

U N I V E R S I D A D D E P I U R A

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA MECÁNICO ELÉCTRICA



Estación Meteorológica IoT: Monitoreo de Variables Atmosféricas para la Predicción de Plagas en Banano Orgánico en Buenos Aires, Morropón Piura

Grupo 5

INTEGRANTES

José Renan Ayala Gonzales
Carlos Alberto Banda Moreno
Diego Alfonso Chunga Shimokawa
Pierina García Camacho
Gabriela Fabiana Jiménez Córdova
Gloria Elisa Paiva Macalupú
Fabian Valladares Carnero

ASIGNATURA

Sistemas Digitales

Piura, 17 de noviembre de 2023

ÍNDICE

Identificación del Problema.....	7
Pregunta de Investigación.....	10
Objetivo General del Proyecto	14
Propuesta de Solución	15
Requerimientos del Proyecto a Nivel de Proceso.....	17
Proceso de Selección de Pregunta de Investigación y ODS	17
Proceso de Compra de Sensores y Materiales	17
Proceso de Comunicación y Colaboración Interna.....	18
Proceso de Diseño e Impresión 3D.....	19
Proceso de Verificación de Buena Operabilidad de Sensores.....	19
Proceso de Programación con Arduino.....	20
Proceso de Recopilación de Datos Meteorológicos.....	21
Proceso de Desarrollo de la Página Web	21
Proceso de Predicción de Condiciones Meteorológicas	22
Proceso de Mantenimiento y Actualización.....	22
Requerimiento del Proyecto a Nivel Tecnológico	23
Proceso de Selección y Compra de Sensores.....	23
Proceso de Selección de Microcontrolador	25
Proceso de Fabricación de los Instrumentos de Medición.....	26

Tecnología	30
Protocolos	30
Comunicación entre dispositivos	32
Microcontroladores	33
Interfaz gráfica	35
Prototipo Final	38
Sensores	39
Protocolos de comunicación	48
Conexión con la plataforma de IoT	50
Sistema de automatización: SCADA	57
Alimentación: Panel Solar	59
Diagrama de flujo	64
Cronograma de actividades final	69
Conclusiones y recomendaciones	73
Referencias	75

Índice de Ilustraciones

Figura 1. <i>Curva de funcionamiento con onda de 365 nm. Sensor ML8511</i>	24
Figura 2. <i>Respuesta relativa a diferentes longitudes de onda. Sensor ML8511</i>	24
Figura 3. <i>Curva de funcionamiento (a 25°C y un Vdd de 5V). Módulo SS49E</i>	25
Figura 4. <i>Modelos 3D de los sensores</i>	26
Figura 5. <i>Modelado 3D del pluviómetro</i>	27
Figura 6. <i>Modelado 3D de veleta de viento</i>	28
Figura 7. <i>Modelado 3D del anemómetro</i>	28
Figura 8. <i>Modelado 3D del termohigrómetro</i>	29
Figura 9. <i>Interfaz UBIDOTS</i>	35
Figura 10. <i>Prototipo de estación meteorológica. Versión preliminar</i>	38
Figura 11. <i>Librerías utilizadas para la programación del sensor de temperatura</i> ..	40
Figura 12. <i>Sensor de temperatura y humedad DHT22</i>	40
Figura 13. <i>Sensor de temperatura. Estructura interna</i>	41
Figura 14. <i>Sensor de Presión BMP280</i>	42
Figura 15. <i>Sensor de radiación UV ML8511</i>	43
Figura 16. <i>Pluviómetro</i>	44
Figura 17. <i>Anemómetro de velocidad del viento</i>	47
Figura 18. <i>Veleta de dirección</i>	48
Figura 19. <i>Módulo ESP-01</i>	50
Figura 20. <i>Módulo SIM800L</i>	51
Figura 21. <i>Dashboard UBIDOTS</i>	52
Figura 22. <i>Interfaz de la página web</i>	55

Figura 23. <i>Estado del prototipo</i>	56
Figura 24. <i>Scada desarrollado: Puquchi Weather Station</i>	57
Figura 25. <i>Código y configuración del Scada</i>	58
Figura 26. <i>Panel solar 12V 20W</i>	60
Figura 27. <i>Especificaciones del panel solar</i>	61
Figura 28. <i>Reguladores de voltaje</i>	61
Figura 29. <i>Esquema de conexiones</i>	62
Figura 30. <i>Diagrama de flujo de sensor de temperatura y humedad</i>	64
Figura 31. <i>Diagrama de flujo del sensor ML8511</i>	65
Figura 32. <i>Diagrama de flujo del pluviómetro</i>	65
Figura 33. <i>Diagrama de flujo de sensor efecto hall</i>	66
Figura 34. <i>Diagrama de flujo de sensor de efecto hall</i>	66
Figura 35. <i>Diagrama de flujo de la estación meteorológica</i>	67
Figura 36. <i>Diagrama de flujo de la comunicación del Maestro al Raspberry</i>	68

Tabla 1. Especificaciones técnicas del sensor DHT22	39
Tabla 2. Comparación entre BMP180 y BMP280	41
Tabla 3. Datos de calibración del pluviómetro	46
Tabla 4. Cálculo de potencia del panel	59

Identificación del Problema

Desde hace varios años, somos testigos de los significativos fenómenos climatológicos suscitados en la región Piura, por el incremento o cambio de los fenómenos de origen natural. En la hoya hidrográfica del río Piura los registros muestran inundaciones graves y significativas en 1983, 1998 y en el 2017.

Piura es una de las regiones más golpeadas por la sequía en el norte peruano sobre todo en el sector agrícola y ganadero. Según cifras reveladas por el gerente de desarrollo económico del Gobierno Regional de Piura, Ángel García Zavalú, la última sequía registrada en la región trajo consigo pérdidas económicas a la región cuyo monto asciende a más de S/.20 millones, según el Gobierno Regional piurano.

Según el estudio “Impactos económicos de las inundaciones en la región Piura”, realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2010, las inundaciones en la región de Piura causaron una disminución del 1.6% en el producto bruto interno (PBI) regional. Siendo los sectores agropecuario y comercial los más afectados. (INEI, 2010)

Centrándonos particularmente en el campo agrícola, históricamente el Perú ha sido un país exportador de banano orgánico, siendo en 2020 el tercer producto de exportación agrícola más importante del país, donde Piura es la principal región productora de banano en el país, siendo las ciudades de Chulucanas y Morropón las más importante en cuanto al cultivo; otras regiones importantes en el cultivo de banano son: Lambayeque, La Libertad y Tumbes.

Actualmente existen múltiples plagas que afectan al banano orgánico, dichas plagas ocasionan pérdidas de divisas, por eso su predicción y eliminación es de gran importancia. No obstante, hace falta un buen sistema de monitoreo a fin de aumentar la productividad y disminuir gastos.

Debido a la falta de equipo de monitoreo y de registro y análisis de datos recolectados de las condiciones climáticas que se suscitan, no se ha podido tener una adecuada acción ante esto. Asimismo, es importante reconocer que estos resultados son influenciados por la falta de capacitación y habilidades desarrolladas en la gestión de prevención de plagas y control de parámetros climáticos lo cual limita la priorización y planificación adecuada de las inversiones y del presupuesto anual.

Cabe mencionar que para los datos que se proporcionaran se han considerado estaciones a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) y empresas privadas. Actualmente, la región Piura cuenta con 48 estaciones meteorológicas, distribuidas en sus ocho provincias de manera no uniforme. Sin embargo, estas presentan déficit de equipos de medición de parámetros meteorológicos.

De las 300 estaciones hidrológicas a nivel nacional, solo una cuenta con una cámara piloto para monitorear en tiempo real el caudal del río, no obstante, la falta de dicho equipo en las otras 299 estaciones hidrológicas impide la posibilidad de monitorear los ríos las 24 horas del día, a fin de anticipar riesgo de desastre. Hoy, el SENAMHI se encuentra bajo el Ministerio del Ambiente y busca un presupuesto de 21 millones de soles para la compra de un nuevo servidor que permita procesar la data con mayor precisión.

Debido a lo descrito previamente, es de vital importancia la planificación y ejecución de cambios estructurales y no estructurales, a fin de aminorar los impactos del fenómeno previamente descrito. Ante estos hechos es importante que se implementen planes integrales de gestión para la reducción de la vulnerabilidad urbana frente a las consecuencias.

Pregunta de Investigación

A lo largo de los años la región de Piura como en todas las regiones del país, ha sido afectada por causa del cambio climático, ya que, si bien no se pueden alterar los hechos naturales, sí se puede cuantificar esos datos ayudándonos a predecir eventos futuros para anticiparnos a posibles riesgos que muchos casos llegan a suceder, uno de los riesgos más frecuentes para nuestra región se da cada año acerca del Fenómeno del Niño, el cual es un evento que tiene un origen climático y que ha llevado a innumerables pérdidas cuando se ha presentado.

El problema sobre los desastres naturales también tiene impacto en otros países, en este caso el Fenómeno del Niño ha sido motivo de preocupación en el norte del país de Colombia, en especial por el terrible evento en 1997-1998, asimismo se abordó varios temas y uno de ellos fue el seguimiento al comportamiento global de variables climáticas e hidráulicas y lo lograron mediante dos escenarios, primero recogía el comportamiento hidrológico esperado en condiciones de FEN, denominado variables de referencias y el segundo simulaba la situación hidrológica límite que podía soportar sin que se presentaran déficit de energía. Uno de los proyectos se llevó a cabo (Carbonell & De la Rosa, 2013) con la elaboración de un prototipo de estación meteorológica para la medición de variables ambientales aplicando técnicas de diseño experimental y el uso de la plataforma embebida Arduino, donde se usó tres sensores para la medición de temperatura, sensor TMP36; humedad, sensor RHT03 y presión atmosférica, sensor BMP085, logrando minimizar costos a 150.000 pesos colombianos, además de contar con elementos y dispositivos 100% libres tanto en su documentación, como en su software y hardware, donde garantizaron que

cualquier persona o institución interesada pueda mejorar el sistema implementado a las necesidades específicas de las zonas climáticas.

En el sector agrícola de Colombia, se enfrentan desafíos debido al retraso en la adopción de tecnologías modernas destinadas a mejorar constantemente la agricultura. Entre los principales obstáculos, se destacan la falta de asistencia técnica y la insuficiencia de infraestructura tecnológica. Las consecuencias de esta falta de preparación se hacen evidentes cuando se producen problemas debido a fenómenos naturales, como el fenómeno del Niño en los años 2015-2016, que dejó secuelas devastadoras y dificultades para los agricultores. Aunque no se pueden controlar los fenómenos naturales, es posible reducir el peligro y sus efectos.

Para abordar estos desafíos, se propone la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola de Colombia, específicamente la aplicación de Internet de las cosas (IoT). Esta tecnología se utilizaría para crear sistemas autónomos que mejoren el cultivo. Se han identificado diversas alternativas para implementar sistemas de comunicación eficientes para IoT, con el objetivo de garantizar una disponibilidad completa en términos de diseño, desarrollo, integración y soporte (López et al., 2019).

En otros países vecinos han buscado darle un valor agregado a la elaboración de centrales meteorológicas, siendo este el caso (Basantes et al., 2021) el desarrollo de sistema web de análisis de información climatológico para la central meteorológica Yanarumi utilizando el software estadístico y lo lograron utilizando sensores integrados en placas Arduino, es posible recopilar datos de manera precisa y dentro de intervalos de tiempo predefinidos. Además, la placa Raspberry Pi se emplea para almacenar y transmitir estos datos a través de Internet hacia un destino predeterminado. Esto resulta beneficioso, ya que

permite tener acceso a la información tanto de forma local como remota de manera simultánea, facilitando su utilización según las necesidades específicas.

En nuestra región los avances científicos han sido de mucha ayuda, pero a la vez los mecanismos de formación, distribución y dinámica de las lluvias cuentan con poca información, aun siendo el caso luego del reciente Fenómeno del Niño en 2017, la Universidad de Piura formuló y ganó el proyecto científico acerca de implementación de un radar de lluvias con la finalidad de detectarlas en tiempo real y con buena resolución espacial y temporal, sirviendo como sistema de alerta temprana que ayudará a prevenir inundaciones y localizar emergencias. (Rodríguez et al., 2019)

Las condiciones climáticas también han sido motivo de aplicación de tecnologías como IoT, para el monitoreo en plantaciones de banano, donde se logró recolectar datos climáticos y de suelo usando sensores remotos para transmitirlo a través de redes inalámbricas de largo alcance que fueron diseñadas para áreas de cultivo extensas, además se usaron modelos matemáticos y algoritmos de inteligencia artificial para evaluar el comportamiento de la plantación, para lo cual se necesitaron una gran cantidad de datos a partir de los sensores que se implementaron. Esta propuesta es un enfoque integral para optimizar la producción y toma de decisiones del cultivo. (Belupú, 2022)

Así como los riesgos del fenómeno del niño, también es importante hablar de la eficiencia energética, y de esta se han desarrollado una serie de investigaciones, dentro las más resaltantes se ha planteado un diseño de una red de unidades meteorológicas para monitoreo de sistemas de energías renovables, donde se midieron variables como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad del viento y radiación, donde se ha diseñado y construido prototipos de estación meteorológica, usando microcontroladores

embebido Arduino y Raspberry Pi con interfaz web y base de datos. (Sosa & Ramírez, 2020)

De acuerdo con lo antes expuesto y con la variedad de eventos que pueden ocurrir de un momento a otro, nos preguntamos: ¿Es factible utilizar la medición y predicción de parámetros climáticos a través de una central meteorológica asequible y de alta calidad para ayudar a los agricultores a prevenir pérdidas ocasionadas por fenómenos climáticos y plagas en el sector agrícola? ¿Podría esta tecnología ofrecer una solución viable y competitiva en el mercado, que contribuya a mitigar los impactos negativos de fenómenos naturales y a mejorar la situación regional en el ámbito agrícola?

Objetivo General del Proyecto

En base a lo previamente expuesto sobre los altos costos y las repercusiones en la agricultura, el propósito fundamental de este proyecto es optimizar la accesibilidad y disminuir los gastos asociados a la medición de variables climáticas. El objetivo último es proporcionar información de calidad de parámetros climatológicos que potencie el sector agrícola y prevenga la proliferación de plagas, las cuales podrían ocasionar perjuicios significativos e incluso dañar por completo los cultivos.

Propuesta de Solución

Se plantea como solución a la problemática, la construcción de un prototipo de central meteorológica, el cual estará equipado con los instrumentos básicos necesarios para la medición de parámetros climáticos, así como una predicción meteorológica a corto, mediano y largo plazo de estos, mediante el uso de modelos de redes neuronales. Esta propuesta se basa en conceptos aprendidos en el curso "Sistemas Digitales" así como otros conocimientos previos de la carrera de Ingeniería Mecánico-Eléctrica de la Universidad de Piura y se destaca por su bajo costo de manufactura, por el uso de tecnología innovadora y facilidad de implementación en campo.

La importancia de nuestro proyecto en el contexto que vivimos radica en la necesidad de una constante y generalizada monitorización del clima, pues según la UNESCO y las Naciones Unidas estas medidas deben ser parte fundamental de la respuesta de los gobiernos frente, a las cada vez más cercanas, consecuencias del cambio climático. (UNESCO, 2021)

La capacidad de prever condiciones meteorológicas es crucial para diversas aplicaciones como la agricultura y la gestión de desastres, ambas especialmente resaltantes en nuestra región. Sin embargo, muchas de las soluciones disponibles actualmente en el mercado son costosas y requieren una infraestructura compleja que no poseemos. Nuestra propuesta aborda estos problemas al ofrecer una solución sencilla y fácil de aplicar: una alternativa de bajo costo, fácilmente replicable y comercializable.

Para la construcción de la central se ha incluido los siguientes instrumentos básicos:

- Anemómetro: para medir la velocidad y dirección del viento.

- Barómetro: para medir la presión atmosférica.
- Termómetro: para medir la temperatura ambiente.
- Higrómetro: para medir la humedad relativa del aire.
- Pluviómetro: para medir la cantidad de precipitación.

Estos instrumentos serán conectados y controlados por un microcontrolador que procesará los datos recopilados, los cuales, tras un determinado tiempo de recopilación, serán ingresados al módulo correspondiente donde se haya ubicado a la red neuronal y esta a su vez pronosticará posibles condiciones meteorológicas a futuro. Esta tecnología ha demostrado en los últimos años una significativa mejora en el área de previsiones meteorológicas (Nolasco, 2023)

De igual forma implementaremos una idea ya conocida en el área de manufactura de herramientas, que, a pesar de todo, aun no posee suficiente representación en la región, esta idea es: el uso de Impresión 3D para la construcción de los sensores, dicha tecnología ya ha sido implementada en Estados Unidos por el Laboratorio Nacional Argonne en Oklahoma, consiguiendo resultados muy alentadores. (Nuñez, 2020)

Requerimientos del Proyecto a Nivel de Proceso

Proceso de Selección de Pregunta de Investigación y ODS

Identificar la pregunta de investigación a desarrollar y alinear el proyecto con Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS).

Requisitos Funcionales:

- Programar una reunión con los miembros del equipo para discutir las ideas a desarrollar.
- Analizar la importancia y viabilidad de las preguntas de investigación propuestas.
- Seleccionar una pregunta de investigación que sea relevante para el proyecto como para un ODS.

Requisitos No Funcionales:

- Asegurarse que la pregunta sea clara y pueda ser investigada.
- Establecer una conexión significativa entre la pregunta y el ODS elegido.

Proceso de Compra de Sensores y Materiales

Adquisición de sensores meteorológicos y materiales para la construcción 3D de los sensores.

Requisitos Funcionales:

- Identificar sensores meteorológicos adecuados para medir datos como temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación.

- Realizar un proceso de compra que cumpla con el presupuesto establecido por el equipo.
- Adquirir los materiales necesarios para imprimir modelos 3D de los sensores.

Requisitos No Funcionales:

- Garantizar que el proceso de compra esté documentado y sea transparente para todos los miembros del equipo.
- Establecer un límite de gasto y un plazo para la adquisición de materiales.

Proceso de Comunicación y Colaboración Interna

Establecer un flujo efectivo de comunicación y colaboración entre los miembros del equipo para garantizar la ejecución eficiente del proyecto.

Requisitos Funcionales:

- Realizar reuniones regulares de equipo para discutir avances y próximas tareas.
- Utilizar herramientas de colaboración en línea para compartir documentos, registros y actualizaciones del proyecto.

Requisitos No Funcionales:

- Establecer un calendario de reuniones regulares y asegurar que sean productivas.
- Garantizar que la información del proyecto sea accesible para todos los miembros.
- Fomentar la comunicación abierta, donde los miembros se sientan cómodos expresando sus ideas.

Proceso de Diseño e Impresión 3D

Diseño y creación de modelos 3D para los sensores meteorológicos

Requisitos Funcionales:

- Adquirir modelos 3D de acceso libre de los sensores a implementar.
- Utilizar un software de modelado 3D para adaptar los modelos de acceso libre según nuestros sensores lo requieran.
- Solicitar los permisos necesarios para hacer uso de la impresora 3D de la Universidad de Piura para fabricar los modelos con precisión.
- Verificar la calidad de los modelos impresos y realizar ajustes si es necesario.

Requisitos No Funcionales:

- Establecer un proceso de revisión de diseño que involucre a varios miembros del equipo.
- Garantizar que los modelos impresos sean resistentes y duraderos.

Proceso de Verificación de Buena Operabilidad de Sensores

Verificación de la precisión de los sensores meteorológicos antes de su instalación.

Requisitos Funcionales:

- Realizar pruebas de funcionamiento en cada sensor adquirido para verificar su precisión y calibración.
- Verificar que los sensores respondan adecuadamente a cambios en las condiciones meteorológicas.

- Documentar los resultados de las pruebas y calibraciones de cada sensor.

Requisitos No Funcionales:

- Establecer un protocolo de verificación de sensores que siga las mejores prácticas de la industria.
- Programar la verificación de sensores con suficiente antelación para permitir la solución de cualquier problema identificado antes de la instalación.
- Establecer un registro detallado de los resultados de las pruebas y las acciones tomadas en caso de detectar problemas.

Proceso de Programación con Arduino

Programación de los sensores y la plataforma Arduino para la adquisición de datos.

Requisitos Funcionales:

- Desarrollar el código necesario para que los sensores se comuniquen con la placa Arduino.
- Implementar una lógica de adquisición y almacenamiento de datos en la memoria de la placa.
- Configurar una interfaz de comunicación para enviar datos a un servidor central.

Requisitos No Funcionales:

- Realizar pruebas exhaustivas del código para garantizar su eficiencia y estabilidad.

- Documentar el código de programación para que todos los miembros del equipo lo comprendan.

Proceso de Recopilación de Datos Meteorológicos

Adquisición y registro de datos meteorológicos utilizando sensores y Arduino.

Requisitos Funcionales:

- Configurar la placa Arduino para recopilar datos de los sensores en intervalos de tiempo.
- Almacenar los datos en una base de datos.
- Realizar copias de seguridad de los datos y garantizar su integridad.

Requisitos No Funcionales:

- Implementar un sistema de monitoreo continuo para detectar posibles fallas en la adquisición de datos.
- Implementar un sistema de alertar en caso los datos no se registren correctamente.

Proceso de Desarrollo de la Página Web

Creación de una página web para presentar los datos meteorológicos de manera accesible.

Requisitos Funcionales:

- Diseñar una interfaz de usuario intuitiva y atractiva.
- Desarrollar código web para mostrar los datos meteorológicos en tiempo real.

Requisitos No Funcionales:

- Compatibilidad de la página web con múltiples navegadores.

Proceso de Predicción de Condiciones Meteorológicas

Utilización el conjunto de datos meteorológicos previamente captados por los sensores, para ingresarlos a la red neuronal y que este, mediante algoritmos calcule valores próximos para cada uno de los tipos de datos que se midieron.

Requisitos Funcionales:

- Desarrollar modelos de predicción basados en datos históricos y actuales.
- Realizar análisis estadísticos para evaluar el riesgo de algún fenómeno meteorológico.
- Presentar la predicción de manera comprensible en la página web.

Requerimientos No Funcionales:

- Garantizar que la predicción sea actualizada con regularidad.

Proceso de Mantenimiento y Actualización

Garantizar el funcionamiento continuo y mejora de la central.

Requisitos Funcionales:

- Establecer un programa de mantenimiento preventivo para los sensores.
- Recopilar retroalimentación de los usuarios para mejorar la página web.

Requisitos No Funcionales:

- Mantener un registro de las mejoras realizadas al sistema.

Requerimiento del Proyecto a Nivel Tecnológico

Proceso de Selección y Compra de Sensores

Una de las partes más importantes de este proyecto es la medición de parámetros, esto se logrará con los sensores. Estos son algunos de los requerimientos que se han tenido en cuenta al momento de adquirirlos.

- Compatibilidad con el uso de microprocesadores tales como Arduino, Raspberry.
- Señales de salida analógicas (para pasar por un ADC) o digitales de cada uno de los sensores, o en su defecto, con la posibilidad de adecuar esta salida a una digital en caso haga falta.
- Disponibilidad sencilla, en orden de cumplir con uno de los objetivos del proyecto, la accesibilidad.

Mediante la investigación previa de distintas fuentes, del estado del arte, se han podido detectar sensores que cumplen estos requisitos para ser usados en este proyecto:

Sensor de Temperatura y Humedad – DHT22

Dispositivo medidor de los parámetros de temperatura y humedad relativa, salida de tipo digital. Cuenta con disponibilidad de librería para su uso con Arduino, ESP32, etc.

Sensor de Presión Barométrica BMP280

El sensor de presión barométrica BMP280 permite medir la altura respecto al nivel del mar, su funcionamiento está basado en la relación entre presión del aire y la altitud. Cuenta con disponibilidad de librería para su uso con Arduino, ESP32, etc.

Sensor de radiación ultravioleta ML8511

Sensor de luz UV, sensible a UV-A y UV-B. Cuenta con disponibilidad de librería para su uso con Arduino, ESP32, etc.

Figura 1. *Curva de funcionamiento con onda de 365 nm. Sensor ML8511*

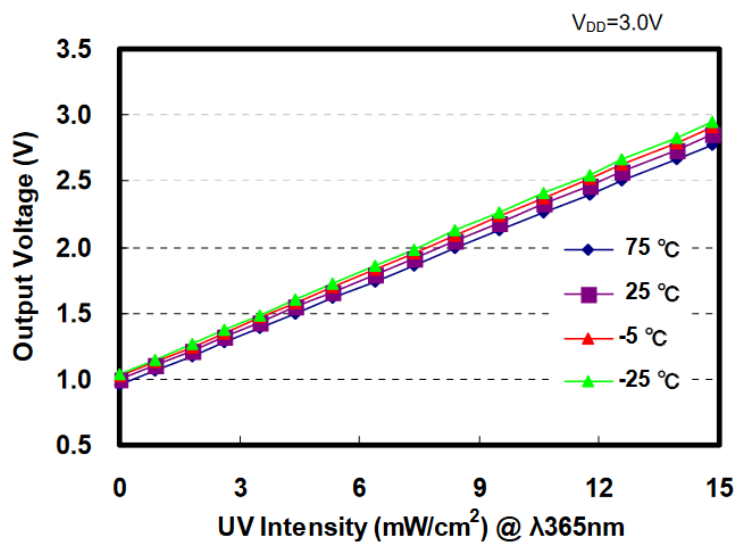
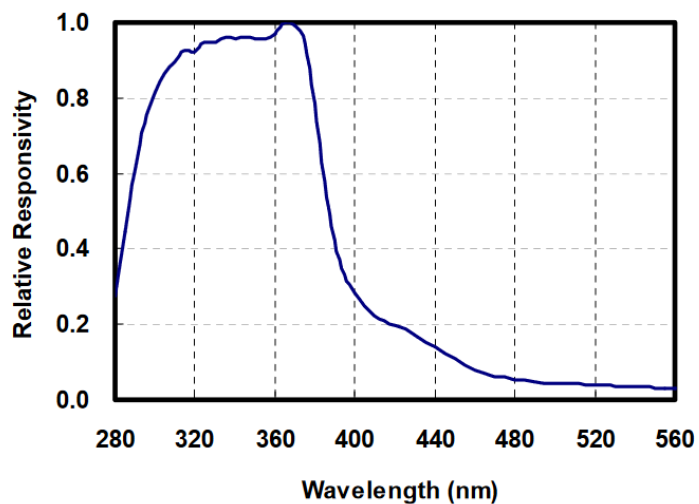


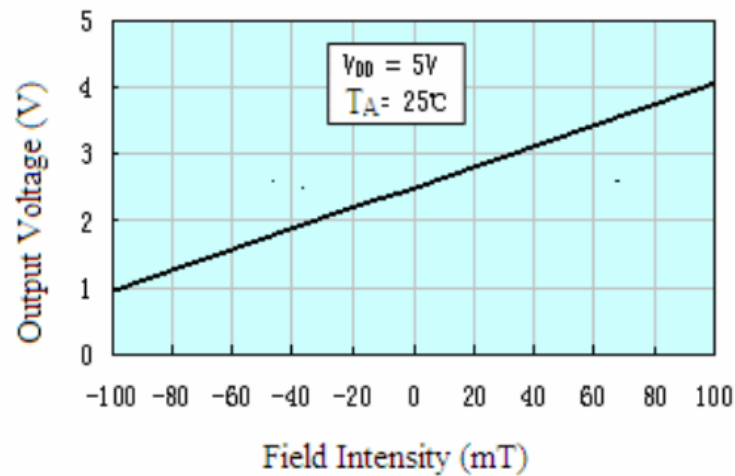
Figura 2. *Respuesta relativa a diferentes longitudes de onda. Sensor ML8511*



Sensores de efecto Hall. Módulo SS49E

Es un sensor lineal de efecto Hall, el voltaje de salida varía en función a la intensidad de campo magnético detectada.

Figura 3. Curva de funcionamiento (a 25°C y un V_{DD} de 5V). Módulo SS49E



Con los sensores antes mencionados, ya nos es posible construir los instrumentos de medición propios de una estación meteorológica:

- Termohigrómetro: Usando el sensor DHT22.
- Barómetro: Usando el módulo BMP280.
- Piranómetro: Usando el módulo ML8511.
- Pluviómetro: Usando 1 sensor de efecto hall.
- Anemómetro: Usando 4 sensores de efecto hall para medir la dirección del viento, y 1 más para medir la velocidad.

Proceso de Selección de Microcontrolador

Para la manipulación de data, se han utilizado las siguientes opciones:

Arduino

Plataforma de código abierto, ofrece su propio entorno de desarrollo integrado (IDE) para la programación del microcontrolador, existen diversas versiones, cada una se usa dependiendo de las exigencias del proyecto en mente.

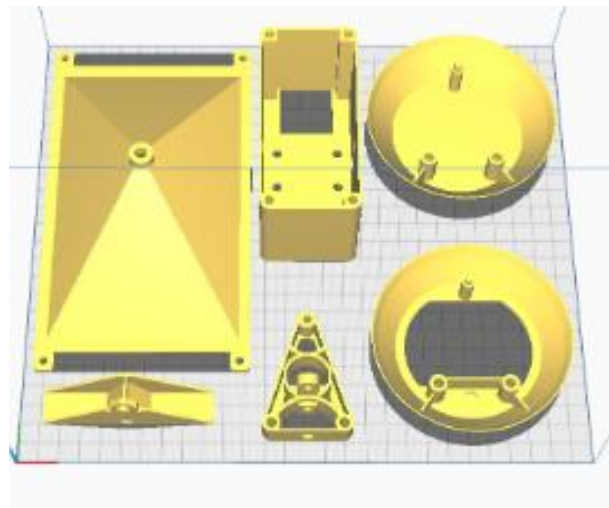
Raspberry pi

Es un ordenador de bajo costo, permite compilar programas para que se ejecuten en él, tiene su propio sistema operativo de código abierto, aunque existe la posibilidad de instalarle otros SO's.

Proceso de Fabricación de los Instrumentos de Medición

Para la construcción de los instrumentos de medición tales como el pluviómetro, anemómetro y termohigrómetro, se necesita un proceso de manufactura, y para el presente proyecto se ha visto conveniente el uso de impresión 3D de filamento, debido a la disponibilidad que nos ofrece la Universidad de Piura, y el abaratamiento del costo que supondría frente a otros procesos y a la compra directa del instrumento.

Figura 4. Modelos 3D de los sensores

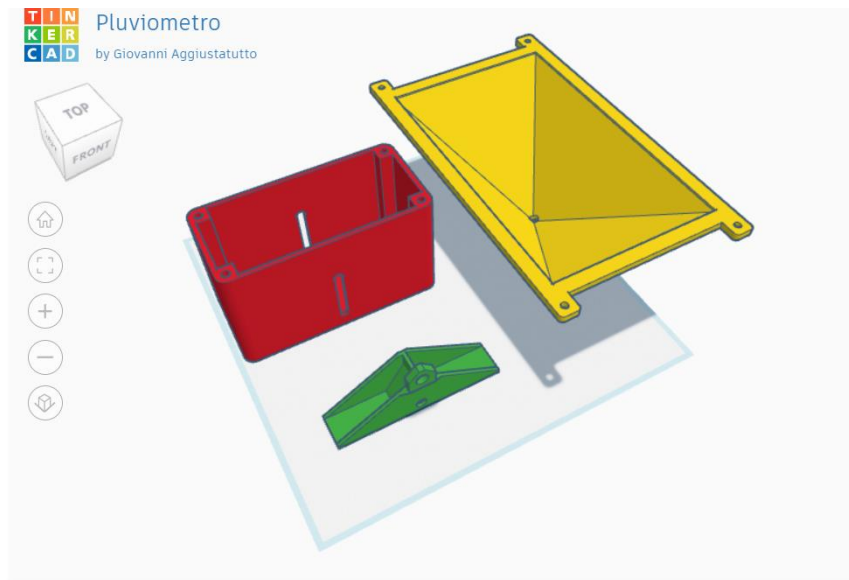


Nota. Elaboración propia

Pluviómetro

Los modelos 3D utilizados son de libre acceso, para el desarrollo del proyecto se realizaron modificaciones tales como ensanchamiento de los agujeros, con el fin de utilizar varillas de acero comerciales, aumento del espesor de las componentes debido a que la estructura y forma de impresión hacían que el sensor esté propenso a sufrir roturas.

Figura 5. Modelado 3D del pluviómetro

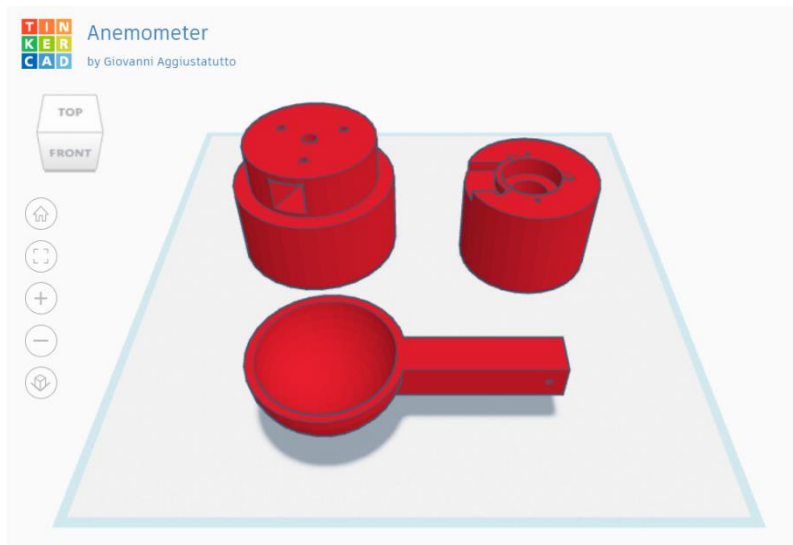


Nota. Extraído de Aggiustatutto, 2020

Anemómetro

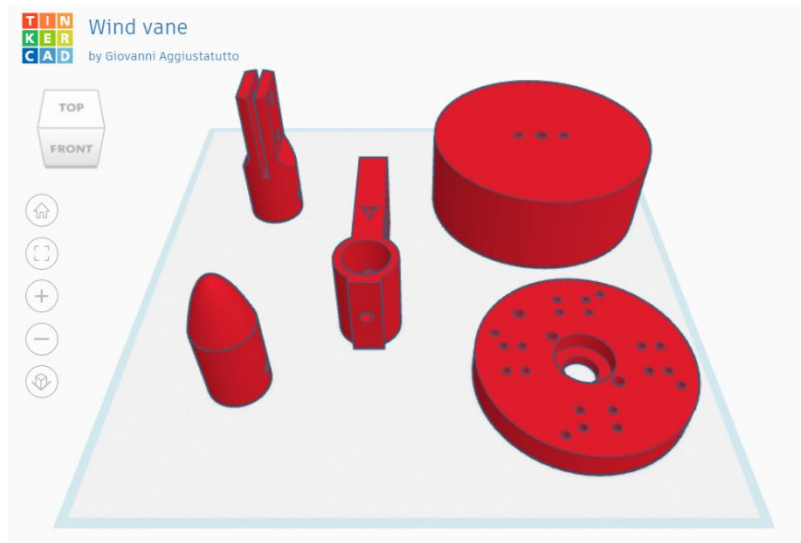
El modelo 3D de este sensor es de libre acceso y gratuito; sin embargo, en la construcción de este se hicieron modificaciones debido a que las paletas tenían un grosor que impedían el giro frente a vientos suaves, el afinamiento de las paletas permitió optimizar el modelo y hacerlo más sensible a las mediciones.

Figura 7. Modelado 3D del anemómetro



Nota. Extraído de Aggiustatutto, 2020

Figura 6. Modelado 3D de veleta de viento

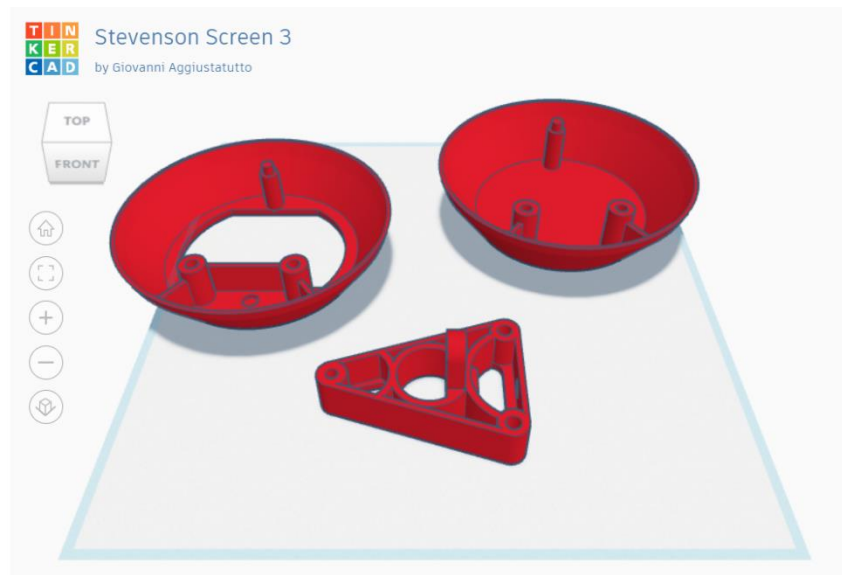


Nota. Extraído de Aggiustatutto, 2020

Termohigrómetro

Los modelos 3D del termohigrómetro son de libre acceso y gratuitos, como parte de las modificaciones, al modelo encontrado en línea se añadió una carcasa de plástico, resultando un termohigrómetro de 3 carcasas.

Figura 8. Modelado 3D del termohigrómetro



Nota. Extraído de Aggiustatutto, 2020

Tecnología

Protocolos

Comunicación I2C

El término I2C da nombre a un estándar para bus de comunicaciones serie. El nombre proviene de “Inter-Integrated Circuits”. La tasa de transmisión es de 100 kbps en el modo estándar, 400 kbps en el modo rápido (Fast-mode) y de 3.4 Mbps en el modo de alta velocidad.

Existen dispositivos maestros, que pueden iniciar una comunicación y gobiernan la línea de reloj, y otros esclavos, que intervienen en la comunicación cuando son requeridos por el maestro. La secuencia de inicio consiste en el cambio de nivel alto a nivel bajo de la línea SDA mientras la línea de reloj SCL se mantiene a nivel alto.

El primer byte que contiene la dirección del esclavo utiliza los 7 bits más significativos para indicar esa dirección y el bit menos significativo para indicar si se está realizando una operación de escritura (un0) o de lectura (un1).

Arduino dispone de soporte I2C por hardware vinculado físicamente a ciertos pines. También es posible emplear cualquier otro grupo de pines como bus I2C a través de software, pero en ese caso la velocidad será mucho menor. Para usar el bus I2C en Arduino, el IDE Standard proporciona la librería "Wire.h", que contiene las funciones necesarias para controlar el hardware integrado.

Comunicación Serial

La comunicación serial entre Arduinos es un proceso fundamental en el ámbito de la electrónica y la programación de microcontroladores. Utilizando protocolos como UART

(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), dos Arduinos pueden intercambiar información de manera eficiente. Uno de los Arduinos actúa como transmisor, enviando datos serializados a través de un cable RX/TX, mientras que el otro opera como receptor, interpretando la información entrante. Este método de comunicación permite la transferencia bidireccional de datos, facilitando la colaboración entre dispositivos y posibilitando la implementación de sistemas más complejos y coordinados. La velocidad de transmisión, el formato de los datos y otros parámetros son configurables, proporcionando flexibilidad y adaptabilidad a diversas aplicaciones en el mundo de la electrónica y la robótica.

SPI

La Interfaz Periférica en Serie (SPI, por sus siglas en inglés) es un protocolo de comunicación síncrono utilizado comúnmente en sistemas electrónicos, como microcontroladores y dispositivos periféricos. En una configuración SPI típica, hay un maestro que inicia la comunicación y uno o varios esclavos que responden a las solicitudes del maestro. La comunicación SPI implica cuatro señales principales: la línea de reloj (SCK), la línea de datos maestra hacia esclavos (MOSI), la línea de datos esclavos hacia maestro (MISO) y una línea de selección de esclavos (SS) que el maestro utiliza para elegir el dispositivo con el que desea comunicarse.

La principal ventaja de SPI es su velocidad y eficiencia en la transferencia de datos, siendo especialmente útil en aplicaciones que requieren una comunicación rápida y fiable. Además, la arquitectura maestro/esclavo de SPI facilita la expansión de sistemas mediante la conexión de múltiples dispositivos. Aunque puede haber variaciones en la

implementación del protocolo, la flexibilidad y simplicidad de SPI lo convierten en una elección popular en el diseño de sistemas electrónicos.

Comunicación entre dispositivos

Módulo Wifi ESP01

La comunicación WiFi entre dispositivos se basa en el uso de la tecnología de redes inalámbricas IEEE 802.11, comúnmente conocida como WiFi. Este estándar permite la comunicación sin cables entre dispositivos electrónicos a través de ondas de radio.

ESP-01S es módulo WiFi basado en el chip ESP8266 que permite conectar tus proyectos a Internet mediante una red Wifi de forma fácil y económica.

El módulo puede servir en 2 modos: como estación Wifi (Wifi Station) o como Punto de Acceso (Access Point), al trabajar como estación el módulo se conecta a una red Wifi. En modo Access Point se usa para crear una red wifi propia y acceder a ella para controlar un motor, revelador e incluso obtener lectura de sensores digitales.

El procesador central ESP8266 en tamaños más pequeños del módulo encapsula Tensilica L106 integra un micro MCU de 32 bits de potencia ultra baja líder en la industria, con modo corto de 16 bits, soporte de velocidad de reloj de 80 MHz, 160 MHz, admite RTOS, Wi-Fi integrado MAC/BB/RF/PA/LNA, antena integrada.

Módulo SIM800L

El módulo SIM800L es un dispositivo que permite la comunicación inalámbrica a través de la red GSM/GPRS (Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Service). Este módulo se utiliza comúnmente en proyectos de IoT (Internet of Things), rastreo de ubicación, y sistemas de monitoreo remoto.

El módulo SIM800L es un dispositivo quad-band GSM/GPRS, trabaja en las frecuencias GSM850MHz, EGSM900MHz, DCS1800MHz y PCS1900MHz. Este módulo de telefonía celular que te permite añadir voz, texto, datos y SMS a tu proyecto en un pequeño paquete, contiene una cantidad sorprendente de la tecnología en este pequeño paquete. Esta versión cuenta con un conector uFL.

Se comunica con Arduino por medio de comandos AT, instrucciones codificadas en un lenguaje especialmente diseñado para configurar módems.

Módulo de radio NRF 24L01

El módulo de radio NRF24L01 es un componente electrónico que ha ganado gran relevancia en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas, destacando por su versatilidad y eficiencia en la transmisión de datos a corta distancia. Diseñado por la empresa Nordic Semiconductor, este módulo opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y utiliza el protocolo de comunicación sin hilos SPI (Interfaz Periférica Serial).

Este dispositivo ha encontrado aplicaciones en una amplia variedad de proyectos, desde sistemas de automatización. Su popularidad radica en su bajo consumo de energía, su tamaño compacto y su capacidad para establecer conexiones confiables en entornos con interferencias.

Microcontroladores

Arduino

Arduino, como microcontrolador, ha revolucionado el mundo de la electrónica y la programación, democratizando el acceso a la creación de dispositivos interactivos.

Desarrollado por un equipo de expertos en Italia, Arduino se ha convertido en una plataforma de referencia para entusiastas, estudiantes y profesionales por igual.

En su esencia, Arduino es un microcontrolador de código abierto basado en el lenguaje de programación C++. Su diseño modular y su hardware accesible permiten a los usuarios desarrollar proyectos sin la necesidad de una profunda comprensión de la electrónica de bajo nivel. Esta característica ha fomentado la creatividad y la innovación, haciendo que el mundo de la electrónica sea accesible para personas de diversas habilidades y niveles de experiencia.

Raspberry

La Raspberry Pi es un microordenador de placa reducida, no exactamente un microcontrolador, pero su versatilidad le permite desempeñar roles similares en muchos proyectos. Esta placa es especialmente valorada por su capacidad para funcionar como un ordenador completo con un sistema operativo basado en Linux, ofreciendo así más potencial que un microcontrolador tradicional.

Una de las principales ventajas de la Raspberry Pi es su capacidad de procesamiento y memoria, lo que le permite manejar tareas más complejas como la manipulación de datos, la conexión a Internet y la ejecución de múltiples procesos simultáneamente. Además, su rica selección de puertos de entrada/salida (GPIO) la hace ideal para proyectos de electrónica e IoT (Internet de las Cosas), donde puede interactuar con una variedad de sensores, actuadores y módulos de comunicación.

La comunidad de Raspberry Pi es extensa y activa, ofreciendo una gran cantidad de recursos, tutoriales y soporte. Esto hace que sea una opción accesible tanto para

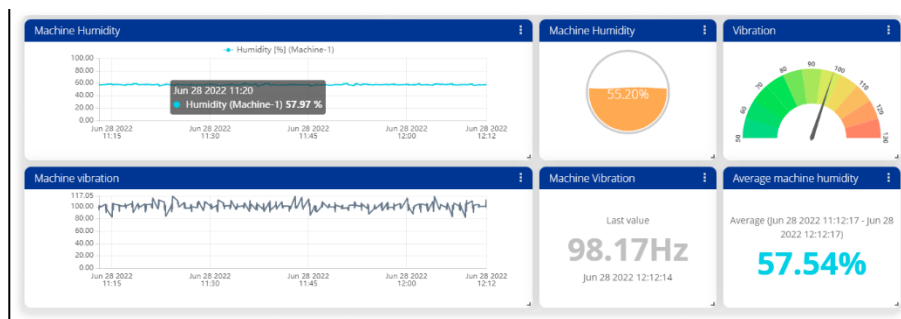
principiantes en el mundo de la programación y la electrónica como para expertos que buscan una plataforma robusta y flexible para sus proyectos.

Interfaz gráfica

Dashboard: UBIDOTS

Ubidots es una plataforma en la nube diseñada para la gestión de datos y la visualización en tiempo real, especialmente en aplicaciones de Internet de las cosas (IoT). La plataforma permite la conexión y recopilación de datos de diversos dispositivos y sensores, almacenándolos de forma segura en la nube. A través de paneles personalizables, los usuarios pueden visualizar estos datos y configurar alertas basadas en umbrales predefinidos.

Figura 9. Interfaz UBIDOTS



Nota. Tomado de *Ubidots STEM*. (Ubidots STEM, 2022)

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizaron principalmente 3 librerías en ubidots para transmitir los datos recolectados por los sensores: Ubidots-WIFI, Ubidots-GSM-GPSR.

SCADA

El sistema SCADA desarrollado con Python es una solución sofisticada y versátil para el monitoreo y control de procesos. Este sistema está diseñado para monitorear siete variables.

El sistema permite a los usuarios alternar entre dos modos de operación: manual y automático. En el modo manual, los operadores tienen control directo sobre los dispositivos y procesos, lo que les permite ajustar los parámetros según sea necesario. Por otro lado, el modo automático utiliza algoritmos inteligentes para ajustar los parámetros de operación en tiempo real basándose en los datos recogidos, optimizando así el rendimiento y la eficiencia sin intervención humana.

Una de las características más destacadas de este sistema SCADA es su integración con una página web desarrollada por el grupo. Esta página web proporciona una interfaz de usuario intuitiva para visualizar los datos en tiempo real, modificar los ajustes de control y acceder a informes históricos. Además, los usuarios pueden descargar los datos recogidos en formato CSV directamente desde la página web. Esto facilita el análisis de datos fuera del sistema y ayuda en la toma de decisiones basada en datos históricos y tendencias.

El uso de Python como lenguaje de programación para el desarrollo de este sistema SCADA aporta varias ventajas. Python es conocido por su simplicidad y eficiencia, lo que acelera el desarrollo y facilita la integración con diversas bibliotecas y herramientas. Además, la amplia comunidad de Python ofrece un soporte robusto y una abundante disponibilidad de recursos, lo que es crucial para mantener y expandir el sistema.

Página web

La presencia de una página web en sistemas de monitoreo meteorológico es de vital importancia en la era digital. Esta plataforma ofrece un acceso inmediato a datos meteorológicos críticos, lo cual es esencial para una amplia gama de usuarios, desde meteorólogos profesionales hasta el público en general. La capacidad de una página web para presentar datos en tiempo real, como temperatura, precipitación, velocidad del viento,

y otros parámetros climáticos, permite a los usuarios tomar decisiones informadas y oportunas, especialmente en situaciones de emergencia o eventos climáticos extremos.

Prototipo Final

El prototipo final de nuestra Estación Meteorológica IoT está diseñada para el monitoreo de variables atmosféricas en la agricultura de banano orgánico en Buenos Aires, Morropón, Piura. Este prototipo integra tecnologías en sensores y sistemas de comunicación, con el objetivo de proporcionar una herramienta confiable para la predicción y manejo de plagas en cultivos de banano.

El prototipo busca contribuir en la agricultura inteligente y sostenible, donde la tecnología IoT nos permite optimizar los recursos y prevenir los riesgos ambientales. A continuación, se presentarán cada componente del prototipo de estación meteorológica. Cada elemento ha sido seleccionado y calibrado, no solo para asegurar una recopilación de datos de alta precisión, sino también para alimentar nuestra red neuronal. Esta red nos permitirá predecir con precisión las condiciones climáticas y la aparición de plagas, específicamente en el cultivo de banano orgánico.

Figura 10. Prototipo de estación meteorológica. Versión preliminar



Nota. Elaboración propia

Sensores

En la configuración de nuestra Estación Meteorológica IoT, los sensores son componentes fundamentales. Estos dispositivos han sido seleccionados por su precisión, rango de operación y confiabilidad. A continuación, se detallarán las especificaciones técnicas de cada uno, incluyendo su sensibilidad y rango operativo.

DHT22: Temperatura y humedad

Este sensor es fundamental para medir las condiciones atmosféricas que afectan directamente el cultivo de bananos. Este sensor digital es capaz de medir temperaturas en un rango de -40 a 80°C con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del 0 al 100% con una precisión de $\pm 2\text{-}5\%$ RH. Su tiempo de respuesta de aproximadamente 2 segundos para ambas mediciones permite un monitoreo ambiental rápido y eficiente.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del sensor DHT22

Item	Descripción
Modelo	DHT22
Fuente de alimentación	3.3-6V DC
Señal de salida	Señal digital a través de bus único
Elemento sensor	Condensador de polímero
Rango de funcionamiento	humedad 0-100% HR; temperatura -40 ~ 80Celsius
Precisión	humedad + -2% HR (Máx. + -5% HR); temperatura <+ - 0.5Celsius
Resolución o sensibilidad	humedad 0.1% HR; temperatura 0.1 Celsius
Repetibilidad	humedad + -1% HR; temperatura + -0.2 Celsius
Histéresis de humedad	+ -0.3% HR
Estabilidad a largo plazo	+ -0.5% HR / año
Período de detección Promedio	2s
Intercambiabilidad	totalmente intercambiable
Dimensiones	tamaño pequeño 14 * 18 * 5.5 mm; Tamaño grande 22 * 28 * 5 mm

Tras la elección del sensor, se procedió a su programación. Para esto se usó una librería llama DHT.h.

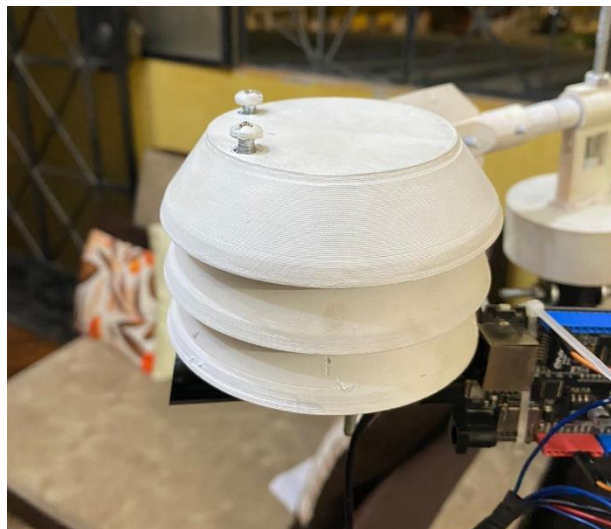
Figura 11. Librerías utilizadas para la programación del sensor de temperatura

```
#include <Arduino.h> //  
#include <SoftwareSerial.h>  
#include <Adafruit_BMP280.h> // //libraries  
#include "DHT.h" //  
#include <ML8511.h> // |  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
#include <SPI.h>  
#include <RF24.h>
```

Nota. Elaboración propia

El sensor ha sido colocado dentro de una estructura hecha en filamento PLA, elegido por sus propiedades de durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas adversas. Esta estructura protege al sensor de lluvia y ayuda a mitigar los efectos del sobrecalentamiento causados por la exposición al sol, además, permite el paso del aire.

Figura 12. Sensor de temperatura y humedad DHT22



Nota. Elaboración propia

Figura 13. Sensor de temperatura. Estructura interna



Nota. Elaboración propia

BMP280: Presión

El BMP280 es un sensor de presión atmosférica altamente eficiente y compacto. Este sensor es capaz de medir la presión atmosférica en un amplio rango de 300 a 1100 hPa, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones agrícolas, desde el nivel del mar hasta terrenos de mayor altitud. Su precisión es notable, con una desviación máxima de ± 1 hPa, permitiendo detectar variaciones sutiles en la presión atmosférica.

En un inicio se consideró usar el sensor BMP180, sin embargo, tiene una menor precisión que el BMP280, por lo que los datos que nos proporcionaría no serían tan precisos. A continuación, se presenta una tabla comparativa entre los sensores BMP180 y BMP280.

Tabla 2. Comparación entre BMP180 y BMP280

Parameter	BMP180	BMP280
Footprint	3.6×3.8 mm	2.0×2.5 mm
Minimum VDD	1.80 V	1.71 V

Minimum VDDIO	1.62 V	1.20 V
Current consumption @3 Pa RMS noise	12 μ A	2.7 μ A
RMS Noise	3 Pa	1.3 Pa
Pressure resolution	1 Pa	0.16 Pa
Temperature resolution	0.1°C	0.01°C
Interfaces	I ² C	I ² C & SPI (3 and 4 wire, mode '00' and '11')
Measurement modes	Only P or T, forced	P&T, forced or periodic
Measurement rate	up to 120 Hz	up to 157 Hz
Filter options	None	Five bandwidths

La resolución del BMP280 es ajustable y puede llegar hasta 0.12 Pa, brindando la sensibilidad necesaria para identificar pequeños cambios en las condiciones atmosféricas.

Figura 14. Sensor de Presión BMP280



Nota. Fuente propia

ML8511: Radiación UV

El ML8511 es un sensor avanzado diseñado para medir con precisión la radiación ultravioleta, abarcando tanto la gama UV-A como UV-B. Su rango de detección se extiende desde 280 hasta 390 nm, lo que lo hace adecuado para monitorear la exposición a la radiación solar. Además, está equipado con un amplificador interno que convierte la fotocorriente en voltaje dependiendo de la intensidad de los rayos UV. Esta característica única ofrece una interfaz sencilla para circuitos externos como ADC.

Figura 15. Sensor de radiación UV ML8511



Nota. Elaboración propia

Pluviómetro: Cantidad de lluvia

El pluviómetro, se utiliza para medir la cantidad de lluvia en una ubicación específica. Funciona recolectando agua de lluvia en un recipiente calibrado, lo que permite calcular la precipitación con una precisión considerable.

Figura 16. *Pluviómetro*



Nota. Elaboración propia

Para la elaboración del pluviómetro se necesitó de los siguientes materiales:

- Varillas roscadas de ¼"
- Tuercas de ¼"
- Arandelas
- Dos perfiles de aluminio
- Acrílico de 10x30.
- Arduino
- Sensor magnético
- Imán
- Metros de cables 3hilos

- Impresiones 3D.

Inicialmente, se procedió con la impresión de las piezas esenciales, como la caja, el balancín y el embudo. Sin embargo, se enfrentaron problemas en las áreas huecas de los extremos debido a las reducciones que suceden durante el proceso de impresión. Para abordar este inconveniente, se realizaron dos diseños alternativos.

Posteriormente, se cortaron cinco trozos de varilla roscada para crear los agujeros necesarios. Se llevó a cabo el ensamblaje completo de la parte inferior, permitiendo que se moviera libremente. Para prevenir la entrada de lluvia por los bordes de la caja, se añadió acrílico.

Sin embargo, surgieron complicaciones adicionales con el embudo. Fue necesario lijarlo en varias ocasiones para garantizar un flujo rápido y eficiente del agua hacia la base del dispositivo

El agua de lluvia es capturada inicialmente por un embudo y luego dirigida hacia el centro de esta pieza, en donde se encuentra un balancín. A medida que el agua fluye hacia este, comienza a acumularse hasta que el peso del agua alcanza un punto crítico. En este momento, la pieza se inclina debido al peso, vaciando el agua acumulada y permitiendo que el otro recipiente se posicione para comenzar a llenarse.

Cada rotación completa de esta pieza giratoria indica que se ha recolectado un volumen específico de agua. Para registrar y cuantificar esta actividad, hemos integrado un sensor de efecto hall y un Arduino para detectar el movimiento. Este sensor es capaz de registrar cada vuelco de la pieza, sumando un volumen de agua predeterminado al total acumulado.

Calibración

Para calibrar el pluviómetro se hizo una serie de prueba, a base de dejar caer por ambos lados del balancín, tomando nota de la cantidad de agua en mililitros que se necesitaba en cada cambio del balancín.

Tabla 3. Datos de calibración del pluviómetro

Volumen de agua del lado izquierdo (ml)	Volumen de agua del lado derecho (ml)
3.2	2.0
3.6	2.2
3.9	2.1
4.0	2.1
3.9	2.1
3.2	2.1
3.2	2.1
3.2	2.0
3.1	2.0

Con los datos obtenidos se sacó un promedio general y se obtuvo:

$$\frac{\sum ml \text{ para cada caída}}{\#caídas} = 2.63$$

$$\text{Área del embudo: } 14mm^2$$

$$\text{Factor} * 14 = 2.63$$

$$\text{Factor: } 0.188$$

Anemómetro y veleta: Velocidad y dirección del viento

Se han desarrollado dos anemómetros, uno para velocidad y otro para dirección del viento. La velocidad y la dirección del viento son datos importantes en la agricultura, ya que influyen en la dispersión de plagas y en la polinización de las plantas.

El anemómetro encargado de la dirección del viento tiene forma de veleta. Para detectar los 4 puntos cardinales de los que proviene el viento (norte, este, sur, oeste) se utilizaron 4 sensores de efecto hall, que son sensores magnéticos que se activan cuando se acerca un imán.

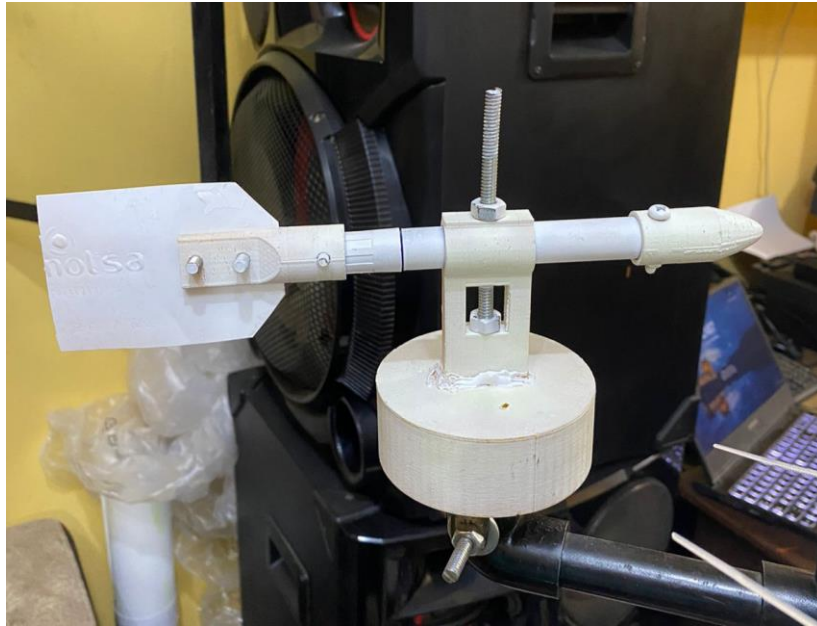
El anemómetro encargado de la velocidad del viento está compuesto por la base y una parte giratoria. Dentro del anemómetro hay un sensor Hall magnético en la base y un imán en la parte giratoria. El sensor envía un impulso en cada revolución. A partir de las revoluciones por minuto se procedió a calcular la velocidad del viento.

Figura 17. *Anemómetro de velocidad del viento*



Nota. Elaboración propia

Figura 18. Veleta de dirección



Nota. Elaboración propia

Protocolos de comunicación

Para la comunicación entre Arduino se ha elegido usar el protocolo I2C, se ha establecido satisfactoriamente la comunicación entre el maestro y los esclavos, tanto como para recibir datos o enviarlos, a continuación, se detalla el estado de cada uno de los microcontroladores presentes:

Maestro: Arduino mega 2560

El maestro será el encargado de recibir todas las mediciones, ya sea directamente de los sensores o de los arduinos esclavos, para posteriormente realizar el envío a la pantalla TFT, a la plataforma de IoT y a la raspberry pi.

Esclavo 1: Arduino mega 2560

Este esclavo contará con un módulo shield ili9341, que es una pantalla TFT de 2.8 pulgadas la cual se encargará de mostrar las mediciones recibidas desde el maestro.

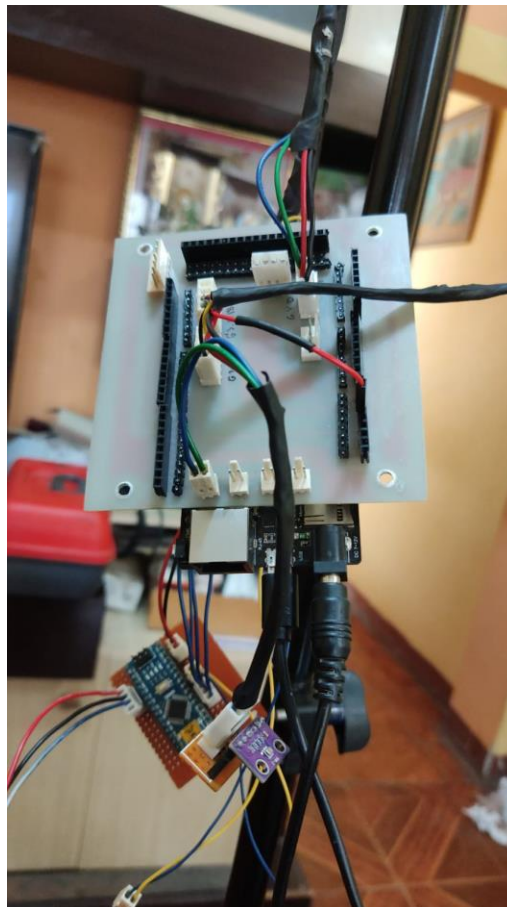
Esclavo 2: Arduino nano

Este Arduino se encargará de procesar la medición del pluviómetro y la veleta y enviarlas al maestro.

Esclavo 3: Arduino nano

Este Arduino se encargará de procesar la medición del anemómetro y enviarlas al maestro.

Figura 19. Prueba preliminar: conexiones de los sensores al maestro



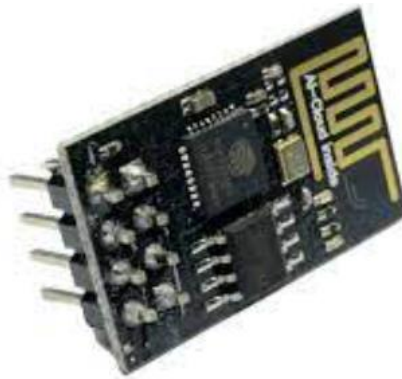
Conexión con la plataforma de IoT

Los datos han sido enviados a Ubidots a través de 2 posibles caminos:

WIFI

Para la conexión WIFI se adquirió un módulo ESP-01, con el cuál fue posible establecer satisfactoriamente la comunicación. Este chip integra un microcontrolador y un módulo WIFI, permitiendo la conexión a redes inalámbricas y la ejecución de aplicaciones embebidas Finalmente, se utilizó el módulo para lograr comunicación con la plataforma Ubidots.

Figura 19. Módulo ESP-01



Nota. Extraído de Hifi Electrónica

Datos móviles

Se estableció satisfactoriamente la comunicación a internet vía datos móviles a través del módulo SIM800L (Sistema Global para Comunicaciones Móviles / Servicio General de Paquetes de Radio) que permite la comunicación inalámbrica a través de redes móviles. Por último, se logró la comunicación del maestro con la plataforma Ubidots.

Figura 20. Módulo SIM800L



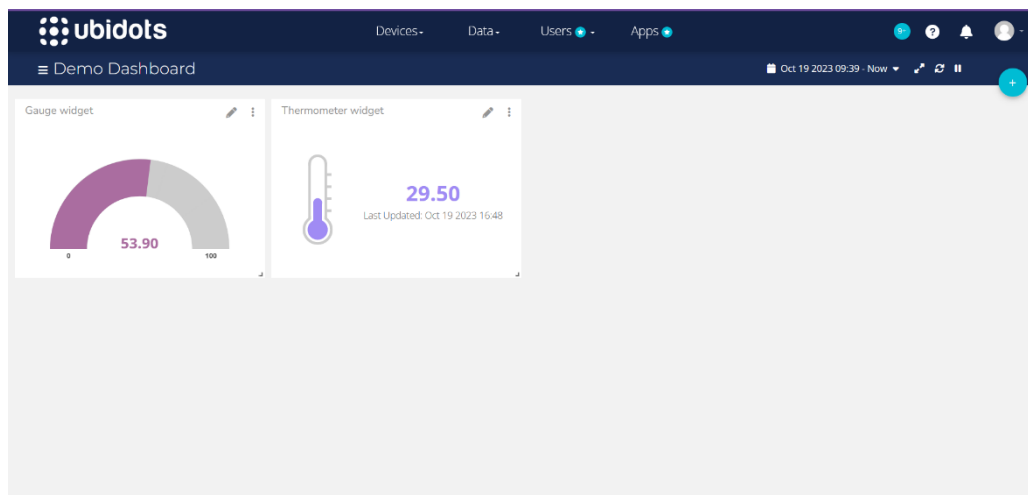
Nota. Extraído de Naylamp Mechatronics

Almacenamiento

Ubidots

La utilización de UBIDOTS como base de datos para almacenar las señales enviadas por los sensores.

Figura 21. *Dashboard UBIDOTS*



Nota. Elaboración propia

Micro SD

La utilización de la tarjeta Micro SD de 8 GB proporciona la capacidad adecuada para recopilar y almacenar datos considerando la cantidad y frecuencia de las mediciones de los sensores.

Página web

Actualmente el proyecto cuenta con una página web que muestra en tiempo real los valores medidos por los sensores que ya han sido calibrados, temperatura y humedad.

En el desarrollo de la página web, se utilizó una variedad de tecnologías y herramientas, basados principalmente en JavaScript. Uno de los componentes clave empleados fue React JS, un popular framework de JavaScript para la creación de interfaces de usuario interactivas y reactivas. React se conecta con el backend de la página web para obtener y mostrar datos de forma dinámica, como actualizaciones en tiempo real, contenido generado por el usuario y otra información necesaria.

Además, se implementó Tailwind CSS para el estilado de la página web. Tailwind CSS es un framework de diseño, de código abierto, que se centra en la creación de interfaces

Framework Frontend

Para agilizar el desarrollo frontend, empleamos el framework React JS que nos permitió crear una interfaz de usuario atractiva y TAILWIND que nos permite agilizar el estilado de la página

Backend

El backend de la página web se basa en JavaScript, utilizamos el Framework Node JS para un despliegue más rápido.

Servidor Web

La página web se aloja en Vercel, que nos proporciona un entorno seguro y confiable para su funcionamiento, además de un fácil despliegue en sus servidores desde consola.

Seguridad

Implementamos medidas de seguridad que incluyen certificados SSL para la encriptación de datos, cortafuegos, y actualizaciones regulares de software para proteger la página web contra amenazas cibernéticas.

Herramientas de Desarrollo

Se utilizó Postman, para el testeo de las rutas y las conexiones de la API con Ubidots.

Para proporcionar una experiencia en tiempo real y mostrar datos dinámicos de la estación meteorológica en la página web, se implementó la API de Ubidots. Ubidots es una plataforma que permitió recopilar y gestionar datos de los sensores.

Conexión de Datos

Se configuró la integración entre nuestros dispositivos y la plataforma de Ubidots. Los datos generados por estos dispositivos se envían a Ubidots, que actúa como un puente entre nuestros sensores y la página web.

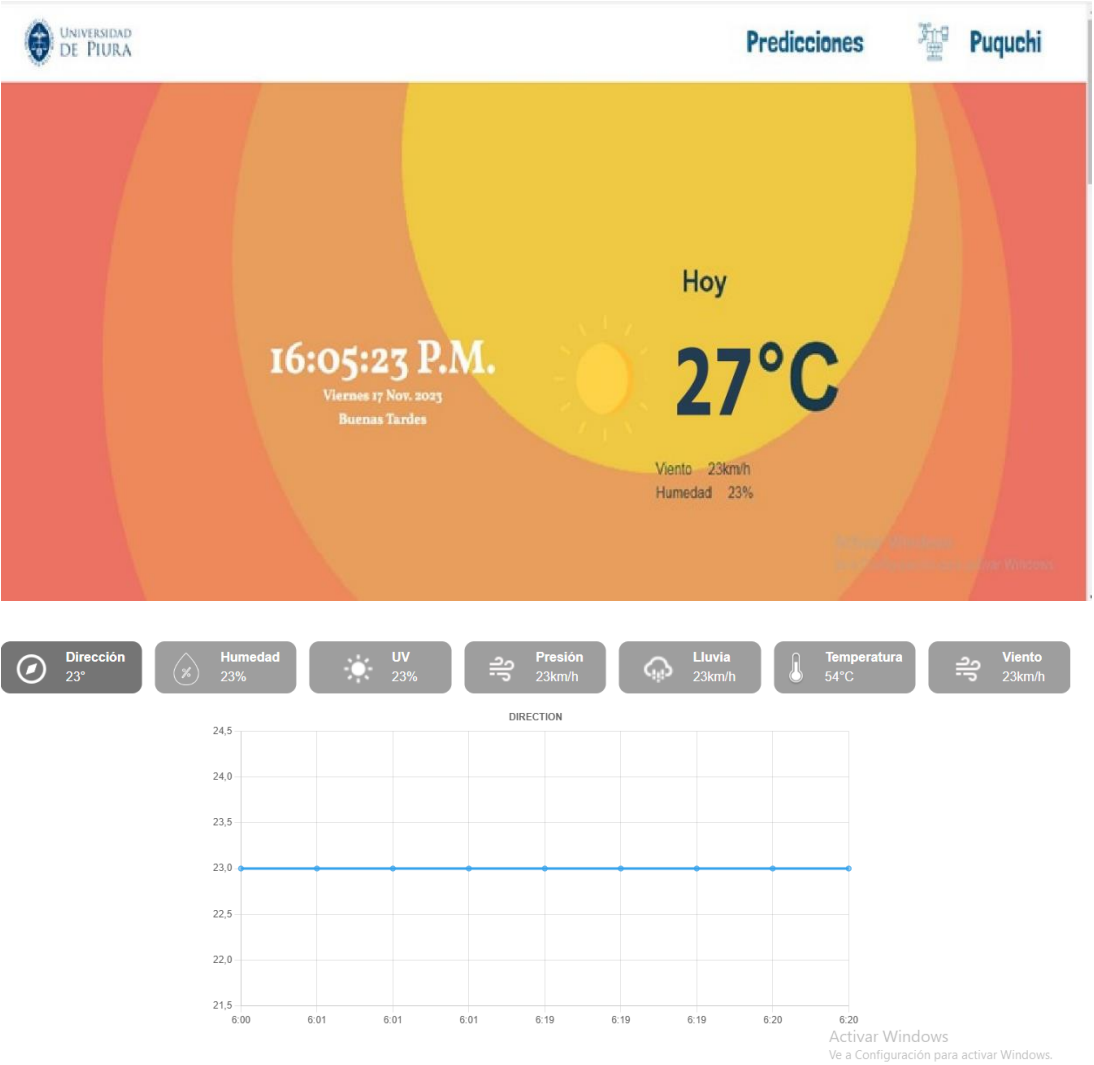
Visualización de Datos

Utilizamos la API de Ubidots para recuperar datos en tiempo real y mostrarlos en nuestra página web. Esto nos permitió presentar información actualizada en gráficos, tablas o cualquier otro formato de visualización que utilizamos en la página.

Interactividad

Los datos obtenidos a través de la API de Ubidots se utilizaron para crear características interactivas en la página, lo que permitió a los usuarios interactuar con los datos y tomar decisiones informadas.

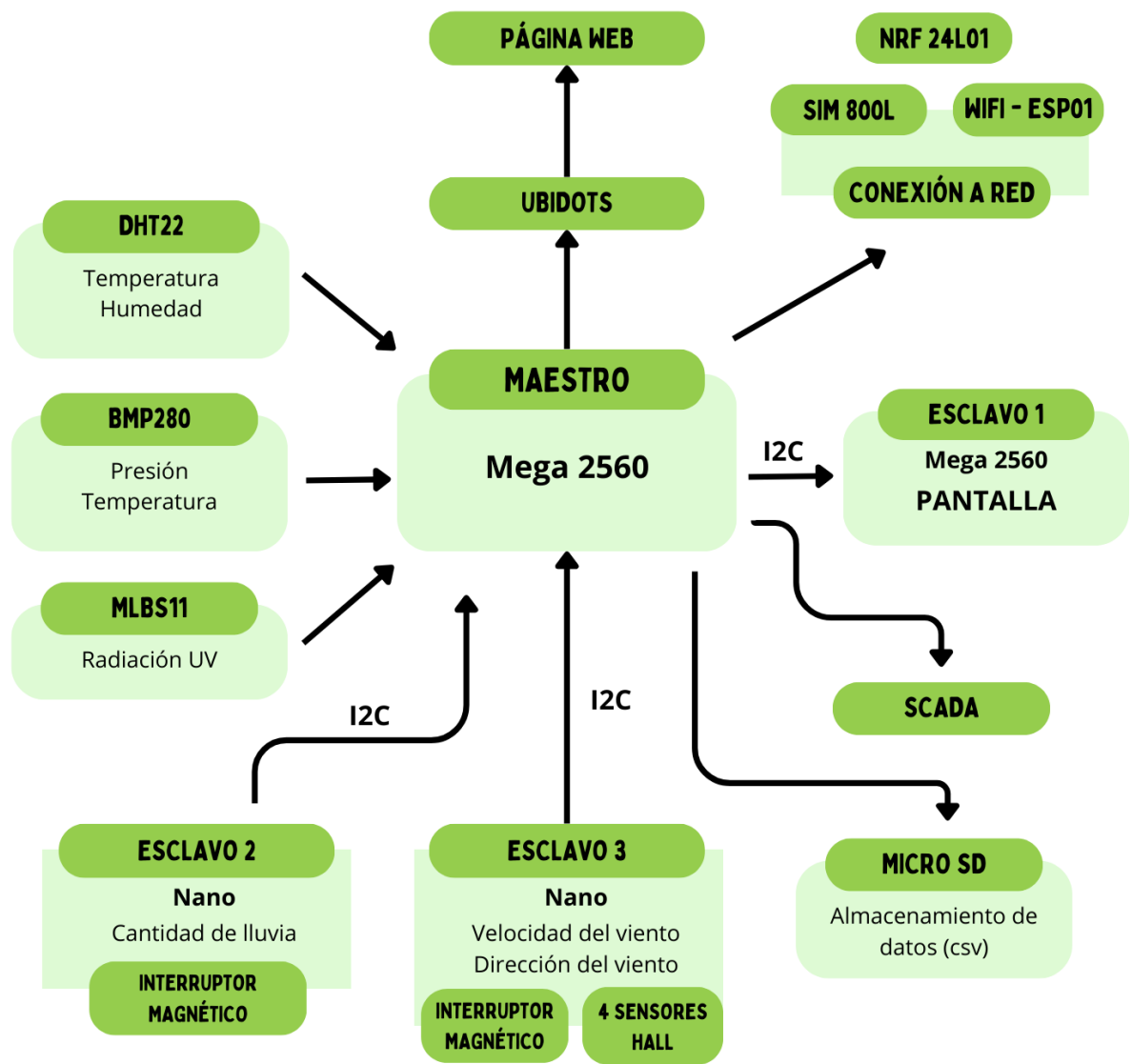
Figura 22. Interfaz de la página web



Nota. Elaboración propia

Figura 23. Estado del prototipo

- No empezado
- En proceso / designada
- Terminado



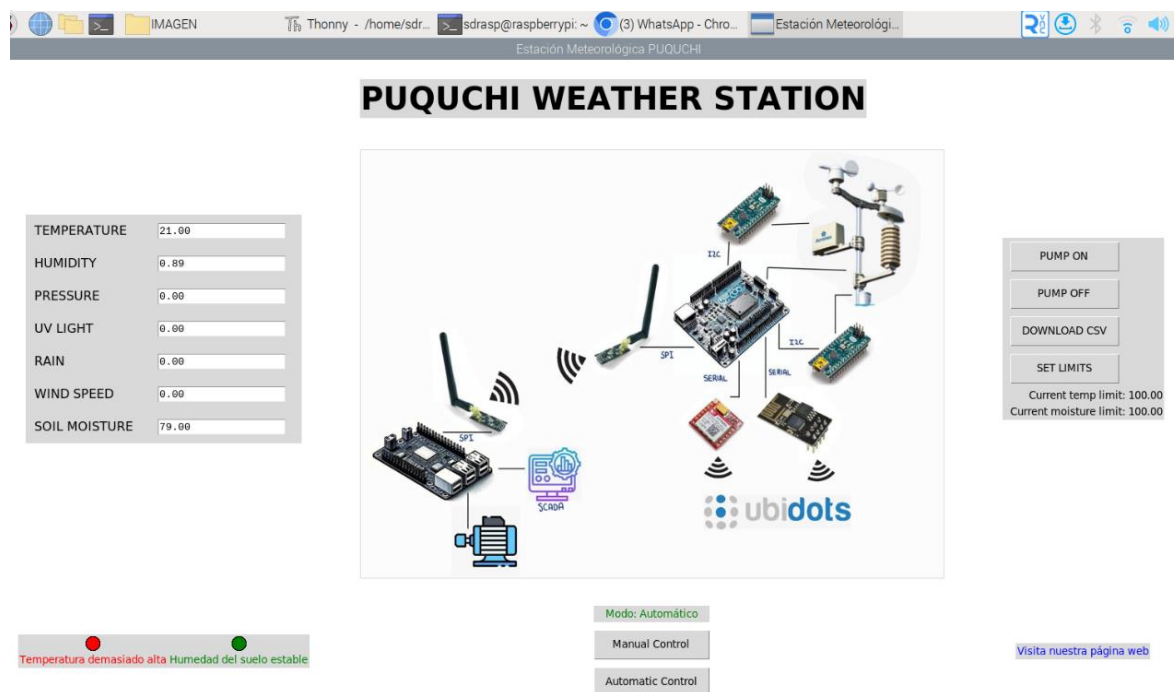
Nota. Elaboración propia

Sistema de automatización: SCADA

El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) integrado permite la automatización y control en nuestra estación meteorológica. Este sistema es responsable de la visualización y el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos tales como temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación ultravioleta (UV), precipitación, velocidad del viento y humedad del suelo. Además, el SCADA está directamente vinculado con el sistema de riego, proporcionando un control a través de funciones como "Pump On" y "Pump Off", lo que permite una gestión eficiente del bombeo de agua.

Para la adaptabilidad en la gestión del riego, se han implementado funciones como la descarga de datos en formato CSV y la configuración de límites específicos para las condiciones de riego mediante la opción "Set Limits".

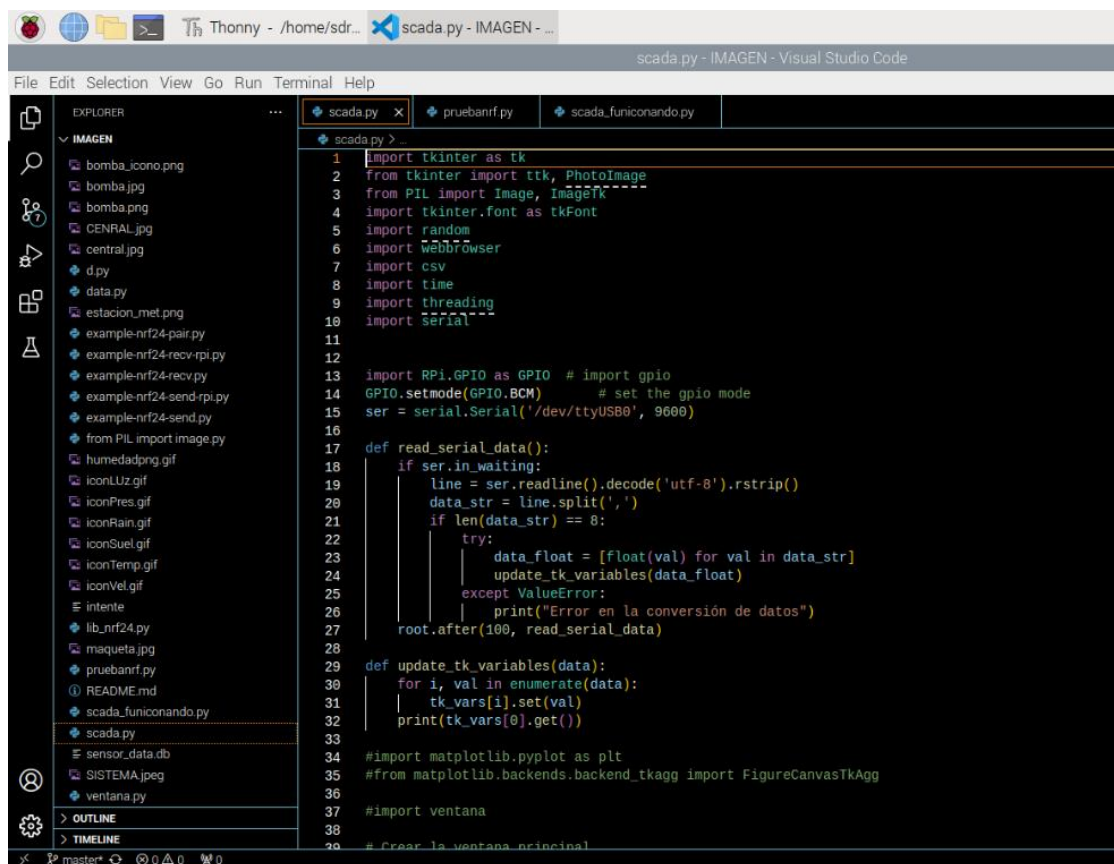
Figura 24. Scada desarrollado: Puquchi Weather Station



Nota. Elaboración propia

El SCADA también ofrece automatización a través de opciones de control "Manual" y "Automático". En el modo automático, el sistema ajusta el riego basándose en algoritmos predefinidos que toman en cuenta los datos ambientales en tiempo real. El modo de control manual permite al operador tomar decisiones inmediatas y ajustar el sistema sobre la marcha, lo que es útil durante eventos climáticos inesperados o para realizar mantenimiento y pruebas del sistema.

Figura 25. Código y configuración del Scada



The image shows a Visual Studio Code editor window with the file 'scada.py' open. The left sidebar displays the 'EXPLORER' view with a file tree for a project named 'IMAGEN'. The file tree includes various image files (e.g., bomba_ico.png, bomba.jpg, bomba.png, CENRAL.jpg, central.jpg, d.png, data.py, estacion_met.png, example-nrf24-pair.py, example-nrf24-recv-rpi.py, example-nrf24-recv.py, example-nrf24-send-rpi.py, example-nrf24-send.py, from PIL import image.py, humedad.png.gif, iconLuz.gif, iconPres.gif, iconRain.gif, iconSuel.gif, iconTemp.gif, iconVel.gif, intente, lib_nrf24.py, maqueta.jpg, pruebairf.py, README.md, scada_funiconando.py, scada.py, sensor_data.db, SISTEMA.jpeg, ventana.py) and folders 'OUTLINE' and 'TIMELINE'. The main editor area shows the code for 'scada.py', which includes imports for tkinter, PIL, random, webbrowser, csv, time, threading, and serial. The code defines functions for reading serial data and updating Tk variables. The code is as follows:

```
1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk, PhotoImage
3 from PIL import Image, ImageTk
4 import tkinter.font as tkFont
5 import random
6 import webbrowser
7 import csv
8 import time
9 import threading
10 import serial
11
12
13 import RPi.GPIO as GPIO # import gpio
14 GPIO.setmode(GPIO.BCM) # set the gpio mode
15 ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600)
16
17 def read_serial_data():
18     if ser.in_waiting:
19         line = ser.readline().decode('utf-8').rstrip()
20         data_str = line.split(',')
21         if len(data_str) == 8:
22             try:
23                 data_float = [float(val) for val in data_str]
24                 updateTk_variables(data_float)
25             except ValueError:
26                 print("Error en la conversión de datos")
27         root.after(100, read_serial_data)
28
29 def updateTk_variables(data):
30     for i, val in enumerate(data):
31         tk_vars[i].set(val)
32     print(tk_vars[0].get())
33
34 #import matplotlib.pyplot as plt
35 #from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
36
37 #import ventana
38
39 # Crear la ventana principal
```

Nota. Elaboración propia

Alimentación: Panel Solar

La importancia de contar con una central meteorológica alimentada por paneles solares radica en su capacidad para garantizar un suministro continuo de energía, independientemente de las condiciones climáticas o ubicación geográfica. Los paneles solares aprovechan la energía del sol, una fuente renovable y sostenible, para generar electricidad de manera autónoma. Esta característica es especialmente crucial para las estaciones meteorológicas, ya que la recolección constante de datos atmosféricos y climáticos requiere una alimentación ininterrumpida.

La energía solar ofrece una solución eficiente y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuyendo la huella de carbono de la central meteorológica. Además, al operar con paneles solares, se logra una mayor autonomía y fiabilidad del sistema, ya que no está sujeto a cortes de energía o interrupciones en la red eléctrica.

En la tabla 4 se muestran los cálculos para la potencia del panel.

Tabla 4. Cálculo de potencia del panel

Cálculo de potencia del panel			
Dispositivo	Potencia requerida	Voltaje máximo de alimentación	Corriente máxima de alimentación
Arduino Nano	0.46	5	46
Arduino Mega	0.93	5	93
Pantalla TFT	0.0099	3.3	3
Pantalla LCD	0.025	5	5
Modulo SIM 800L	2.5	5	500
Modulo Wifi ESP8666/ESP01	0.66	3.3	200
Modulo LM2596 (Step down)	9	3	3000
Sensor BMP280 (Presión y T°)	0.000576	3.6	0.16

Sensor DHT22 (T° y Humedad)	0.0055	5.5	1
Sensor ML8511 (UV)	0.005	5	1
Modulo KY-21 (Interrupor magnético)	0.05	5	5
Modulo Hall 49E (Sensores hall)	0.96	24	10
Ventilador de 5 V	0	0	500
Modulo NRF24L01 (conexión con raspberry)	0.066	3.3	20
	14.671976		

Después de llevar a cabo los cálculos necesarios, se determinó que se requiere una potencia de 14 W para satisfacer los requerimientos del sistema. En consecuencia, se inició la búsqueda de un panel adecuado que pudiera adquirirse para cumplir con este nivel de potencia. Después de evaluar diversas opciones, se optó por la compra de un panel de 20 W, el cual se visualiza en la figura 26. Esta elección se basa en asegurar un suministro de energía suficiente para cubrir las necesidades del proyecto, proporcionando un margen adicional para posibles variaciones o expansiones futuras. La selección de este panel de 20 W representa una solución eficiente y robusta para garantizar un rendimiento óptimo del sistema.

Figura 26. Panel solar 12V 20W



Paneles Solares, Paneles Solares 12V

Panel Solar TAI Energy 12V 20W

[Añadir a la lista de deseos](#)
[Comparar](#)

El **Panel Solar TAI Energy 12V 20W** es el de menor tamaño y peso del fabricante TAI Energy. El **Panel Solar TAI Energy 12V 20W** es manejable, ligero y compacto, ideal para instalaciones pequeñas o juguetes.

S/122.92

Figura 27. Especificaciones del panel solar

Número de artículo	Descripción	Peso neto	Rendimiento eléctrico bajo STC (1)				
			Nominal Potencial	Tensión Máxima	Corriente Máxima	Tensión en Vacío	Corriente de cortocircuito
			PMPP	VMP	IMPP	Voc	Isc
TAI50Wp-156-36P	20W - Poly 540x670x25 / 30mm	4.3	50	17.6	2.84	21.8	3.10
TAI100Wp-156-36P	80W - Poly 1030x670x35mm	8.9	100	17.6	5.68	21.8	6.12
TAI150Wp-156-36P	150W - Poly 1470x680x35mm	12	150	17.90	6.70	22.40	8.81
TAI200Wp-156-54P	200W - Poly 1470x680x35mm	15	200	26.60	7.52	32.00	8.33
TAI250Wp-156-60P	250W - Poly 1640x992x40mm	17	250	30.00	8.33	36.40	9.03
TAI300Wp-156-72P	300W - Poly 1956x992x50mm	24	300	35.60	7.72	43.20	8.48

Módulo	TAI 50WP	TAI 80WP	TAI 100WP	TAI 150WP	TAI 200WP	TAI 250WP	TAI 300WP
Potencia nominal (tolerancia ±3%)	50W	80W	100W	150W	200W	250W	300W
Tipo de celda	Policristalina						
Cantidad de celdas en serie	36				54	60	72
Tensión máxima del sistema (V)	1000V						
Coefficiente de temperatura de PMPP	-0.47/°C			-0.47/°C			
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.38/°C			-0.38/°C			
Coefficiente de temperatura de Isc (%)	+0.1/°C			+0.1/°C			
Rango de temperatura	- 40°C a +80°C						
Capacidad de carga máxima en su superficie	200kg/m²						
Resistencia máxima al impacto	23m/s, 7,53g						
Conector	MC4						
Longitud de los cables	900mm						
Tolerancia de salida	+/-3%						

Figura 28. Reguladores de voltaje





-33%

Módulo Multisalida de Voltaje
DC12V a 3.3v 5V 12V

5/6.00

S/4.00

En stock

✓ Hay existencias

- 1 +

AÑADIR AL CARRITO

🔗 Compare

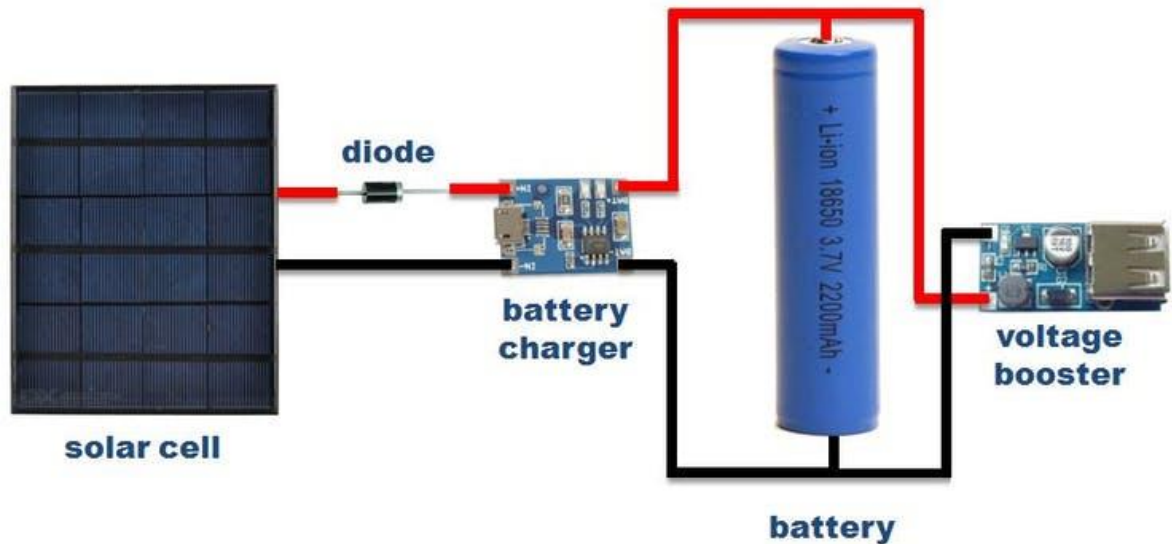
📌 Agregar al Wishlist

SKU: H002-AA197

Categorías: Adaptadores, Módulos, Reguladores de voltaje

Compartir: [f](#) [t](#) [p](#) [in](#) [o](#)

Figura 29. Esquema de conexiones



Nota. Extraído de *Alimentación solar y batería 18650 para Arduino UNO*, 2019

Panel Solar

Se conectan los cables del panel solar al regulador de carga, asegurando que los cables positivos y negativos del panel solar estén conectados a las terminales correspondientes en el regulador de carga.

Regulador de carga solar

En el regulador de carga, se encuentran las terminales designadas para la conexión de los cables del panel solar, se debe conectar el cable positivo del panel solar al terminal positivo del regulador y el cable negativo del panel solar al terminal negativo del regulador.

Luego se conecta la salida del regulador de carga a la batería o al banco de baterías utilizando cables adecuados para esta conexión.

Se debe asegurar que la polaridad coincida correctamente, el cable positivo del regulador se conecta al terminal positivo de la batería y el cable negativo del regulador al terminal negativo de la batería.

Batería

La batería tendrá terminales positivas y negativas, se conecta el cable positivo del regulador al terminal positivo de la batería y el cable negativo del regulador al terminal negativo de la batería.

Cálculo de la capacidad

$$Corriente (A) = \frac{Potencia}{Tensión}$$

$$Corriente = 1.67 A$$

$$Capacidad de la batería (Ah) = Corriente * tiempo de funcionamiento deseado$$

Tomando en cuenta un período de 8 horas, que representa el tiempo durante el cual la radiación solar impacta directamente sobre el panel solar.

$$Capacidad de la batería = 1.67 * 8h$$

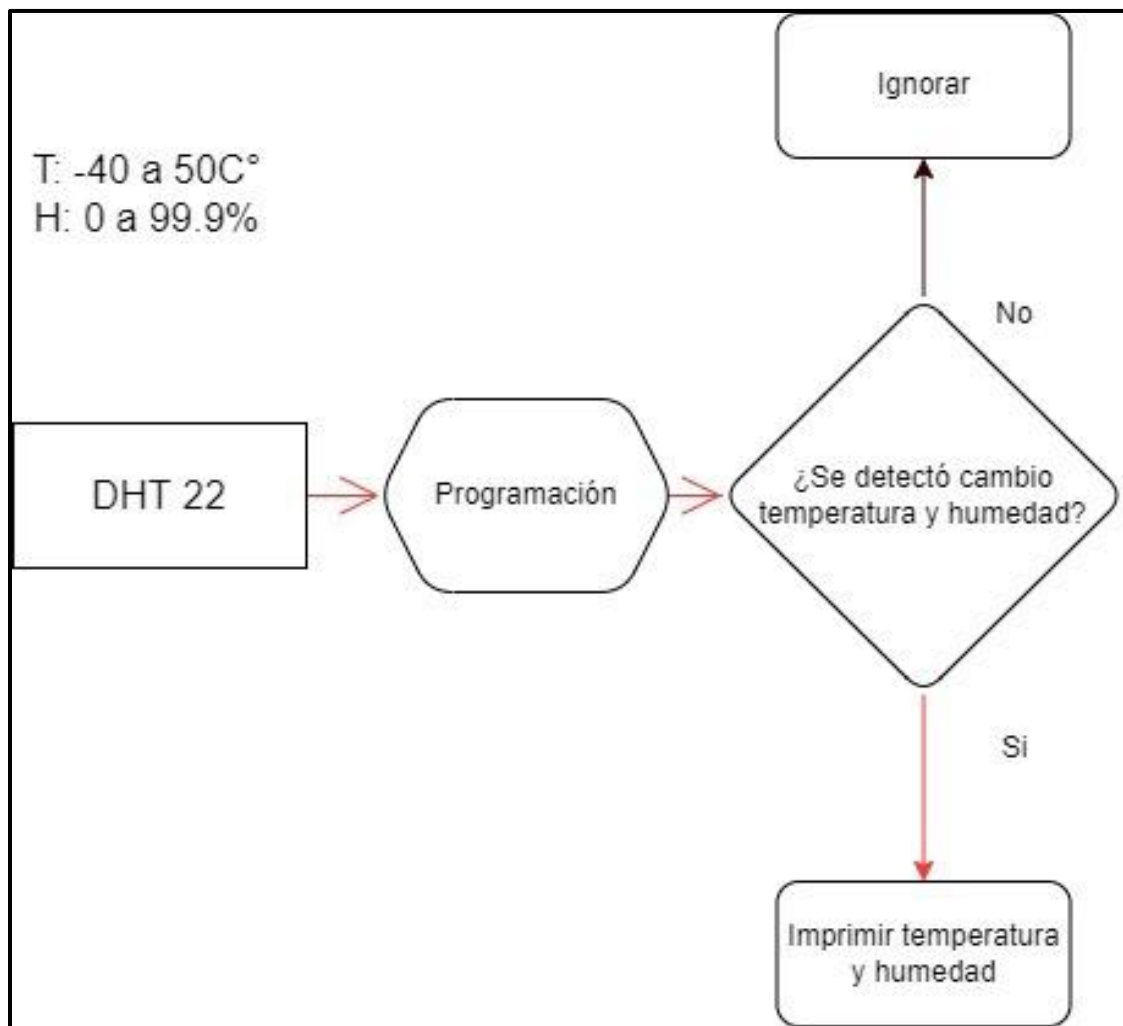
$$Capacidad de la batería = 14 Ah (aproximadamente)$$

Sensores

Conectar los sensores a la salida del regulador de carga o directamente a la batería, dependiendo de la configuración.

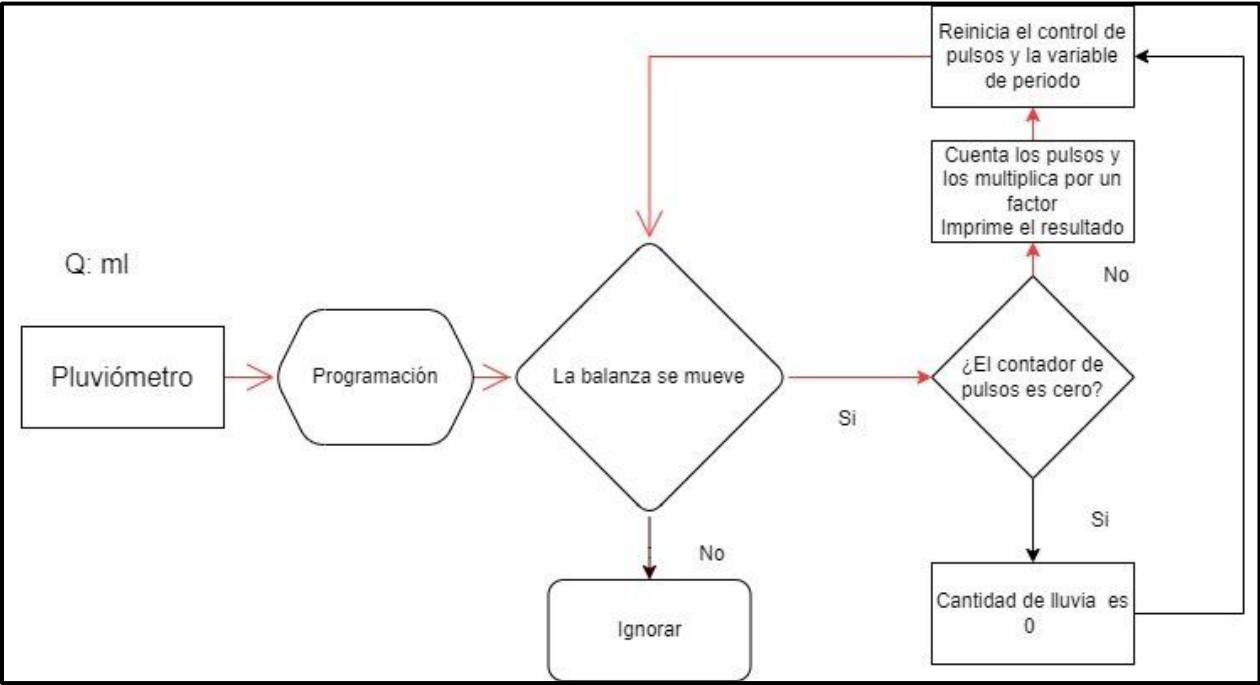
Diagrama de flujo

Figura 30. Diagrama de flujo de sensor de temperatura y humedad



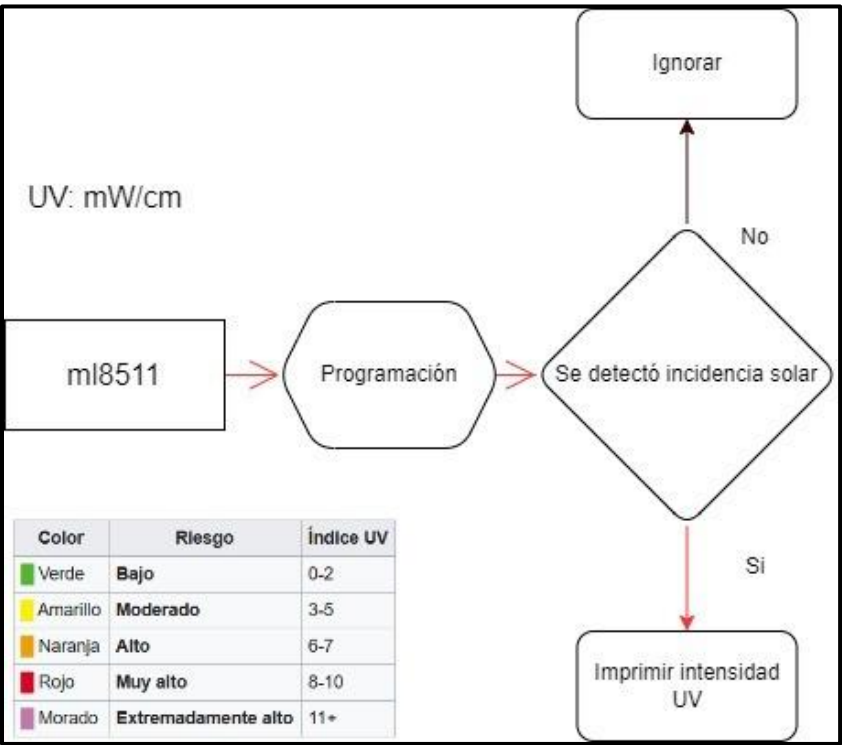
Nota. Elaboración propia

Figura 32. Diagrama de flujo del pluviómetro



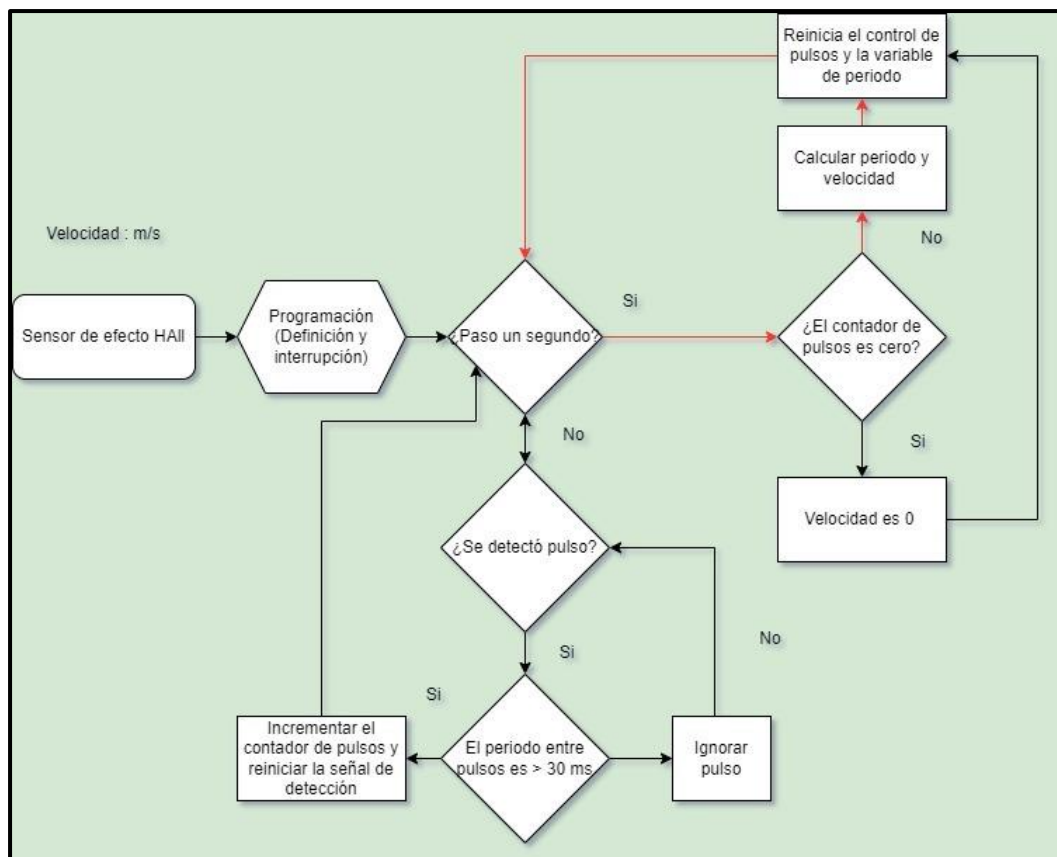
Nota. Elaboración propia

Figura 31. Diagrama de flujo del sensor ML8511



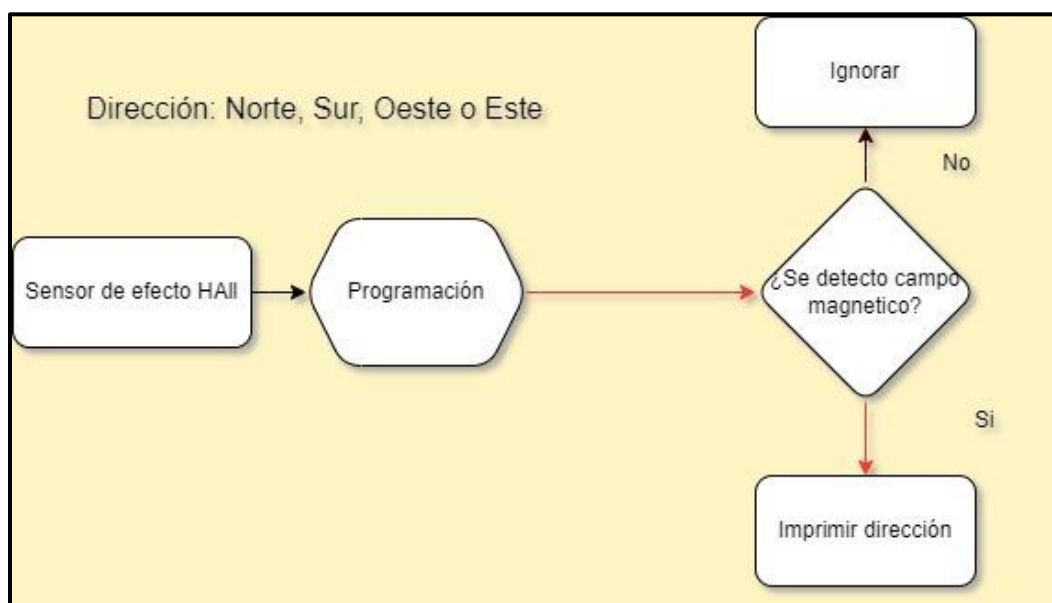
Nota. Elaboración propia

Figura 33. Diagrama de flujo de sensor efecto hall



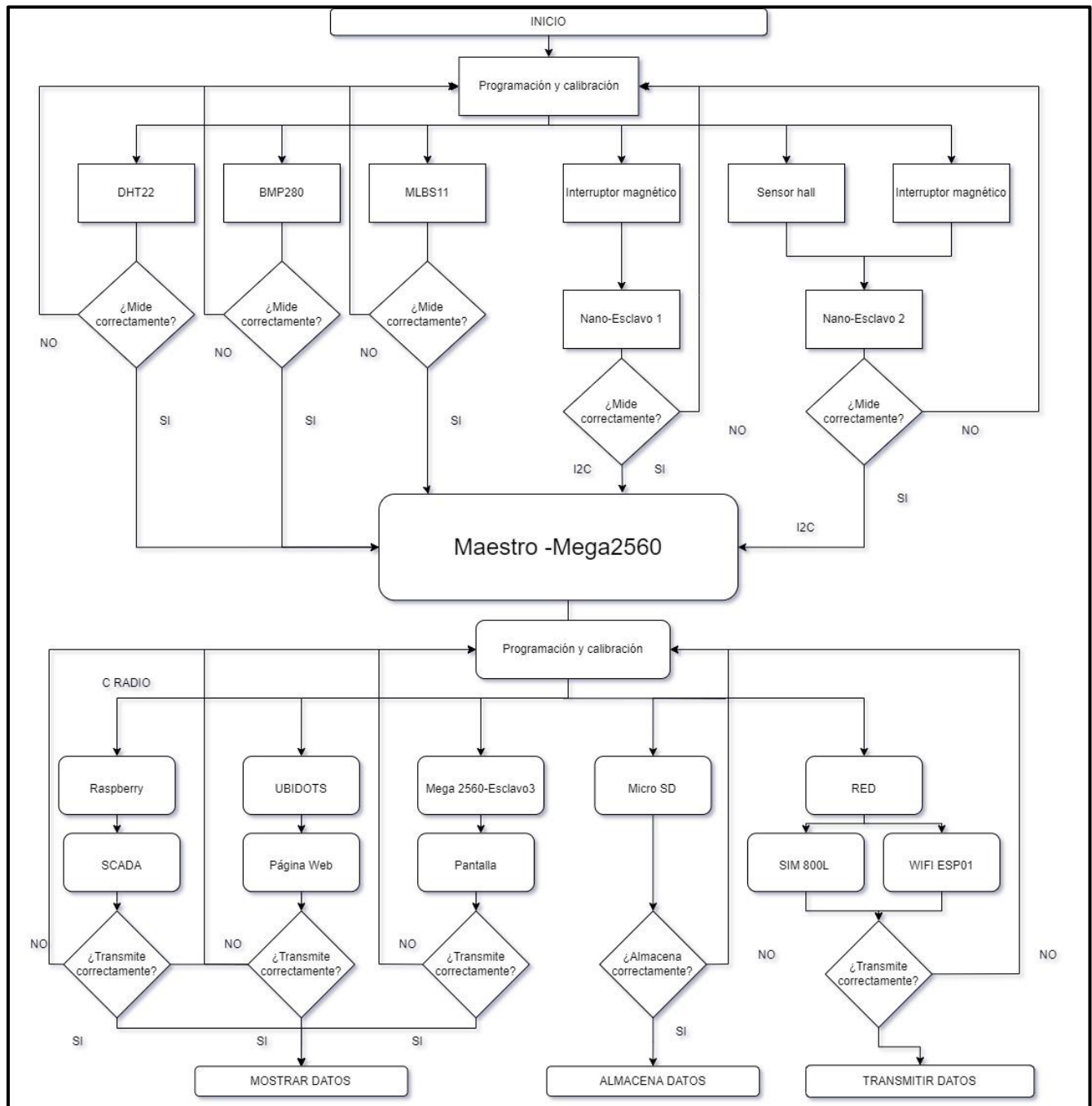
Nota. Elaboración propia

Figura 34. Diagrama de flujo de sensor de efecto hall



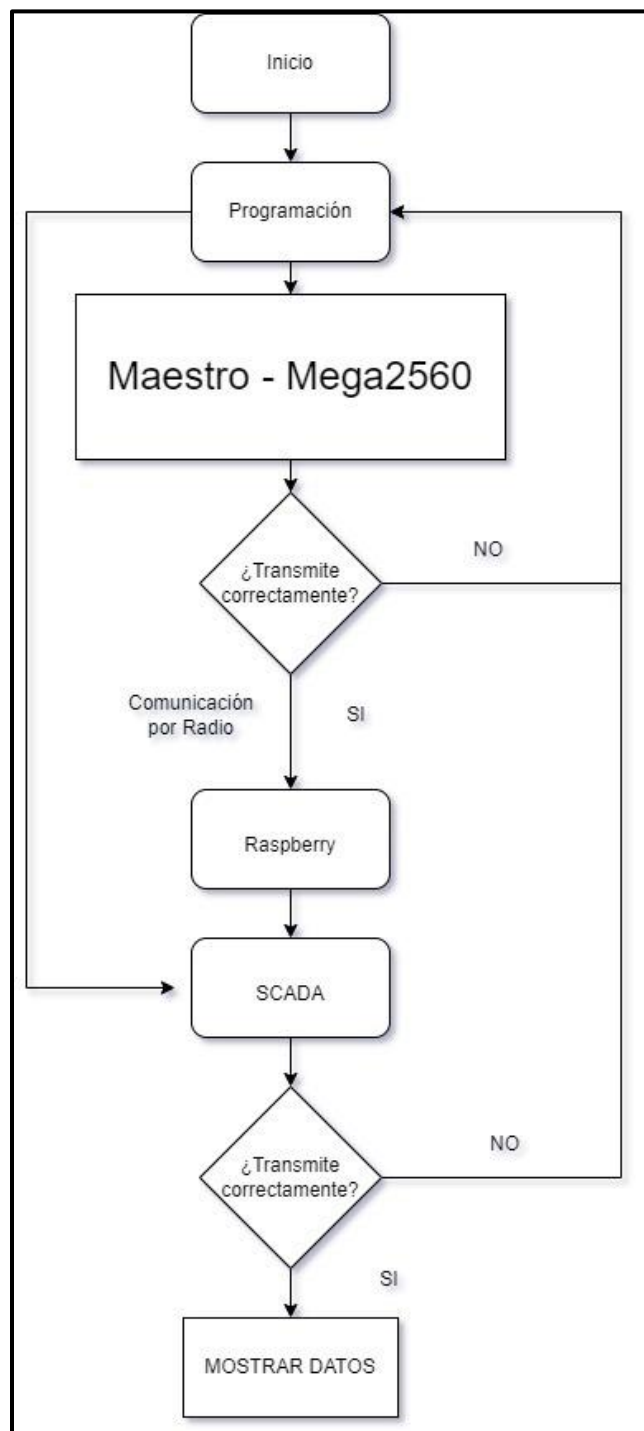
Nota. Elaboración propia

Figura 35. Diagrama de flujo de la estación meteorológica



Nota. Elaboración propia

Figura 36. Diagrama de flujo de la comunicación del Maestro al Raspberry



Nota. Elaboración propia

Cronograma de actividades final

Nombre		Duración (días)	Comienzo	Fin
Construcción de Estación Meteorológica		70	8-Set-23	17-Nov-23
1	Desarrollo del informe N°1	9	6-Set-23	15-Set-23
1.1	Elaboración del plan de trabajo	1	6-Set-23	6-Set-23
1.2	Revisión bibliográfica	4	6-Set-23	10-Set-23
1.3	Visita a estación meteorológica Ramon Mujica	1	7-Set-23	7-Set-23
1.4	Elaboración de las tareas asignadas a los miembros del equipo	1	8-Set-23	8-Set-23
1.5	Planteamiento de pregunta de investigación	1	8-Set-23	8-Set-23
1.6	Definir los objetivos del proyecto.	1	8-Set-23	8-Set-23
1.7	Planteamiento de propuesta de solución	1	8-Set-23	8-Set-23
1.8	Identificar requerimientos del proyecto	3	8-Set-23	11-Set-23
1.9	Identificar los componentes necesarios para la estación meteorológica.	2	8-Set-23	10-Set-23
1.10	Reunión con asesor	1	12-Set-23	12-Set-23
1.11	Adquirir los componentes necesarios.	1	10-Set-23	10-Set-23
1.12	Elaboración del diagrama de flujo	1	12-Set-23	12-Set-23
1.13	Elaboración del cronograma de actividades	1	13-Set-23	13-Set-23
1.14	Diseñar el esquema general de la estación meteorológica.	5	13-Set-23	18-Set-23
1.15	Investigación personal sobre manejo de Arduino y Raspberry	3	8-Set-23	11-Set-23
1.16	Elaboración del avance N°1	6	8-Set-23	14-Set-23
1.17	Corrección del avance N°1	1	14-Set-23	14-Set-23
2	Entrega del informe N°1	1	15-Set-23	15-Set-23
3	Desarrollo del informe N°2	34	16-Set-23	20-Oct-23
3.1	Reunión con asesor	1	21-Set-23	21-Set-23
3.2	Investigación de la tecnología actual	1	17-Set-23	17-Set-23
3.3	Definir la tecnología a usar	1	18-Set-23	18-Set-23
3.4	Diseñar la estructura en software Proteus	5	19-Set-23	24-Set-23
3.5	Diagrama de flujo del sistema electrónico	1	24-Set-23	25-Set-23

3.6	Diseño de modelos 3D de los sensores: Anemómetro de dirección, anemómetro de velocidad y pluviómetro	4	25-Set-23	29-Set-23
3.9	Programación del Maestro (Mega 2560)	4	25-Set-23	29-Set-23
3.18	Reunión con asesor	1	26-Set-23	27-Set-23
3.10	Programación del Esclavo 1: Pantallas	1	29-Set-23	30-Set-23
3.11	Programación del SIM 800 L	3	30-Set-23	3-Oct-23
3.12	Programación del WIFI - ESP01	3	3-Oct-23	6-Oct-23
3.13	Conexión a red WIFI	3	6-Oct-23	9-Oct-23
3.7	Impresión de los modelos mediante fabricación aditiva	2	9-Oct-23	11-Oct-23
3.8	Pruebas preliminares para asegurar funcionalidad de sensores	2	8-Oct-23	10-Oct-23
3.14	Programación del sensor de temperatura	2	11-Oct-23	13-Oct-23
3.15	Construcción del sensor de temperatura (Modelos 3D + Sensor)	2	13-Oct-23	15-Oct-23
3.16	Programación del sensor de humedad	2	11-Oct-23	13-Oct-23
3.17	Construcción del sensor de humedad (Modelos 3D + Sensor)	2	13-Oct-23	15-Oct-23
3.19	Programación del Anemómetro de velocidad	2	11-Oct-23	13-Oct-23
3.20	Construcción del Anemómetro de velocidad (Modelos 3D + Sensor)	2	13-Oct-23	15-Oct-23
3.21	Programación del Anemómetro de dirección	2	11-Oct-23	13-Oct-23

3.22	Programación del Pluviómetro	2	13-Oct-23	15-Oct-23
3.23	Diseño de la estructura de estación meteorológica	4	15-Oct-23	19-Oct-23
3.24	Reunión con asesor	1	5-Oct-23	6-Oct-23
3.25	Programación para conexión con UBIDOTS	5	9-Oct-23	14-Oct-23
3.26	Pruebas de los avances	1	15-Oct-23	16-Oct-23
3.27	Elaboración del avance N°2	6	18-Oct-23	24-Oct-23
3.28	Corrección del avance N°2	1	19-Oct-23	20-Oct-23
4	Entrega del informe N°2	1	20-Oct-23	20-Oct-23
5	Desarrollo del informe N°3	34 días	21-Oct-23	17-Nov-23
5.1	Construcción del Anemómetro de dirección (Modelos 3D + Sensor)	2	28-Nov-23	2-Dic-23
5.2	Construcción del Pluviómetro (Modelos 3D + Sensor)	2	10-Nov-23	12-Nov-23
5.3	Programación del sensor ML8511 de Radiación UV	2	15-Nov-23	17-Nov-23
5.4	Construcción del sensor ML8511 de Radiación UV (Modelos 3D + Sensor)	2	17-Nov-23	19-Nov-23
5.5	Construcción del sensor BMP280, Interruptor magnético	2	19-Nov-23	21-Nov-23
5.6	Calibración de todos los sensores	7	21-Nov-23	28-Nov-23
5.7	Diseño y elaboración de PCB para ensamble del Maestro	4	28-Nov-23	2-Dic-23
5.8	Diseño y elaboración de PCB para ensamble de los esclavos	2	2-Dic-23	4-Dic-23
5.9	Programación del módulo de radio NRF 24L01	1	9-Nov-23	10-Nov-23

5.10	Construcción de la superficie de la estación meteorológica	5	10-Nov-23	15-Nov-23
5.11	Configurar el SCADA para recibir y visualizar datos en tiempo real	2	15-Nov-23	17-Nov-23
5.12	Configurar el SCADA para accionar la bomba	2	17-Nov-23	19-Nov-23
5.13	Revisar y analizar los datos recopilados durante las pruebas de campo.	2	10-Nov-23	12-Nov-23
5.14	Elaboración de maqueta para los accionamientos	4	10-Nov-23	14-Nov-23
5.15	Elaboración de conclusiones y recomendaciones	1	15-Nov-23	16-Nov-23
5.16	Elaboración del avance N°3	1	15-Nov-23	16-Nov-23
5.17	Corrección del avance N°3	1	16-Nov-23	17-Nov-23
6	Entrega del informe N°3	1	17-Nov-23	17-Nov-23
7	Elaboración de red neuronal	30	30-Set-23	30-Oct-23
7.1	Desarrollo de red neuronal	20	30-Set-23	20-Oct-23
7.2	Entrenamiento y validación	5	20-Oct-23	25-Oct-23
7.3	Evaluación de precisión	5	25-Oct-23	30-Oct-23
8	Desarrollo de página web/ aplicación	14 días	1-Jun-23	14-Jun-23
8.1	Investigación sobre diseño de páginas web	4	8-Set-23	12-Set-23
8.2	Requerimientos de la aplicación	5	27-Set-23	2-Oct-23
8.3	Diseño	2	2-Oct-23	4-Oct-23
8.4	Desarrollo	8	10-Oct-23	18-Oct-23
8.5	Pruebas	1	18-Oct-23	18-Oct-23
9	Entrega proyecto final	1	18-Nov-23	18-Nov-23
9.1	Presentar el circuito desarrollado	1	18-Nov-23	18-Nov-23

Conclusiones y recomendaciones

1. La conexión I2C es la herramienta adecuada para el prototipo inicial, dado la facilidad, versatilidad y simpleza del protocolo; siendo esta ultima un factor determinante.
2. Es factible implementar 3 formas de comunicación para subir datos a la red: Ethernet, Wifi y Datos móviles, de esta forma le damos versatilidad al prototipo y lo preparamos para escenarios diversos.
3. Ubidots ha demostrado ser una herramienta virtual de muchísima ayuda, dada su disponibilidad para almacenar datos enviados desde el Arduino maestro, pues es gratuita, de alto rendimiento, muy intuitivo y fácil de programar desde el Arduino ID.
4. El filamento PLA y el uso en general de la tecnología de la impresión 3D es un elemento de diseño factible, económico y manufacturable, ha dado muy buenos resultados en la construcción de los principales sensores que conforman el prototipo inicial.
5. Se concluye que los sensores por interrupción magnética (KY-021) son más precisos en detectar el cambio de campo magnético en comparación con el sensor Hall (SS49E).
6. Todos los sensores han probado que su funcionamiento es correcto y sin fallas, así como que poseen una calibración por defecto que se la da el fabricante pero que es modificable.

7. Se recomienda cambiar el embudo del pluviómetro por placas de acrílico o algún material que no retenga agua. Esto para lograr que las mediciones sean más exactas.
8. En un próximo trabajo, se recomienda que para mejorar el rendimiento del anemómetro de velocidad y dirección se haga un embocinado a las piezas para mantener centrado el eje de rotación.
9. Se recomienda que la mayoría de las conexiones se hagan mediante conectores molex u otros del mismo tipo, dado que soldar cables directamente a la PCB los hace propensos a sufrir daños a través de la manipulación constante de la misma.
10. Se recomienda establecer un código de colores para: alimentación, tierra, data y conexión I2C (SDA y SCL).

Referencias

Alimentación solar y batería 18650 para Arduino UNO. (2019, enero 11). Arduino Forum. <https://forum.arduino.cc/t/alimentacion-solar-y-bateria-18650-para-arduino-uno/567057>

Belupú, C. I. (2022). *Propuesta de una plataforma de agricultura inteligente basada en IoT para el monitoreo de las condiciones climáticas del cultivo de banano* [Tesis doctoral en Ingeniería con mención en: Automatización, Control y Optimización de Procesos, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/6143>

Carbonell, N., & De la Rosa, D. (2013). *Prototipo de estación meteorológica para la medición de variables ambientales aplicando técnicas de diseño experimental y el uso de la plataforma embebida arduino.* <http://hdl.handle.net/11323/501>

INEI. (2010). *Impactos económicos de las inundaciones en la región Piura.* https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1428/libro.pdf

López, A., Bohorquez, C., & Gómez, R. (2019). *Sistema Internet de las Cosas para medición y monitoreo de variables medioambientales en la agricultura inteligente.*

Nolasco, P. D. (2023). *Aplicación de Machine Learning para pronóstico de desplazamiento de lluvias usando imágenes del radar de lluvias de UDEP* [Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/6007>

Núñez, C. (2020, noviembre 10). *3D-printed weather stations could enable more science for less money* | Argonne National Laboratory. Argonne National Laboratory. <https://www.anl.gov/article/3dprinted-weather-stations-could-enable-more-science-for-less-money>

Rodríguez, R., Mabres, A., Cruz, G., La Madrid, R., & Rollenbeck, R. (2019). Radar de lluvias en Piura para observar El Niño. *Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño*. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5144>

Sosa, M. A., & Ramírez, J. A. (2020). *Diseño de una red de unidades (WSN) meteorológicas para monitoreo remoto de sistemas de energías renovables* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2388>

Ubidots STEM. (2022). GetApp. <https://www.getapp.es/software/2059488/ubidots>

UNESCO. (2021, septiembre 21). *Cada vez más migrantes climáticos en Perú*. UNESCO. <https://es.unesco.org/courier/2021-4/cada-vez-mas-migrantes-climaticos-peru>