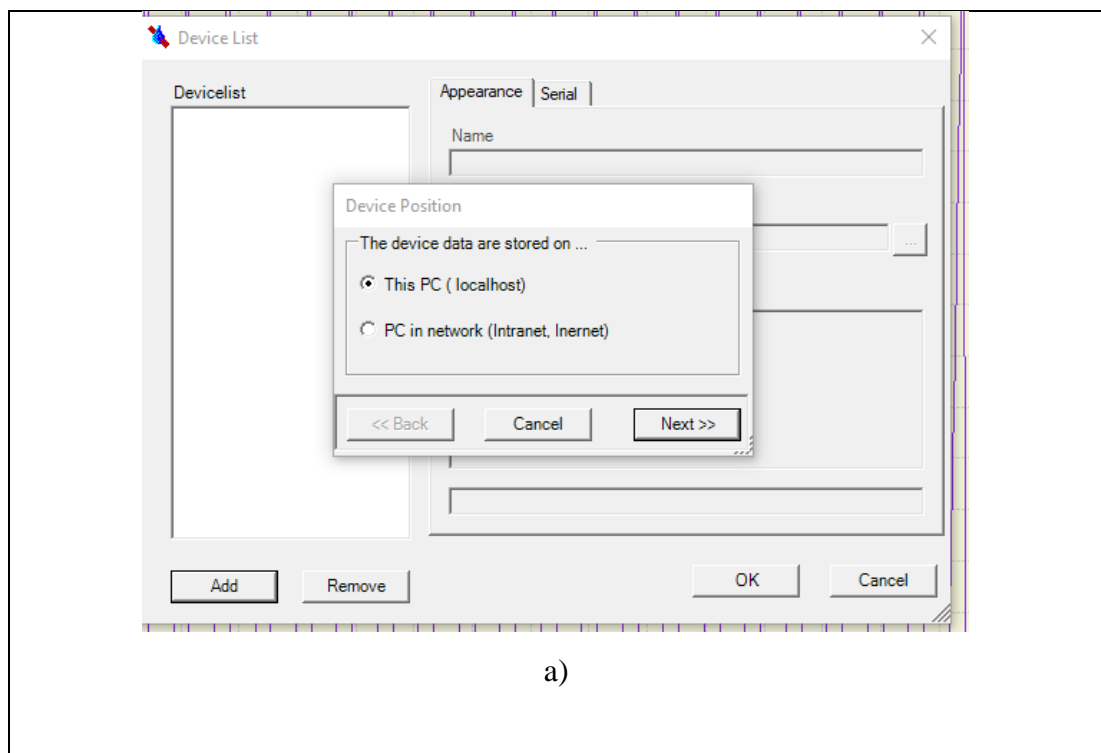


Figura 60 Crear la carpeta en el servidor, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Seleccionar la posición del dispositivo <<localhost>> para recibir los datos del disdrómetro, seleccionar la carpeta creada en el servidor.



a)

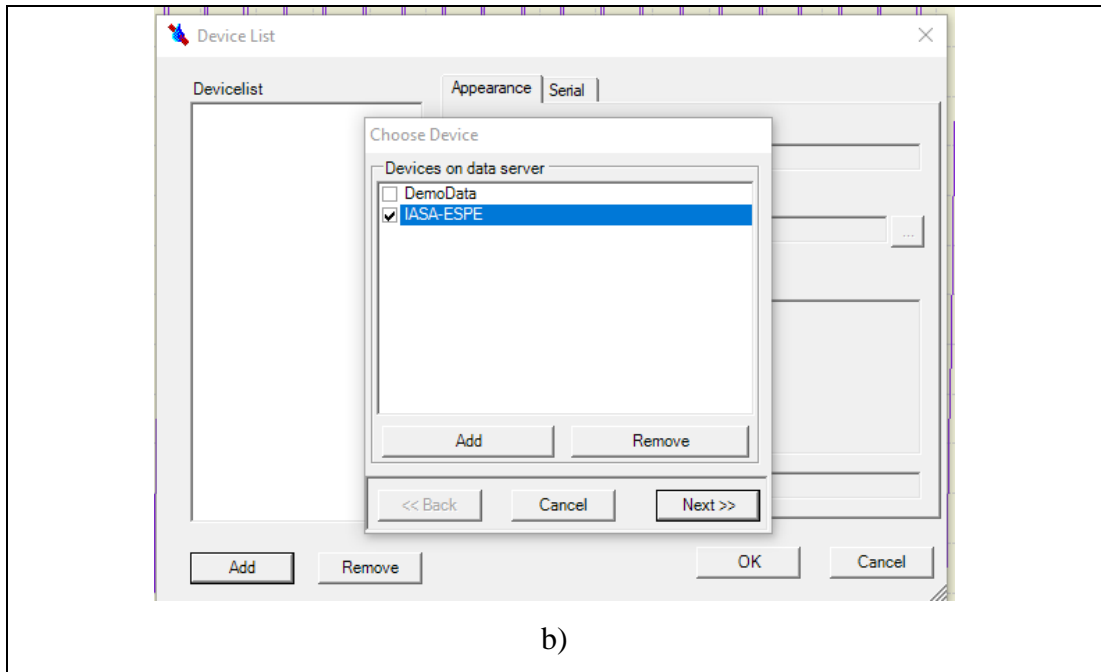


Figura 61 Posición del dispositivo, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

LNM VIEW empieza a recibir los datos del disdrómetro, logrando así una conexión cliente- servidor.

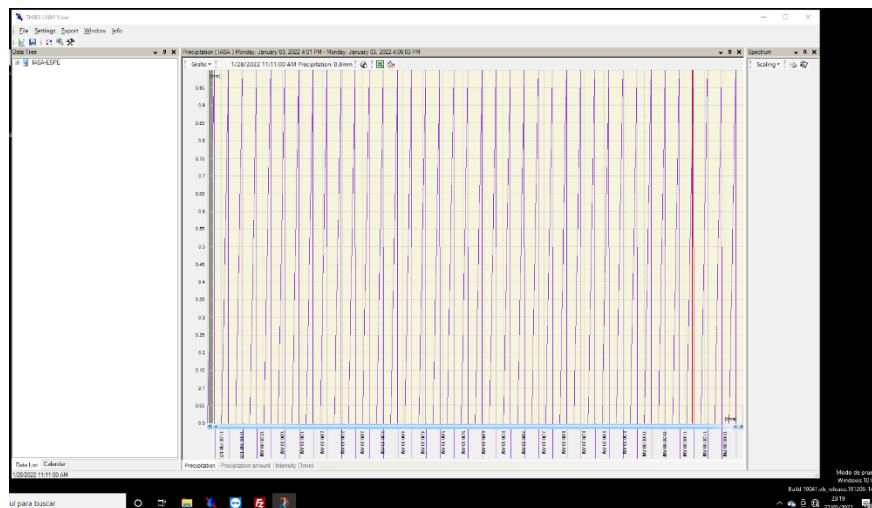


Figura 62 LNM View, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Anexo 4 Configuración servidor FTP

Descargar el software FileZilla directamente del navegador como se muestra en la figura 61

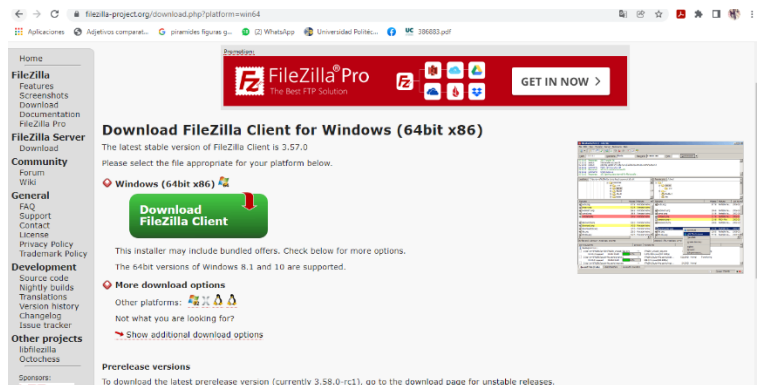


Figura 63 Descarga FileZilla, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Clic derecho en ejecutar, después aceptar las políticas del software, seleccionar siguiente hasta empezar la instalación del software.

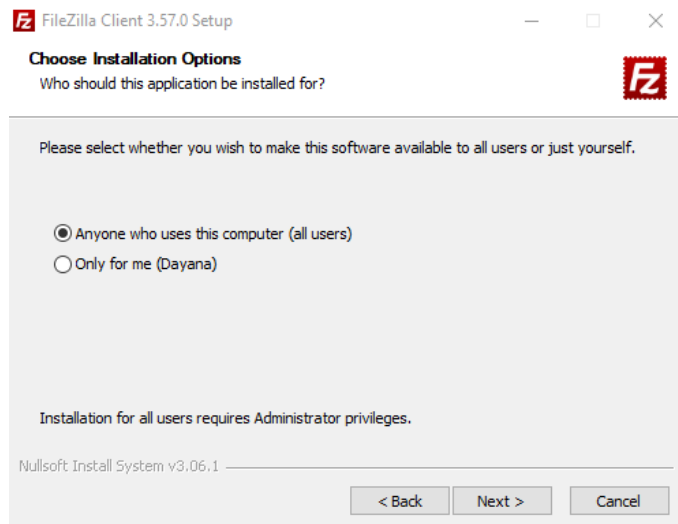


Figura 64 Instalación de FileZilla, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Abrir la aplicación FileZilla, rellenar los campos de conexión rápida como:

- Servidor
- Nombre
- Contraseña
- Puerto

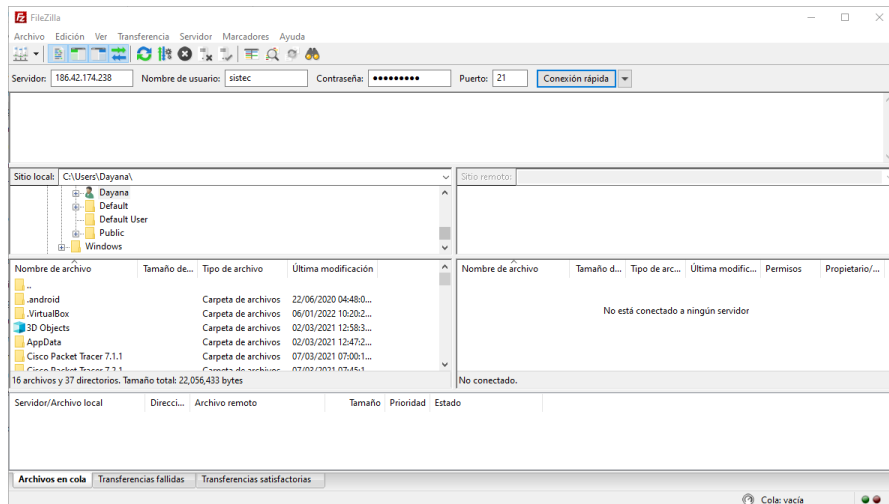


Figura 65 Descarga FileZilla, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

Aceptar el aviso de conexión FTP insegura, para ingresar al servidor quien permite transferir los documentos de forma segura.

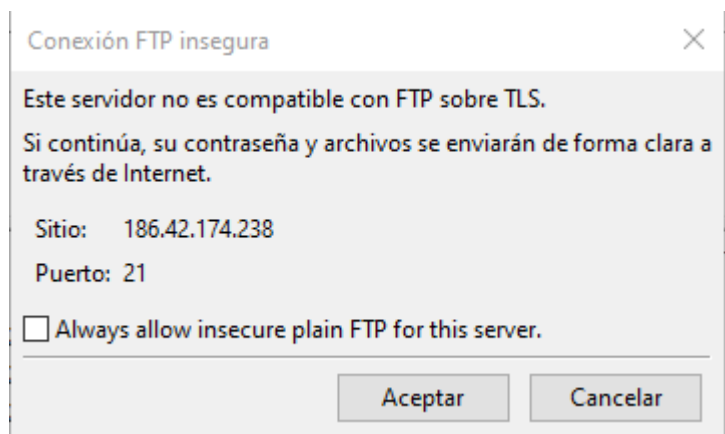


Figura 66 Advertencia conexión insegura, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz

La carpeta del servidor se divide en varias partes, permitiendo tener un servidor FTP organizado, seguro para transferir y almacenar los datos.

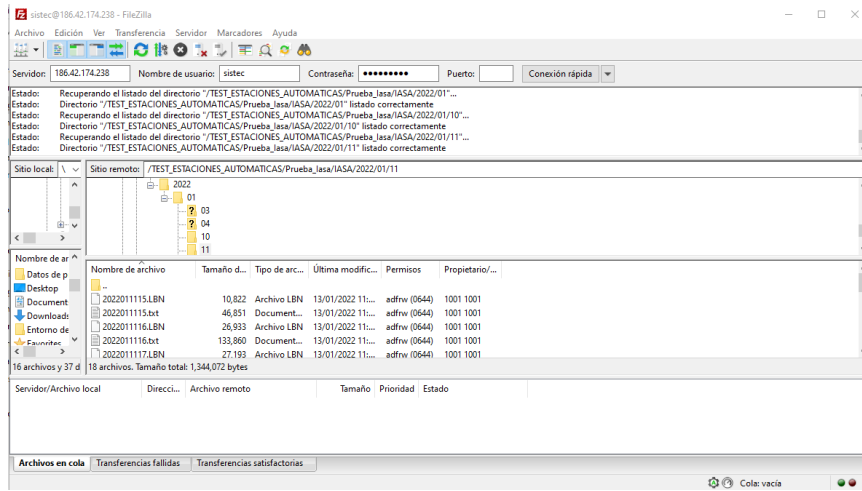


Figura 67 Servidor FTP, Fuente: Bryan Ortega, Dayana Ortiz