



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO EMPLEANDO
LORAWAN CON FOG COMPUTING Y ENERGÍA
FOTOVOLTAICA APLICADO A LA AGRICULTURA INTENSIVA

TESIS

PRESENTADA POR:

JHON EDISSON FLORES ARNAO

RAÚL ALEJANDRO CALSIN FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2024



RAUL ALEJANDRO; JHON EDISSON CALSIN FLORE... DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO EMPLEANDO LORAWAN CON FOG COMPUTING Y ENERGÍA FOTOVOLTAIC...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:416953908

165 Páginas

Fecha de entrega

17 dic 2024, 12:12 p.m. GMT-5

24,348 Palabras

137,730 Caracteres

Fecha de descarga

17 dic 2024, 12:24 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FINAL CORREGIDO driver.pdf

Tamaño de archivo

7.9 MB





7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**
102 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DR. IVAN DELGADO HUIDYA

MIJANGELA EALAS VALENCIA VILCA
SUB-DIRECTOR DE INVESTIGACION
EPIC-UNA - PUNO





DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi esposa Maika, mi amor eres mi cómplice, mi amiga y la mujer que más amo, gracias por compartir tu vida conmigo. A mi hija Oriana, la niña de mis ojos, pues eres el mayor regalo que la vida me ha concedido y a mis bebes que están en camino, que también serán un motivo más de vida en mí, los espero con ansias. A mi padres y hermanas por apoyarme en cada etapa de mi vida y darme ánimo en todo momento.

Además, darles las gracias a mis amistades más cercanas por aprecio y los ánimos que día a día son muy importantes para mí, al doctor y los sin tesis, a los amigos del GoRe, a mi compadre y demás.

Finalmente, a Dios por permitirme cumplir un escalón más en el ámbito profesional.

Jhon Edison Flores Arnao



DEDICATORIA

A mi madre Eufrasia Cristina con mucho afecto y agradecimiento.

Raúl Alejandro Calsin Flores



AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar la gratitud con todas las personas que han contribuido de alguna manera e hicieron posible de que esta tesina se posible.

En primer lugar, a mi casa de estudios la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela profesional de Ingeniería Electrónica por la formación profesional.

Agradecer también a nuestro asesor Ing. Iván Delgado Huaya, por su orientación y apoyo constante a lo largo de todo este proceso de investigación.

También hemos de agradecer al Ing. Saul Huaquipaco Encinas, Ing. Alex Pacoricona Apaza y el Magister Jarex Cruz por la colaboración en el presenta trabajo de investigación, pues fueron piezas invaluable en el proyecto, gracias, muchas gracias.

Jhon Edison Flores Arnao

Raúl Alejandro Calsin Flores



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1.1. Formulación del problema	19
1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.2.1. Hipótesis general.....	19
1.2.2. Hipótesis específicas	19
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Objetivo General.....	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES	22
2.1.1.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES	22
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES Y LOCALES	37
2.2.	MARCO TEÓRICO	40
2.2.1.	Espectro electromagnético	40
2.2.1.1.	Ondas de Radio	41
2.2.1.2.	Microondas.....	41
2.2.1.3.	Infrarrojo	41
2.2.1.4.	Luz visible.....	42
2.2.1.5.	Ultravioleta.....	42
2.2.1.6.	Rayos x.....	43
2.2.1.7.	Rayos gamma	43
2.2.2.	Lora	43
2.2.3.	Lorawan.....	45
2.2.4.	Fog computing.....	47
2.2.5.	Energía fotovoltaica	48
2.2.6.	Raspberry	49
2.2.7.	Sensores.....	50
2.2.7.1.	DTH22.....	50
2.2.7.2.	YL-69	51
2.2.8.	Agricultura en el Perú – Situación actual en Arequipa	52
2.2.9.	Agricultura de precisión	54
2.2.10.	Temperatura	54



2.2.11. Humedad Relativa (HR).....	54
2.2.12. Humedad Absoluta (HA)	55
2.2.13. Análisis de Decisión Multicriterio (ADM)	55
2.2.14. RSSI	56
2.2.15. DBM.....	57

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.....	58
3.1.1. Hardware.....	58
3.1.2. Software	63
3.2. MÉTODOS	71
3.2.1. Tipo de investigación: No experimental.....	71
3.2.2. Enfoque de Investigación: Cuantitativa.....	72
3.2.3. Nivel de investigación: Aplicativo	72
3.2.4. Población: 5 hectáreas de cultivo.....	72
3.2.5. Diseño del sistema de monitoreo basado en fog computing para la agricultura intensiva	74
3.2.6. Elección de la tecnología de radio frecuencia.....	74
3.2.7. Diseño del módulo de recepción Tx	81
3.2.8. Diseño del módulo de recepción Rx	84
3.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ENERGÉTICA PARA EL MONITOREO DE LA AGRICULTURA INTENSIVA USANDO ENERGÍAS RENOVABLES	86
3.3.1. Dimensionamiento del módulo de transmisión (Tx)	86



3.3.2. Dimensionamiento del módulo de recepción (Rx)..... 90

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN LORAWAN..... 95

**4.2. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA
ENERGÉTICO BASADO EN ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL
SISTEMA DE MONITOREO 98**

4.2.1. Resultados del módulo de transmisión Tx 98

4.2.2. Resultados del módulo de recepción Rx..... 99

**4.3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL SISTEMA DE
MONITOREO..... 100**

4.3.1. Resultados de las mediciones 100

4.3.2. Contrastaciones de hipótesis 102

V. CONCLUSIONES..... 106

VI. RECOMENDACIONES 107

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 108

ANEXOS..... 114

ÁREA: Automatización e Instrumentación

TEMA: Diseño de un sistema de monitoreo empleando lorawan con fog computing y energía fotovoltaica aplicado a la agricultura intensiva

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Cotejo de Tecnologías	79
Tabla 2 Registro del RSSI respecto a la distancia entre Rx y Tx	95
Tabla 3 Generación y consumo del módulo de transmisión	98
Tabla 4 Generación y consumo del módulo de recepción	99
Tabla 5 Comparativa del sistema propuesto vs equipos calibrados.....	101



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Espectro electromagnético.....	41
Figura 2 Logo Tecnología LoRa	44
Figura 3 Arquitectura de la Red.....	45
Figura 4 Aplicaciones LoRaWAN	47
Figura 5 Panel solar Tx.....	49
Figura 6 Panel Solar Rx	49
Figura 7 Raspberry 3b+	50
Figura 8 Logo Raspberry	50
Figura 9 Módulo DTH22	51
Figura 10 Higrómetro YL-69.....	52
Figura 11 Majes - Arequipa	53
Figura 12 Viñedos en Majes - Arequipa	53
Figura 13 Gabinetes del módulo Tx y DTH22.....	62
Figura 14 Vista lateral del mástil	63
Figura 15 Instalación Arduino IDE.....	64
Figura 16 Versión del software	65
Figura 17 Versión de Node.js.....	66
Figura 18 Versión Node-RED.....	67
Figura 19 Escritorio Raspberry	69
Figura 20 Entorno Visual Miro	70
Figura 21 Vista satelital del terreno Majes - Arequipa	73
Figura 22 Etapa de transmisión.....	81
Figura 23 Proceso del Punto de transmisión	82



Figura 24 PCB de transmisión	82
Figura 25 Esquemático de transmisión	83
Figura 26 Diseño de la caja en AutoCAD (vista lateral)	84
Figura 27 Diseño de la caja 2 para sensores DTH22	84
Figura 28 Diagrama de bloques, etapa Rx	85
Figura 29 Arquitectura del punto de recepción.....	85
Figura 30 Arquitectura del flujo de datos	86
Figura 31 Arquitectura LoRa Tx.....	89
Figura 32 Módulo de recepción (Estación base).....	93
Figura 33 diagrama de bloques, etapa de transmisión y etapa de recepción.....	94
Figura 34 Comportamiento del RSSI en el entorno rural	96
Figura 35 Distancias de puntos de transmisión al receptor, vista satelital.....	96
Figura 36 Gráfico del consumo energético del módulo de transmisión.....	99
Figura 37 Gráfica del consumo energético del módulo de recepción.....	100
Figura 38 Comparativa de los resultados de las mediciones.....	102



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Distribución y patillaje del módulo lora32.....	114
ANEXO 2: Diseño de la pcb en eagle.....	114
ANEXO 3: Dibujo mecánico del Raspberry pi 3b+.....	115
ANEXO 4: Diseño y dimensiones de la caja del nodo de transmisión.....	115
ANEXO 5: Diseño y dimensiones de la caja para el DTH22	116
ANEXO 6: Diseño del módulo de transmisión (módulo LoRa32, baterías y controlador de carga), modelado en CAD	116
ANEXO 7: Módulo completo de transmisión (vista recomendada)	117
ANEXO 8: Diseño del módulo de transmisión.....	117
ANEXO 9: Vista de componentes del módulo de recepción.....	118
ANEXO 10: Especificaciones técnicas de los equipos y materiales utilizados	119
ANEXO 11: Instalación de MaríaDB, guía paso a paso.....	125
ANEXO 12: Instalación de Mosquitto.....	128
ANEXO 13: Instalación de Jamovi.....	130
ANEXO 14: Panel Fotográfico del diseño e instalación de los módulos Rx y Tx.	131
ANEXO 15: Manual técnico de la estación meteorológica David Pro2.....	141
ANEXO 16: Certificado de calibración de la estación meteorológica David Pro2	142
ANEXO 17: Programación de envío de datos (LoRa).....	147
ANEXO 18: Programación recepción de datos (LoRa).....	153
ANEXO 19: Declaración Jurada de autenticidad de tesis.....	162
ANEXO 20: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional ...	164



ACRÓNIMOS

LoRaWAN:	Long Range Wide Area Network
LoRa:	Long Range o Largo Alcance
FogComputing:	Computación en la niebla
Energía Fotovoltaica:	Energía obtenida gracias a la luz del sol
IoT:	Internet of Things o Internet de las cosas
IP65:	Equipo hermético al polvo y protegido contra el agua proyectada
LPWAN:	Low Power Wide Area Network
LAN:	Local Area Network o Red de Área Local
Bluetooth:	Bluetooth Technology o Tecnología Bluetooth
GNU:	"GNU's Not Unix" o GNU no es Unix
IDE:	Integrated Development Environment o Entorno de Desarrollo Integrado
Gateway:	Puerta de enlace
Node-RED:	Entorno de desarrollo de software de código abierto
MQTT:	Message Queuing Telemetry Transport
MySQL:	“My” por la hija del fundador y “SQL” por Structured Query Language
Smart cities:	Ciudades Inteligentes
IA:	Inteligencia Artificial
DBm:	decibelio-milivatio
SI:	Sistema Internacional
RSSI:	Received Signal Strength Indicator o Indicador de Fuerza de la Señal Recibida
UTM:	Universal Transverse Mercator
Agricultura Intensiva:	Es un tipo de agricultura que utiliza gran cantidad de recursos para la producción de gran cantidad de alimentos
AES128:	Advanced Encryption Stand



RESUMEN

En el contexto de la agricultura intensiva, es fundamental contar con sistemas de monitoreo eficientes que optimicen el uso de recursos y mejoren la productividad, enfrentando desafíos como la conectividad en entornos rurales y el suministro energético sostenible. El objetivo principal de esta tesis fue diseñar un sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing y energía fotovoltaica. Metodológicamente, se desarrolló un estudio de tipo no experimental, cuantitativo y aplicativo. Los resultados demostraron que el sistema pudo transmitir datos eficazmente hasta una distancia de 5 km, con una degradación gradual de la intensidad de la señal desde -73.04 dBm a 0.5 km hasta -108.26 dBm a 5 km; aunque la señal se debilitó considerablemente más allá de los 3 km (por debajo de -100 dBm), se mantuvo la comunicación dentro del rango operativo previsto. La implementación del sistema de alimentación energética utilizando energías renovables fue exitosa, superando las expectativas de consumo: el módulo de transmisión generó un promedio diario de 31.36 W frente a un consumo de 11.98 W, y el módulo de recepción generó 219.5 W frente a un consumo de 102.6 W, proporcionando un excedente de energía de más del 160% y 114% , respectivamente. Las pruebas estadísticas comparativas arrojaron valores p de 1.0 para temperatura y humedad, superando el nivel de significancia de 0.05 , lo que confirma la confiabilidad del sistema. En conclusión, el diseño e implementación del sistema de monitoreo utilizando fog computing y energías renovables resultó efectivo y preciso para su aplicación en la agricultura intensiva.

Palabras Clave: Agricultura intensiva, Energía fotovoltaica, Fog computing, LoRaWAN, Sistema de monitoreo.



ABSTRACT

In the context of intensive agriculture, it is essential to have efficient monitoring systems that optimize the use of resources and improve productivity, facing challenges such as connectivity in rural environments and sustainable energy supply. The main objective of this thesis was to design a monitoring system using LoRaWAN with fog computing and photovoltaic energy. Methodologically, a non-experimental, quantitative and applicative study was developed. The results showed that the system was able to transmit data effectively up to a distance of 5 km, with a gradual degradation of signal strength from -73.04 dBm at 0.5 km to -108.26 dBm at 5 km; although the signal was considerably weakened beyond 3 km (below -100 dBm), communication was maintained within the intended operating range. The implementation of the power supply system using renewable energies was successful, exceeding consumption expectations: the transmission module generated a daily average of 31.36 W against a consumption of 11.98 W, and the receive module generated 219.5 W against a consumption of 102.6 W, providing a surplus of energy of more than 160% and 114%, respectively. Comparative statistical tests yielded p-values of 1.0 for temperature and humidity, exceeding the significance level of 0.05, confirming the reliability of the system. In conclusion, the design and implementation of the monitoring system using fog computing and renewable energies was effective and accurate for its application in intensive agriculture.

Keywords: Agricultura intensiva, Energía fotovoltaica, Fog computing, LoRaWAN, Sistema de monitoreo.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La agricultura intensiva es un sector de alta importancia que a lo largo de los años sigue influyendo en la vida humana, dicha actividad requiere la utilización y aportes de nuevas tecnologías para que estos cultivos y productos sean de alta calidad, pues estos tienen un impacto económico, ambiental, social y tecnológico. Nuestro presente trabajo se basa en LoRaWAN que es un protocolo de red punto a multipunto, con un alcance de 10 a 20km en campo abierto y en zonas rurales, con un uso mínimo de energía y una vida útil de batería de hasta 10 años, además cuenta con un cifrado AES128 de extremo a extremo, que es un algoritmo de cifrado y puede utilizar claves criptográficas de 128 bits. Fog computing es una modelo de cloud en la cual los datos enviados por los dispositivos en el borde se almacenan y comunican de forma local. Complementando a nuestra investigación hemos de decir que la energía fotovoltaica (también llamada energía renovable), es la transformación de energía del sol en electricidad. El monitoreo de cultivos persiste en ser una problemática en la actualidad, ya que aún se utilizan los métodos artesanales, dicho esto, esta genera uso excesivo de recursos hidrológicos, pesticidas, fertilizantes y efectos negativos en los cultivos peruanos. Debido a esta problemática, con nuestro proyecto se pretende monitorear usando tecnologías de comunicación y así mejor la producción y el desarrollo de la población de Majes, Arequipa. Para lograr nuestros objetivos analizaremos algunos indicadores como temperatura, humedad y radiación, además, el tiempo de respuesta de nuestro sistema.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Formulación del problema

Se precisa en realizar una investigación no experimental pues nos centraremos en diseñar el sistema de monitoreo aplicado a la agricultura con un enfoque cuantitativo y un nivel de investigación aplicativo, pues usaremos conocimientos existentes en electrónica para solucionar un problema existente que es la monitorización de cultivos en zonas remotas. En tal sentido nuestras investigaciones se centrarán en diseñar dicho sistema de monitoreo y así los resultados podrían utilizarse en varios niveles de la agricultura, haciendo que las granjas respondan mejor a los cambios ambientales y los patrones de demanda. La integración de energías renovables asegura la sostenibilidad, brindando una solución que se alinea con las iniciativas verdes globales y así obtener los mejores impactos para nuestro país y personas dedicadas a la agricultura intensiva.

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Hipótesis general

La implementación de un sistema de monitoreo basado en fog computing y energías renovables permitirá el monitoreo adecuado de la agricultura intensiva.

1.2.2. Hipótesis específicas

- La implementación de un sistema basado en fog computing permitirá el monitoreo de la agricultura intensiva.
- La implementación de un sistema basado en energías renovables permitirá alimentar energéticamente el sistema de monitoreo.



1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El trabajo de investigación el cual llamaremos "Diseño de un sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing y energía fotovoltaica aplicado a la agricultura intensiva" tiene como objetivo abordar los desafíos apremiantes en la agricultura intensiva mediante el desarrollo de un sistema de monitoreo integral (Baghrous et al., 2020) que aprovecha la computación de niebla y las energías renovables. La agricultura intensiva, caracterizada por su demanda de rendimiento máximo dentro de un área de tierra limitada, requiere una gestión meticulosa del recurso hídrico, fertilizantes y la energía, por lo que, si se utilizan de manera ineficiente, pueden conducir al desperdicio y la degradación ambiental (Chandraleka & Selvaraj, 2023). Los sistemas de monitoreo tradicionales, que se basan en la computación en la nube, requieren que el sistema tenga acceso a redes de comunicación u operadores telefónicos, sin embargo, estos no siempre están presentes o tienen cobertura en las inmensas zonas donde se desarrolla este tipo de agricultura, otra característica es que estas zonas tampoco cuentan con acceso a redes eléctricas. Esta investigación pretende combatir estos problemas integrando fog computing, que procesa los datos más cerca de donde se generan, aumentando la capacidad de decisiones en tiempo real y reduciendo la latencia. Además, la integración de energías renovables como la solar o la eólica pretende hacer sostenible el sistema, minimizando las emisiones de carbono y la ineficiencia energética. La investigación se centrará en la precisión y la eficiencia en la gestión de recursos, la escalabilidad y la robustez para diferentes tamaños de granjas y condiciones ambientales, con una clara delimitación de la integración de la computación en la niebla con fuentes de energía renovables en un entorno agrícola. La preeminencia del proyecto radica en su potencial para contribuir a los objetivos de sostenibilidad global, brindar beneficios económicos a los agricultores a través de una mejor gestión de los recursos, proteger el



medio ambiente al minimizar los desechos y fomentar la innovación tecnológica en el creciente campo de la computación en la niebla. Al proporcionar una solución precisa, eficiente y respetuosa con el medio ambiente, esta investigación puede tener un profundo impacto tanto en el sector agrícola como en objetivos sociales más amplios.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para agricultura intensiva utilizando fog computing y energías renovables.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de monitoreo basado en fog computing para la agricultura intensiva.
- Implementar un sistema de alimentación energéticamente para el monitoreo de la agricultura intensiva usando energías renovables.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

El artículo Fog computing for next-generation Internet of Things: Fundamental, state-of-the-art and research challenges, menciona que, en los últimos tiempos, las aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), incluidos el transporte inteligente, la sanidad inteligente, la red inteligente, la ciudad inteligente, etc. generan un gran volumen de datos en tiempo real para la toma de decisiones. En las últimas décadas, los datos sensoriales en tiempo real se han descargado en servidores centralizados en la nube para su análisis a través de un canal de comunicación fiable. Sin embargo, debido a la gran distancia de comunicación entre los usuarios finales y los servidores centralizados en la nube, las posibilidades de que aumente la congestión de la red, la pérdida de datos, la latencia y el consumo de energía son cada vez mayores. Para hacer frente a los retos mencionados, la informática de niebla surge en un entorno distribuido que extiende las instalaciones de computación y almacenamiento al borde de la red. En comparación con la infraestructura de nube centralizada, un marco de niebla distribuida puede soportar aplicaciones IoT sensibles a los retrasos con una latencia y un consumo de energía mínimos, a la vez que analiza los datos utilizando un conjunto de dispositivos de niebla/borde con recursos limitados. Así pues, nuestro estudio abarca la arquitectura de IoT por capas, las métricas de evaluación y los aspectos de las aplicaciones de la informática de niebla, así como sus avances en los últimos cuatro años. Además, en este estudio se ha cubierto la



arquitectura por capas del marco de niebla estándar y diferentes técnicas de vanguardia para utilizar los recursos informáticos de las redes de niebla. Además, hemos incluido un caso práctico de IoT para demostrar el ejemplo de descarga de datos de niebla y aprovisionamiento de recursos en redes de niebla vehiculares heterogéneas. Por último, examinamos varios retos y posibles soluciones para establecer una comunicación y computación interoperables para las aplicaciones IoT de próxima generación en redes de niebla.(Hazra et al., 2023)

El artículo Energy-Efficient Smart Farming with IoT-Fog- Based Dual Power Management System menciona que el uso de energías alternativas en la agricultura es cada vez más frecuente. Utilizar la fuente alternativa cuando es ampliamente accesible es económico y prudente. El riego por goteo puede ser aún más eficaz cuando se alivia con energía renovable a través de un enlace a la red eléctrica. La computación en la niebla es un método de vanguardia para extender los servicios en la nube al borde de la red. Con capacidades de cálculo y almacenamiento, ofrece una plataforma virtualizada ampliamente dispersa. La niebla podría analizar grandes volúmenes de datos antes de enviarlos a la nube. Este trabajo propone un innovador sistema agrícola con gestión integrada de la energía hidroeléctrica y sus bloques funcionales. Para el procesamiento y la toma de decisiones en este sistema, el enrutador de niebla recibe datos de campo del agregador. Para utilizar los datos para su análisis en el futuro, se almacenarán en la nube. Hemos construido un sistema inteligente de riego y gestión de energía basado en el IoT en nuestro diseño sugerido con IIPMS. Este modelo prototipo detecta el calor y la luz utilizando sensores de temperatura y luz. Si se descubre que este doble parámetro es suficiente, el interruptor inteligente automatiza el cambio a energía solar. El aparato y el motor funcionan con una fuente de



alimentación normal de la central eléctrica. A través de la tecnología GSM, la nube informa al agricultor del tipo de electricidad que se está utilizando y de datos relacionados con la potencia, como el voltaje. Para informar al agricultor de la disponibilidad de energía solar, también se propuso un módulo de predicción integrado con la previsión basada en el análisis de series temporales para llevar a cabo tareas de previsión (TSA). Basándonos en el estudio de simulación, afirmamos que el enfoque propuesto funciona mejor en varios escenarios agrícolas del mundo real. También comparamos nuestro modelo de consumo de energía con los modelos existentes y demostramos la eficacia del enfoque propuesto(Chandraleka & Selvaraj, 2023).

El artículo *Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture* dice que a lo largo de los años la agricultura inteligente ha aportado de sobremañera, pues gracias al avance tecnológico en comunicación e información y todo tipo de equipos electrónicos dedicados a la agricultura con un alto grado de confiabilidad basados en redes. Desde siempre se vaticinó que las nuevas tecnologías, el internet de las cosas (IoT), la robótica y la computación con ayuda de la IA, incentiven al crecimiento de campos agrícolas de gran envergadura. En este artículo se utilizaron equipos electrónicos específicos en la agricultura IoT y además, complementar con los conocimientos agrícolas empíricos conocidos a lo largo de los años, desde la siembra hasta la cosecha; y también se indaga aplicaciones tanto en el envasado y transporte del cultivo y/o producto (Dhanaraju et al., 2022).

El artículo *Increasing energy efficiency with a smart farm—An economic evaluation* detalla que las explotaciones rurales suelen ser instalaciones de alto consumo energético con una eficiencia energética relativamente baja. En este



sector, la introducción de energías renovables y tecnologías de gestión integrada de los recursos ha sido más lenta que en el sector doméstico e industrial. La introducción de fuentes de energía renovables fue un paso importante en el pasado, pero actualmente son insuficientes, ya que no permiten una gestión adecuada de la energía. El desarrollo de nuevas soluciones con control energético integrado resulta especialmente atractivo para estas instalaciones, ya que son las que presentan menos limitaciones en cuanto a espacio y adaptación a las nuevas tecnologías. Este trabajo describe una solución que fue desarrollada e implementada en una granja situada en el centro de Portugal. Los resultados muestran que se puede conseguir una reducción del 83,2% de la energía procedente de la red, con un ahorro de 5527 kg de CO₂, y el retorno de la inversión (de 32.434 C) es de unos 8 años. Sin embargo, este periodo puede acortarse si se adoptan opciones evolutivas, como la actualización a equipos agrícolas de accionamiento eléctrico (Pereira et al., 2022)

En el artículo *Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector* menciona que el bienestar de los agricultores y su interrelación con la sostenibilidad y eficiencia de la energía de las explotaciones ha despertado un interés científico mundial a lo largo de los años. Así nuestro estudio examina la contribución de la Agricultura 5.0 a la prosperidad de los agricultores en la era pospandémica y la transición gradual a una explotación inteligente desde el punto de vista energético. Para obtener una visión de los atributos de la Agricultura 5.0 y las tecnologías emergentes en este campo, se realizó un análisis bibliométrico con el uso de un paquete R basado en 2000 datos consistentes en artículos revisados por pares. Estos se obtuvieron de la base de datos Scopus (base de datos bibliográfica en la que podemos encontrar



artículos científicos y resúmenes, libros y otros recursos académicos). Se empleó un enfoque bibliométrico para analizar los datos con el fin de obtener una visión global de la tendencia, el enfoque temático y la producción científica en el campo de la Agricultura 5.0 y la agricultura energéticamente inteligente. Las tecnologías emergentes que forman parte de la Agricultura 5.0, en combinación con fuentes de energía alternativas, pueden proporcionar un acceso rentable a la financiación, actualizaciones meteorológicas, supervisión a distancia y futuras soluciones energéticas para el establecimiento de explotaciones agrícolas inteligentes. Palabras clave como "energías renovables", "Internet de las cosas" y "control de emisiones" siguen siendo las que marcan las tendencias. Además, el análisis temático muestra que "efectos económicos y sociales", "eficiencia energética", "teledetección" e "inteligencia artificial", con sus componentes asociados, como "digestión anaeróbica", "red de sensores inalámbricos", "robots agrícolas" y "agricultura inteligente", son los nichos temáticos de la Agricultura 5.0 en combinación con las fuentes de energía verde, que pueden conducir a granjas energéticamente inteligentes, sostenibles, de bajo coste y energéticamente eficientes (Ragazou et al., 2022)

En el artículo Sustainable Green Fog Computing for Smart Agriculture dice que la evolución de la era de la información, unida al crecimiento exponencial de los dispositivos informáticos, allanó el camino para el concepto de conectividad sin fisuras. Dado que el modelo informático tradicional era inadecuado para hacer frente a las demandas de conectividad sin fisuras, el paradigma de la computación en nube surgió como el modelo informático dominante que ofrece servicios las veinticuatro horas del día a millones de usuarios a nivel mundial. A pesar de sus evidentes ventajas, el modelo de computación en nube es uno de los agentes



responsables del calentamiento global debido a las crecientes emisiones de carbono de los enormes centros de datos que albergan gran cantidad de información. El modelo de computación en nube tiene resultados calamitosos para el medio ambiente limpio. El modelo de computación en la niebla es relativamente una nueva tendencia en el ámbito de la informática que puede aumentar con éxito el modelo de computación en la nube con una tecnología más respetuosa con el medio ambiente. La computación en la niebla también puede desempeñar un papel fundamental en el crecimiento de la agricultura inteligente debido a su pequeña huella de carbono. En este artículo presentamos una arquitectura basada en niebla verde que comprende ordenadores monoplaca que actúan como nodos de niebla de bajo consumo de energía, para procesar datos de sensores IoT, específicamente para el sector agrícola. Los bajos requisitos energéticos del sistema propuesto pueden satisfacerse fácilmente con la inclusión de recursos energéticos renovables, creando así un sistema más sostenible. La arquitectura basada en niebla verde propuesta desempeñará un papel positivo en la creación de un entorno verde no sólo para el sector de la agricultura inteligente, sino también para otras áreas de aplicación (Qureshi et al., 2021).

El artículo *Survey for smart farming technologies: Challenges and issues* menciona que el Internet de las Cosas (IoT) ha tenido una gran influencia en la agricultura desde su aplicación al sector. Este artículo ofrece una amplia revisión del uso de las tecnologías inteligentes en la agricultura y elabora las tecnologías de vanguardia para la agricultura inteligente, incluyendo, IoT, la computación en nube, el aprendizaje automático y la inteligencia artificial. Se analiza la aplicación de la agricultura inteligente a la producción agrícola y animal y a la post-cosecha. También se considera el choque del cambio climático en la



agricultura. Este artículo contribuye al conocimiento mediante la iteración de los retos de la tecnología inteligente para la agricultura, al tiempo que destaca los problemas identificados a partir del marco existente de la agricultura inteligente. Los autores identifican muchas lagunas en la investigación existente que afectan a la aplicación de la IO en la agricultura inteligente, y sugieren nuevas investigaciones para mejorar la producción actual de alimentos a nivel mundial, para proporcionar una mejor gestión de los alimentos y las medidas de sostenibilidad en todo el mundo (Idoje et al., 2021).

El artículo Internet of Things (IoT) Application Model for Smart Farming dice que la agricultura inteligente ha supuesto una importante transformación en el proceso agrícola mediante el uso de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT), tecnologías emergentes como la computación en la nube, la computación en niebla y el análisis de datos. Da la posibilidad a los agricultores tener conocimiento en tiempo real de la granja y les ayuda a tomar decisiones inteligentes e informadas. En este artículo, proponemos un modelo basado en el flujo de datos distribuido (DDF) para la aplicación de agricultura inteligente que se compone de módulos interdependientes. Evaluamos el modelo de aplicación propuesto utilizando dos estrategias de despliegue: basada en la nube y basada en la niebla, donde los módulos de la aplicación se despliegan en el centro de datos de la niebla y de la nube, respectivamente. Comparamos la estrategia basada en la nube y la basada en la niebla en términos de latencia de extremo a extremo y uso de la red (Sahoo & Barrett, 2021).

El artículo A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming menciona que para alcanzar el objetivo de una



agricultura sostenible, la agricultura inteligente está aprovechando el paradigma de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) y el Internet de las Cosas (IoT). Estas granjas inteligentes están diseñadas para ser gestionadas por dispositivos y vehículos interconectados. La integración de distintas tecnologías IoT puede ofrecer enormes posibilidades para lograr operaciones automatizadas con una supervisión mínima. Este artículo describe algunas de las principales aplicaciones de IoT y UAV en la agricultura inteligente, explora las tecnologías de comunicación, las funcionalidades de red y los requisitos de conectividad para la agricultura inteligente. Las limitaciones de conectividad de la agricultura inteligente y sus soluciones se analizan con dos casos prácticos. En el estudio de caso 1, proponemos y evaluamos pasarelas de red de área amplia de largo alcance en malla (LoRaWAN) para abordar las limitaciones de conectividad de la agricultura inteligente. Mientras que en el estudio de caso-2, exploramos los sistemas de comunicación por satélite para proporcionar conectividad a las granjas inteligentes en zonas remotas de Australia. Por último, concluimos el artículo identificando los retos futuros de la investigación sobre este tema y esbozando orientaciones para abordarlos (Islam et al., 2021)

El artículo *Smart Farming in Europe* asegura que *Smart Farming* es un nuevo término que, para el sector agrario, cuya misión es transformar las técnicas convencionales con tecnología innovadora. Básicamente, se espera que estas generen un cambio significativo en el ámbito de la agricultura inteligente. Está de más decir que se espera una mejora en la producción, costos reducidos en insumos utilizados, reducción de esfuerzos en faenas humanas, además, mejorar y estar a la par con los estándares de calidad de los productos finales. Estos métodos innovadores son imprescindibles ya que la población sigue en aumento, pues la



necesidad de productos orgánicos y sanos se acrecienta, es muy demandante por la población europea. En tal caso, Europa busca evolucionar en el ámbito agrícola utilizando tecnologías y así darle un mayor sostén a su agricultura. Nuestra investigación pretende ser un referente y así mejorar las investigaciones futuras, además presentamos dos perspectivas, la primera es mostrar referentes pasados sobre Smart Farming y la segunda, dar a conocer y ahondar las investigaciones más sobresalientes en Europa en el ámbito de Smart Farming (Moysiadis et al., 2021)

El artículo *Advanced energy consumption system for smart farm based on reactive energy utilization technologies* menciona que, a lo largo de las décadas, tanto la agricultura como las redes energéticas se han enfrentado a importantes retos, como la falta de suministro eléctrico a las explotaciones agrícolas y las dificultades del uso de energías renovables en el sector eléctrico. Para superar y abordar estos problemas, este documento presenta una idea de fusión de la granja inteligente y la energía renovable, utilizando el excedente de energía renovable para el sector agrícola utilizando la granja inteligente para el suministro de energía renovable. En primer lugar, se demuestra el marco para conectar un sistema energético de granja inteligente y se analiza su viabilidad y ventajas. En este trabajo, se ha utilizado la Tecnología de Utilización de la Energía Reactiva (REUT) como sistema eficiente de consumo de energía para la granja inteligente. Se utiliza para predecir el escenario óptimo de energía eólica en la granja inteligente mediante la monitorización de variables de control continuo, con la tensión más baja alcanzada en cada escenario, y minimizando las pérdidas reales de potencia total. En los resultados experimentales se ha evaluado un sistema combinado consistente en la producción de la granja inteligente, así como el



consumo de energía renovable. Los resultados experimentales y la discusión muestran que el método propuesto tiene mejor consumo de energía renovable, precisión (96,7%), y eficiencia (95,6%) para la agricultura inteligente (Lin et al., 2021).

Nuestro artículo *An Approach Based on Fog Computing for Providing Reliability in IoT Data Collection: A Case Study in a Colombian Coffee Smart Farm* detalla la fiabilidad en la recogida de datos es esencial en la agricultura inteligente apoyada por el Internet de las Cosas (IoT). Varios trabajos basados en IoT y Fog consideran el concepto de fiabilidad, pero se quedan cortos a la hora de proporcionar mecanismos de borde de red para detectar y reemplazar valores atípicos. Realizar decisiones con datos inexactos puede mermar la calidad de las cosechas y, en consecuencia, hacer perder dinero. Este artículo propone un enfoque para proporcionar una recopilación de datos fiable, que se orienta en la detección y el tratamiento de valores atípicos en la agricultura inteligente basada en IoT. Nuestra propuesta incluye una arquitectura basada en el continuo IoT-Fog-Cloud, que incorpora un mecanismo basado en Machine Learning para detectar datos atípicos y otro basado en interpolación para inferir datos destinados a reemplazar los datos atípicos. Situamos la limpieza de datos en la Niebla para que las aplicaciones de Smart Farming que funcionan en la granja operen con datos fiables. Evaluamos nuestro enfoque realizando un caso de estudio en una red basada en la arquitectura propuesta y desplegada en una Smart Farming de Café de Colombia. Los resultados muestran que nuestros mecanismos logran una alta Precisión, Exactitud y Recuperación, así como una baja Tasa de Falsas Alarmas y Error Medio Cuadrático al detectar y reemplazar los valores atípicos por datos inferidos. Considerando los resultados obtenidos, concluimos que nuestro enfoque



proporciona una recolección de datos fiable en Smart Farming (Montoya-Munoz & Rendon, 2020).

El artículo Solar energy harvesting for smart farming using nanomaterial and machine learning dice que la agricultura requiere mucha mano de obra y hay que actuar a tiempo. En la agricultura inteligente, muchas actividades agrícolas se realizan con máquinas que funcionan con electricidad. La electricidad es vital para la agricultura inteligente, podría decirse que es muy relevante. La calidad y el coste de los productos agrícolas dependen en gran medida de la calidad de la energía disponible y de la energía utilizada. Aunque India es un país rico en agricultura, muchas zonas rurales siguen sin disponer de electricidad suficiente para la agricultura. En la situación actual de agotamiento de los recursos energéticos naturales, como los combustibles fósiles, esta demanda presupuestos muy elevados, por lo cual ya no es tan viable. De ahí la necesidad de recurrir a fuentes de energía renovables y naturales no convencionales. La energía solar es una de las energías disponibles en abundancia en India, sin embargo, las tecnologías de captación de energía solar existentes, que utilizan tecnología de células solares, son capaces de convertir una parte muy pequeña de la energía solar disponible. La eficacia de conversión de las células solares es del 16-18%. En este artículo, los autores presentan una tecnología de captación de energía solar más eficiente que utiliza nanomateriales para mejorar la eficiencia de conversión y tecnología de aprendizaje automático para maximizar la captación de radiación solar mediante el seguimiento continuo de la trayectoria del SOL en todas las estaciones (Vatti et al., 2020).

El artículo Systematic review of Internet of Things in smart farming asegura que la agricultura es sin duda una de las ocupaciones tradicionales, que



alimenta a toda la humanidad en el mundo. En el campo de la agricultura se están produciendo cambios continuos para aumentar la producción. Los investigadores aplican diversas técnicas para mejorar los métodos de cultivo. Para controlar las plantas incluso desde lugares remotos y mejorar su rendimiento, se aplica en la agricultura en general el Internet de las Cosas (IoT), que es una bendición en el mundo actual, y que se conoce como agricultura inteligente. La agricultura inteligente permite a los agricultores supervisar sus campos y gestionar las actividades agrícolas desde lugares remotos. De tal manera que se disminuya la mano de obra y aumenta la utilización de recursos en la agricultura. En este artículo, hemos estudiado la arquitectura de la agricultura inteligente y estudiado diferentes técnicas de agricultura inteligente, también hemos clasificado las técnicas de agricultura inteligente en tres categorías, a saber, sistema de supervisión y control agrícola basado en IoT, sistema de riego automático y sistema de supervisión de anomalías (enfermedades) en las plantas. La revisión para el artículo se selecciona en base al método de revisión sistemática de la literatura, y los artículos publicados desde 2011 hasta 2019 se consideran para la revisión. También se revisan diferentes tecnologías IoT como sensores, puerta de enlace, sistema de comunicación, interfaz de usuario y naturaleza del experimento, tipo de planta, tipo de enfermedad, ventajas y limitaciones. También se discuten la dirección futura de la investigación y los desafíos en las técnicas de agricultura inteligente (Terence & Purushothaman, 2020).

El artículo Photovoltaic Agricultural Internet of Things Towards Realizing the Next Generation of Smart Farming nos da a conocer los serios desafíos para impulsar la sostenibilidad agrícola combinados con los problemas de la crisis climática han inducido una necesidad urgente de descarbonizar la agricultura. En



este artículo, presentamos brevemente un nuevo concepto de Internet de las Cosas de la Agricultura Fotovoltaica (PAIoT). Este enfoque de sistema fusiona la producción agrícola con la generación de energía renovable y el control a través de una plataforma IoT. Analizamos las aplicaciones de PAIoT y su potencial para hacer realidad la próxima generación de agricultura inteligente. Además, ofrecemos una revisión de los problemas clave en la viabilidad de PAIoT y proponemos nuevas técnicas para mitigar estos problemas clave (Huang et al., 2020).

El artículo Smart Farming System Based on Fog Computing and LoRa Technology dice que hoy en día, el aumento de la producción agrícola a un menor coste está cada vez más impulsado por el Internet de las Cosas (IoT) y los paradigmas de la computación en nube. En este contexto se han elaborado hasta ahora numerosas investigaciones y proyectos. Su objetivo es reducir el esfuerzo humano, así como los recursos y el consumo de energía. Estos proyectos se basan principalmente en la recogida de diversos datos relativos a la zona agrícola y su envío a la nube para su posterior análisis. Sin embargo, la gran distancia entre los sensores/actuadores y la nube conlleva un aumento significativo de la latencia, lo que se traduce en una disminución de las prestaciones de los sistemas de riego, control de pesticidas, etc. Este artículo presenta una solución alternativa basada en nodos Fog y tecnología LoRa para optimizar el número de nodos desplegados en granjas inteligentes. Nuestra solución propuesta reduce la latencia total inducida durante la transmisión de datos hacia la nube para su procesamiento (Baghrous et al., 2020)

El artículo Leveraging Fog Computing for Sustainable Smart Farming Using Distributed Simulation menciona que el concepto de agricultura inteligente



ha llevado al uso de la tecnología para mejorar la productividad agrícola. Gracias al acceso a sensores y sistemas de gestión de bajo coste, cada vez más agricultores adoptan esta tecnología para lograr un crecimiento sostenible. Sin embargo, en la literatura no existen plataformas de simulación que ayuden a investigadores y usuarios a comprender el despliegue de sensores y la recogida y procesamiento de datos. En este artículo, proponemos un marco diseñado para proporcionar un ecosistema agrícola completo. El conjunto de herramientas facilita a los usuarios la simulación de escenarios agrícolas personalizados, en concreto para identificar la ubicación de los sensores, el área de cobertura, el despliegue en línea de visión y la recogida de datos mediante el mecanismo de retransmisión o sistemas aéreos, modelos de movilidad para nodos móviles, modelos energéticos para sensores en tierra y vehículos aéreos, y soporte informático backend utilizando el paradigma de la informática de niebla. Además, en la mayoría de las faenas existentes se ignoran los parámetros de red, que pueden afectar al rendimiento global de cualquier sistema desplegado. Por lo tanto, el marco propuesto también proporciona un punto de referencia en términos de retardo de transmisión, ratio de entrega de paquetes, consumo de energía y uso de recursos del sistema (Malik et al., 2020).

El artículo IoT-solar energy powered smart farm irrigation system asegura que a lo largo de los años la tecnología del Internet de las cosas (IoT), los recursos en base a energías renovables, específicamente la solar, ya puede ser monitoreado y controlado de manera remota. La implementación de un sistema basado en IoT para el riego inteligente es fundamental debido a la escasez de agua y escasez de energía. Por ello, en este artículo se diseña un sistema acorde a la necesidad. Este sistema propuesto es autónomo, basado en energía solar utiliza un controlador con



conectividad Wifi, recopila datos ambientales como nivel de agua subterránea, humedad y temperatura, de tal manera que, en base a estos parámetros, nuestro sistema enviará señales y así accionar las bombas de riego. Además, tiene tres modos de funcionamiento, modo local, modo de monitorización-control móvil y un modo basado en lógica difusa. Para ratificar nuestra propuesta, se diseñó, construyó y testeó un prototipo (Al-Ali et al., 2019).

El artículo Edge AI in Smart Farming IoT: CNNs at the Edge and Fog Computing with LoRa menciona que la ganadería y secciones de la agricultura se han visto muy afectados por el estallido del IoT, está de más decir que la ciencia y tecnología nacen y crecen sin medir consecuencia alguna. El impacto del IoT es más limitado en los países con menor penetración de internet móvil, como los subsaharianos, donde la agricultura suele representar entre el 10 % y el 50 % de su PIB. El auge de las redes de área extensa de baja potencia (LPWAN) en la última década, con tecnologías como LoRa o NB-IoT, ha mitigado esta situación al proporcionar una infraestructura relativamente barata que permite transmisiones de baja potencia y largo alcance. No obstante, los beneficios que permiten las tecnologías LPWAN tienen la desventaja de las transmisiones de bajo ancho de banda. Por lo tanto, la integración de la computación Edge y Fog, moviendo la analítica de datos y la compresión cerca de los dispositivos finales, es clave para ampliar la funcionalidad. Mediante la integración de inteligencia artificial en la capa de red local, o Edge AI, presentamos una arquitectura e implementación de sistema que amplía las posibilidades de las aplicaciones de agricultura y ganadería inteligentes con Edge y Fog computing y tecnología LPWAN para cobertura de grandes áreas. Proponemos e implementamos un sistema compuesto por un nodo sensor, una pasarela Edge, repetidores LoRa,

pasarela Fog, servidores en la nube y una aplicación terminal de usuario final. En la capa Edge, proponemos la implementación de un método de compresión de imágenes basado en CNN para enviar en un solo mensaje información sobre cientos o miles de nodos sensores dentro del alcance de la pasarela. Utilizamos técnicas avanzadas de compresión para reducir el tamaño de los datos hasta un 67% con un error de descompresión inferior al 5%, dentro de un novedoso esquema para datos IoT (Nguyen Gia et al., 2019).

2.1.2. Antecedentes nacionales y locales

La tesis aprobada en Diseño de un sistema de Bombeo Fotovoltaico para Riego Agrícola en el centro poblado Puerto Tamborapa, Distrito Chirinos – San Ignacio, se aplica a la importancia del agua y energía en la agricultura, pues la escasez de agua en cultivos y la llegada de energía a los mismos sigue siendo un problema, es por ello que se opta por la energía solar, la cual es más rentable y autónoma, dejando de lado el uso de los hidrocarburos. El fin de este trabajo es crear un sistema de bombeo basado en energía fotovoltaica con el propósito de asistir a la necesidad del riego para el cultivo del maíz. La metodología es aplicada con un nivel de investigación descriptivo y un diseño de investigación de campo, en ambientes reales y no controlados. Todos nuestros datos y cálculos acerca del sistema de bombeo, radiación y demás, se aplicaron a un sistema de simulación con la herramienta SISIFO, en la que concluimos que en la parte económica del sistema de bombeo fotovoltaico resultó rentable con un VAN de S/79333.12 factible y un TIR del 12%, con un tiempo de recuperación a largo plazo (15 años), también un LCOE calculado de 0.67 S/./kWh, interés para el VAN de 10%, una vida útil de 20 con un costo de reinversión (10 años) de S/ 11500.00 para nuestro inversor y la bomba (Bermeo & Silva, 2022)



La tesis titulada Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para platano y mango orgánico, parte del problema que hay en el aumento de la diferencia de precios de frutas y hortalizas que hay entre países fronterizos, debido a que estos realizan una mejora continua en todas sus etapas de producción, esto ha conllevado una reducción en el margen de ganancia de los productores locales que se tardan en adoptar los distintos avances tecnológicos que si pueden implementar grandes empresas y países más avanzados. Propone desarrollar un prototipo de controlador agrícola para mejorar la supervisión y monitoreo de los campos de cultivo mediante el IoT y utilizando tecnología LoRaWAN, enfocándose en la agricultura de precisión, adicionalmente puede integrarse con un sistema de riego tecnificado y la administración de fertilizantes y en un futuro se podría automatizar todos los procesos, obteniendo mejores resultados en la productividad del mango y el banano en la Región Piura. Consta de una metodología de enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. El dispositivo desarrollado puede mostrar datos como la humedad y la temperatura del suelo en un panel informativo. Además, también se realizó un estudio de costos donde se evalúa la factibilidad del proyecto en distintos escenarios. Concluyen con la importancia actual que tienen las tecnologías enfocadas en mejorar la gestión del campo. Se concluye también que LoRaWAN es la tecnología ideal para implementar un controlador agrícola debido a las ventajas que nos ofrece como su naturaleza de código abierto, y que no es necesario ser especialista técnico para su uso (Antonio et al., 2020)

La tesis titulada: Diseño e implementación de un sistema de riego basado en internet de las cosas aplicando tecnologías LPWAN en la irrigación Majes-



Siguas I - El Pedregal – Arequipa, refiere que es necesario el uso de nuevas tecnologías en el IoT para cubrir el requerimiento y la demanda actual, además aborda el problema en la irrigación Majes - Siguas I, donde en su mayoría de parcelas el riego se realiza abriendo y cerrando válvulas en los canales de regadío, este tipo de riego carece del monitoreo de parámetros ambientales como la humedad y temperatura de los cultivos. Plantea crear y aplicar un sistema de riego basado en IoT con tecnología LPWAN, con una metodología de tipo experimental, nivel exploratorio, enfoque cuantitativo. Los resultados obtenidos con el sistema propuesto se enfocan en un umbral de humedad del 60% para el riego, quiere decir que si el valor obtenido es inferior al 60% se activa un actuador que enciende la electroválvula realizándose el riego, en caso sea mayor al 60% el actuador se apaga. La temperatura se registra, pero no influye en el riego, tampoco se considera un sistema de seguridad para la puesta a tierra de los equipos. Además, se establece un horario definido para el suministro de agua en la irrigación Majes - Siguas I. Concluyendo que el proyecto no realiza el análisis acerca de las propiedades de cultivos, los sensores ubicados en distintos puntos de una parcela recolectan datos de humedad y temperatura, transmitiéndolos vía LORA al servidor donde son procesados y se toma la decisión de abrir o cerrar electroválvulas de acuerdo a la humedad sin tomar en cuenta la temperatura (Quispe & Camayo, 2019).

En la tesis titulada Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en internet de las cosas (IOT). – Caso de estudio cultivo de frijol, parte por el problema del sector agrario debido al elevado costo de dispositivos tecnológicos, la poca difusión de las TIC's y la



falta de electricidad, que limita la toma de decisiones y causa la baja productividad generando pérdidas económicas. Nos presenta una solución que consiste en la creación de una red de sensores remotos basados en IoT para la toma de datos, procesamiento y así tomar decisiones, todo esto encaminado a la plantación de frijol. La metodología consistió en el uso de fog computing para los datos y sistemas fotovoltaicos para la energización de los sensores y componentes, teniendo como resultado el diseño de un dispositivo conectado a Internet para analizar datos ambientales como temperatura, humedad, lluvia y smok. Los datos obtenidos por los sensores y subidos a la nube empleando Node-Red se muestran en de forma sencilla y clara al usuario. Durante las pruebas se comprobó que los sensores utilizados muestran datos fiables pudiendo visualizarse la información en tiempo real y ser almacenada en un servidor. Concluyó que el diseño propuesto basado en herramientas de las TIC's puede ayudar a los agricultores y personas en general en la toma de datos del cultivo y así tomar mejores decisiones, en particular en el cultivo de frijol (Mora & Rosas, 2019).

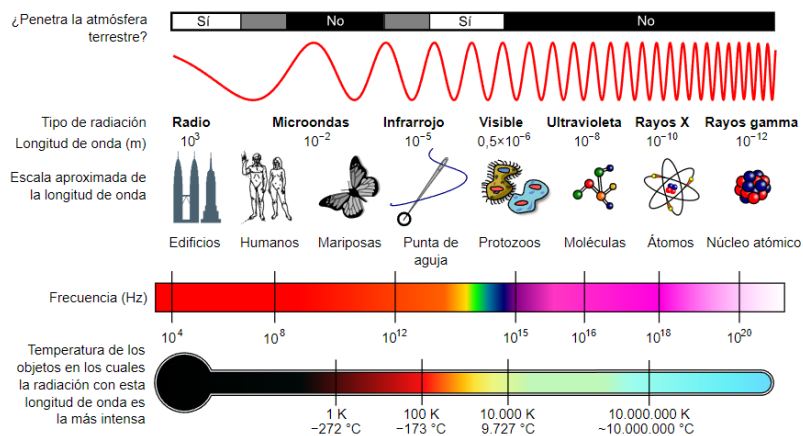
2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Espectro electromagnético

Esta información es de vital importancia pues así sabremos en que frecuencia trabaja nuestro dispositivo LoRa32, en tal caso, podemos definir al espectro electromagnético como la gama completa de todas las formas de radiación electromagnética, empezando por las ondas de baja frecuencia y larga longitud de onda hasta las ondas de alta frecuencia y corta longitud de onda. La Figura 1, detalla cómo se encuentra distribuido el espectro electromagnético (Booklet, 2018)

Figura 1

Espectro electromagnético



Nota: Espectro Electromagnético (J. C. Whitaker, 2017)

2.2.1.1. Ondas de Radio

Las ondas de radio tienen o poseen las longitudes de onda más largas y las frecuencias más bajas del famoso espectro electromagnético. Aplicaciones como la televisión, la radio, la comunicación inalámbrica, la navegación y comunicaciones militares (Fontal, 2005) estas son las que podrían obstaculizar e interferir en el funcionamiento del LoRa32.

2.2.1.2. Microondas

Son ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre los 300 Mhz y 300 Ghz y con una longitud de onda entre 1m y 1mm. Forma de radiación no ionizante, es decir, estas ondas no poseen la suficiente fuerza para romper los enlaces químicos de las moléculas (Fontal, 2005)

2.2.1.3. Infrarrojo

Esta es otra parte del espectro electromagnético, es una forma de radiación visible al ojo humano, pero se puede detectar con dispositivos



especiales como cámaras infrarrojas o termómetros infrarrojos. Cabe precisar que en la naturaleza también está presente y es utilizada por las plantas, pues estas usan la radiación infrarroja para la absorción de energía solar y en la fauna algunos animales la usan para la comunicación y cacería de alimentos (Fontal, 2005)

2.2.1.4. Luz visible

Parte del espectro electromagnético, sin lugar a duda es la única parte de este espectro visible a la vista del ojo humano, se puede percibir como arco iris de colores. Las longitudes de onda visible van desde aproximadamente 380 nanómetros (nm) para el violeta hasta 780 (nm) para el rojo. Además, es esencial para la vida en la tierra, también permite la fotosíntesis en las plantas (Luque, 2014)

2.2.1.5. Ultravioleta

A decir verdad, esta parte del espectro está presente entre la luz visible y los rayos X, la luz UV tiene efectos significativos en el planeta y la vida misma (Luque, 2014)

Los rayos UV presenta efectos positivos como: mejorar el estado de ánimo, la estimulación en la producción de la vitamina D en la piel, se utiliza en la esterilización de agua y superficies. Además del efecto positivo en el bronceado y función barrera de la piel (Collantes, 2015)

Por otro lado, presenta efectos negativos como: el de causar quemaduras solares, envejecimiento en la piel y hasta cáncer de piel, además, es dañino para nuestro ADN y puede causar mutaciones, sin



olvidar que es muy perjudicial para el ojo humano (Organización Mundial de la Salud, 2022)

2.2.1.6. Rayos x

Son radiación de alta energía que puede penetrar objetos sólidos, se utiliza en la medicina (interior del cuerpo humano) y la industria (inspección y seguridad) para la detección de armas y otro tipo de objetos peligrosos. Sin embargo, utilizarlos de forma indebida sería muy perjudicial por su gran potencial pues puede dañar las células (Gallegos, 2010)

2.2.1.7. Rayos gamma

Se considera la luz más energética del universo, es muy dañina ya que se produce por desintegración radioactiva, eventos astrofísicos y reacciones nucleares. Está de más mencionar que la exposición a esta sin los implementos debidos puede causar quemaduras en nuestra piel y hasta cáncer (Luque, 2014)

2.2.2. Lora

LoRa es una tecnología sin hilos, específicamente utiliza la modulación de radiofrecuencia patentado por Semtech, una distinguida corporación que se dedica a la fabricación de chips de radio, desde los años 60 y poco a poco fue ganando fuerza, ya en 1990, Semtech se convirtió líder en tecnología RF de baja potencia y en el 2002 fortaleció aún más su posición en la industria. Este recurso es ideal para la comunicación a grandes distancias (fuera de cobertura) y para redes IOT y es perfecta para la construcción privada de sensores que no dispongan de corriente

eléctrica de red, hoy en día existen diversos dispositivos LoRaWAN, como enchufes, rastreadores, sensores de movimientos, sensores de aparcamiento, entre otros (Camberos Ortiz & Forero Giraldo, 2020) En la Figura 2, mostraremos el logo de la tecnología LoRa.

Figura 2

Logo Tecnología LoRa



Nota: imagen tomada de (Trademark, n.d.)

La tecnología lora posee ventajas como la de tener un largo alcance de 10 a 20 kilómetros, un bajo consumo energético, está basado en modulación chirp (modulación con periodo fijo y secuencia de ciclo de trabajo fija), su transferencia de trabajo es limitada a 255 bytes, pero trabaja en tres tipos de frecuencia, en Asia a 433 Mhz, en Europa a 868 Mhz y en América a 915 Mhz en américa. Por último, posee una alta tolerancia a las interferencias y conexión punto a punto. Además, posee aplicaciones como:

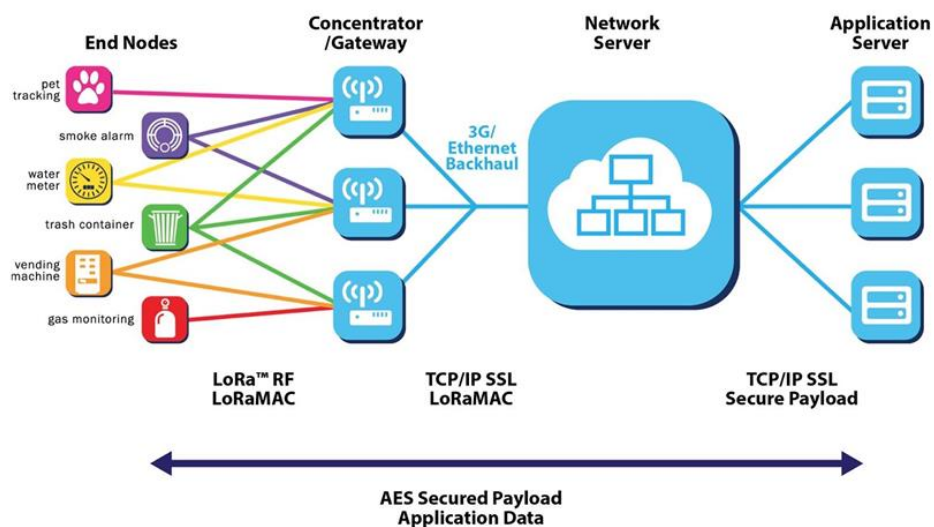
- Smart cities (ciudades inteligentes)
- En lugares donde la cobertura es muy baja (como explotaciones agrícolas y ganaderas en la zona rural).
- Para construir redes privadas de sensores sin acceso a energía eléctrica y actuadores.

2.2.3. Lorawan

El protocolo LoRaWAN utiliza la tecnología LoRa, con esta tecnología que como finalidad tiene el de conectar dispositivos entre sí. Facilita la formación de diferentes Gateway, con una red mucho más amplia que la de LPWAN (Low Power Wide Area Network). Este protocolo básicamente consta de Gateway y Nodos. Los Gateway (antenas): son los encargados de recibir y enviar información a los Nodos (dispositivos), que a su vez estos son los dispositivos finales que envían y reciben datos hacia el Gateway (Camberos Ortiz & Forero Giraldo, 2020)

Figura 3

Arquitectura de la Red



Nota: Imagen tomada de (Parameters, 2017)

Asimismo, define la arquitectura del sistema y consta de tres clases de dispositivos, los cuales describiremos a continuación para una mejor comprensión:

- **Clase A (menor potencia, dispositivos finales bidireccionales).** Esta es la clase más básica de los dispositivos LoRaWAN. Los dispositivos de



clase A son bidireccionales, lo que nos da a entender que estos pueden enviar y recibir datos. También las comunicaciones siempre las inicia un dispositivo final y es completamente asíncrono. Estos dispositivos de clase A son alimentados por batería y el consumo energético es muy bajo, por ende, los hace adecuados para aplicaciones que requieran larga duración de batería.

- **Clase B (dispositivos finales bidireccionales con latencia de descarga determinada).** Esta es una extensión de la clase A, por consiguiente, también son bidireccionales y alimentados por batería. Estos dispositivos se sincronizan usando guías periódicas y ping short programados. Esto es lo que facilita que se envíe un downlinks con latencia determinista que a su vez puede programarse.
- **Clase C (menor latencia, dispositivos finales bidireccionales).** Los dispositivos de esta clase también son bidireccionales y no están alimentados por baterías. Estos pueden estar alimentados continuamente o siempre y pueden escuchar de forma continua. Poseen la latencia más baja y la convierte en la más adecuada para aplicaciones que necesiten un enlace en tiempo real y una larga duración de batería.

A continuación, mencionaremos algunas de las ventajas del protocolo LoRaWAN, pues se considera algo importante que describir.

- Conexiones bidireccionales mediante encriptación de extremo a extremo
- Bajo consumo energético (con una power bank, hasta 10 años)

- Conexión infinita de sensores sin acceso a energía eléctrica y equipos a redes públicas o privadas (dicha red soporta nodos de hasta 1 millón)
- Baja velocidad de datos
- Servicios de localización, movilidad y baja frecuencia de transmisión
- Interoperabilidad de las diversas LoRaWAN en todo el mundo

En la figura 4, se muestran los usos o aplicaciones más comunes de

LoRaWAN.

Figura 4

Aplicaciones LoRaWAN



Nota: Imagen tomada de (Lora, 2020)

2.2.4. Fog computing

Es una definición innovadora acerca de la infraestructura de red, donde estos datos generados por un dispositivo no se cargan automáticamente a la nube. Fog Computing o computación en la niebla clasifica que datos enviar a la nube y cuales se pueden procesar directamente, este proporciona servicios de computación, almacenamiento de datos. Básicamente con Fog Computing lo que



se pretende es reducir la latencia y el ancho de banda en las comunicaciones entre nuestros dispositivos y la nube (M.Ziyaei, 2016)

Una definición muy acertada acerca Fog Computing sería la que manifestó el decano de la universidad de Purdue (ubicada en los Estados unidos), Mung Chiang, comentó en su momento que “la niebla proporciona el eslabón perdido de los datos que se deben enviar a la nube y los que se pueden analizar localmente”.

Fog computing es un mediador entre el hardware y servidores remotos. Ya que anteriormente, con la gran afluencia de datos, el ancho de banda se estaba convirtiendo en un inconveniente para el procesamiento de nuestros datos. Hoy en día los sensores son parte importante en muchos aspectos de la vida, estos envían gran cantidad de datos. Es por ello que la computación en la niebla brinda la solución a ese problema, gracias a fog computing podemos colocar algunas transacciones y recursos en el borde de la nube, en lugar de la utilización de la nube (Delgado Fernández, 2020)

2.2.5. Energía fotovoltaica

Energía renovable que utiliza la radiación para crear energía eléctrica, con esta se pretende la alimentación de nuestros dispositivos electrónicos y hacer nuestro diseño autosustentable, eficiente y así no causarle daños al planeta.

Una de las aplicaciones del efecto fotoeléctrico, es el efecto fotovoltaico, podríamos indicar que estos dos términos son iguales, pero en realidad son diferentes porque el efecto fotovoltaico es un proceso del efecto fotoeléctrico, gracias a que se genera un par electrón-hueco en un metal, por lo que se tiene una corriente eléctrica, este genera un campo eléctrico por lo tanto hay presencia de

un diferencial de voltaje y gracias a esto se tiene los paneles solares (Villaruba, 2021)

En nuestro sistema de monitoreo estaremos usando un panel de 7w y otro de 55w, uno para el emisor y el otro para el receptor respectivamente, estos paneles solares se definieron después de haber calculado el consumo energético. En la Figura 5 se muestra el panel Tx y en la Figura 6 se muestra el panel Rx.

Figura 5

Panel solar Tx



Figura 6

Panel Solar Rx



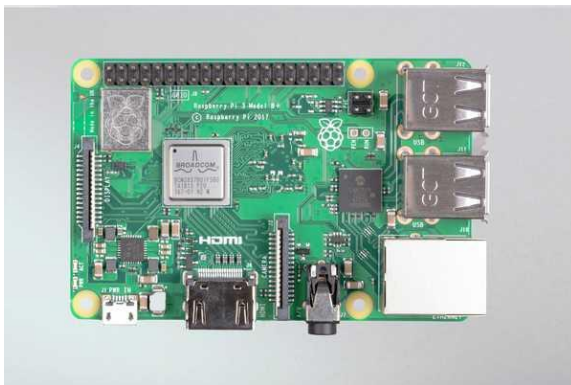
2.2.6. Raspberry

Raspberry Pi es un ordenador de monoplaca de bajo y desarrollado por Raspberry Pi Fundación, la primera Raspberry Pi fue lanzada el 29 de febrero del 2012, con la finalidad de promover y enseñar las ciencias básicas de la computación en escuelas y universidades (Lopez, 2017) Por ende, es una

computadora muy versátil, de bajo costo y se puede usar en una amplia gama de aplicaciones, sin mencionar que puede operar con una variedad de sistemas operativos. En la figura 7, mostramos uno de los tantos Raspberrys diseñado por la compañía, además, es el Raspberry Pi 3b+ que utilizamos en nuestro proyecto de investigación. Además, en la figura 8, se muestra el logo del Raspberry.

Figura 7

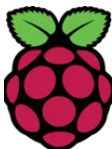
Raspberrry 3b+



Nota: Imagen tomada de (Rs-Components, 2016)

Figura 8

Logo Raspberrry



Nota: Imagen tomada de (Lopez, 2017)

2.2.7. Sensores

2.2.7.1. DTH22

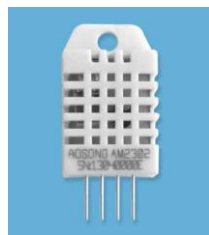
Este sensor digital emite valores tanto de temperatura y humedad relativa (Aosong Electronics Co., 2003) Es un sensor comercial y muy usado debido a su confiabilidad y precisión, además, su fácil uso con el entorno de Arduino IDE y su bajo precio lo hace ideal para diferentes

aplicaciones comunes como: detecciones agrícolas, estaciones meteorológicas, control de climas en interiores, invernaderos, control de procesos industriales y sistemas de automatización en el hogar.

La conexión con el Arduino o en nuestro caso que es el LoRa, es sumamente sencillo, como se aprecia en la figura 9, posee una patilla o salida digital, esta interfaz de un solo cable simplifica el cableado y reduce la cantidad de otros componentes. Este dispositivo electrónico trabaja con 3,3V a 5V.

Figura 9

Módulo DTH22



Nota: Imagen tomada de (Aosong Electronics Co., 2003)

2.2.7.2. YL-69

Sensor mide la humedad de suelo mediante una pequeña tensión entre sus terminales y la corriente depende básicamente de la resistencia generada por el suelo, que, a su vez, es directamente proporcional con la humedad, es decir, si la corriente disminuye la humedad disminuye y si la corriente aumenta la humedad crece también (Steven Galindo-Araque et al., 2018). Las aplicaciones y el uso que se le da a este sensor son las siguientes:

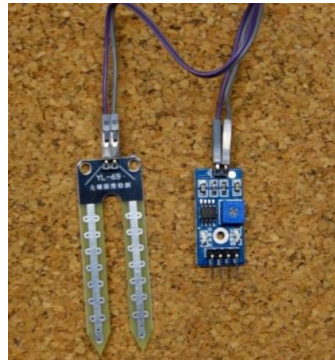
- Monitoreo de la humedad en invernaderos y cultivos
- Monitoreo de la humedad en sistemas de riegos automáticos

- Monitoreo de la humedad en aplicaciones agrícolas.

En la figura 10, podemos apreciar el dispositivo electrónico con sus terminales de medición y la placa calibrada con dimensiones muy pequeñas.

Figura 10

Higrómetro YL-69



Nota: Imagen tomada de (YL-69, n.d.)

2.2.8. Agricultura en el Perú – Situación actual en Arequipa

La región de Arequipa cuenta con una agricultura intensiva de 100,000 hectáreas pudiendo llegar hasta las doscientas mil aproximadamente en épocas de lluvia y a esto se agrega 800 mil hectáreas de vegetación natural, con clima seco y una humedad relativa que obliga a todas las zonas de cultivo tengan un riego artificial, esta información se investigó con la gente de la zona y averiguaciones por internet. La figura 11, muestra la zona de recolección de datos.

Figura 11

Majes - Arequipa



Por la falta de restos arqueológicos importantes en dicha región, se infiere en la época pre incaica la agricultura fue escasa por la carencia de agua.

A lo largo de los años los agricultores de Arequipa, con la aparición de TLC se iniciaron nuevos cultivos de exportación, tales como: p  prica, cochinilla, palta, granada, olivo y vid. También hubo un tiempo que la quinua se cultivó en varios lugares del país y Arequipa no fue la excepción, que por el mal uso de pesticidas tuvo un declive en la producción. Sin embargo, como todo agricultor siempre suele a levantarse después de cada ca  da pues es a lo que se dedica. La figura 12, ilustra el punto exacto del sistema de monitoreo.

Figura 12

Viñedos en Majes - Arequipa



2.2.9. Agricultura de precisión

Considerado aún una gran dificultad, es por ello que se persiste en estudiar y controlar la variación de factores ambientales dentro de un espacio y tiempo, en el terreno y el cultivo. La variación espacial se refiere a las diferencias en la fertilidad entre diferentes lugares del terreno y las que se dan en el crecimiento de las plantas cultivadas en lugares anteriores. La diferenciación temporal se refiere a las diferencias en la producción de una misma tierra entre una temporada y otra por cada relación al tiempo.

La Agricultura de Precisión suele asociarse con la Agricultura Sostenible, ya que, al tener un conocimiento más preciso de las necesidades y características del terreno y cultivos, no se utilizan dosis excesivas de

2.2.10. Temperatura

La temperatura es una magnitud física que mide el grado de agitación térmica de las partículas de un cuerpo, objeto o medio ambiente en general. Esta magnitud se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) o grados Kelvins (k). La más usada a nivel mundial es grados Celsius.

Esta es muy importante para nuestro tema de investigación, pues en la industria, la temperatura se utiliza para controlar los procesos de producción y es vital para mejorar el control de calidad en nuestros viñedos de la Uva Thompson.

2.2.11. Humedad Relativa (HR)

Esta se define como una medida de la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Es la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a una determinada temperatura. Esta se determina en porcentaje. La humedad



relativa también afecta la salud. Cuando esta es alta, puede ocasionar problemas respiratorios, como asma y bronquitis. Además, se dice que puede aumentar el riesgo de infecciones por hongos.

Por ejemplo, si la humedad relativa es un 50%, significa que hay la mitad de vapor de agua en el aire que la cantidad máxima que puede contener a esa temperatura.

2.2.12. Humedad Absoluta (HA)

Esta es la cantidad de vapor de agua contenido en un volumen de aire específico, además, esta no depende de la temperatura, a diferencia de la HR que sí depende de la temperatura. Esta se determina en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire (g/m^3).

2.2.13. Análisis de Decisión Multicriterio (ADM)

ADM es un conjunto de método y herramientas que nos ayudaran a tomar decisiones, considerando algunos criterios y puede ser aplicado a variables cuantitativas y cualitativas. Cada criterio se pondera de acuerdo a la relevancia de su importancia en la decisión final. La finalidad del ADM es identificar la mejor alternativa y la que mejor se ajuste a nuestras necesidades como investigadores (Apéstegui et al., 2021)

A continuación, mencionaremos los pasos de ADM.

- Definición del problema: Se identifica la decisión que se debe tomar y los objetivos que se pretenden alcanzar.
- Identificación de alternativas: Se generan todas las opciones posibles para solucionar el problema.



- Establecimiento de criterios: Se identifican los factores que se considerarán para evaluar las alternativas.
- Ponderación de criterios: Se asigna un peso a cada criterio en función de su importancia relativa.
- Evaluación de alternativas: Se evalúa el desempeño de cada alternativa en cada uno de los criterios.
- Análisis de resultados: Se comparan las alternativas y se selecciona la mejor.

2.2.14. RSSI

Las siglas RSSI que significan Received Signal Strength Indicator o Indicador de Fuerza de la Señal Recibida en español. Se sabe que toda señal inalámbrica emite energía a medida que se propagan por el aire (Daboín et al., 2012). La energía que se propaga en el aire y que recibe un dispositivo depende de varios factores, como la distancia a la fuente de la señal, la potencia de esta y cualquier tipo de interferencia entre el dispositivo y la fuente de la señal.

El RSSI se utiliza para una variedad de propósitos, incluyendo:

- Medir la calidad de la señal: El RSSI se puede utilizar para medir la calidad de la señal de una red inalámbrica. Una señal con un RSSI alto generalmente será más confiable y tendrá menos errores que una señal con un RSSI bajo.
- Localizar dispositivos: El RSSI se puede utilizar para localizar dispositivos inalámbricos. Esto se puede hacer comparando el RSSI de un dispositivo con el RSSI de otros dispositivos cercanos.



- Optimizar la cobertura de la red: El RSSI se puede utilizar para optimizar la cobertura de una red inalámbrica. Esto se puede hacer identificando las áreas donde la señal es débil y agregando puntos de acceso adicionales.

Podíamos concluir afirmando que el RSSI mide la potencia de la señal recibida por un dispositivo. Mientras el RSSI sea más elevado la señal será más fuerte también y por el contrario si el RSSI es bajo la señal será de baja intensidad o débil. Se utiliza principalmente en Wi-Fi y Telefonía móvil, no olvidando mencionar que se mide en dBm (decibelio-milivatio).

2.2.15. DBM

La terminología dBm, abreviatura de decibelio-milivatio, esta es la unidad de medida de la potencia relativa expresada en decibelios (dB) con respecto a un milivatio (mW) (El & La, n.d.). Se utiliza comúnmente en redes de radio, microondas y fibra óptica para cuantificar la potencia absoluta de señales o equipos.

Decibelio (dB): El decibelio es una unidad adimensional que representa la relación logarítmica entre dos cantidades, generalmente de potencia o voltaje. Se utiliza para expresar valores muy grandes o muy pequeños de una manera más compacta y manejable.

Milivatio (mW): El milivatio es una unidad de potencia del Sistema Internacional (SI) que equivale a una milésima parte de un vatio (W). Se utiliza para medir potencias relativamente pequeñas en circuitos electrónicos y sistemas de comunicación.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Hardware

3.1.1.1. Laptop

El dispositivo en mención por su fácil portabilidad lo utilizamos para la comunicación entre tesis, navegación web, realizamos también nuestras hojas de cálculo, presentaciones, borrador de tesis, diseño de PCBs, programación de nuestro LoRa, diseño de esquemas y diagramas con los diferentes entornos con los cuales trabajamos la realización.

3.1.1.2. Raspberry Pi 3 b+

El Raspberry Pi 3 b+ es un computador de bajo costo y tamaño compacto, posee cuatro núcleos de 64 bits y 1,4 GHz, LAN inalámbrica de doble banda, Bluetooth y un puerto Ethernet. Posee una distribución del sistema operativo GNU/Linux basado en Debian, además, tiene la capacidad de hacer tareas de una PC de escritorio, tales como el navegar por internet, reproducir música y videos, manipulación de documentos y reproducir juegos (Rs-Components, 2016).

En Anexo 10, especificaremos las características por las cuales optamos por el modelo de este Raspberry, ya que este se amoldó más a nuestras necesidades, precio asequible, muy comercial y versátil en diferentes aspectos.



3.1.1.3. Modulo LoRa32

El módulo LoRa32 es una placa de desarrollo de dimensiones fáciles de manipular, además es muy versátil, placa basada en el microcontrolador ESP32. Su bajo costo y fácil uso la hace muy popular y atrayente a aficionados y creadores de proyectos, no olvidemos mencionar que su entorno de desarrollo es el mismo del Arduino, otro punto a favor de este módulo. También hemos de decir que tiene aplicaciones de robótica, proyectos de IoT, domótica, agricultura inteligente y demás. Características como la de bluetooth, wifi, puerto USB a serie y el bajo consumo energético la hicieron ideal para el diseño e implantación de nuestro sistema, por último, pero no menos importante la comunicación a grandes distancias (10 a 20 kilómetros) y la frecuencia a la que trabaja (915MHz) en nuestro caso (LoRa32, n.d.)

Asimismo, en la tabla 8 del Anexo 10, se observa las características del módulo LoRa32, frecuencia LoRa, protocolos inalámbricos y demás se describirán para más información.

3.1.1.4. DTH22

También conocido como AM2302, es un sensor digital (Aosong Electronics Co., 2003), viene ya calibrado y su único patillaje digital lo hace fácil de conectar al Arduino o LoRa32 que es propio de nuestra investigación.

En Anexo 10, detallamos la precisión de temperatura y humedad relativa (HR), alimentación y demás, que, por su bajo costo, ser comercial y confiable, lo hicieron ideal para el proyecto.



3.1.1.5. YL-69

Sensor de humedad relativa (HR) de suelo, su precio es cómodo y actúa en base a un pequeño voltaje en sus patillas de medición, posee un pin con salida analógica y otro pin con salida digital (YL-69, n.d.). En Anexo 10, detallamos sus características para una mejor comprensión.

3.1.1.6. Panel Fotovoltaico

En cuanto a los paneles utilizado se utilizaron 2 paneles, para nuestro emisor y otro para el receptor (estación base). Realizando el consumo de nuestros dispositivos, los paneles requeridos tanto para la parte de transmisión y recepción (estación base), se utilizó paneles de 7W y 55W respectivamente.

En Anexo 10, detalla el panel de transmisión y las características para una mejor comprensión, se muestra las características del panel solar de 55W, este módulo fotovoltaico lo utilizaremos para nuestra estación base o punto de transmisión.

3.1.1.7. Controlador de carga

controlador de carga solar CMTP01-DU, opción adecuada para sistemas solares pequeños con baterías de 12V. Su precio es asequible y su fácil montaje también, véase Anexo 10.

3.1.1.8. Batería de 12V

La batería Neata es una batería de plomo ácido sellada, diseñada para descargas frecuentes y profundas, no requiere mantenimiento de agua



y posee una vida útil prolongada. En Anexo 10, mostraremos las características de dicha batería.

3.1.1.9. Modem – Access Point

Este AP es un dispositivo electrónico de red, que permite a dispositivos inalámbricos, como laptops, celulares y tabletas, conectarse a una red local (LAN) a internet. También podemos mencionar que estos desempeñan la función de puentes entre la red cableada y la red inalámbrica, además, admiten estándares inalámbricos como; 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac y 802.11ax. El estándar inalámbrico determina la velocidad máxima y el alcance de la señal del punto de acceso.

Dentro de los beneficios de los puntos de acceso, podemos destacar la movilidad, productividad y la escalabilidad. En Anexo 10, nos detalla las características del punto de acceso que utilizaremos en el proyecto de investigación.

3.1.1.10. Mouse

Periférico necesario para la navegación, monitoreo y demás en nuestro ordenador Raspberry Pi 3 b+. En Anexo 10, mostramos las características del mouse utilizado en la estación base o punto de recepción.

3.1.1.11. Teclado

Periférico necesario para la navegación en nuestro ordenador Raspberry Pi. En Anexo 10, muestra las características de nuestro periférico.

3.1.1.12. Reductor de Voltaje de 12V a 5V

Reductor de voltaje que nos permitirá la alimentación de nuestra pantalla, Raspberry, LoRa y AP. En Anexo 10, mostraremos las características de nuestro regulador de voltaje.

3.1.1.13. Gabinetes

Se utilizaron 3 cajas de paso para la distribución de nuestros equipos, para nuestra etapa de emisión (2 cajas, 1 de 10 x10cm y otra de 8,5 x 8,5cm) y para la etapa de recepción (1 caja de 20 x 20cm). Véase la figura 13.

Figura 13

Gabinetes del módulo Tx y DTH22



Nota: tomado de <https://www.promart.pe/caja-de-paso-sin-conos-8-5x8-5x5cm/p>

3.1.1.14. Tubo cuadrado de aluminio

Se utilizó un tubo cuadrado de aluminio de $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4}$ para la estructura o mástil de nuestra etapa de transmisión. La altura de nuestro mástil según estándares meteorológicos averiguados es una altura mínima de 3 metros a nivel de piso. Además, nuestros viñedos tienen una altura estándar de 2,5 m, por lo cual nuestro diseño no se ve alterado ni afectado.

Figura 14

Vista lateral del mástil



3.1.2. Software

3.1.2.1. Arduino IDE

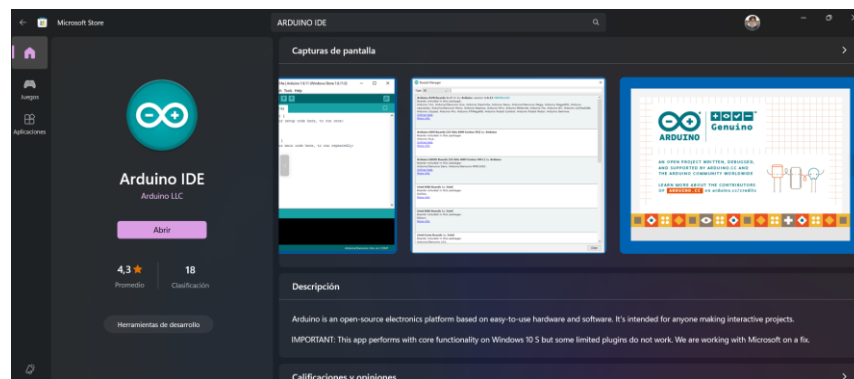
Software que se utiliza para programar los diferentes tipos de Arduino, además, es de código libre, en este software escribimos los códigos a cargar en nuestros módulos de Arduino, de tal manera que así realicen las tareas asignadas en nuestros códigos (Moreno Román, 2023).

El lenguaje de programación del Arduino IDE, también es compatible con el ESP32.

En la figura 15, mostraremos la manera de instalación, ésta la realizamos a través de Microsoft Store, solo buscamos en la tienda Arduino IDE e instalamos el software (versión 1.8.57.0). Sin dejar de mencionar que también la podemos descargar de la página web oficial, en donde encontraremos diferentes versiones del software, tanto para Windows, macOS y Linux.

Figura 15

Instalación Arduino IDE



3.1.2.2. Eagle

Programa de diseño para la realización de circuitos impresos (PCB) de código abierto desarrollado por Cadsoft. Podemos decir que es una herramienta de alta gama pues en ella podemos crear PCB de gran tamaño y complejidad. Véase la figura 16 para apreciar la versión

Figura 16

Versión del software



3.1.2.3. Node.js

Entorno de JavaScript multiplataforma de código abierto, con una capa de servidor basado en JavaScript, valga la redundancia, asíncrono. Esto significa que se puede crear aplicaciones dinámicas y escalables. Node.js es en realidad dos cosas: Una librería y un entorno de ejecución (Kießling & Junge, 2015). Esta es muy popular en diferentes aplicaciones, tales como:

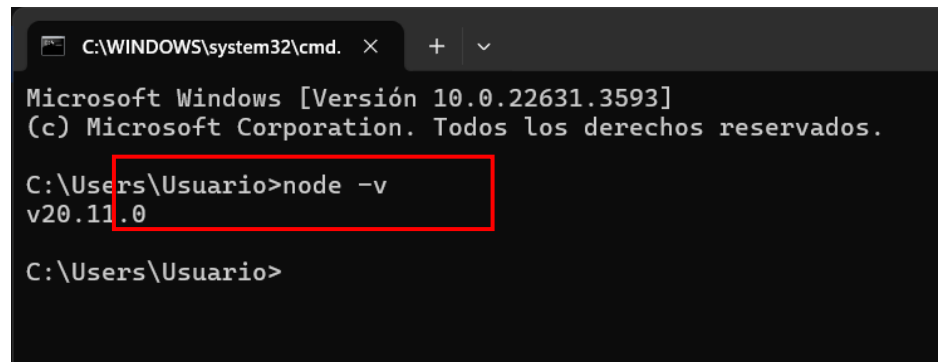
Web: para crear aplicaciones web dinámicas y escalables como se mencionó líneas arriba.

- IoT: conexión de dispositivos IoT a una red.
- Automatización del hogar: para controlar dispositivos dedicados a la domótica.
- Monitoreo remoto: recopilar datos de sensores.

En la figura 17, se puede apreciar la versión (20.11.0) instalada en nuestra laptop.

Figura 17

Versión de Node.js



```
C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.3593]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Usuario>node -v
v20.11.0

C:\Users\Usuario>
```

3.1.2.4. Node-RED

Herramienta de programación visual muy intuitiva, que está basada en flujos, desarrollada originalmente por IBM para la conexión de dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte de IoT. Node-RED se basa en el lenguaje de programación JavaScript y utiliza una interfaz gráfica de usuario (GUI) para la creación de aplicaciones (Node-RED, 2024).

Node-RED es muy versátil y puede crear aplicaciones muy diversas, tales como:

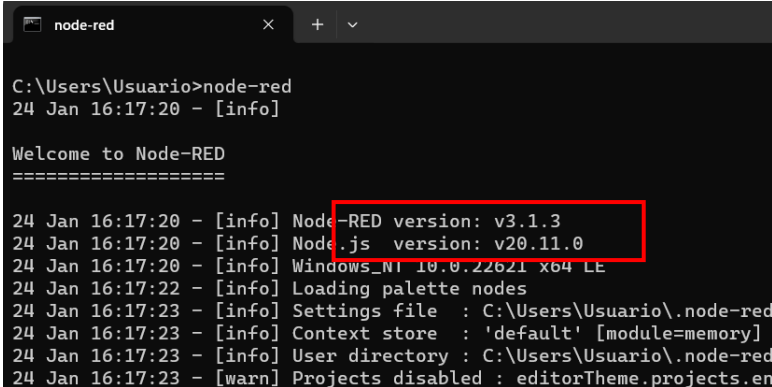
- Automatización del Hogar: Node-RED nos permite que la domótica sea más fácil, ya que esta plataforma o entorno nos permite controlar dispositivos inteligentes.
- Monitoreo de datos: Esta es la parte que más nos interesa acerca de Node-RED, ya gracias a ella podemos recopilar y analizar diversos datos de sensores y dispositivos que tengamos, con el paso de los años esta sigue creciendo, pues existen sensores de diversos tipos.

- Inteligencia empresarial: Node-RED nos permite utilizar su entorno para la creación de cuadros de mando y el análisis de datos empresariales.

En la figura 18 se puede apreciar la versión del Node-RED.

Figura 18

Versión Node-RED



```
node-red
C:\Users\Usuario>node-red
24 Jan 16:17:20 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

24 Jan 16:17:20 - [info] Node-RED version: v3.1.3
24 Jan 16:17:20 - [info] Node.js version: v20.11.0
24 Jan 16:17:20 - [info] Windows_NT 10.0.22621 x64 LL
24 Jan 16:17:22 - [info] Loading palette nodes
24 Jan 16:17:23 - [info] Settings file : C:\Users\Usuario\.node-red
24 Jan 16:17:23 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
24 Jan 16:17:23 - [info] User directory : C:\Users\Usuario\.node-red
24 Jan 16:17:23 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.en
```

3.1.2.5. MaríaDB

Este software nos permite la gestión de base de datos relacionados de código abierto. Además, es un fork de MySQL, desarrollado por Michael Widenius que es uno de los fundadores de MySQL. Además, se puede almacenar datos de cualquier tipo, tales como, texto, imágenes, videos y números. También se utiliza en aplicaciones web, como WordPress, Drupal y Magento y por último a aplicaciones empresariales como SAP y Oracle (Uneweb, 2017). La instalación de MaríaDB la explicaremos paso a paso (incluyendo la descarga), en el Anexo 11.

3.1.2.6. Mosquito

Mosquitto es un servidor de mensajería ligero y eficiente que implementa el protocolo MQTT, creado por la fundación eclipse (Ordóñez



Molina, 2022). Esta plataforma se utiliza para aplicaciones como; la comunicación de dispositivos IoT, la recopilación de datos generados por sensores y dispositivos industriales y por último para la domótica (dispositivos domésticos inteligentes) En cuanto a la instalación de Mosquitto la detallaremos en el Anexo 12, muestra todo el proceso de instalación de Mosquitto.

3.1.2.7. MQTT

Message Queuing Telemetry Transport, es un protocolo de mensajería ligero y eficiente basado en el modelo de publicación/suscripción. Se utiliza para transferir datos entre sensores, actuadores y dispositivos domóticos inteligentes conectados a internet. Algunos de los beneficios de los cuales son: ligero, fiabilidad, escalabilidad, integración simple y fuerte apoyo a la industria.

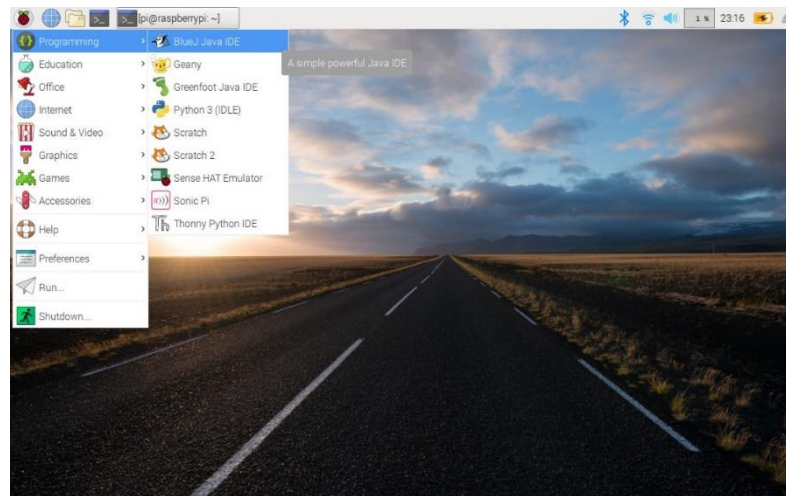
3.1.2.8. Rasbian (Raspberry Pi OS)

Es un sistema operativo basado en Linux, este es el sistema operativo oficial del Raspberry Pi, además, es un sistema operativo de código abierto y se puede usar de forma gratuita para estudiantes y profesionales que deseen experimentar con fines educativos y conocer más acerca de esta distribución (Diviértete & Pi, n.d.).

También posee una distribución de escritorio completa, es fácil de usar y tiene opciones de personalización para usuarios avanzados. Es por ello que se utilizó este entorno en nuestro sistema de monitoreo. Raspbian es la distribución combinada entre el Raspberri Pi y Debian, es por ello el nombre líneas arriba.

Figura 19

Escritorio Raspberry



3.1.2.9. AutoCAD

Software muy usado dedicado al diseño asistido por computadora (CAD) desarrollado por Autodesk, permite a los usuarios crear piezas, estructuras y demás, además, es uno de los mejores softwares para el modelamiento y diseño de proyectos con una pizarra digital infinita, principalmente en 2D y 3D (Alfonso et al., 2017). Hoy en día ocupa diversas áreas profesionales, como:

- **Arquitectura:** Para la creación de casas, planos, diseño de interiores, etc.
- **Topografía:** Para la creación de planos, mapas y representación de terrenos.
- **Ingeniería:** Para la creación de planos, piezas mecánicas, instalaciones eléctricas y electrónicas, etc.
- **Diseño Industrial:** Desarrollo de productos, empaques, prototipos, etc.

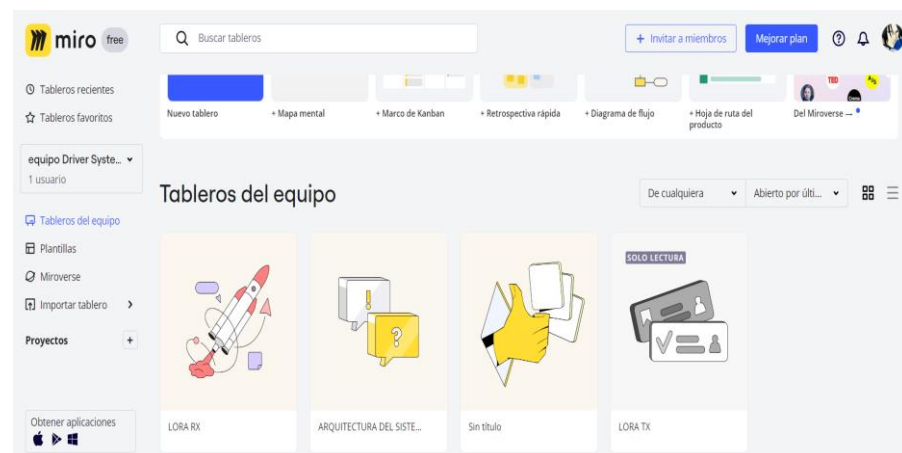
- **Diseño Gráfico:** Creación de ilustraciones, logos, diagramas, etc.

3.1.2.10.Miro

Miro es una plataforma visual en línea y también podemos definir a esta como una pizarra digital infinita que permite a los usuarios el crear y compartir el contenido visual que creamos. Posee una amplia variedad de herramientas y plantillas, así nosotros podemos crear diversos mapas mentales, diagramas, flujos de trabajo, notas, wireframes y mucho más (Universidad del pacífico, 2019).

Figura 20

Entorno Visual Miro



3.1.2.11.Jamovi

Jamovi es un software estadístico gratuito y de código abierto, su interfaz es sencilla y fácil de usar. Este ofrece funciones como: análisis de regresión, regresión lineal, regresión logística y modelos de efectos mixtos. Este software se puede usar en línea y también hay una versión de escritorio para Windows, nosotros usaremos la versión de escritorio (Leongómez, 2020).



También podemos recalcar que podemos exportar archivos Excel, es por ello la decisión de utilizar este programa. Dentro de sus características principales podríamos considerar las siguientes a continuación:

- Interfaz gráfica de usuario intuitiva (GUI)
- Visualización de datos
- Amplia gama de análisis de regresión
- Personalización muy extensa
- Gratuito y de código abierto

La Instalación de Jamovi Desktop versión 2.3.28.0 la mostraremos en el Anexo 13.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Tipo de investigación: No experimental

La presente investigación es de tipo no experimental porque se centra en diseñar un sistema de monitoreo aplicado a la agricultura intensiva y no involucra la manipulación controlada de variables independientes ni tampoco la existencia de grupos de control en la muestra o población. Según (Baena Paz, 2017), la investigación no experimental, también conocida como investigación no empírica o investigación descriptiva, es un enfoque de investigación en el cual el investigador no manipula directamente las variables independientes ni controla las condiciones del entorno de estudio. En lugar de eso, se centra en la observación, la recopilación de datos y la descripción de fenómenos tal como ocurren en su contexto natural.



3.2.2. Enfoque de Investigación: Cuantitativa

Esta investigación es de tipo cuantitativa porque recopila y procesa datos como temperatura, alcance, potencia, etc.; que son métricas objetivas y medibles. Según (Gallardo, 2017) La investigación cuantitativa es un método de investigación que utiliza datos numéricos para describir, explicar y predecir fenómenos. Se basa en el enfoque deductivo, en el que se parte de una teoría o hipótesis para luego recopilar datos que la apoyen o refuten. Los datos cuantitativos se pueden recopilar a través de una variedad de métodos, como encuestas, cuestionarios, experimentos, análisis de registros y observación. Una vez recopilados, los datos se analizan utilizando métodos estadísticos para identificar patrones, tendencias y relaciones.

3.2.3. Nivel de investigación: Aplicativo

Esta investigación es de tipo aplicada porque aplica conocimientos existentes de telecomunicaciones, control y electrónica a la solución de un problema existente como es la monitorización de cultivos en áreas remotas. Según (Baena Paz, 2017). La investigación de tipo aplicada es un tipo de investigación que busca resolver problemas o responder preguntas específicas. Se basa en los resultados de la investigación básica, pero su objetivo es aplicar el conocimiento científico para mejorar la calidad de vida de las personas, impulsar el desarrollo económico y social, y solucionar problemas específicos de la sociedad.

3.2.4. Población: 5 hectáreas de cultivo

Esta investigación diseñará un sistema que pueda monitorizar hasta 5 hectáreas de cultivos, que pueden incluir varios tipos de cultivos, condiciones del suelo y prácticas agrícolas dentro de esa área específica. Según (Gallardo, 2017),

la población representa el entorno práctico donde se implementaría y probaría el sistema de monitoreo desarrollado.

Esta área proporciona un entorno específico y controlado para observar cómo funciona el sistema en condiciones agrícolas reales, lo que permite una evaluación de su eficacia y potencial para una implementación más amplia. El módulo de transmisión está referenciado en las coordenadas 796866E / 8183771N, mientras que las coordenadas 796700E / 8183908N corresponden a la etapa de recepción. Ambas ubicaciones están en la zona 18k del sistema de coordenadas UTM, en el distrito de Maje, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, en la figura 21 se muestra la ubicación del área de cultivos, así como los puntos de transmisión y recepción.

Figura 21

Vista satelital del terreno Majes - Arequipa



Nota: Imagen satelital adaptada de (Google, 2024). Google Earth <https://earth.google.com>



3.2.5. Diseño del sistema de monitoreo basado en fog computing para la agricultura intensiva

En este apartado se realizó con todos los aspectos necesarios para el diseño del sistema de monitoreo, empleando con la elección del tipo de tecnología de radio frecuencia hasta instalación y configuración del servidor utilizado.

Cabe mencionar que esta arquitectura permite que los diferentes componentes usados en el sistema de monitoreo se desarrollen e implementen de forma independiente, de esta manera se facilita el mantenimiento y la escalabilidad del sistema.

3.2.6. Elección de la tecnología de radio frecuencia

En el contexto de la agricultura intensiva y la ausencia de señal telefónica en la población estudiada, se evaluaron diversas tecnologías para implementar un sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing. Se consideraron y compararon cuatro alternativas viables: Wi-Fi, LTE local, Zigbee y LoRaWAN, cada una con sus propias características y potencial de aplicabilidad en este escenario específico.

Para la elección y determinación de la tecnología adecuada se empleó el Análisis de Decisión Multicriterio (ADM), una herramienta eficaz y sistemática que facilita la toma de decisiones informadas al considerar múltiples criterios esenciales para la evaluación de diversas alternativas. En el presente estudio, donde se requirió seleccionar la tecnología de transmisión de datos más idónea para un sistema de monitoreo basado en fog computing, el ADM se presentó como la metodología ideal, aplicando los siguientes criterios:



a) Mayor rango de transmisión

El rango de transmisión es un criterio crucial para sistemas de monitoreo basados en fog computing, especialmente en aplicaciones donde los sensores y dispositivos están dispersos en un área extensa. La importancia del rango de transmisión se justifica por:

- Cobertura Amplia: Permite cubrir grandes áreas con menos infraestructura, lo cual es esencial en aplicaciones agrícolas, ambientales y urbanas.
- Confiabilidad de conexión: Un mayor rango de transmisión reduce la necesidad de múltiples repetidores o gateways, disminuyendo posibles puntos de fallo y mejorando la confiabilidad del sistema.

Reducción de costos: Con una mayor cobertura por dispositivo, se requieren menos unidades de transmisión, reduciendo los costos totales de implementación y mantenimiento.

b) Menor consumo energético

El consumo energético es vital en sistema de monitoreo donde los dispositivos suelen estar alimentados por baterías o fuentes de energía renovable. La importancia de este criterio radica en:

- Eficiencia operativa: Dispositivos con bajo consumo energético pueden operar durante periodos más largos sin necesidad de recarga o reemplazo de baterías, lo cual es esencial para aplicaciones remotas o difíciles de alcanzar.



- Sostenibilidad: Reducción en el consumo de energía contribuye a la sostenibilidad del sistema, minimizado el impacto ambiental y optimizando el uso de recursos energéticos.
- Costo de mantenimiento: Menor consumo energético implica menos frecuencia de mantenimiento y reemplazo de baterías, reduciendo así los costos operativos y mejorando la eficiencia del sistema.

c) Costos relativamente bajos

El costo es un factor determinante en la selección de cualquier tecnología, especialmente en proyectos con presupuestos limitados. La importancia de este criterio se justifica por:

- Viabilidad económica: Tecnologías con costos más bajos son más accesibles y viables para su implementación en proyectos de diferentes escalas, desde pequeñas iniciativas hasta despliegues masivos.
- Escalabilidad: Costos reducidos permiten escalar el sistema más fácilmente, añadiendo más dispositivos y expandiendo la cobertura sin un incremento proporcional en los gastos.
- Retorno de Inversiones: Un menor costo inicial y operativo mejora el retorno de inversión del proyecto, haciendo que la tecnología sea una opción más atractiva y sostenible a largo plazo

d) Facilidad de implementación

La facilidad de implementación es un criterio clave para asegurar una rápida y efectiva puesta en marcha del sistema de monitoreo. La importancia de este criterio se fundamenta en:



- Tiempo de despliegue: Tecnologías que son fáciles de implementar permiten una puesta en marcha más rápida, reduciendo el tiempo necesario para que el sistema es té operativo y generando datos.
- Requisitos técnicos: tecnologías con menor complejidad de implementación requieren menos conocimientos técnicos especializados, facilitando el proceso de instalación y configuración por parte del personal disponible.
- Adaptabilidad y flexibilidad: Sistemas fáciles de implementar pueden adaptarse y modificarse con mayor facilidad ante cambios en los requerimientos del proyecto, mejorando la capacidad de respuesta y adaptabilidad del sistema.

Finalmente, la selección de los criterios de mayor rango de transmisión, menor consumo energético, costos relativamente bajos y facilidad de implementación asegura que la tecnología elegida no solo sea la más adecuada para las necesidades específicas del proyecto, sino también la más eficiente y sostenible a largo plazo. Al utilizar estos criterios en el análisis de decisión multicriterio (ADM), se garantiza una evaluación integral y equilibrada, proporcionando una base sólida para la implementación exitosa del sistema de monitoreo basado en fog computing.

e) Aplicación del Análisis de Decisión Multicriterio (ADM)

Paso 1: Definición de los Criterio y Ponderaciones

Los criterios y sus ponderaciones son de la siguiente manera:

- Rango: 30%
- Consumo energético: 30%
- Costo: 20%



- Implementación: 20%
- Paso 2: Evaluación de tecnologías

Utilizaremos la tabla 1 para visualizar el cotejo de tecnologías evaluadas, donde se asigna una puntuación para cada criterio según su importancia y ponderación. La puntuación total de cada tecnología se calcula sumando las puntuaciones de cada criterio.

Tabla 1

Cotejo de Tecnologías

Tecnologías	> Rango (30%)	< Consumo Energético (30%)	< Costo (20%)	< Implementación (20%)	Puntuación Total
LoRaWAN	30	30	19	15	94
Wifi	20	10	5	19	54
LTE local	28	5	5	5	43
ZigBee	5	29	19	15	68

Nota. Tabla de selección de la tecnología a utilizar.

Paso 3: Análisis y justificación

Rango (30%)

- LoRaWAN obtiene la puntuación máxima (30) en rango, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren transmisión de datos a largas distancias.
- Wifi y LTE local obtiene una puntuación de 20 y 28 respectivamente, lo que indica que son adecuadas para distancias medias y largas, pero no tanto como LoRaWAN.
- ZigBee tiene una puntuación baja (5), adecuada solo para distancias cortas.
- Consumo Energético (30%)
- LoRaWAN y ZigBee tiene puntuaciones muy altas (30 y 29 respectivamente), indicando un consumo energético muy bajo lo cual es crítico para aplicaciones IoT.



- Wifi y LTE local tienen puntuaciones bajas (10 y 5), lo que indica un consumo energético alto, menos ideal para dispositivos alimentados por baterías.

Costo (20%)

- LoRaWAN y ZigBee tienen puntuaciones altas (19), mostrando un costo relativamente bajo.
- Wifi y LTE local obtuvieron puntuaciones muy bajas (5), indicando un costo mayor.

Implementación (20%)

- LoRaWAN, ZigBee y Wifi obtuvieron una puntuación de 15 a más, indicando que son relativamente fáciles de implementar.
- LTE local obtuvo una puntuación baja (5), indicando mayores desafíos a la hora su implementación.

En conclusión, el análisis de decisión multicriterio muestra que LoRaWAN es la mejor opción para la transmisión de datos en el sistema de monitoreo basado en fog computing. LoRaWAN ofrece mejores equilibrios en términos de:

Rango: Máxima puntuación e ideal para cubrir extensas áreas.

- Consumo Energético: Máxima puntuación, esencial para mantener la eficiencia del sistema.

Costo: Alta puntuación, siendo así una solución económica.

- Implementación: Relativamente fácil de implementar.
- Paso 4: implementación del resultado

Por lo tanto, basado en este análisis, se recomienda utilizar LoRaWAN como el medio de transmisión de datos en el sistema de monitoreo, asegurando

un equilibrio óptimo entre alcance, eficiencia energética, costo y facilidad de implementación. Esta decisión garantizará un sistema robusto y eficiente para el monitoreo basado en fog computing.

3.2.7. Diseño del módulo de recepción Tx

Una vez establecida la tecnología de radiofrecuencia, se procedió a diseñar el módulo de transmisión que se encarga de la recolección de datos de los sensores establecidos en los campos de cultivo. La figura 22, podemos apreciar el diagrama de bloques acerca de la etapa de transmisión.

Figura 22

Etapa de transmisión

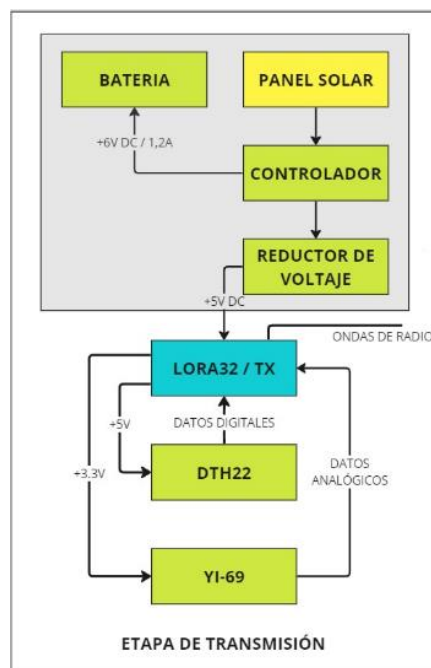


Figura 23

Proceso del Punto de transmisión

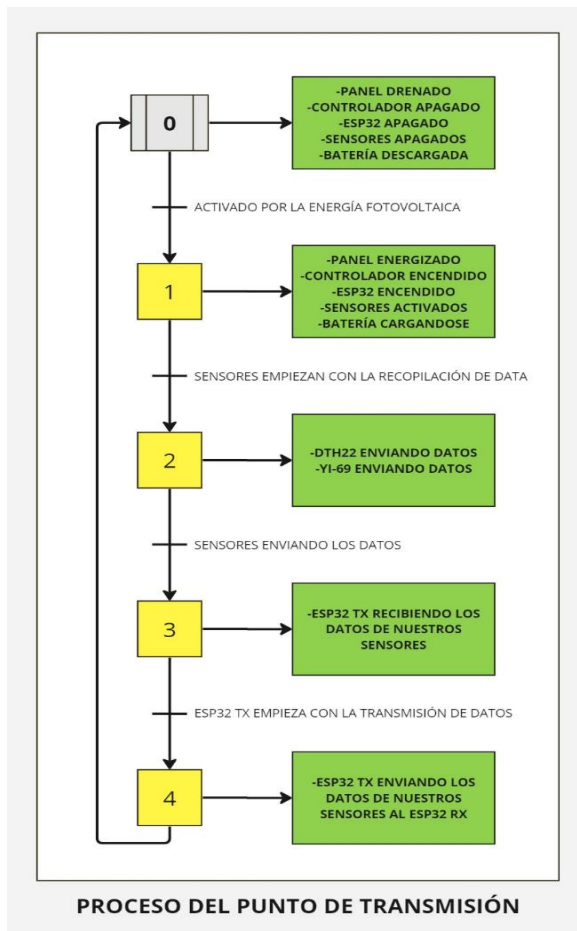


Figura 24

PCB de transmisión

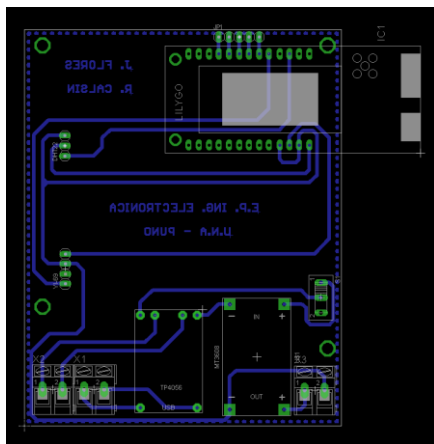
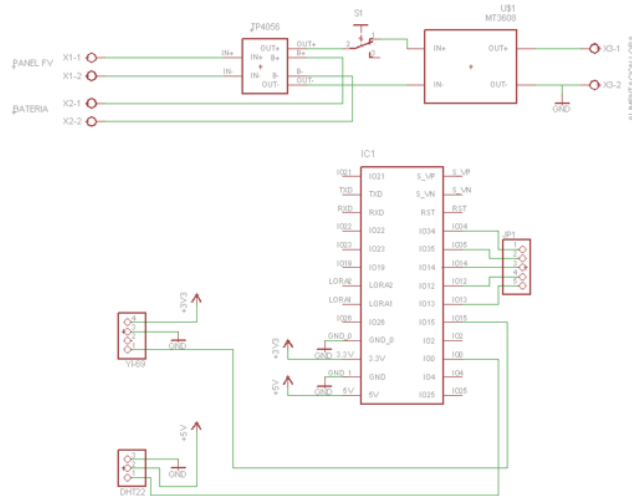


Figura 25

Esquemático de transmisión



Para el diseño y elección de las cajas 1 y 2 que contendrán los dispositivos de transmisión LoRa y también el sensor DTH22, se verifico que cumplan con el estándar de protección IP65. En la figura 26 podemos apreciar el diseño de nuestra caja 1, donde se alojará el LoRa Tx, la cual debe permanecer cerrada para proteger los componentes de los factores ambientales adversos como el polvo y la lluvia. Por otro lado, la figura 27 muestra el diseño de la caja 2 del sensor DTH22, cuya finalidad es evitar la exposición directa la radiación solar evitando que afecte negativamente su funcionamiento, mientras las rendijas permiten la circulación del aire. Ambos diseños fueron creados en AutoCAD, para más detalles sobre el diseño y planos, ver Anexos 4, 5 y 6.

Figura 26

Diseño de la caja en AutoCAD (vista lateral)

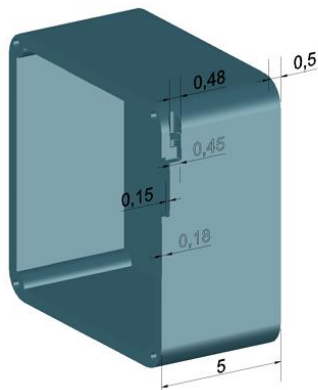
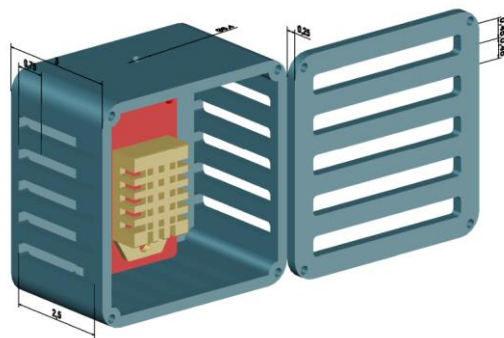


Figura 27

Diseño de la caja 2 para sensores DTH22



3.2.8. Diseño del módulo de recepción Rx

Una vez definido nuestros componentes, realizamos la conexión de estos desde nuestro panel, controlador, LoRa, AP, Raspberry, pantalla y demás periféricos. Dicho diseño lo representaremos con un diagrama de bloques, para una vista preliminar de cómo será las conexiones de nuestros dispositivos.

La figura 28 y 29 muestra la arquitectura de la etapa del módulo de recepción con los apelativos de cada dispositivo a utilizar en la etapa de recepción, el diagrama lo diseñamos con Miro, para más detalles del software utilizado, revisar el apartado 3.1.2.10.

Figura 28

Diagrama de bloques, etapa Rx

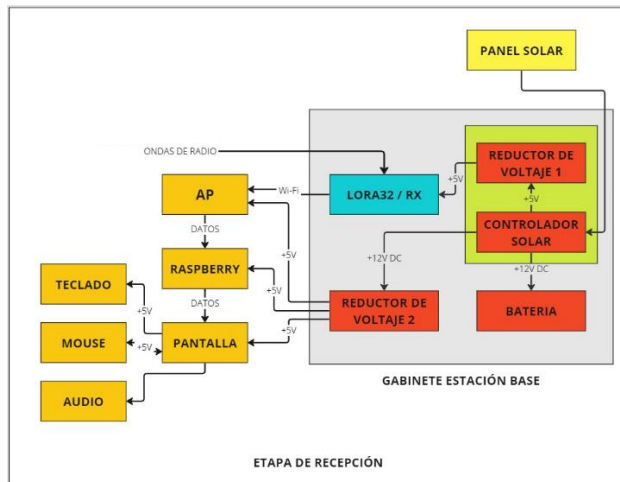


Figura 29

Arquitectura del punto de recepción

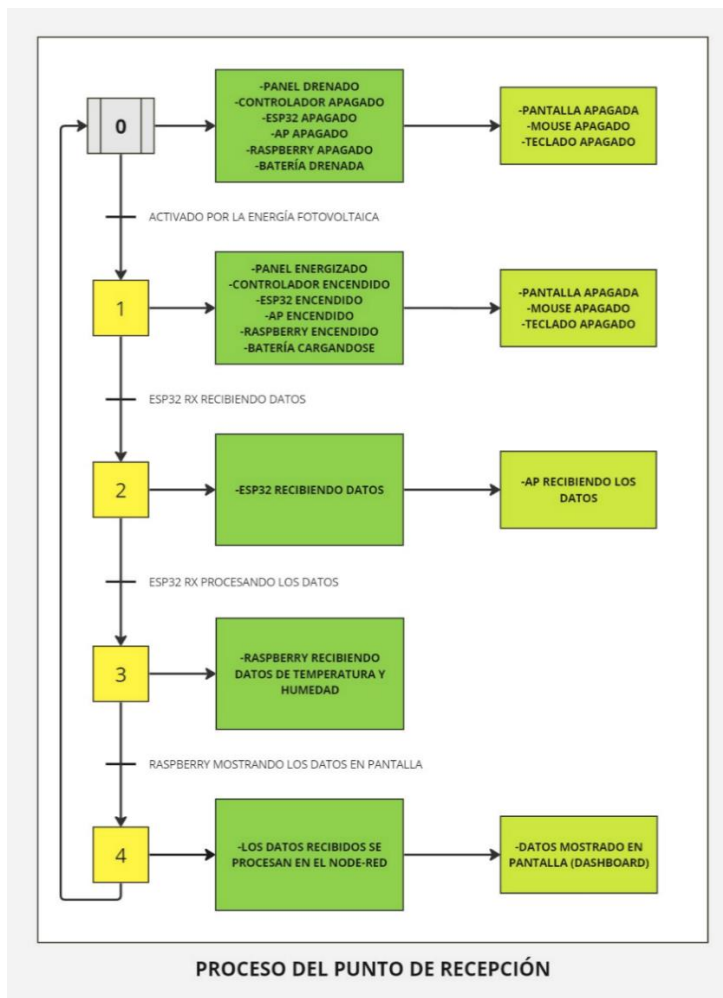
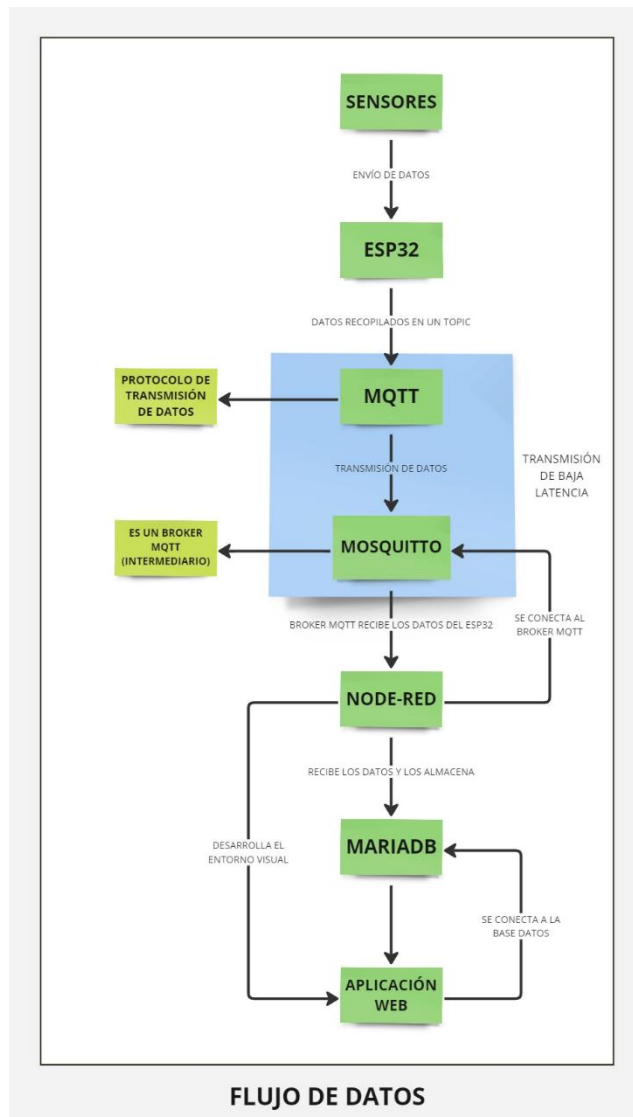


Figura 30

Arquitectura del flujo de datos



3.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ENERGÉTICA PARA EL MONITOREO DE LA AGRICULTURA INTENSIVA USANDO ENERGÍAS RENOVABLES

3.3.1. Dimensionamiento del módulo de transmisión (Tx)

Para la determinación de la demanda energética se realizó el dimensionamiento fotovoltaico del sistema, considerando los dispositivos utilizados, tipo de batería y pérdidas que debemos considerar.



Cálculo del consumo energético del Tx

Determinación del consumo energético total del módulo de transmisión

- a) Revisamos los componentes energéticos de cada componente:

Módulo LoRa

$$\text{Consumo promedio: } 135 \text{ mA a } 3.3\text{V} = 0.445 \text{ Wh}$$

Sensor DTH22

$$\text{Consumo promedio: } 1.5 \text{ mA a } 3.3\text{V} = 0.0049 \text{ Wh}$$

Higrómetro YL-69

$$\text{Consumo promedio: } 10 \text{ mA a } 3.3\text{V} = 0.033 \text{ Wh}$$

Controlador

$$\text{Consumo promedio: } 5 \text{ mA a } 3.3\text{V} = 0.0165 \text{ Wh}$$

Consumo total (C_t)

$$(C_t) = 0.445 + 0.0049 + 0.033 + 0.0165 = 0.4994 \text{ Wh}$$

- b) Cálculo del consumo diario (E_{diario})

Para calcular el consumo diario, multiplicamos el consumo total por el número de horas de operación diaria:

$$E_{diario} = C_t * 24hrs = 0.4994 * 24 = 11.99 \text{ Wh/día}$$

Donde: E_{diario} es el consumo diario y C_t es el consumo total.

- c) Consideración de pérdidas

Las pérdidas en el sistema incluyen pérdidas en la batería, en el controlador de carga y en los cables. Asumimos una eficiencia general del sistema del 90%.

$$E_{real} = \frac{E_{diario}}{Eficiencia} = \frac{11.99 \text{ Wh/día}}{0.90} = 13.32 \text{ Wh/día}$$

Donde: E_{real} es la eficiencia real, E_{diario} es el consumo diario y una $Eficiencia$ de 90%



d) Dimensionamiento de la batería

Para asegurar una autonomía de 1 día, calculamos la energía necesaria para alimentar el sistema durante este periodo:

$$E_{1_día} = E_{real}$$

$$E_{1_día} = 13.32 \text{ Wh/día}$$

Usamos una batería de litio 18650 con una capacidad de 2600 mAh a 3.7V.

Calculamos la energía almacenada en la batería y su profundidad de descarga.

$$E_{batería} = 2600 \text{ mA} * 3.7\text{V}$$

$$E_{batería} = 9.62 \text{ Wh}$$

Consideramos la profundidad de descarga en este caso como es de litio hasta el 95%

Por lo tanto:

$$E_{batería_real} = E_{batería} * \text{prof. de descarga} = 9.62 \text{ Wh} * 0.95 = 9.139 \text{ Wh}$$

Redondeando para asegurar la capacidad suficiente se requieren 2 baterías de litio 18650 para asegurar una autonomía de 1 día.

e) Dimensionamiento del panel solar

Para dimensionar el panel solar, consideramos las horas solares pico (HSP). Que en la zona de la instalación son 4 HSP. La energía que necesita ser generada diariamente no solo debe cubrir el consumo diario, sino también recargar la batería. Por lo tanto, la energía que debe proporcionar el panel solar diariamente es:

$$E_{generar} = E_{real} + E_{1_día}$$

$$E_{generar} = 13.32 \text{ Wh/día} + 13.32 \text{ Wh/día}$$

$$E_{generar} = 26.64 \text{ Wh/día}$$

Para calcular la potencia necesaria del panel solar:

$$E_{generar} = \frac{E_{generar}}{HSP}$$

$$E_{generar} = \frac{26.64 \text{ Wh/día}}{HSP}$$

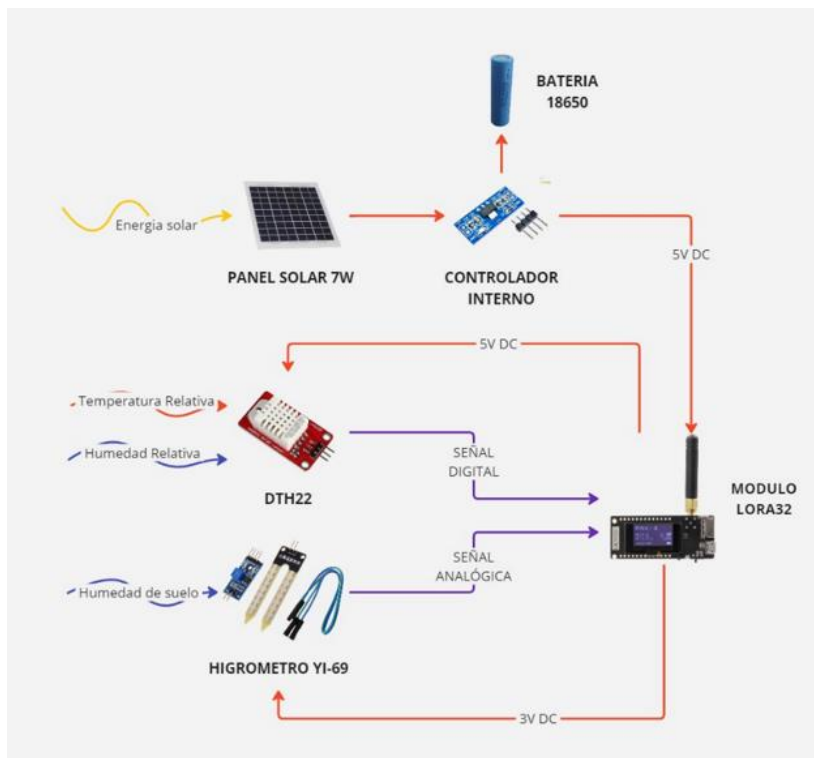
$$E_{generar} = 6.66 \text{ W}$$

Donde: $E_{generar}$ es la potencia necesaria del panel:

Como siempre es recomendable usar un panel con una capacidad ligeramente superior para asegurar la generación adecuada de energía. Un panel de 7W fue el adecuado. En la figura 31, podemos apreciar el módulo de transmisión según el dimensionamiento solar fotovoltaico.

Figura 31

Arquitectura LoRa Tx





Donde el panel solar es de 7W y genera aproximadamente 28 Wh por día, el acumulador es una batería de litio de 3.7V y 2.6Ah que permite una autonomía de 1 día al sistema de alimenta el módulo LoRa y los sensores.

3.3.2. Dimensionamiento del módulo de recepción (Rx)

Para la determinación de la demanda energética se realizó el dimensionamiento fotovoltaico del sistema, considerando los dispositivos utilizados, tipo de batería y pérdidas.

Cálculo del consumo energético de Rx.

Determinación del consumo energético total del módulo de recepción para ello

a) Revisamos los consumos energéticos de cada componente como lo mostraremos a continuación:

Módulo LoRa:

$$\text{Consumo promedio: } 145mA \text{ a } 3.3V = 0.478 Wh$$

Raspberry Pi:

$$\text{Consumo promedio: } 200mA \text{ a } 5V = 1 Wh$$

Access Point:

$$\text{Consumo promedio: } 40mA \text{ a } 5V = 0.200 Wh$$

Controlador:

$$\text{Consumo promedio: } 5mA \text{ a } 12V = 0.06 Wh$$

Reductor de voltaje:

$$\text{Consumo promedio: } 5mA \text{ a } 5V = 0.025 Wh$$

Pantalla:

$$\text{Consumo promedio: } 395mA \text{ a } 5V = 1.975 Wh$$



Consumo total (C_t):

$$C_t = 0.478 + 1 + 0.200 + 0.06 + 0.025 + 1.975 = 3.738 \text{ Wh}$$

Cálculo del consumo diario (E_{diario}):

Para calcular el consumo diario, multiplicamos el consumo total por el número de horas de operaciones diarias:

$$E_{diario} = C_t * 24hrs = 3.738 * 24 = 89.71 \text{ Wh/día}$$

b) Consideración de Pérdidas

Las pérdidas en el sistema incluyen pérdidas en la batería, en el controlador de carga y en los cables. Asumimos una eficiencia general del sistema del 90%.

$$E_{real} = \frac{E_{diario}}{Eficiencia} = \frac{89.71 \text{ Wh/día}}{0.90} = 99.68 \text{ Wh/día}$$

c) Dimensionamiento de la batería

Para asegurar una autonomía de 1 día, calculamos la energía necesaria para alimentar el sistema durante este periodo:

$$E_{1_día} = E_{real}$$

$$E_{1_día} = 99.68 \text{ Wh/día}$$

Usamos una batería de gel, con una capacidad de 7.5Ah a 12V.

Calculamos la energía almacenada en la batería y su profundidad de descarga:

$$E_{batería} = 7.500Ah * 12V$$

$$E_{batería} = 90 \text{ Wh}$$

Consideramos la profundidad de descarga en este caso como es de gel hasta el 60%.

Por lo tanto:



$$E_{batería,real} = E_{batería} * prof. de descarga = 90 Wh * 0.60 = 54 Wh$$

Para alcanzar la energía necesaria para 1 día de autonomía, necesitamos varias baterías:

$$Número\ de\ baterías = \frac{E_{real}}{E_{batería_real}} = \frac{99.68}{54} = 1.85$$

Redondeamos para asegurar la capacidad suficiente se requieren 2 baterías de gel de 7.5Ah y 12V para asegurar una autonomía de 1 día.

d) Dimensionamiento del panel solar

Para dimensionar el panel solar, consideramos las horas solares pico (HSP). Que en la zona de la instalación son 4 HSP. La energía que necesita ser generada diariamente no solo debe cubrir el consumo diario, sino también recargar la batería. Por lo tanto, la energía que debe proporcionar el panel solar diariamente es:

$$E_{generar} = E_{real} + E_{1_día}$$

$$E_{generar} = 99.68 Wh/día + 99.68 Wh/día$$

$$E_{generar} = 199.36 Wh/día$$

Para calcular la potencia necesaria del panel solar:

$$P_{panel} = \frac{E_{generar}}{HSP}$$

$$P_{panel} = \frac{199.36 Wh/día}{4 HSP}$$

$$P_{panel} = 49.84 W$$

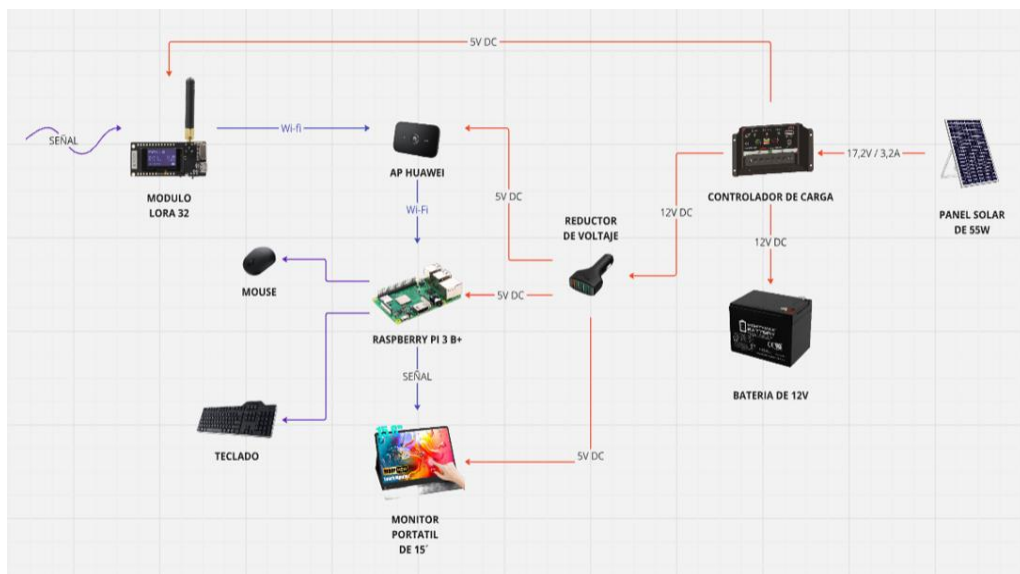
Por lo tanto, la potencia del módulo fotovoltaico según el valor de P_{panel} redondeado debe ser de 50W, sin mencionar que el panel fotovoltaico podría ser

de 50W o mayor a este, en nuestro caso operamos con un panel de 55W, pues ese es el que se encontró en el mercado.

Por lo tanto, el módulo de recepción o estación según el dimensionamiento solar fotovoltaico quedó de la siguiente manera, ver figura 32.

Figura 32

Módulo de recepción (Estación base)

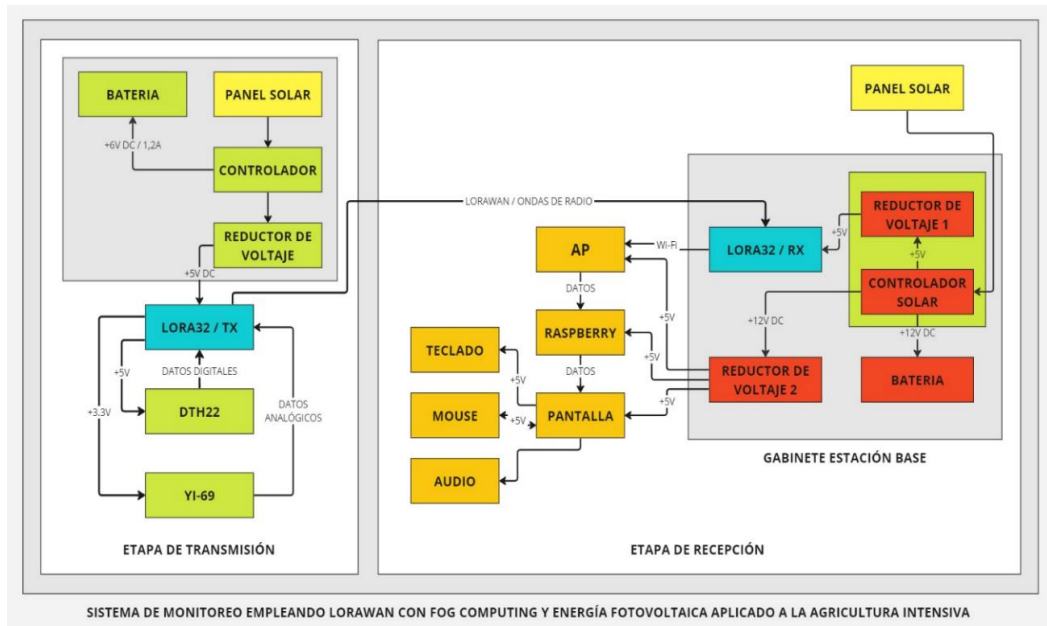


Donde el panel solar es de 55W y genera aproximadamente 200 Wh por día, el acumulador es una batería de gel de 12V y 7.5Ah que permite una autonomía de 1 día al sistema que alimenta el Raspberry Pi, Access Point, el módulo LoRaWAN y periféricos.

En la figura 33 se aprecia el diagrama de bloques, etapa de transmisión y etapa de recepción, “Sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing y energía fotovoltaica aplicado a la agricultura intensiva”

Figura 33

Diagrama de bloques, etapa de transmisión y etapa de recepción



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN LORAWAN

A continuación, mostraremos el comportamiento del RSSI (Received Signal Strength Indicator), a medida que la distancia aumenta entre el transmisor (Tx) y receptor (Rx), la intensidad de la señal recibida va decayendo o disminuyendo, hemos de decir que son inversamente proporcionales. Además, la decadencia de una señal inalámbrica (en nuestro caso RF) se debe a diversos factores, como la absorción del aire, la reflexión y difracción. La tabla 2 muestra la relación entre la distancia (km) y la intensidad del RSSI (dBm). Conforme aumenta la distancia entre el receptor y los puntos de medición la intensidad de la señal va disminuyendo.

Tabla 2

Registro del RSSI respecto a la distancia entre Rx y Tx

Puntos de Medición	Coordenadas (UTM) Este / Norte	Distancia a Rx (km)	RSSI (dBm)
Tx ₁	797137 / 8183677	0.50	-73.04
Tx ₂	797367 / 8183179	1.00	-83.64
Tx ₃	797789 / 8182897	1.50	-89.84
Tx ₄	798204 / 8182622	2.00	-94.25
Tx ₅	798623 / 8182341	2.50	-97.66
Tx ₆	793978 / 8182749	3.00	-100.45
Tx ₇	793549 / 8182492	3.50	-102.81
Tx ₈	793117 / 8182247	4.00	-104.85
Tx ₉	792765 / 8182011	4.50	-106.65
Tx ₁₀	792334 / 8181733	5.00	-108.26

Nota. Relación entre distancia e intensidad de señal tomando como referencia las coordenadas (796866E / 8183771N) de nuestro receptor (Rx) en el sistema UTM (zona 18k).

La figura 34 muestra la relación entre la distancia y la intensidad de la señal recibida (RSSI) en una transmisión LoRaWAN en un entorno rural. Este análisis resultó crucial para entender cómo la señal se debilitó a medida que la distancia entre el transmisor y el receptor aumentaba.

Figura 34

Comportamiento del RSSI en el entorno rural

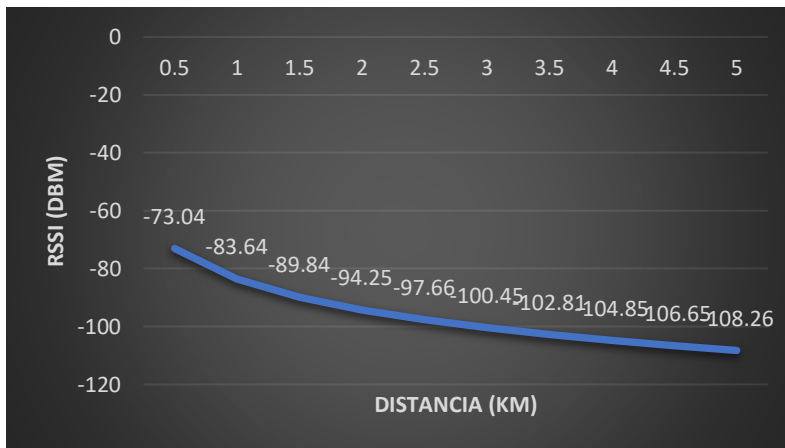
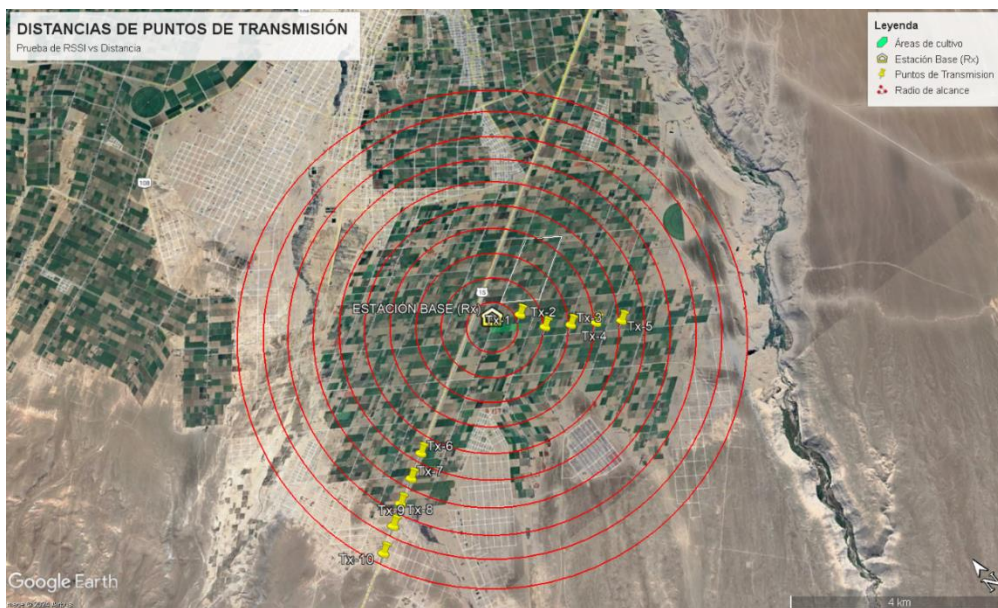


Figura 35

Distancias de puntos de transmisión al receptor, vista satelital



Nota: Imagen satelital adaptada de (Google, 2024). Google Earth <https://earth.google.com/>



En el eje horizontal (X) se representaron las distancias, que variaron de 0.5 km a 5 km, con incrementos de 0.5 km. En el eje vertical (Y) se muestra el RSSI en decibelios-milivatios (dBm), que fue desde aproximadamente -70 dBm hasta -110 dBm. La curva en el gráfico indica una tendencia decreciente, típica en la propagación de señales en entornos abiertos.

La relación entre la distancia y el RSSI siguió una curva logarítmica decreciente. Este comportamiento reflejó que, a medida que la distancia se duplicó, la pérdida de señal aumentó considerablemente. Este fenómeno se evidenció en la pendiente pronunciada de la curva. Por ejemplo, a una distancia de 0.5 km, el RSSI fue de aproximadamente -73.04 dBm. A medida que se incrementó la distancia a 1 km, el RSSI disminuyó a -83.64 dBm. Este patrón continuó con una señal de -94.25 dBm a 2 km, y se redujo aún más hasta -108.26 dBm a 5 km.

Estos valores de RSSI indicaron la calidad de la señal. En términos generales, valores superiores a -100 dBm se consideraron adecuados para mantener una comunicación fiable en LoRaWAN. Sin embargo, a partir de los 2.5 km, los valores de RSSI comenzaron a acercarse al umbral de -100 dBm. Esto implicó una mayor tasa de errores y posibles interrupciones en la comunicación. A distancias mayores de 3 km, la señal se debilitó significativamente, sugiriendo la necesidad de estrategias de mejora. Estas estrategias podrían haber incluido el aumento de la potencia de transmisión, el uso de antenas de mayor ganancia, o la implementación de repetidores para mantener la integridad de la comunicación.

Finalmente, el gráfico demostró la predecible disminución de la intensidad de la señal en función de la distancia en un entorno rural para LoRaWAN. Este análisis fue vital para el diseño y la planificación de esta investigación utilizando esta tecnología.



Ayudó a determinar el alcance efectivo de los dispositivos y a planificar la infraestructura necesaria para garantizar una cobertura y una calidad de servicio óptimas.

4.2. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO BASADO EN ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL SISTEMA DE MONITOREO

4.2.1. Resultados del módulo de transmisión Tx

En la tabla 3 podremos apreciar la generación y consumo energético del módulo de transmisión durante una semana, dichos datos pueden ser corroborados en el ítem 3.4.1 dimensionamiento del módulo de transmisión. Por otro lado, la figura 36 detalla el gráfico de la tabla 3.

Tabla 3

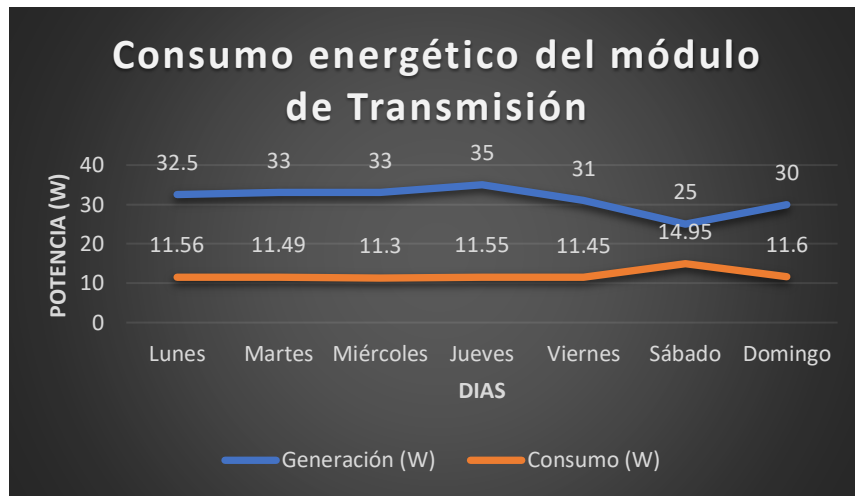
Generación y consumo del módulo de transmisión

Día	Generación (W)	Consumo (W)
Lunes	32.5	11.56
Martes	33	11.49
Miércoles	33	11.3
Jueves	35	11.55
Viernes	31	11.45
Sábado	25	14.95
Domingo	30	11.6

•

Figura 36

Gráfico del consumo energético del módulo de transmisión



Nota: El gráfico muestra la generación (en azul) y consumo (en naranja) del módulo de transmisión durante una semana, siendo superior la generación respecto al consumo.

4.2.2. Resultados del módulo de recepción Rx

En la tabla 4 podremos apreciar la generación y consumo energético del módulo de recepción durante una semana, dichos datos pueden ser corroborados en el ítem 3.4.2 dimensionamiento del módulo de recepción. La figura 37 detalla el gráfico de la tabla 4.

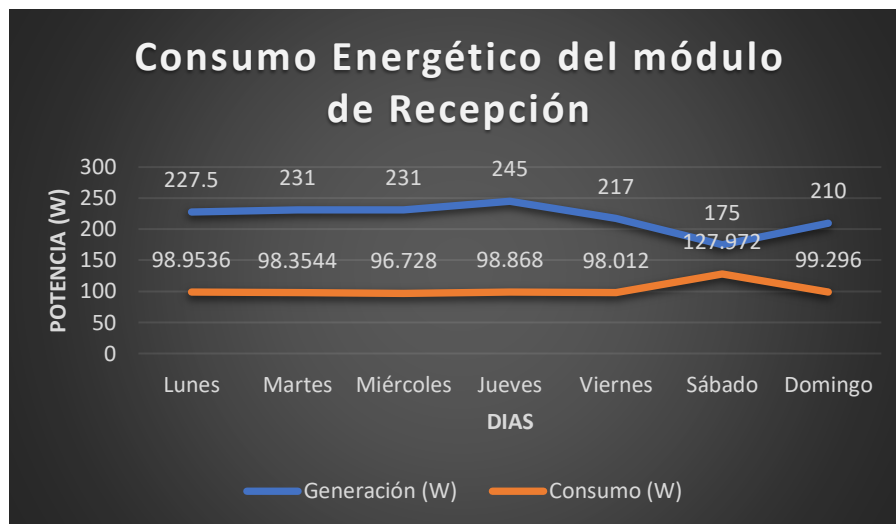
Tabla 4

Generación y consumo del módulo de recepción

Día	Generación (W)	Consumo (W)
Lunes	227.5	98.9536
Martes	231	98.3544
Miércoles	231	96.728
Jueves	245	98.868
Viernes	217	98.012
Sábado	175	127.972
Domingo	210	99.296

Figura 37

Gráfica del consumo energético del módulo de recepción



Nota: El grafico muestra la generación (en azul) y consumo (en naranja) del módulo de recepción durante una semana, siendo superior la generación respecto al consumo.

4.3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL SISTEMA DE MONITOREO

4.3.1. Resultados de las mediciones

Hemos de decir que los resultados obtenidos de la medición en campo son satisfactorios, pues la diferencia es mínima comparada con los datos obtenidos de equipos calibrados. Para la comparativa se utilizaron los datos de medición de nuestro sistema propuesto y los de la estación meteorológica Vantage Pro2 (véase el Anexo 15 y 16 para fichas técnicas y certificado de calibración), bajo las mismas condiciones de tiempo y lugar. Además, en la tabla 5 podemos apreciar el cotejo de nuestro sistema con los datos del equipo calibrado.

Tabla 5

Comparativa del sistema propuesto vs equipos calibrados

Medición	Temperatura Calibrado (°C)	Temperatura Sistema Propuesto (°C)	Humedad Calibrado (%)	Humedad Sistema Propuesto (%)
1	23.7	23.5	61.1	61.1
2	29.5	29.6	56.4	56.8
3	27.3	27.2	57.9	57.9
4	26.0	26.0	58.7	58.3
5	21.6	21.8	64.4	64.4
6	21.6	21.6	57.0	56.9
7	20.6	20.6	57.0	57.3
8	28.7	28.7	60.1	60.1
9	26.0	26.0	61.0	61.0
10	27.1	27.1	63.9	63.9
11	20.2	20.2	55.9	55.9
12	29.7	29.6	56.7	56.4
13	28.3	28.3	58.3	58.3
14	22.1	22.1	64.5	64.5
15	21.8	21.9	64.7	65.1
16	21.8	21.8	64.7	64.5
17	23.0	23.0	62.8	62.8
18	25.2	25.2	56.0	56.0
19	24.3	24.3	55.5	55.4
20	22.9	22.9	64.2	64.2

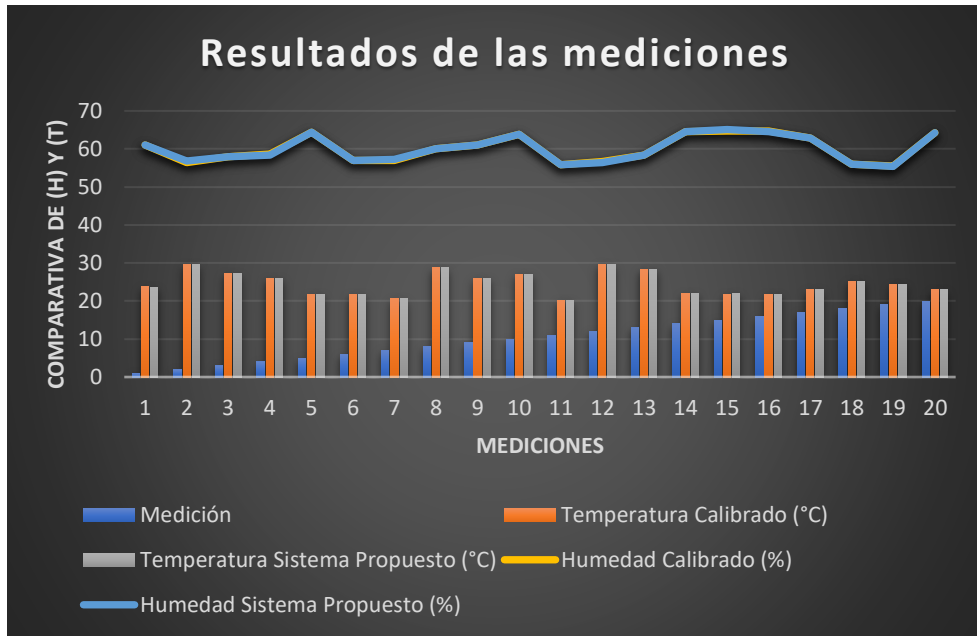
Nota: Para la comparativa se realizó 20 mediciones en nuestro sistema propuesto y el equipo calibrado en las mismas condiciones.

En la figura 38 podemos apreciar un gráfico de columnas agrupadas, obtenido de la tabla 5, dicho gráfico se realizó en Excel y muestra las mediciones de temperatura y humedad y su mínima diferencia respecto de las mediciones del

equipo calibrado. Así se pudo realizar una explicación al agricultor de cuan confiable es nuestro sistema propuesto.

Figura 38

Comparativa de los resultados de las mediciones



4.3.2. Contrastaciones de hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se realizó una comparación de los datos medidos con el sistema de monitoreo propuesto versus un instrumento calibrado a fin de determinar si el sistema basado en LoRaWAN, fog computing y energías renovables permite el monitoreo adecuado de la agricultura intensiva.

4.3.2.1. Definición de hipótesis

- **Hipótesis Nula (H0):** La implementación de un sistema basado en fog computing y energías renovables permite el monitoreo adecuado de la agricultura intensiva.



- **Hipótesis Alternativa (Ha):** La implementación de un sistema basado en fog computing y energías renovables no permite el monitoreo adecuado de la agricultura intensiva.

4.3.2.2. Estadística de prueba

Dado que queremos comprobar si el sistema propuesto es adecuado, podemos comparar las mediciones de temperatura y humedad del equipo calibrado con las mediciones del sistema propuesto para ver si hay diferencias significativas.

4.3.2.3. Nivel de significancia

Establecemos un nivel de significancia común, por ejemplo, $\alpha=0.05$.

4.3.2.4. Pruebas de hipótesis

Utilizaremos una prueba t para muestras pareadas para comparar las mediciones calibradas con las del sistema propuesto.

4.3.2.5. Resultados de la prueba T para muestras pareadas

Temperatura:

Estadístico t: 0.0

Valor p: 1.0

Humedad:

Estadístico t: 3.26e-14

Valor p: 1.0

Donde el estadístico t, indica la diferencia de las medidas entre dos muestras, dividida por el error estándar de la diferencia, en otras palabras,



mide cuantas veces la diferencia entre la medida de las muestras es mayor que el error que podría esperarse por el azar. Cuanto más sea el valor de t , es más probable que las diferencias sean significativas.

Mientras que el valor de p , indica la probabilidad de que los resultados obtenidos hayan ocurrido por el azar. Un valor de p bajo (menor que 0.05) indica que es poco probable las diferencias sean debido al azar, mientras que un valor de p alto (mayor a 0.05) sugiere que las diferencias no son significativas. (Mallma Perez & Salazar Vazquez, 2019)

4.3.2.6. Interpretación de los resultados

- **Temperatura:** El valor p obtenido es 1.0, que es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). esto indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, no encontramos una diferencia significativa entre las mediciones calibradas y las del sistema propuesto para la temperatura.
- **Humedad:** El valor p obtenido es 1.0, que también es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Esto sugiere que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Po lo tanto, no encontramos una diferencia significativa entre las mediciones calibrada y las del sistema propuesto para la humedad.

4.3.2.7. Conclusiones

Con base en los resultados de las pruebas t para muestras pareadas, no encontramos diferencias significativas entre las mediciones calibradas y las del sistema propuesto tanto para la temperatura como para la humedad.



Por lo tanto, los datos respaldan la hipótesis de que "La implementación de un sistema basado en fog computing y energías renovables permitirá el monitoreo adecuado de la agricultura intensiva", ya que el sistema propuesto proporciona mediciones consistentes con las calibradas.



V. CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de monitoreo basado en fog computing y LoRaWAN para la agricultura intensiva mostró un rendimiento adecuado en entornos rurales. Las pruebas de campo revelaron que el sistema pudo transmitir datos eficazmente hasta una distancia de 5 km, con una degradación gradual de la intensidad de la señal desde -73.04 dBm a 0.5 km hasta -108.26 dBm a 5 km. Aunque la señal se debilitó considerablemente más allá de los 3 km (por debajo de -100 dBm), el sistema mantuvo su capacidad de comunicación dentro del rango operativo previsto.
- La implementación del sistema de alimentación energética utilizando energías renovables fue exitosa y superó las expectativas de consumo. Para el módulo de transmisión, la generación diaria promedio fue de 31.36 W, superando significativamente el consumo promedio de 11.98 W. De manera similar, el módulo de recepción generó un promedio diario de 219.5 W, frente a un consumo promedio de 102.6 W. Estos datos demuestran que el sistema fotovoltaico dimensionado proporciona un excedente de energía de más del 160% para el módulo de transmisión y del 114% para el de recepción, garantizando así la autonomía y sostenibilidad del sistema de monitoreo.
- El diseño e implementación del sistema de monitoreo para agricultura intensiva utilizando fog computing y energías renovables demostró ser efectivo y preciso. Las pruebas estadísticas comparativas entre el sistema propuesto y mediciones calibradas arrojaron valores p de 1.0 tanto para temperatura como para humedad, superando ampliamente el nivel de significancia de 0.05. Esto confirma que no hay diferencias significativas entre las mediciones del sistema y las calibradas, validando la confiabilidad del sistema para el monitoreo de cultivos intensivos



VI. RECOMENDACIONES

- Para futuros investigadores que busquen expandir la capacidad del sistema: Dado que el sistema actual ha demostrado ser preciso y confiable hasta 5 km, se recomienda explorar la posibilidad de aumentar el alcance de la red LoRaWAN. Consideren la implementación de repetidores estratégicamente ubicados o el uso de antenas de mayor ganancia para extender la cobertura más allá de los 5 km, manteniendo la intensidad de la señal por encima de los -100 dBm para garantizar una comunicación estable en áreas agrícolas más extensas.
- Para los desarrolladores de sistemas de energía renovable: Aunque el sistema actual genera un excedente de energía significativo, se recomienda investigar la integración de sistemas de almacenamiento de energía más eficientes. Dado que el módulo de transmisión genera un 160% más de energía de la que consume, y el de recepción un 114% más, consideren la implementación de baterías de mayor capacidad o sistemas de almacenamiento alternativos que permitan aprovechar este excedente para períodos de baja generación solar o para alimentar dispositivos adicionales en el futuro.
- Para los ingenieros agrícolas y diseñadores de sistemas IoT: Considerando la precisión demostrada en la medición de temperatura y humedad, se recomienda expandir la gama de sensores integrados en el sistema. Explore la incorporación de sensores adicionales para medir parámetros como la conductividad del suelo, los niveles de CO₂, la radiación solar o la velocidad del viento. Esto permitiría un monitoreo más completo de las condiciones de cultivo, aprovechando la robusta infraestructura de comunicación y energía ya establecida para ofrecer un conjunto de datos más completo a los agricultores.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ali, A. R., Nabulsi, A. Al, Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K. (2019). IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. *Journal of Electronic Science and Technology*, 17(4), 100017. <https://doi.org/10.1016/J.JNLEST.2020.100017>
- Alfonso, D., Sánchez, M., Luis, J., Mustelier, C., Lázaro, A. M., & León Sánchez, A. (2017). *Curso Básico De Dibujo Con Autocad*. <http://www.fundaciongomezpardo.es/>
- Antonio, Á., Guerrero, O., Carolina, D., & Vega, L. (2020). *Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico* [Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4665/ING_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aosong Electronics Co. (2003). *DHT22 Temperature and Humidity Sensor Datasheet*.
- Apéstegui, X., Gómez, N., & Murillo, J. (2021). *Guía para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático utilizando el método Análisis Multicriterio*. 3, 40. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Baena Paz, G. (2017). *libro-2017-metodologia-de-la-investigacion-3ed-guillermina-baena-paz_compress.pdf* (p. 157).
- Baghrous, M., Ezzouhairi, A., & Benamar, N. (2020). Smart Farming System Based on Fog Computing and LoRa Technology. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1076, 217–225. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0947-6_21/COVER
- Bermeo, E., & Silva, A. (2022). *Diseño de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Riego Agrícola en el Centro Poblado Puerto Tamborapa, Distrito Chirinos - San Ignacio*. <http://www.unj.edu.pe>
- Booklet, C. ' s. (2018). *El espectro electromagnético CESAR ' s Booklet*. 1–8.



- http://cesar.esa.int/upload/201807/espectro_electromagnético_booklet.pdf
- Camberos Ortiz, D. C., & Forero Giraldo, H. H. (2020). Desarrollo De Una Red Punto a Punto Con Tecnología Lora Y Servidor Web. *Universidad Cooperativa De Colombia*. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/20540>
- Chandrakea, J., & Selvaraj, P. (2023). Energy-Efficient Smart Farming with IoT-Fog-Based Dual Power Management System. *Journal of Cognitive Human-Computer Interaction*, 5(1), 32–41. <https://doi.org/10.54216/JCHCI.050103>
- Collantes, J. (2015). Efectos de la radiación solar en la piel. *Rev.Ecu.Med.Eugenio Espejo*, 4(5), 3–6.
- Daboín, Á., Verde, G., Torrealba Anzola, F., & Gharbi, T. (2012). Medición de RSSI, LQI y pruebas de cobertura para diferentes escenarios de propagación en una red inalámbrica de sensores. *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, ISSN-e 2244-7393, Vol. 2, N°. 1, 2012, 2(1), 3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3908616&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3908616&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3908616>
- Delgado Fernández, T. (2020). Un acercamiento a fog computing. *Revista SISTEMAS*, 156, 66–73. <https://doi.org/10.29236/sistemas.n156a7>
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture* 2022, Vol. 12, Page 1745, 12(10), 1745. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12101745>
- Diviértete, Y., & Pi, R. (n.d.). *Y diviértete*.
- El, W., & La, W. (n.d.). *DBm*. 1–4.
- Fontal, B. (2005). El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. *Química-Ciencias-ULA*, August, 1–151.
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación*. Primera Ed, 98.
- Gallegos, E. (2010). *Realidad Cotidiana*. 10(June), 6–23.



- Hazra, A., Rana, P., Adhikari, M., & Amgoth, T. (2023). Fog computing for next-generation Internet of Things: Fundamental, state-of-the-art and research challenges. *Computer Science Review*, 48, 100549. <https://doi.org/10.1016/J.COSREV.2023.100549>
- Huang, K., Shu, L., Li, K., Yang, F., Han, G., Wang, X., & Pearson, S. (2020). Photovoltaic agricultural internet of things towards realizing the next generation of smart farming. *IEEE Access*, 8, 76300–76312. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988663>
- Idoje, G., Dagiuklas, T., & Iqbal, M. (2021). Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. *Computers & Electrical Engineering*, 92, 107104. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2021.107104>
- Islam, N., Rashid, M. M., Pasandideh, F., Ray, B., Moore, S., & Kadel, R. (2021). A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 1821, 13(4), 1821. <https://doi.org/10.3390/SU13041821>
- J. C. Whitaker. (2017). File: EM Spectrum Properties reflected . svg. *The RF Transmission Systems Handbook*, February. https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum
- Kiessling, M., & Junge, H. A. (2015). *El Libro para Principiantes en Node.js*. 40. http://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2016/08/node_js_Guia_Principiantes.pdf
- Leongómez, J. D. (2020). Introducción a jamovi. *JD Leongómez*, 1–25.
- Lin, X., Sun, X., Manogaran, G., & Rawal, B. S. (2021). Advanced energy consumption system for smart farm based on reactive energy utilization technologies. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106496. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2020.106496>
- Lopez, E. (2017). *Raspberry Pi: fundamentos y aplicaciones*. <https://elibro.net/es/lc/utpbiblio/titulos/106504>
- Lora, T. (2020). *Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ingeniería en*



- Electricidad y Computación “ Servicio de drones aplicado al Monitoreo de la Agricultura en el Ecuador con previa a la obtención del Título de: Magister en Telecomunicaciones Gisell Esther .*
- LoRa32. (n.d.). *Lora32-915 : Módulo de transmisión bidireccional LORA32 Descripción Especificaciones.*
- Luque, J. (2014). Espectro electromagnético y radioelectrico. *Espectro Electromagnético y Radioelectrico*, 17–31.
<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena3/paginas/espectro.htm>
- M.Ziyaei. (2016). fog Computing بررسی سیستم های رایانش در مه. *Research in Science and Technology*, 1–14.
- Malik, A. W., Rahman, A. U., Qayyum, T., & Ravana, S. D. (2020). Leveraging Fog Computing for Sustainable Smart Farming Using Distributed Simulation. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(4), 3300–3309.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2967405>
- Mallma Perez, I. J., & Salazar Vazquez, L. P. (2019). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. In *Biblioteca Nacional del Perú* (Vol. 1, Issue 1).
- Montoya-Munoz, A. I., & Rendon, O. M. C. (2020). An Approach Based on Fog Computing for Providing Reliability in IoT Data Collection: A Case Study in a Colombian Coffee Smart Farm. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 8904, 10(24), 8904. <https://doi.org/10.3390/APP10248904>
- Mora, H., & Rosas, J. (2019). *Diseño, Desarrollo e Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Control, Monitoreo y Toma de decisiones aplicado en la Agricultura de Precisión basado en internet de las cosas (IoT). – Caso de estudio cultivo de frijol.* [UNIVERSIDAD RICARDO PALMA].
https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2294/TESIS_MORA-ROSAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moreno Román, G. (2023). *Aprendizaje basado en proyectos con Arduino.*
<http://hdl.handle.net/10259/7829>



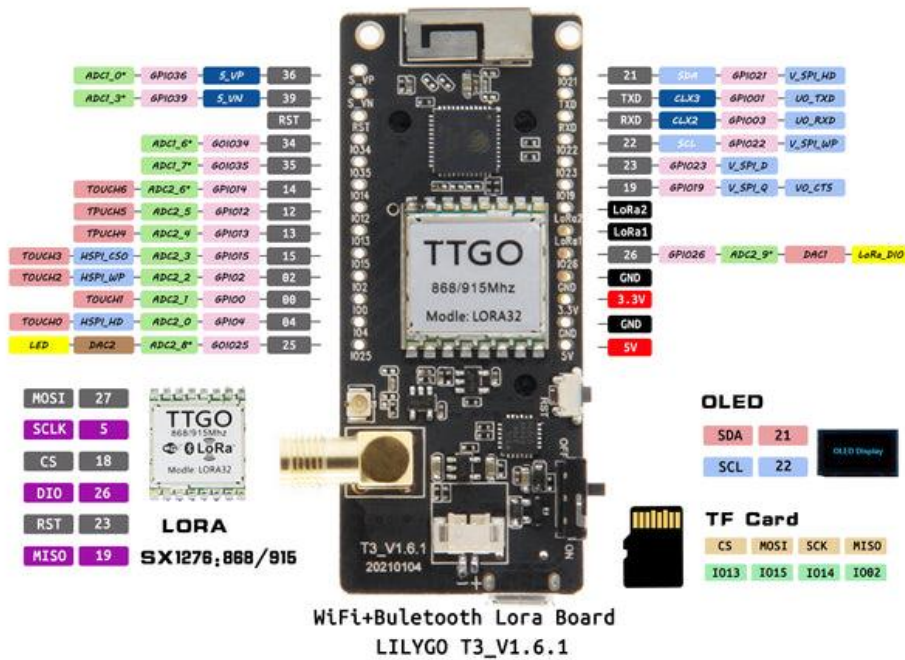
- Moysiadis, V., Sarigiannidis, P., Vitsas, V., & Khelifi, A. (2021). Smart Farming in Europe. *Computer Science Review*, 39, 100345. <https://doi.org/10.1016/J.COSREV.2020.100345>
- Nguyen Gia, T., Qingqing, L., Pena Queralta, J., Zou, Z., Tenhunen, H., & Westerlund, T. (2019). Edge AI in Smart Farming IoT: CNNs at the Edge and Fog Computing with LoRa. *IEEE AFRICON Conference, 2019-Septe.* <https://doi.org/10.1109/AFRICON46755.2019.9134049>
- Ordóñez Molina, R. (2022). *Sistema Domótico con servidor mqtt y controlado por aplicación Web.*
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Radiación ultravioleta. *Radiación Ultravioleta*, 1–2. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>
- Parameters, L. R. (2017). *中国部署 LoRaWAN 最佳频段 LoRaWAN.* 1–4.
- Pereira, F., Caetano, N. S., & Felgueiras, C. (2022). Increasing energy efficiency with a smart farm—An economic evaluation. *Energy Reports*, 8, 454–461. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.01.074>
- Quispe, R., & Camayo, C. (2019). *Diseño e Implementación de un sistema de riego basado en internet de las cosas aplicando tecnologías LPWAN en la irrigación Majes-Siguas I – El Pedregal – Arequipa* [Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/15938/Quispe_Raul_Camayo_Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Qureshi, R., Mehboob, S. H., & Aamir, M. (2021). Sustainable Green Fog Computing for Smart Agriculture. *Wireless Personal Communications*, 121(2), 1379–1390. <https://doi.org/10.1007/S11277-021-09059-X/METRICS>
- Ragazou, K., Garefalakis, A., Zafeiriou, E., & Passas, I. (2022). Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector. *Energies* 2022, Vol. 15, Page 3113, 15(9), 3113. <https://doi.org/10.3390/EN15093113>
- Rs-Components. (2016). Raspberry Pi 3 Model B - Raspberry Pi. *Raspberry Pi 3 Model*



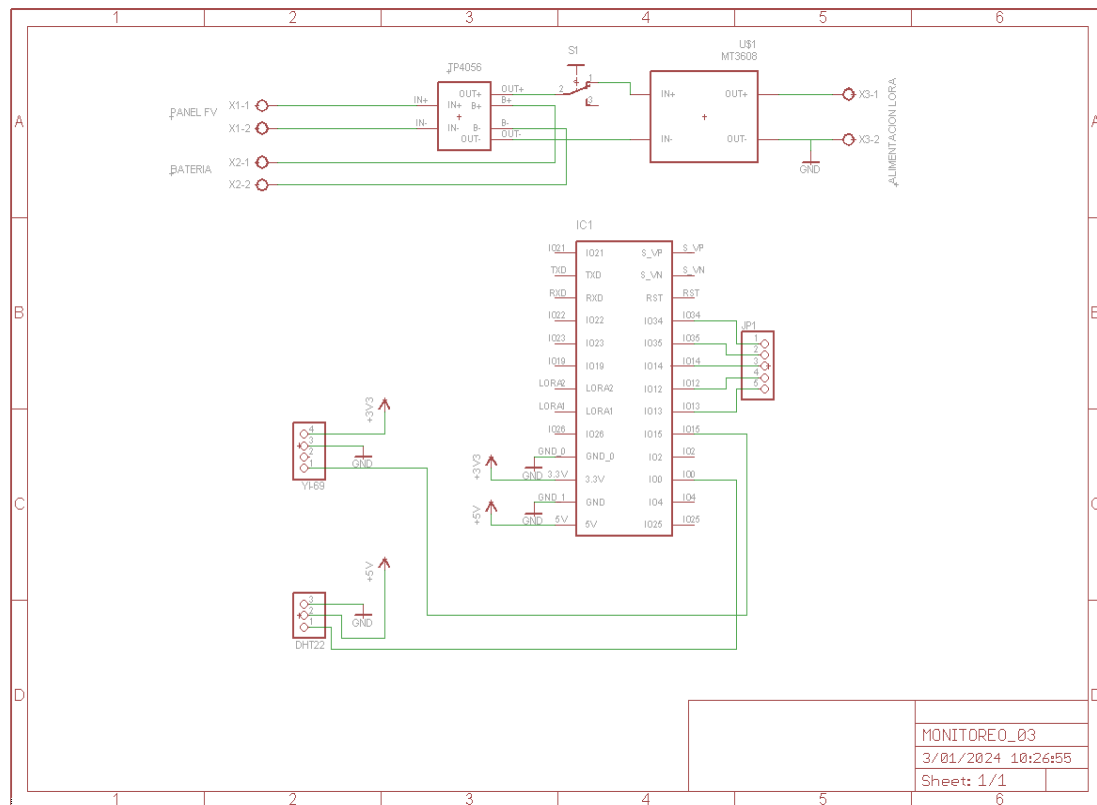
- B*, November. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- Sahoo, J., & Barrett, K. (2021). Internet of Things (IoT) Application Model for Smart Farming. *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON, 2021-March*. <https://doi.org/10.1109/SOUTHEASTCON45413.2021.9401845>
- Steven Galindo-Araque, D., Vargas-Sarmiento, M. C., & Corredor-Gómez, J. P. (2018). *Characterization of Temperature and Humidity Agricultural Soil*. 143–151.
- Terence, S., & Purushothaman, G. (2020). Systematic review of Internet of Things in smart farming. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 31(6), e3958. <https://doi.org/10.1002/ETT.3958>
- Trademark, L. (n.d.). *Guidelines for Customer Use of the*. 1–3.
- Uneweb. (2017). *MariaDB nivel 1*. 56. <https://uneweb.edu.ve/tuto-docs/MariaDB.pdf>
- Universidad del pacífico. (2019). *Guía de Miro*. 46–38. https://edutic.up.edu.pe/docs/guia_miro.pdf
- Vatti, R., Vatti, N., Mahender, K., Lakshmi Vatti, P., & Krishnaveni, B. (2020). Solar energy harvesting for smart farming using nanomaterial and machine learning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981(3), 32009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032009>
- Villaruba, M. (2021). Energía Solar Fotovoltaica Energía Solar Fotovoltaica Célula Solar. *Universitarios Potosinos*, 25.
- YL-69, S. M. S. (n.d.). *Guide for Soil Moisture Sensor YL-69 or HL-69*.

ANEXOS

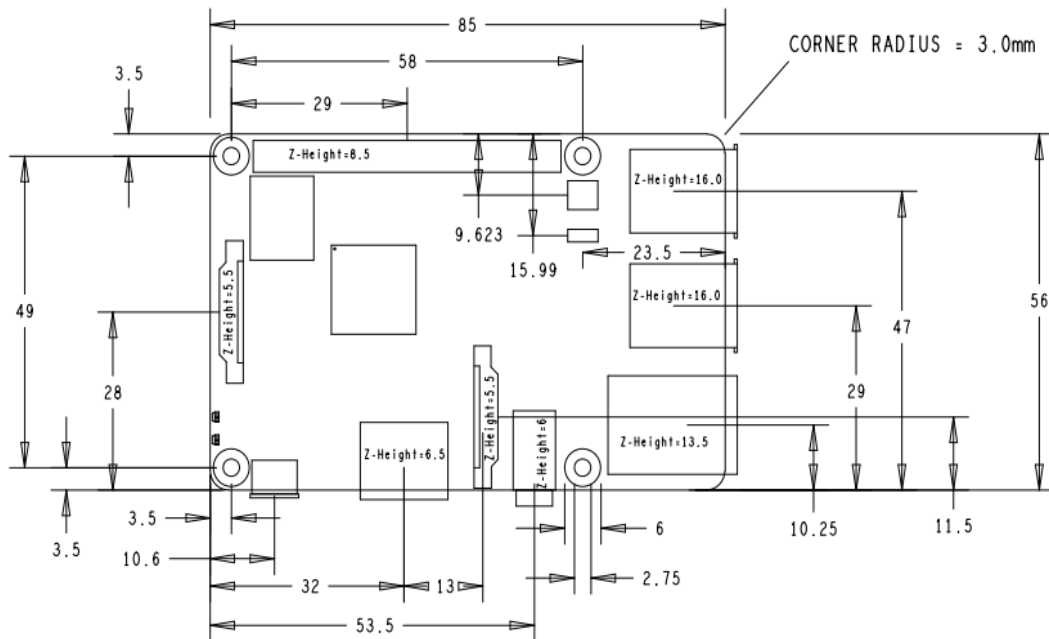
ANEXO 1: Distribución y patillaje del módulo lora32



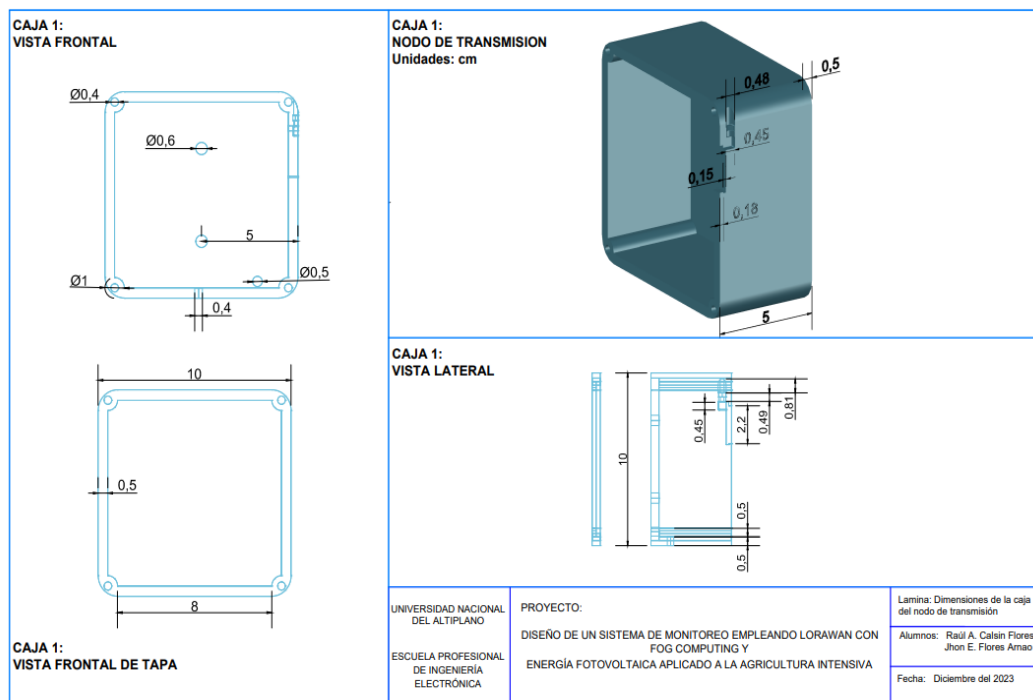
ANEXO 2: Diseño de la pcb en eagle



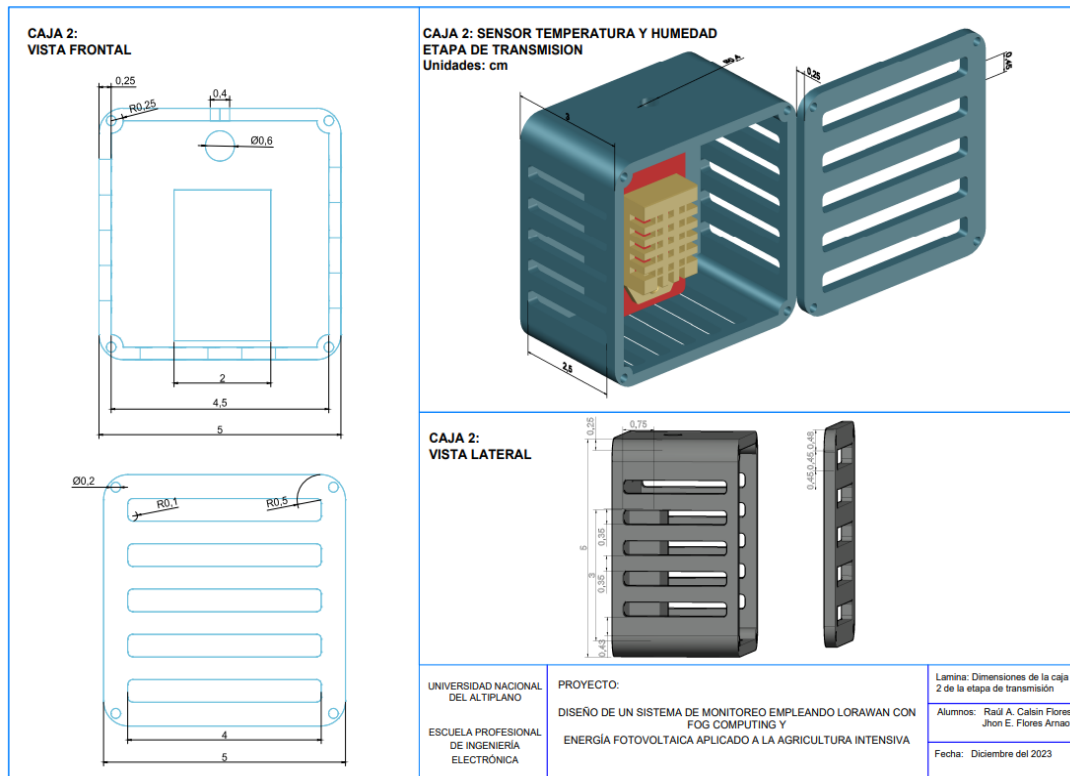
ANEXO 3: Dibujo mecánico del Raspberry pi 3b+



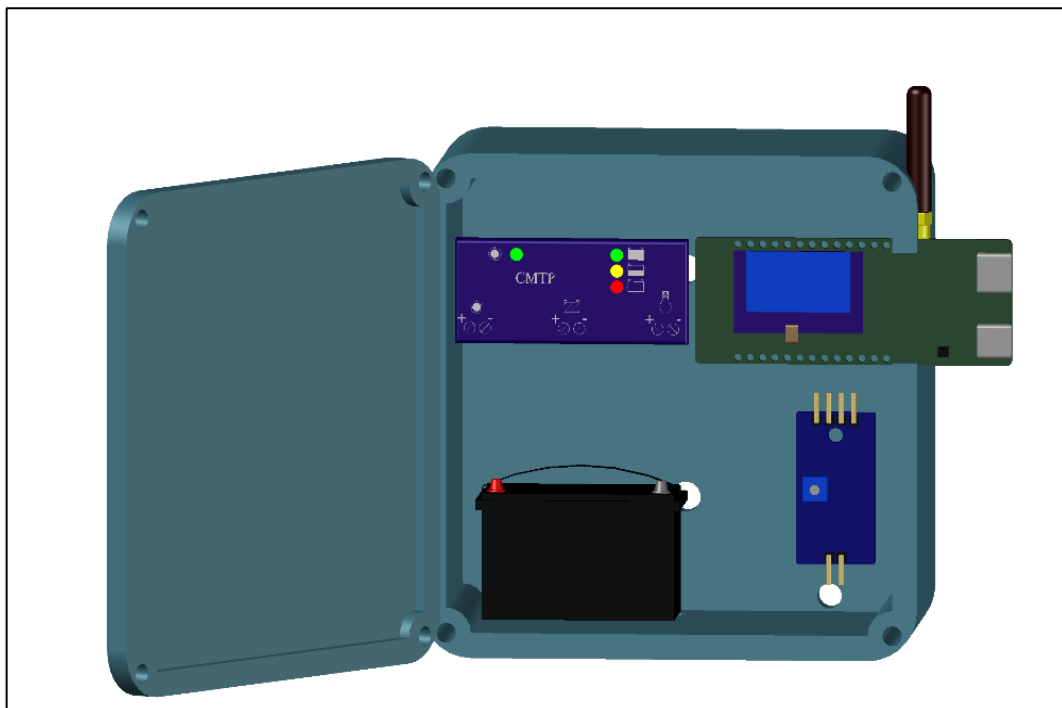
ANEXO 4: Diseño y dimensiones de la caja del nodo de transmisión



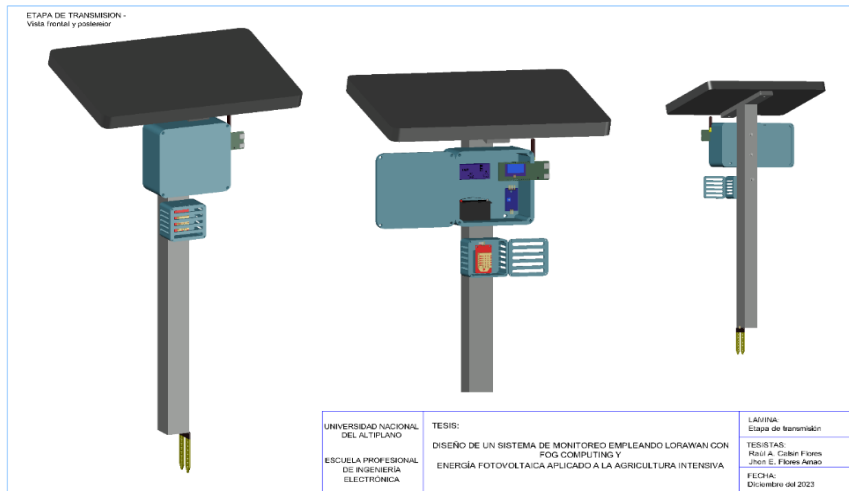
ANEXO 5: Diseño y dimensiones de la caja para el DTH22



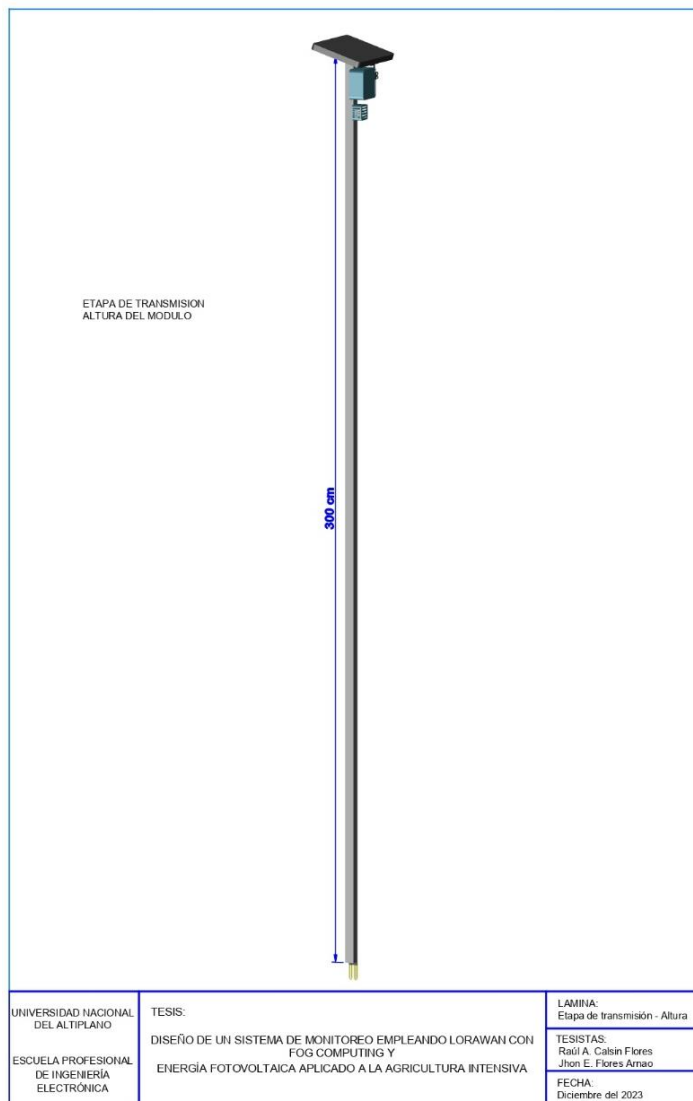
ANEXO 6: Diseño del módulo de transmisión (módulo LoRa32, baterías y controlador de carga), modelado en CAD



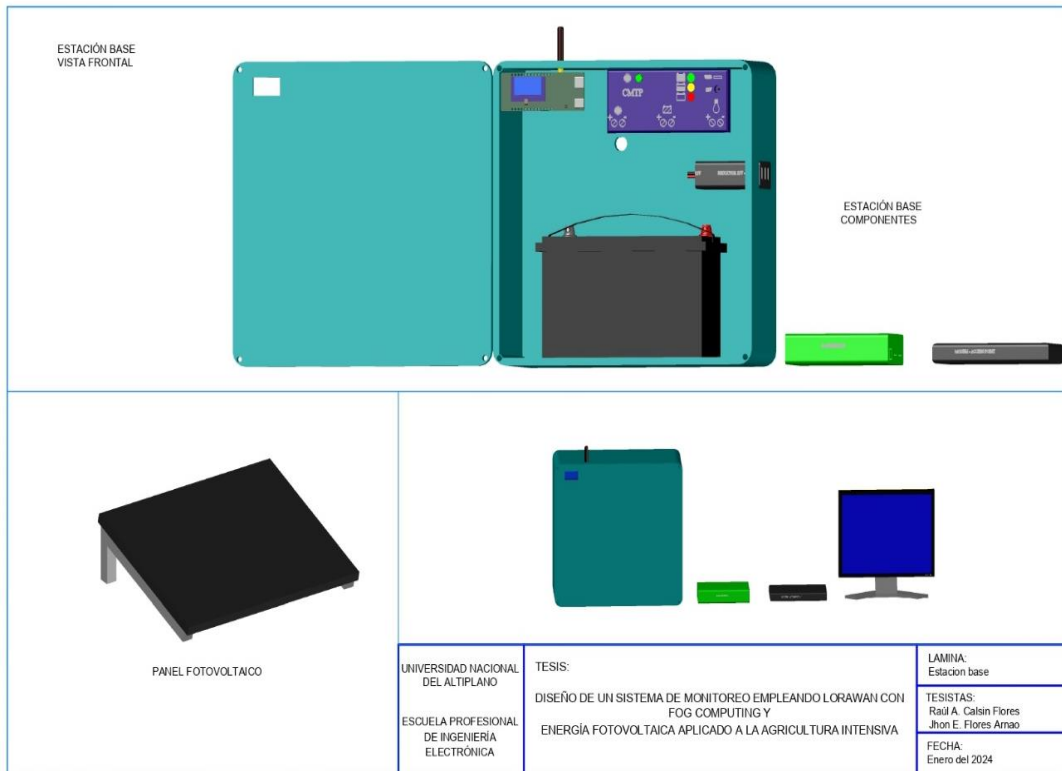
ANEXO 7: Módulo completo de transmisión (vista recomendada)



ANEXO 8: Diseño del módulo de transmisión



ANEXO 9: Vista de componentes del módulo de recepción





ANEXO 10: Especificaciones técnicas de los equipos y materiales utilizados

Especificaciones HP Laptop 15-ef2xxx

Características	Valor
Modelo	HP Laptop 15-ef2xxx
OS	Windows 11 Pro de 64 bits
Procesador	AMD Ryzen 5 5500U
RAM	8GB
Memoria	512GB
Tarjeta de video	AMD Radeon

Especificaciones Raspberry Pi 3b+

Característica	Valor
Modelo	Raspberry Pi 3 Modelo B+
Procesador	Broadcom BCM2837B0 Quad-Core 1.4 GHz
RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM
Conexiones Inalámbricas	Wi-Fi Dual Band b/g/n/ac, Bluetooth 4.2 BLE
Conexión por cable	Gigabit Ethernet
Video	HDMI 1.3 y 1.4 tamaño estándar a 1080p con soporte CEC para control desde el mando del televisor. Salida de vídeo compuesto (PAL/NTSC) tipo jack de 3,5 mm 4 polos.
Audio	Salida de audio estéreo a través del puerto HDMI. Entrada de micrófono a través del puerto GPIO.
Almacenamiento	MicroSD (hasta 2 TB)
Puertos	4x USB 2.0, 1x USB 3.0, 1x Ethernet, 1x HDMI, 1x GPIO, 1x Cámara CSI, 1x Display Serial Interface
Dimensiones	85 mm x 56 mm x 21 mm
Peso	28 gramos



Especificaciones Módulo LoRa32

Características	Valor
Modelo	LYLYGO T3_V1.6.1
MCU	ESP32 con núcleo Xtensa LX7 de doble núcleo a 32 bits
Protocolo	LoRaWAN
Protocolo inalámbrico	Wi-Fi + Bluetooth 4.2
Frecuencia LoRa	433 MHz (América), 868 MHz (Europa), 915 MHz (internacional)
Memoria	4MB de memoria flash SPI, 520 KB de SRAM
Pantalla	OLED de 0.96 pulgadas
Duración de la batería	Hasta 2 años con una batería de 3,7 V 1000 mAh
Software	Compatible con Arduino IDE y Micropython
Expansión	Ranura para tarjeta microSD
Dimensiones	24 * 24 * * 3.5mm (aproximadamente)

Especificaciones DTH22

Característica	Valor
Nombre	DTH22 (También llamado AM2302)
Tipo	Sensor de temperatura y humedad
Salida	Digital
Rango de temperatura	-40° a 80°C (-40 a 176°F)
Precisión de temperatura	±0,5 °C (±0,9 °F)
Rango de humedad	0 a 100%
Precisión de humedad	±2 %RH
Interfaz	Un solo pin digital para su cableado
Alimentación	3,3 a 5,5 V
Tamaño	25 x 15 x 7 mm (1 x 0,6 x 0,3 pulgadas)

Especificaciones Higrómetro YL-69

Características	Valor
Nombre	YL-69
Tipo	Sensor de humedad de suelo
Salida	Analógica y Digital
Rango de humedad	0 a 100%
Precisión de humedad	±5 %RH
Rango de voltaje de alimentación	3,3 a 5,5 V
Corriente de funcionamiento	35 mA
Tamaño	60 x 30 mm



Especificaciones del panel de 7W

Características	Valor
Nombre	Panel de 7W
Tipo	Panel solar monocristalino
Potencia Máxima	7W
Corriente de salida	1,4A
Voltaje de Salida	5V
Eficiencia	17%
Tamaño	270 x 180 x 5 mm
Peso	220 g
Batería	Litio 18650
Modelo de Batería	LG-mj1
Voltaje de Batería	3,7V
Cap. Max. De Batería	3,5 AH

Especificaciones de nuestro panel de 55W

Características	Valor
Marca	Grupo Sumac Inti
Modelo	TPS-105S-55W
Calidad	Alta calidad
Tipo de módulo	Monocristalino
Potencia máxima nominal [Pmax]	55 W
Tolerancia de salida	0 ~ +2 %
Voltaje de Pmp [Vmp]	17,2 V
Corriente en Pmp [Imp]	3,20 A
Voltaje de circuito abierto [Voc]	21,5 V
Corriente de corto circuito [Isc]	3,52 A
Voltaje máximo del sistema	1000V DC
Peso	5 kg
Condiciones de prueba	AM1.5,1000W/m ² , 25°C



Especificaciones controlador de carga CMTP01-DU

Características	Valor
Marca	CMTP
Modelo	CMTP-DU
Tipo	PWM (Modulación por ancho de pulso)
Voltaje de entrada	12 V
Corriente de entrada máxima	20 A
Voltaje de salida	12 V
Corriente de salida máxima	20 A
Protección contra sobretensión	Si
Protección contra sobrecarga	Si
Protección contra cortocircuito	Si
Protección contra polaridad inversa	Si
Temperatura de funcionamiento	-30° C a 60° C
Dimensiones	90 x 60 x 30 mm
Peso	200 g

Especificaciones de la batería de 12V

Características	Valor
Nombre	Batería Neata 12V 7.5Ah
Tipo	Batería plomo ácido sellada regulada por válvula (VRLA)
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal	7,5Ah
Corriente máxima inicial	<2,25 A
Uso en reposo	13,5-13,8 V
Uso cíclico	14,4-14,8 V
Dimensiones	151 x 65 x 97,5 mm
Peso	2,65 kg
Materiales	Plomo, ácido sulfúrico
Aplicaciones	Sistemas UPS, alimentación de emergencia, iluminación solar, etc.



Especificaciones del AP

Característica	Valor
Modelo	Huawei E5573CS-323
Tipo	Modem 4G LTE
Bandas de frecuencia	2G: GSM 850-1900 MHz, 3G: UMTS 900/2100 MHz, 4G: LTE 800-2600 MHz
Velocidad de descarga	LTE Cat.4 hasta 150 Mbps
Velocidad de subida o carga	LTE Cat.4 hasta 50 Mbps
Puertos / Tipo de interfaz	1 x USB 2.0, 1 x LAN
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n
Seguridad	WPA2, WPA, WEP
Dimensiones	9,3 x 5,6 x 1,3 cm
Peso	70 g
Batería	1500 mAh
Duración de la batería	Hasta 6 horas

Especificaciones del mouse

Características	Modelo	Descripción
Tipo de mouse	NX-7015	Inalámbrico
Tipo de sensor	Óptico	Preciso y confiable
Resolución del sensor	160 DPI	Alta precisión para el movimiento del cursor
Cantidad de botones	2	Clic izquierdo y derecho, con rueda en el medio
Interfaz	USB	Conexión simple y segura al ordenador
Radiofrecuencia	2.4 GHz	Alcance inalámbrico de hasta 10 metros
Batería	1 pila AA	Duración de la batería de hasta 12 meses
Diseño	Ergonómico	Cómodo para usar durante tiempos extensos
Compatibilidad	Windows, macOS, Chome OS	Funciona con la mayoría de SO
Características adicionales	Nano receptor USB, interruptor de encendido y apagado	

Especificaciones del teclado

Características	Modelo	Descripción
Tipo de teclado	KM-6200	Membrana
Diseño	Estándar	Tamaño completo con todas las teclas
Distribución del teclado	Español (Latinoamérica)	Teclas dispuestas según la distribución estándar para Latinoamérica
Teclas multimedia	12	Teclas de acceso rápido para controlar la reproducción de música, volumen, e-mail, entre otras
Reposamuñecas	Sí	El reposamuñecas acolchado para una mejor comodidad al usuario
Conectividad	USB	Conexión simple y segura al nuestro Raspberry
Cable	1.5 metros	Suficiente para cualquier configuración
Compatibilidad	Windows, macOS, Chrome OS	Compatible con la mayoría de SO
Características adicionales	Patas retráctiles e indicador de mayúsculas	

Especificaciones del reductor de voltaje

Característica	Valor
Modelo	CC-T9
Salida total	55,5 W
Salida por puerto	2,4 A
Tecnología de carga rápida	Qualcomm Quick Charge 3.0
Compatibilidad	Compatible con dispositivos habilitados para Qualcomm Quick Charge 3.0, así como con dispositivos que no son Quick Charge 3.0
Dimensiones	5,5 x 2,7 x 2,3 cm
Peso	70 g
Materiales	Plástico ABS
Color	Negro
Certificaciones	UL, CE y FCC

ANEXO 11: Instalación de MaríaDB, guía paso a paso.

Instalación del Software

Download MariaDB Community Server:
Lightweight but powerful, innovative but mature, and 100% open source

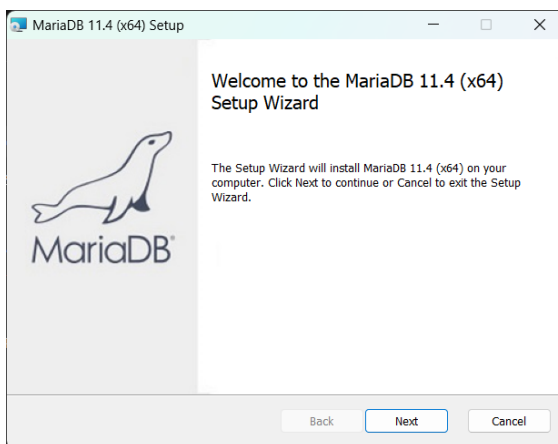
MariaDB Community Server sets the standard for open source relational databases, with Oracle Database compatibility (e.g., sequences and PL/SQL), temporal tables, transparent sharding, instant schema changes, point-in-time rollback and modern SQL (i.e., common table expressions, window functions, JSON functions and more). MariaDB Community Server now includes ColumnStore for real-time analytics at scale. It's the best way to get started, when it's time for production, we recommend MariaDB Enterprise Server (available with subscription).

Version: 11.4.2-GA
OS: MS Windows (64-bit x86)

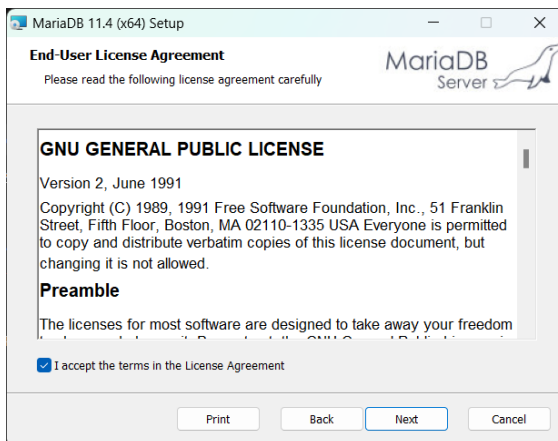
Release notes Show All Files Docker Installation

Community Server <https://dlm.mariadb.com/3829198/MariaDB/mariadb-11.4.2/winx64-packages/mariadb-11.4.2-winx64.msi> 74.19 MB **Download**

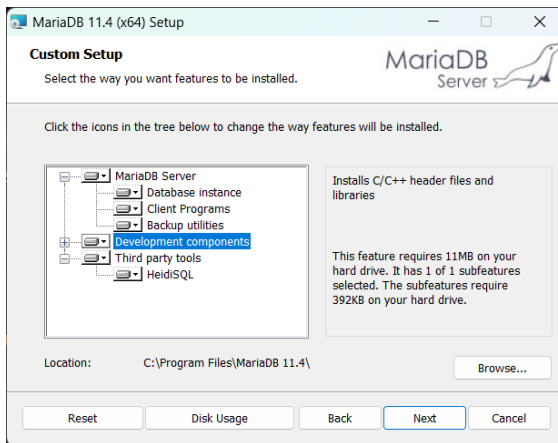
Ejecutamos el instalador



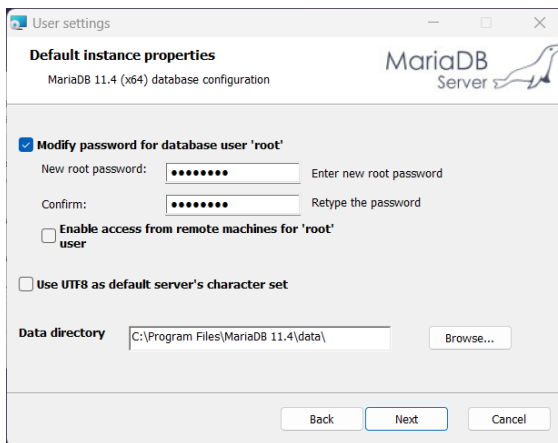
Siguiente y empezamos la configuración fase 1



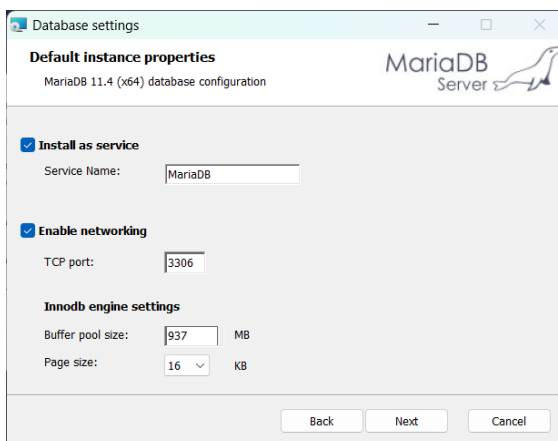
Siguiente - fase 2



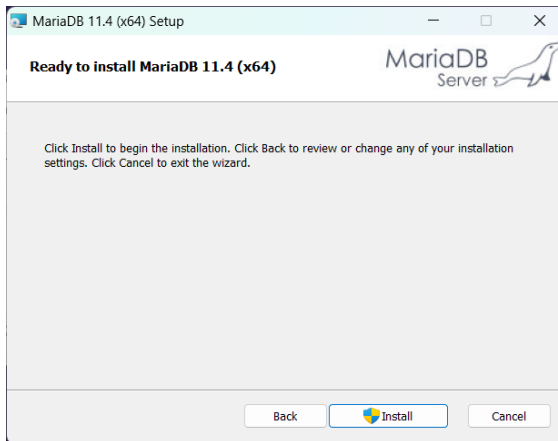
Siguiente – ingresamos el root password - fase 3



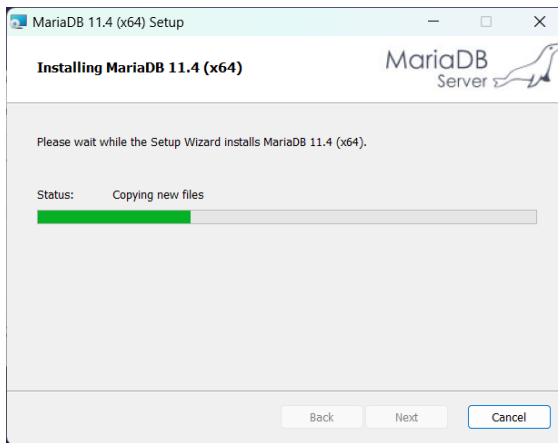
Siguiente – configuramos el puerto - fase 4



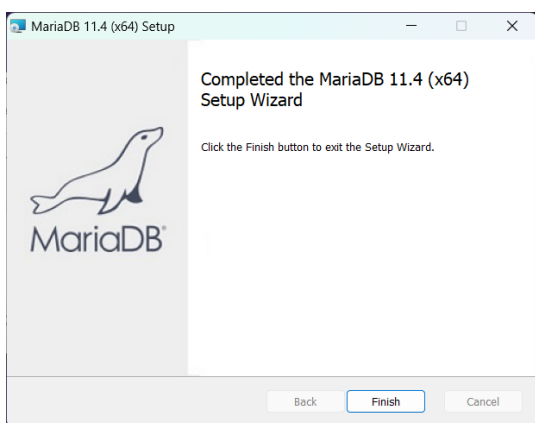
Iniciamos el proceso de instalación – fase 5



Instalando MariaDB – fase 6



Instalación finalizada



ANEXO 12: Instalación de Mosquito

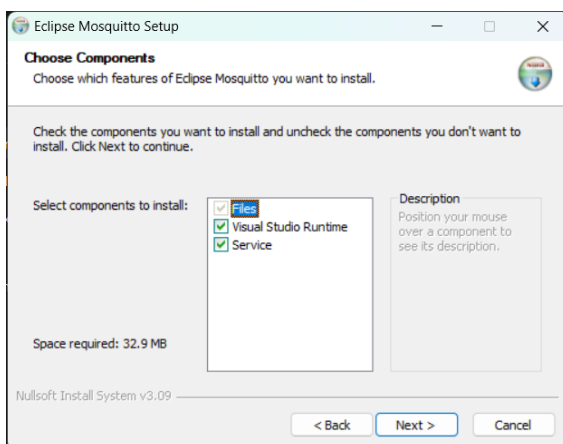
Descarga del software

The screenshot shows the Mosquito project website. At the top, there are logos for mosquitto, ECLIPSE FOUNDATION, and cedalo. Navigation links for Home, Blog, Download, and Documentation are visible. The main heading is "Download". Under the "Source" section, two links are listed: "mosquitto-2.0.18.tar.gz (GPG signature)" and "Git source code repository (github.com)". A red box highlights the second link, with a red arrow pointing to it from the right. Below this, a note states: "Older downloads are available at <https://mosquitto.org/files/>". The "Binary Installation" section follows, with a note that binary packages are supported by the Mosquitto project. Under "Windows", two installation executables are listed: "mosquitto-2.0.18a-install-windows-x64.exe" and "mosquitto-2.0.18a-install-windows-x32.exe".

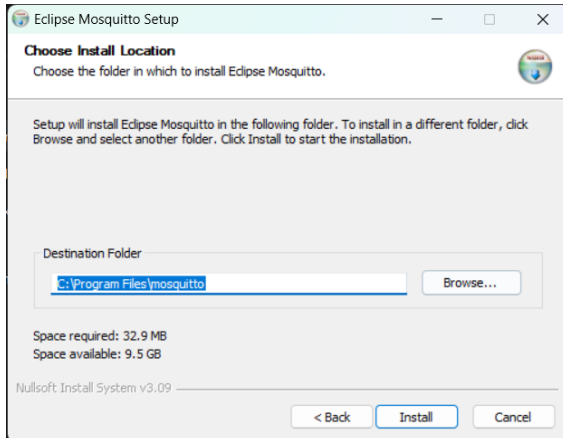
Ejecutamos el instalador de Mosquitto



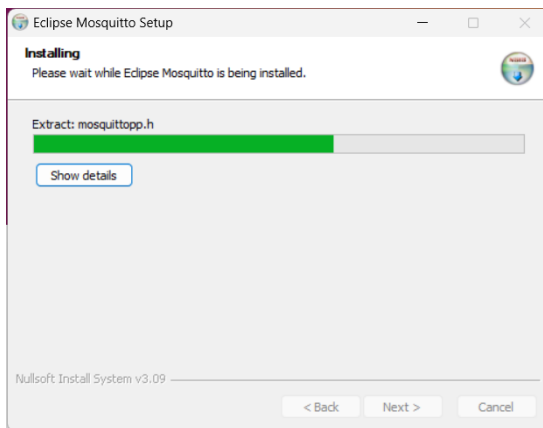
Siguiente y configuración - Fase 1



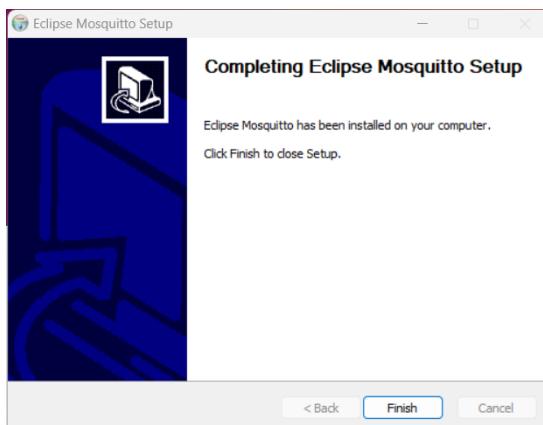
Iniciamos el proceso de instalación - Fase 2



Instalando Mosquito - Fase 3

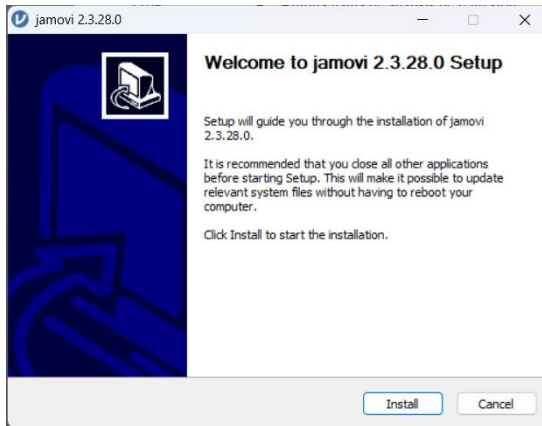


Instalación finalizada

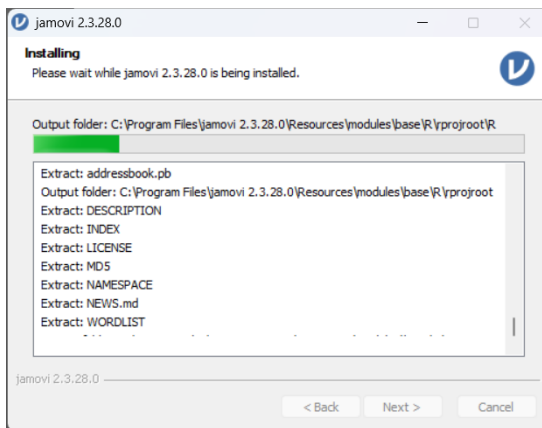


ANEXO 13: Instalación de Jamovi

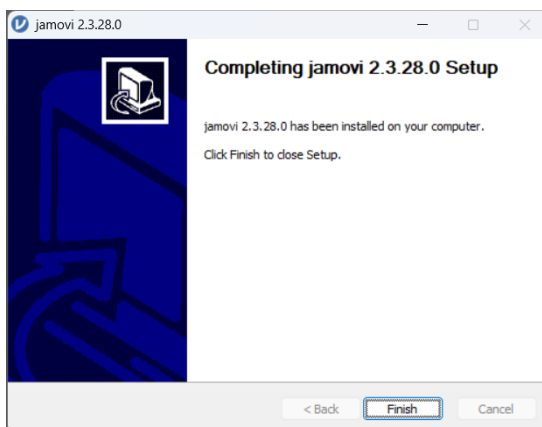
Inicio e instalación de Jamovi



Instalando los complementos necesarios



Ventana de finalización de la instalación



ANEXO 14: Panel Fotográfico del diseño e instalación de los módulos Rx y Tx.

DTH22



Nota: La fotografía muestra el montaje del sensor DTH22 en su caja de PVC.

Cajas del módulo Tx



Nota: Se muestra la caja del módulo de Tx (vacío) junto a la caja del sensor DTH22.

Módulo de transmisión Tx



Nota: Se muestra las cajas/gabinetes para el sensor DTH22 y módulo de transmisión (Tx) junto al panel fotovoltaico.

Realizando conexiones



Pruebas de paneles



Nota: Realizando pruebas de los paneles fotovoltaicos y los módulos de transmisión (Tx) y recepción (Rx).

Módulo de transmisión



Nota: Fotografía muestra el módulo de transmisión completo, ubicado en el lugar donde será instalado (viñedo en Majes, Arequipa)

Módulo de transmisión



Nota: Fotografía muestra el módulo de transmisión completo, ubicado en el lugar donde será instalado (viñedo de Majes, Arequipa)

Vista de los componentes del módulo de Tx



Verificación del módulo Tx



Nota: Se muestra la verificación del funcionamiento de componentes (encendido) antes de instalarlo en el suelo.

Instalación del módulo de Tx



Sensor de humedad del suelo



Módulo de Tx instalado y operativo



Vista de la parte superior



Nota: En la fotografía se muestra nuestro modulo ya instalado y también la altura del panel fotovoltaico y sensores respecto a la altura del cultivo, siendo superior para que no sean afectados por el follaje del cultivo.

Módulo de Tx respecto a otro cultivo



Nota: Se muestra la comparación de la altura de nuestro modulo respecto a cultivo de maíz (pudiendo utilizarse en este tipo de cultivos también).

Módulo de recepción Rx



Nota: En la fotografía se muestra el módulo de recepción (Rx), realizando pruebas de funcionamiento.

Módulo Rx



Nota: En la fotografía se muestra el módulo de recepción (Rx), batería de 12v, controlador de carga y reductor de voltaje.

Módulo Rx



Módulo completo de recepción

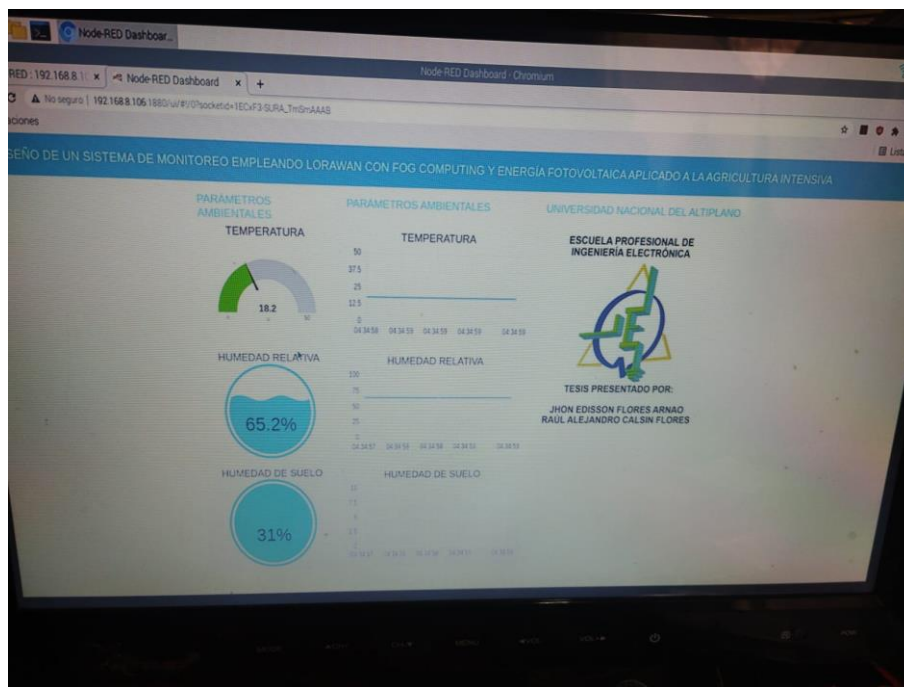


Nota: Estación base ubicada sobre la vivienda del agricultor, también denominado estación base.

Visualización

de

datos



Nota: Se puede apreciar la interface donde se visualizan los datos en tiempo real, enviados por los sensores del módulo de transmisión.

ANEXO 15: Manual técnico de la estación meteorológica David Pro2

Mise à Jour CÔNE POUR COLLECTE DE PLUIE AMÉLIORÉ

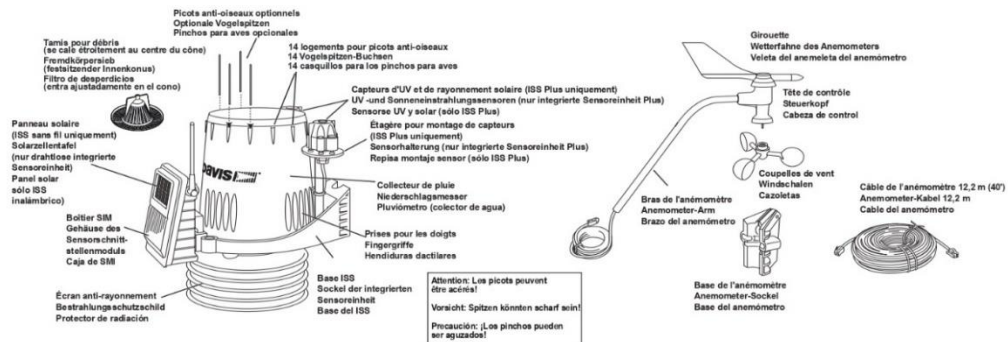
Votre nouvelle station météo incorpore notre cône pour collecte de pluie amélioré, avec tamis pour débris. Il s'insère sur le même socle que notre cône pour collecte de pluie précédent. Son installation est identique, sauf pour les picots anti-oiseaux. Un paquet de 16 picots anti-oiseaux de 3,5 pouces (9 cm) est inclus avec le matériel. Pour utiliser les picots anti-oiseaux, insérez un picot dans chacun des logements autour du bord du cône. Ces logements sont évasés: Poussés fermement ou frappés légèrement au marteau pour un meilleur maintien. Si le nichage d'oiseaux est un problème, vous pouvez aussi ajouter un picot dans le trou du haut du tamis pour débris. Notez que l'utilisation d'un picot anti-oiseaux dans ce tamis pour débris peut faire qu'il soit plus facilement soulevé ou délogé par des fortes rafales de vent. Si vous choisissez de ne pas installer ces picots anti-oiseaux, nous vous recommandons de conserver le paquet de picots pour une éventuelle utilisation ultérieure.

Aktualisierung VERBESSERTER REGENKOLLEKTORKONUS

Ihre neue Wetterstation enthält unseren verbesserten Regenkollektorkonus und Fremdkörpersieb. Der neue Konus enthält Fingergriffe für leichteres Drehen und optionale Vogelspitzen für die Vogelabwehr. Er ist auf der gleichen Basis wie der bisherige Regenkollektorkonus aufgebaut. Die Installation ist die gleiche ausgenommen die Vogelspitzen. Ein paket mit 9 cm Vogelspitzen ist der Hardware beigefügt. Um die Vogelspitzen zu benutzen führen Sie eine Spitze in jede Buchse an Rand des Konus ein. Die Buchsen sind konisch: Schieben Sie die Spitzen fest hinein oder klopfen Sie sie mit einem Hammer fest. Falls das Nesten ein Problem ist, können Sie auch eine Spitze in das Loch oben auf dem Fremdkörpersieb anbringen. Beachten Sie, wenn Sie eine Vogelspitze im Fremdkörpersieb verwenden, wird das Sieb von einem Windstoß leicht um- oder weggeblasen. Wenn Sie die Vogelspitzen nicht installieren, empfehlen wir das Paket mit den Vogelspitzen für zukünftige Anwendung aufzubewahren.

Actualización CONO COLECTOR DE LLUVIA MEJORADO

Su nueva estación meteorológica incluye nuestro conjunto mejorado de colector de lluvia y filtro de desperdicios. El nuevo cono cuenta con hendiduras dactilares para un giro más fácil, y pinchos opcionales para ahuyentar aves. Se adapta a la misma base del cono colector de lluvia anterior. La instalación es la misma, con la excepción de los pinchos para aves. Se incluye con los accesorios de montaje un paquete de 16 pinchos para aves de 3.5 pulgadas (9 cm). Para utilizar los pinchos para aves, inserte un pincho en cada casquillo alrededor del borde del cono. Los casquillos son ahuecados: empuje firmemente o dé unos golpecitos suaves con un martillo para asegurar un ajuste más firme. Si el anidado de aves es un problema, puede también colocar un pincho en el extremo superior del filtro de desperdicios. Tenga en cuenta que el uso de un pincho para aves en el filtro de desperdicios puede hacer más probable que el filtro sea desplazado o derribado por ráfagas de viento fuertes. Si elige no instalar los pinchos para aves, le recomendamos que conserve el paquete de pinchos para un posible uso en el futuro.



ANÉMOMÈTRE AMÉLIORÉ

L'ensemble intégré de capteurs Vantage Pro2 incorpore un anémomètre amélioré. Désormais sa plage de fonctionnement en vitesses de vent est étendue, depuis moins de 1 à plus de 220 miles par heure (soit: 1 - 173 kts; 0,5 - 89 m/s; 1 - 322 km/h). Il présente une meilleure durabilité sur site, avec toujours la même précision de données qui a fait la réputation des stations de Davis. La tête de contrôle de ce nouvel anémomètre ne ressemble pas à l'ancienne. Pour éviter toute confusion, veuillez vous référer à ces instructions et illustrations, plutôt qu'à celles du manuel d'installation d'origine de votre Vantage Pro2 ISS.

Page 3: Composants
Le nouveau carter a une nouvelle forme. Voir l'illustration des composants d'ISS sur la première page.

Page 5:
Dans la liste de pièces, ignorez le 'rebord anti-gouttes'. Il est désormais moulé dans le carter.

Page 7:
Référez-vous à cette illustration quand vous fixez les coupelles.

VERBESSERTEN ANEMOMETER

Ihre Vantage Pro2 Integrated Sensor Suite enthält ein verbessertes Anemometer. Dieses hat nun einen größeren Windgeschwindigkeits-Betriebsbereich von unter 1 mph bis über 220 mph (1 - 173 km; 0,5 - 89 m/s; 1 - 322 km/h). Es bietet eine noch höhere Dauerhaftigkeit im Feld und liefert die gleichen genauen Daten, für die die Wetterstationen von Davis bekannt sind. Der neue Anemometer-Steuerkopf unterscheidet sich vom bisherigen. Um Unklarheiten zu vermeiden, beachten Sie bitte diese Anleitungen und Abbildungen anstelle denen im Installationshandbuch des Vantage Pro2 ISS.

Seite 3: Komponenten
Das neue Gehäuse hat eine andere Form. Siehe Abbildung der ISS-Komponenten auf der ersten Seite.

Seite 5:
Ignorieren Sie den 'Tropfring' in der Teilleiste. Dieser ist nun Teil des Gehäuses.

Seite 7:
Beachten Sie diese Abbildung bei der Anbringung der Windschalen.

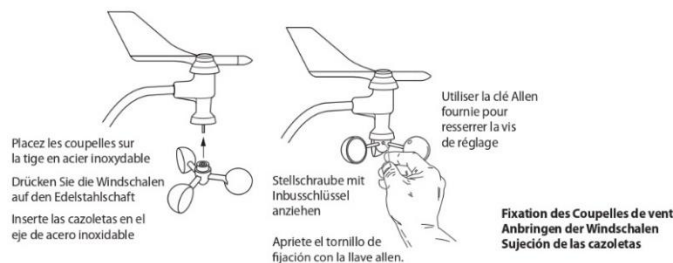
ANEMÓMETRO MEJORADO

Su Conjunto de sensores integrados Vantage Pro2 incluye un anemómetro mejorado. Ahora tiene un mayor rango de velocidades de viento de operación, desde menos de 1 mph hasta más de 220 mph (1 - 173 nudos; 0,5 - 89 m/s; 1 - 322 kph). Proporcionará una durabilidad aún mayor en el campo, y los mismos datos exactos por los que son conocidas las estaciones meteorológicas de Davis. El cabezal de control del nuevo anemómetro tiene un aspecto diferente del antiguo. Para evitar confusiones, consulte estas instrucciones e ilustraciones en lugar de las de su Manual de Instalación del Conjunto de sensores integrados (ISS) Vantage Pro2.

Página 3: Componentes
La nueva carcasa tiene una forma distinta. Consulte la ilustración de los componentes de la ISS en la primera página.

Página 5:
En la lista de piezas, ignore el 'anillo de goteo'. Ahora está moldeado en la carcasa.

Página 7:
Consulte esta ilustración cuando instale las cazoletas.



DAVIS
Davis Instruments

3465 Diablo Avenue, Hayward, CA 94545-2778 U.S.A.
510-732-9229 • Fax 510-732-9188
E-mail: info@davisnet.com • www.davisnet.com

Document No. 07395.276 Rev B May 14, 2014
©2014 Davis Instruments Corp. All rights reserved.
Vantage Pro is a registered trademark of Davis Instruments Corp. Hayward, CA.

Tous droits réservés. Vantage Pro est une marque commerciale déposée de Davis Instruments Corp. Hayward, CA. Alle Rechte vorbehalten. Vantage Pro ist eine eingetragene Marke von Davis Instruments Corp. Hayward, CA. Todos los derechos reservados. Vantage Pro es una marca registrada de Davis Instruments Corp. Hayward, CA.



ANEXO 16: Certificado de calibración de la estación meteorológica David Pro2



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Certificate of Calibration N° CLC-0844-113-24

Cliente: <i>Customer</i>	SGS DEL PERÚ SAC	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)
Dirección: <i>Address</i>	AV ELMER FAUCETT 3348 CALLAO 07036	
Teléfono: <i>Phone Number</i>	01 517-1900	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
Persona de Contacto: <i>Contact Person</i>	Debora Bermudez	
Objeto: <i>Item</i>	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	



Escanee este QR y encuentre:
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Histórico de Intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

Marca: <i>Manufacturer</i>	DAVIS	<i>In order to ensure the quality of their measurements, the user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i>
Modelo: <i>Model</i>	VANTAGE PRO 2	
No. de Serie: <i>Serial Number</i>	BF220822021	
Identificación: <i>Identification</i>	22193	
Ubicación del Objeto⁽¹⁾: <i>Item Location</i>	CALLAO	
Fecha de Recepción: <i>Date of Receipt</i>	2024-06-06	
Fecha de Calibración: <i>Calibration Date</i>	2024-06-06	
Próxima Fecha de Calibración: <i>Due Date</i>	-	
Técnico Responsable: <i>Responsible Technician</i>	Alex Bajaña	

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión: Ing. Savino Pineda / 2024-06-11
Person authorizing / Date of Issue

Gerente Técnico

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=090623155159, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2024-06-11 11:41:27



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0844-113-24

Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom-Calibración. Los resultados contenidos en este certificado son válidos únicamente para el ítem aquí descrito, en el momento y bajo las condiciones en que se realizó la calibración.

La versión en inglés del certificado de calibración no es una traducción vinculante. Si algún asunto da lugar a controversia, se debe utilizar el texto original en español.

This certificate may not be reproduced other than in full except with the written approval of the Elicrom-Calibration laboratory. The results contained in this certificate relate only to the item calibrated, at the time and under the conditions in which the calibration was performed.

The English version of the calibration certificate is not a binding translation. If any matter gives rise to controversy, the Spanish original text must be used.

Incertidumbre de medida

Measurement Uncertainty

La incertidumbre expandida de medición reportada (intervalo de confianza), se evaluó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k, que para una distribución t (de Student) corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95,45%.

The reported expanded uncertainty of the measurement (confidence interval), was evaluated based on the document JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", and is stated as the combined standard uncertainty of the measurement multiplied by the coverage factor k, which for a t (Student's) distribution corresponds to a confidence level of approximately 95.45%.

Equipamiento Utilizado

Equipment Used

Identificación ID Number	Nombre Name	Marca Manufacturer	Modelo Model	No. de Serie Serial Number	Vence Cal. Due Date	Nº Certificado Nº Certificate
EL. PT.1376	ESCÁNER DE TEMPERATURA DE PRECISIÓN	FLUKE	1586A SUPER-DAQ/1586-2588 DAQ-STAQ	41690005/41970306	2025-02-06	OTG-C-0621-044-24
EL. PC.033	TERMÓHIGROMETRO PATRÓN	VAISALA	MI70/HMP76B	M1530040/M2130075	2024-10-19	2022007380
EL. PT.696	CÁMARA DE ESTABILIDAD	KAMBIC	KK-105 CHLT	17075513	2024-11-15	CGC-6690-018-23
EL. ET.132.01	VACUÓMETRO (BOMBA DE VACÍO)	USG	BOURDON TIPO A	NO ESPECIFICA	2025-01-08	CGC-0003-036-24
EL. PC.090	BARÓMETRO PATRÓN	DELTA OHM	HD9408.3B	22010878	2026-04-08	RP1454AM
EL. PT.1366	BARÓMETRO DIGITAL	CONTROL COMPANY	6530	192445056	2024-10-19	CGC-6015-019-23
EL. PC.060	ANEMÓMETRO PATRÓN	TSI ALNOR	AVM440	AVM441813009	2024-10-07	1-E0U7Y-20-1
EL. PT.696	GONIOMETRO	MITUTOYO	187-901	132389	2024-07-19	CC-3853-018-23
EL. ET.050	PIE DE REY	MITUTOYO	500 193	1091426	2024-07-19	CC-3853-016-23
EL. ET.063	BALANZA ANALÍTICA	SARTORIUS	CPA 225D	28811977	2025-06-04	CGC-3383-011-24
EL. PT.937	MEDIDOR DE UV	GENUV	GUCC-	S7.1-065	2024-07-20	CC-3856-012-23

Pbx: (593-4) 2282007
www.elicrom.com

Emitted por: ELICROM CIA. LTDA.
Ciudadela Guayaquil Mz. 21, Calle Tera, solar 10, Frente al Mall del Sol
Guayaquil - Ecuador

Este informe contiene 16 página(s).
Página 2 de 16



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017**
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0844-113-24

Identificación <i>ID Number</i>	Nombre <i>Name</i>	Marca <i>Manufacturer</i>	Modelo <i>Model</i>	No. de Serie <i>Serial Number</i>	Vence Cal. <i>Due Date</i>	N° Certificado <i>N° Certificate</i>
			T10S7.1-LA9			
EL. PT.365	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	190601459	2025-03-23	CGC-1299-002-24
EL. PT.771	TERMOHIGRÓMETRO	JUMO	LOGOSCREEN 600	04776450	2024-08-01	CGC-4526-002-23
EL. PT.710	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	170500256	2024-06-24	CC-3216-020-23



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0844-113-24

Calibración

Calibration

Unidad de Medida (Temperatura): <i>Unit of Measurement (Temperature)</i>	°C				
Intervalo de Medición (Temperatura)⁽²⁾: <i>Measurement Range (Temperature)</i>	(-40 a 65) °C				
Resolución (Temperatura): <i>Resolution (Temperature)</i>	0,1 °C				
Unidad de Medida (Humedad): <i>Unit of Measurement (Humidity)</i>	%hr				
Intervalo de Medición (Humedad)⁽²⁾: <i>Measurement Range (Humidity)</i>	(1 a 100) %hr				
Resolución (Humedad): <i>Resolution (Humidity)</i>	1 %hr				
Lugar de Calibración: <i>Calibration Site</i>	Lab. Temperatura Y Humedad (Elicrom)				
Método de Calibración: <i>Calibration Method</i>	Comparación Directa Con Termohigrómetro Patrón Y Cámara De Estabilidad				
Documento de Referencia: <i>Reference Document</i>	CEM TH-007:2008 (Edición Digital 1)				
Procedimiento de Calibración: <i>Calibration Procedure</i>	PEC.EL.04				
Condiciones Ambientales: <i>Environmental Conditions</i>	<table> <tr> <td>Temperatura del Aire <i>Air Temperature</i></td> <td>20,8 °C ± 0,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Humedad Relativa del Aire <i>Air Relative Humidity</i></td> <td>54,7 %hr ± 0,8 %hr</td> </tr> </table>	Temperatura del Aire <i>Air Temperature</i>	20,8 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa del Aire <i>Air Relative Humidity</i>	54,7 %hr ± 0,8 %hr
Temperatura del Aire <i>Air Temperature</i>	20,8 °C ± 0,1 °C				
Humedad Relativa del Aire <i>Air Relative Humidity</i>	54,7 %hr ± 0,8 %hr				

Observaciones

Observations

- ⁽¹⁾ Información proporcionada por el cliente. Elicrom no es responsable de dicha información.
⁽²⁾ Información tomada de las especificaciones del objeto de calibración (proporcionada por el fabricante).
⁽¹⁾ Information provided by the customer. Elicrom is not responsible for such information.
⁽²⁾ Information taken from the specifications of the calibration item (provided by the manufacturer).

LAS CALIBRACIONES MARCADAS CON (*) NO ESTÁN INCLUIDAS EN EL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DE A2LA.



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0844-113-24

Declaración de Trazabilidad Metrológica

Statement of Metrological Traceability

Los resultados de calibración contenidos en este certificado son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del NIST (National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos) o de otros Institutos Nacionales de Metrología (INMs).

The calibration results contained in this certificate are traceable to the International System of Units (SI) through an unbroken chain of calibrations through NIST (National Institute of Standards and Technology - United States) or other National Metrology Institutes (NIMs).

Resultados de la Calibración en Temperatura

Temperature Calibration Results

Valor de Prueba <i>Test Value</i>	Indicación ítem <i>Item Reading</i>	Indicación Patrón <i>Standard Reading</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>	Incertidumbre (U) <i>Uncertainty (U)</i>	Factor de Cobertura (k) <i>Coverage Factor</i>	Humedad Relativa <i>Relative Humidity</i>
°C	°C	°C	°C	°C		%hr
-10 (*)	-10,0	-10,01	0,01	0,31	2,00	61,34
0	-0,1	0,00	-0,10	0,26	2,00	62,99
20	20,0	20,00	0,00	0,16	2,00	50,04
40	40,0	40,01	-0,01	0,22	2,00	50,02

El valor de humedad relativa reportado corresponde al de la cámara climática durante la calibración del ítem.

The relative humidity value reported corresponds to that of the climatic chamber during the calibration of the item.

Resultados de la Calibración en Humedad Relativa

Relative Humidity Calibration Results

Valor de Prueba <i>Test Value</i>	Indicación ítem <i>Item Reading</i>	Indicación Patrón <i>Standard Reading</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>	Incertidumbre (U) <i>Uncertainty (U)</i>	Factor de Cobertura (k) <i>Coverage Factor</i>	Temperatura <i>Temperature</i>
%hr	%hr	%hr	%hr	%hr		°C
15	19	15,00	4,00	0,99	2,00	38,65
25	29	25,01	3,99	0,99	2,00	28,01
45	46	45,0	1,0	1,0	2,00	23,00
70	69	70,0	-1,0	1,0	2,00	23,00

El valor de temperatura reportado corresponde al de la cámara climática durante la calibración del ítem.

The temperature value reported corresponds to that of the climatic chamber during the calibration of the item.

Nota

Note

- La indicación del patrón y el error de medición (mejor estimación del valor verdadero) se muestran con la misma cantidad de decimales que la incertidumbre reportada (véase 7.2.6 de la GUM).

- The standard reading and the measurement error (best estimate of the true value) are shown with the same number of digits as the reported uncertainty (see GUM 7.2.6).

FO.PEC.04-02 Rev. 27

Pbx: (593-4) 2282007
www.elicrom.com

Emitido por: ELICROM CIA. LTDA.
Ciudadela Guayaquil Mz. 21, Calle 1era, solar 10. Frente al Mall del Sol
Guayaquil - Ecuador

Este informe contiene 16 página(s).
Página 5 de 16



ANEXO 17: Programación de envío de datos (LoRa)

```
//librerías para el módulo LoRa
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <LoRa.h>
```

```
//librería para el módulo OLED Display
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

```
//definimos los pines utilizados por el módulo transceptor LoRa
```

```
#define SCK 5
```

```
#define MISO 19
```

```
#define MOSI 27
```

```
#define SS 18
```

```
#define RST 14
```

```
#define DIO0 26
```

```
//433E6 para Asia
```

```
//866E6 para Europe
```

```
//915E6 para North America
```

```
#define BAND 915E6
```

```
//definimos los pines utilizados por el módulo OLED display
```

```
#define OLED_SDA 21
```

```
#define OLED_SCL 22
```

```
#define OLED_RST 16
```

```
#define SCREEN_WIDTH 128 // ancho del OLED display en pixels
```

```
#define SCREEN_HEIGHT 64 // alto del OLED display en pixels
```



```
//BMP280 definition

#define SDA 21

#define SCL 22

//libreria para el DHT

#include <DHT.h>

#include <DHT_U.h>

//packet counter

int muestra = 0;

int contador = 0;

String LoRaMessage = ""; // MensajeLoRa

int SENSOR = 0; // pin DATA de DHT22 a pin digital 0

float temperatura = 0;

float humedad = 0;

//float pressure = 0;

DHT dht(SENSOR, DHT22); // creacion del objeto, cambiar segundo parametro

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RST);

//Inicializamos el módulo OLED display

void inicio_OLED()

{

//reinicia el módulo OLED display via software

pinMode(OLED_RST, OUTPUT);

digitalWrite(OLED_RST, LOW);
```



```
delay(20);  
digitalWrite(OLED_RST, HIGH);  
  
//inicializa OLED  
Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);  
if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false))  
{ // Address 0x3C for 128x32  
  Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));  
  for(;;);  
}  
display.clearDisplay();  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setTextSize(1);  
display.setCursor(0,0);  
display.print("OLED display OK!");  
}  
  
//Inicializamos el módulo LoRa  
void inicio_LoRa()  
{  
  //pines SPI para LoRa  
  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);  
  //configurar el módulo transceptor LoRa  
  LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);  
  
  while (!LoRa.begin(BAND) && contador < 10)  
  {  
    Serial.print(".");  
    contador++;  
    delay(500);  
  }  
}
```



```
    }  
    if (contador == 10)  
    {  
        // Incrementa la muestra en cada nueva lectura  
        muestra++;  
        Serial.println("El inicio del módulo LoRa falló!");  
    }  
  
    Serial.println("Inicialización módulo LoRa OK!");  
    display.setTextSize(2); //1  
    display.setCursor(0,0);  
    display.clearDisplay();  
    display.print("LoRa TX");  
    display.setCursor(0,20);  
    display.print("OK...");  
    display.display();  
    delay(2000);  
}  
  
void obtener_lecturas()  
{  
    //obtencion de lecturas del sensor DHT22  
    temperatura = dht.readTemperature(); // obtencion de valor de temperatura  
    humedad = dht.readHumidity(); // obtencion de valor de humedad  
  
}  
  
void enviar_lecturas()  
{
```



```
// LoRaMessage = String(muestra) + "/" + String(temperatura) + "#" +  
String(humedad)+"&"+ String(uvIntensity)+"$"+ String(voltage_V)+"%"+  
String(current_mA);  
  
LoRaMessage = String(muestra) + "/" + String(temperatura) + "#" + String(humedad);  
  
//Send LoRa packet to receiver  
  
LoRa.beginPacket();  
  
LoRa.print(LoRaMessage);  
  
LoRa.endPacket();  
  
}  
  
void setup()  
{  
  //initialize Serial Monitor  
  Serial.begin(115200);  
  inicio_OLED();  
  inicio_LoRa();  
  
  dht.begin();  
  
}  
  
void loop()  
{  
  obtener_lecturas();  
  enviar_lecturas();  
  
  display.clearDisplay();  
  display.setTextSize(2);  
  display.setCursor(0,0);  
  display.print("Temp:");  
  display.print(temperatura);
```



```
display.setCursor(0,20);  
display.print("HumR:");  
display.print(humedad);  
  
display.setCursor(0,50);  
display.print("Muestra:");  
display.print(muestra);  
  
display.display();  
  
Serial.print("Temperatura: ");  
Serial.println(temperatura);  
  
Serial.print("Humedad: ");  
Serial.println(humedad);  
  
Serial.print("Muestra: ");  
Serial.println(muestra);  
  
Serial.println("-----");  
  
muestra++;  
delay(1000);
```




ANEXO 18: Programación recepción de datos (LoRa)

```
//Libraries for OLED Display
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

//Librerias for connection to WiFi
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

//define the pins used by the LoRa transceiver module
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 14
#define DIO0 26

//433E6 for Asia
//866E6 for Europe
//915E6 for North America
#define BAND 915E6

//OLED pins
#define OLED_SDA 21
#define OLED_SCL 22
#define OLED_RST 16
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
```



```
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,  
OLED_RST);  
  
// nombre de la Red y Password  
  
const char* ssid = "HUAWEI-723A"; // SOLO SE CAMBIA// HUAWEI-723A //TP-  
Link_0AC8"  
  
const char* password = "72019235"; // SOLO SE CAMBIA// 72019235  
//59209898  
  
//direccion IP del BROKER MQTT  
  
const char* mqtt_server = "192.168.8.106";  
  
int puerto=1883;  
  
  
// Iniciamos el espClient  
WiFiClient espClient;  
PubSubClient client(espClient);  
  
  
int contador;  
  
// Initialize variables to get and save LoRa data  
  
int rssi;  
  
String loRaMessage;  
  
String temperatura;  
  
String humedad;  
  
//Initialize OLED display  
void inicio_OLED()  
{  
  
//reinicia el módulo OLED display via software  
pinMode(OLED_RST, OUTPUT);  
digitalWrite(OLED_RST, LOW);
```



```
delay(20);  
digitalWrite(OLED_RST, HIGH);  
  
//inicializar OLED  
Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);  
if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false))  
{ // Address 0x3C for 128x32  
  Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));  
  for(;;);  
}  
display.clearDisplay();  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setTextSize(2);  
display.setCursor(0,0);  
display.print("OLED OK!");  
display.display();  
}  
  
//Inicializamos el módulo LoRa  
void inicio_LoRa()  
{  
  
  //pines SPI para LoRa  
  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);  
  //configurar el módulo transceptor LoRa  
  LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);  
  
  while (!LoRa.begin(BAND) && contador < 10)  
  {  
    Serial.print(".");  
  }  
}
```



```
    contador++;  
    delay(500);  
}  
if (contador == 10)  
{  
    // Increment readingID on every new reading  
    Serial.println("El inicio del módulo LoRa falló!");  
}  
Serial.println("Inicialización módulo LoRa OK!");  
display.setTextSize(2); //1  
display.setCursor(0,0);  
display.clearDisplay();  
display.print("LoRa RX");  
display.setCursor(0,20);  
display.print("OK...");  
display.display();  
delay(2000);  
}  
  
//conexion del esp32 al router  
void setup_wifi()  
{  
    delay (10);  
    // iniciamos la conexion a la red wifi  
  
    Serial.println();  
    Serial.print("conectado...");  
    Serial.println(ssid);  
    WiFi.begin(ssid, password);  
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
```



```
{
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.print("conectado a la red WiFi-ESP en direccion IP");
Serial.println(WiFi.localIP());
}

// This function is executed when some device publishes a message to a topic that your
ESP8266 is subscribed to

// Change the function below to add logic to your program, so when a device publishes a
message to a topic that

// your ESP8266 is subscribed you can actually do something

void callback(String topic, byte* message, unsigned int length)
{
    Serial.print("Mensaje recibido en el TOPICO: ");
    Serial.print(topic);
    Serial.print(". Message: ");
    String messageTemp;

    for (int i = 0; i < length; i++)
    {
        Serial.print((char)message[i]);
        messageTemp += (char)message[i];
    }
    Serial.println();
}

// This functions reconnects your ESP8266 to your MQTT broker
```



// Change the function below if you want to subscribe to more topics with your ESP8266

```
void reconnect()
{
  // Loop until we're reconnected
  while (!client.connected())
  {
    Serial.print("Intentado la coneccion al BROKER...");

    if (client.connect("espClient"))
    {
      Serial.println("connected");
      // Subscribe or resubscribe to a topic
      //
      client.subscribe("central/monitoreo"); ///OJO
    }
    else
    {
      Serial.print("fallido, reconexion=");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" intente otra vez en 5 segundos");
      delay(5000);
    }
  }
}
```

// Read LoRa packet and get the sensor readings

```
void obtener_lecturas()
{
  Serial.print("Datos LoRa recibidos: ");
```



```
// Read packet

while (LoRa.available())

{

    String LoRaData = LoRa.readString();

    // formato LoRaDta:
    muestra/temperatura#humedad&uvIntensity$_voltage_V$current_mA

    Serial.print(LoRaData);

    // obtenemos muestra,temperatura,humedad,uvIntensity$_voltage_V$corrente_mA

    int pos1 = LoRaData.indexOf('/');
    int pos2 = LoRaData.indexOf('#');
    int pos3 = LoRaData.indexOf('&');
    muestra    = LoRaData.substring(0, pos1);
    temperatura = LoRaData.substring(pos1 +1, pos2);
    humedad    = LoRaData.substring(pos2+1, LoRaData.length());
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(0,0);
    display.print("Temp:");
    display.print(temperatura);

    display.setCursor(0,20);
    display.print("HumR:");
    display.print(humedad);
}

// obtenemos el RSSI
rssi = LoRa.packetRssi();

display.setCursor(0,50);
display.print("RSSI:");
```



```
display.print(rssi);  
display.display();  
  
Serial.print(" Con RSSI ");  
Serial.println(rssi);  
Serial.println("-----");  
}  
  
void setup()  
{  
  // Initialize Serial Monitor  
  Serial.begin(115200);  
  inicio_OLED();  
  inicio_LoRa();  
  setup_wifi();  
  client.setServer(mqtt_server, puerto);  
  client.setCallback(callback);  
}  
  
void loop()  
{  
  if (!client.connected())  
  {  
    reconnect();  
  }  
  
  client.loop();  
  
  int packetSize = LoRa.parsePacket();  
  if (packetSize)
```




```
{  
  obtener_lecturas();  
  
  client.publish("central/monitoreo/temperatura", String(temperatura).c_str());  
  client.publish("central/monitoreo/humedad", String(humedad).c_str());  
}  
  
}
```



ANEXO 19: Declaración Jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jhon Edison Flores Armas
identificado con DNI 46629338 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Electrónica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Diseño de un sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog
computing y energía fotovoltaica aplicado a la Agricultura
Intensiva "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso.

Puno 16 de diciembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Raúl Alejandro Calsín Flores
identificado con DNI 44838631 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Electrónica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Diseño de un sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing y energía fotovoltaica aplicado a la Agricultura Intensiva."

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de diciembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 20: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Viceministerio
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jhon Edisson Flores Arnao,
identificado con DNI 46689338 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Electrónica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" Diseño de un sistema de Monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing y energía fotovoltaica aplicado a la Agricultura Intensiva "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de diciembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Raúl Alejandro Calsio Flores identificado con DNI 44838631 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Electrónica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Diseño de un sistema de monitoreo empleando LoRaWAN con fog computing y energía fotovoltaica aplicado a la Agricultura Intensiva"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella