



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSGRADO



Facultad de
Posgrado

MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

**“ESTACIÓN AUTÓNOMA DE PARÁMETROS AGRÍCOLAS BASADO EN
INTERNET DE LAS COSAS”**

Tesis de Maestría presentada en cumplimiento parcial de los requisitos de la Maestría en
Mecatrónica: Mención Procesos Industriales

AUTOR: Ing. Luis Antonio Burbano Robles.

TUTOR: MSc. Irving Reascos Paredes

IBARRA-ECUADOR

2022



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Como director del trabajo de investigación con el tema: “ESTACIÓN AUTÓNOMA DE PARÁMETROS AGRÍCOLAS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS”, trabajo que fue realizado por Luis Antonio Burbano Robles , previo a la obtención del título de Magister en mecatrónica mención procesos industriales, doy fe de que la obra mencionada reúne los requisitos y méritos suficientes para ser públicamente sustentada en juicio para ser oportunamente aprobada.

Ibarra, 18 de mayo del 2022.



Firmado electrónicamente por:

**IRVING MARLON
REASCOS PAREDES**

MSc. Irving Reascos Paredes

TUTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSGRADO
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



Facultad de
Posgrado

**AUTORIZACIÓN Y USO DE PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002584074		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Burbano Robles Luis Antonio		
DIRECCIÓN:	Av. Atahualpa 47-18		
EMAIL:	laburbanor@utn.edu.ec		
TELÉFONO MÓVIL:	NO	TELÉFONO MÓVIL:	0999648445

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ESTACIÓN AUTÓNOMA DE PARÁMETROS AGRÍCOLAS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS”
AUTOR:	Luis Antonio Burbano Robles
FECHA:	19/05/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magister en Mecatrónica Mención Procesos Industriales
ASESOR/DIRECTOR:	MSc. Irving Reascos Paredes

2. CONSTANCIAS

El autor Luis Antonio Burbano Robles, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 8 de septiembre del 2022



Firmado electrónicamente por:

**LUIS ANTONIO
BURBANO
ROBLES**

Ing. Luis Antonio Burbano Robles

CI: 1002584074



Facultad de
Posgrado

REGISTRO BIBLIOGRAFICO

Guía: POSGRADO – UTN

Fecha: Ibarra, 18 de mayo de 2022

Luis Antonio Burbano Robles: “ESTACIÓN AUTÓNOMA DE PARÁMETROS AGRÍCOLAS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS” / GRADO MAGISTER EN MECATRÓNICA MENCIÓN PROCESOS INDUSTRIALES, Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

DIRECTOR: MSc. Irving Reascos Paredes

El objetivo general de esta tesis fue: Construir una estación autónoma de parámetros agrícolas basado en el internet de las cosas (IoT).

Entre los objetivos específicos estaban: Analizar integralmente estaciones agrícolas actuales basadas en IoT.

Diseñar un sistema embebido autónomo para el monitoreo, envío y presentación de parámetros agrícolas mediante IoT.

Implementar una plataforma de recolección, análisis y presentación de datos.

Evaluar la estación autónoma en condiciones reales de trabajo.



Firmado electrónicamente por:
**IRVING MARLON
REASCOS PAREDES**

MSc. Irving Reascos Paredes



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ANTONIO
BURBANO
ROBLES**

Ing. Luis Antonio Burbano Robles

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer; con toda la humildad dedico primeramente este trabajo a Dios.

A mi querida familia por darme siempre todo su apoyo, comprensión y cariño en todos los momentos de mi vida.

RECONOCIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por haber permitido reforzar mis conocimientos en esta nueva etapa, a sus docentes por compartir toda su sabiduría. A mis asesores quienes fueron mi guía en la elaboración de este trabajo, por dedicarme parte de su tiempo para que este proyecto sea la mejor guía para alcanzar el éxito deseado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	1
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	2
AUTORIZACIÓN Y USO DE PUBLICACIÓN	3
REGISTRO BIBLIOGRAFICO	5
DEDICATORIA	6
RECONOCIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPITULO I.....	14
EL PROBLEMA.....	14
1.1. Planteamiento del Problema.....	14
1.2. Antecedentes	15
1.3. Objetivos de la investigación.....	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Justificación	16
1.5 Alcance	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEORICO.....	18
2.1. Parámetros Agrícolas	18
2.1.1. Humedad Suelo	18
2.1.2. Temperatura Ambiente.....	18
2.1.3. Calidad de aire.....	19
2.2. Internet de las Cosas (IoT).....	19
2.2.1. Protocolo de comunicación.....	20
2.3. Sensores	22
2.3.1. Sensor de temperatura y humedad	22
2.3.2. Sensor de Calidad de Aire MQ-135	23
2.3.3. Sensor de Humedad del suelo FC-28.....	24
2.4. Estaciones agrícolas actuales	26

2.4.1. Estación meteorológica Dyacon	26
2.4.2. Estación meteorológica Maher	27
2.4.3. Estación meteorológica DARRERA.....	28
CAPÍTULO III.....	30
MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1. Descripción del área de estudio	30
3.2. Enfoque y tipo de investigación	30
3.3. Modelo en V	31
3.3.1. Análisis.....	32
3.3.2. Requerimientos	33
3.3.3. Selección de hardware y especificaciones	34
3.3.4. Plataforma de recolección de datos.....	43
CAPÍTULO IV	46
RESULTADOS	46
4.1 Diseño.....	46
4.2.1. Diseño de placas electrónicas	46
4.2 Construcción y Ensamblaje.....	52
4.2.2. Construcción armazón.....	54
4.2.3. Construcción de estructura para instalación.....	56
4.3. Funcionamiento.....	59
4.4. Pruebas de funcionamiento	62
4.5. Resultados	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
Referencias.....	67
ANEXOS	69
ANEXO 1. Plano 2d Armazón.....	69
ANEXO 2. Plano 2D armazón sensor DHT22.....	70
ANEXO 3. Plano 2D armazón MQ-135.....	71
ANEXO 4. Plano 2D armazón FC-28.....	72
ANEXO 5. Plano 2D soporte barra	73
ANEXO 6. Plano 2D Soporte Panel Solar	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo MQTT Inprise.....	21
Figura 2 Pinout DHT22.....	22
Figura 3 MQ-135.....	24
Figura 4 FC-28	25
Figura 5 Estación meteorológica Dyacon.	27
Figura 6 Estación meteorológica Maher.	28
Figura 7 Estación meteorológica DARRERA.....	29
Figura 8 Localización empresa Inprise.	30
Figura 9 Etapas modelo en V	31
Figura 10 Sistema de alimentación estación autónoma.....	35
Figura 11 Pinout Arduino Nano.	36
Figura 12 Pinout Arduino Uno.....	36
Figura 13 Pinout Arduino Mega.....	37
Figura 14 Pinout Nodemcu ESP8266.....	38
Figura 15 Pinout Nodemcu ESP32.....	39
Figura 16 Conexión ESP32 a DHT22	41
Figura 17 Conexión ESP32 a FC-28.....	42
Figura 18 Curva característica MQ-135.....	42
Figura 19 Conexión ESP32 a MQ-135	43
Figura 20 Interfaz Node Red.....	44
Figura 21 Interfaz Grafana	45
Figura 22 Pines designados ESP32	48
Figura 23 Divisor de voltaje panel solar.	48
Figura 24 Divisor de voltaje censado de batería.	49
Figura 25 Esquemático Kicad	51
Figura 26 Diseño PBC.....	52
Figura 27 Circuito soldado componentes.....	53
Figura 28 Circuito soldado componentes con ESP32 integrado	53
Figura 29 Conector de avión hembra	54
Figura 30 Base armazón.....	54
Figura 31 Circuito con componentes en armazón	55
Figura 32 Armazón sensores	56
Figura 33 Barra para soportar el modulo.....	56
Figura 34 Soporte superior para barra en armazón	57
Figura 35 Soporte superior para barra en armazón	57
Figura 36 Soporte panel solar.....	58
Figura 37 Soporte panel solar.....	58
Figura 38 Flujograma Funcionamiento	59
Figura 39 Diagrama de flujo Estación.....	60
Figura 40 Diagrama de flujo Node RED.....	60
Figura 41 Código en bloques Node RED.....	61
Figura 42 Diagrama de flujo Grafana.....	61
Figura 43 Interfaz Gráfico Grafana.....	62
Figura 44 Interfaz Gráfico Grafana.....	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa sistemas embebidos	39
Tabla 2. Consumo componentes electrónicos	46
Tabla 3. Valores promediados humedad relativa	63
Tabla 4. Valores promediados temperatura relativa.....	63
Tabla 5. Valores promediados humedad suelo.....	63
Tabla 6. Valores promediados partículas por millón CO ₂	64
Tabla 7. Valores promediados voltaje panel solar.....	64
Tabla 8. Valores promediados voltaje batería	65
Tabla 9. Resultados censados estación agrónoma.....	65

RESUMEN

El presente proyecto basa su desarrollo en la construcción de una estación autónoma de parámetros agrícolas basada en IoT, la estación se ubicará en las oficinas de la empresa Inprise Soluciones Tecnológicas Empresariales que se encuentra ubicada en la ciudad de Ibarra y se dedica al desarrollo de soluciones integrales para las empresas. El primer capítulo del presente proyecto centra su contenido a la explicación de la teoría de los parámetros agrícolas; el concepto del Internet de las Cosas y el protocolo que se usara en la estación autónoma para la comunicación del módulo con la base de datos; las estaciones agrícolas disponibles en el mercado. De esta forma se crea una base teórica para el desarrollo de los siguientes capítulos. El marco metodológico contempla los requerimientos básicos necesarios para la selección de hardware de procesamiento o microcontrolador que manejara la lectura de sensores y envío de los datos hacia la base de datos, también se desarrolla la selección del protocolo de comunicación, los sensores y la plataforma de visualización de datos hacia el usuario final. El capítulo de resultados presenta el diseño, construcción y ensamblaje de cada uno de los componentes que integran la estación autónoma agrícola, detallando que se realizó lecturas continuas por un tiempo aproximado de dos meses, de los cuales se seleccionó una semana para la estandarización de resultados obteniendo un promedio de lectura de cada uno de los sensores que integran la estación.

Palabras clave: Estación agrícola, Internet de las Cosas, Sistemas embebidos, Sistemas Autónomos

ABSTRACT

This project is based on the development the construction of an autonomous station of agricultural parameters based on IoT, the station will be located in Inprise Soluciones Tecnológicas Empresariales, company's office, which is located in Ibarra city and is dedicated to the development of integral solutions for different types of companies.

The first chapter of this project focuses on the explanation of the theory of agricultural parameters; the concept of the Internet of Things and the protocol to be used in the autonomous station for communication between the module and the database; some agricultural stations available in the market are also analyzed.

By this way, a theoretical basis is created for the development of the following chapters.

The methodological framework contemplates the basic requirements necessary for the selection of the processing hardware or microcontroller that will handle the reading of sensors and sending to a database; the selection of the communication protocol, the sensors and the data visualization platform for the end user are also developed.

The results chapter presents the design, construction and assembly of each of the components that make up the autonomous agricultural station, detailing those continuous readings were made for approximately two months, of which one week was selected for the standardization of results, obtaining an average reading of each of the sensors that make up the station.

Key words: Agricultural station, Internet of Things, Embedded systems, Autonomous Systems.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La adquisición, almacenamiento y análisis de parámetros físicos del entorno se ha vuelto vital para mejorar procesos o generar soluciones a tareas que se venían haciendo de forma manual y periódica, y que a su vez al tratarse de tareas presenciales no se realizan con la precisión necesaria y tampoco son monitoreadas constantemente. Para (Fieldview, 2021) disponer de un sistema inteligente de almacenamiento y análisis de datos nos proporciona la capacidad de tomar las mejores decisiones de manejo de nuestros productos y recursos.

En la agricultura desde hace algunos años se han venido desarrollando equipos y maquinarias que han mejorado los procesos productivos, el poder cuantificar en tiempo real y constante variables como temperatura, humedad del ambiente, potencial de hidrogeno [pH] y conductividad del suelo, ayuda no solo para tomar las decisiones importantes, sino también las decisiones correctas con respecto al manejo de los cultivos. (Smart-Fertilizer, 2021)

El análisis de datos mediante técnicas computacionales basadas en los datos recolectados permite que los procesos de siembra, riego, fertilización y cosecha sean optimizados y sirvan para predecir mejoras en los cultivos, además que estos resultados se pueden utilizar a la inversa para activar sistemas automáticos de riego o acondicionar ambientes automáticamente. (Agroptima, 2021)

Los campos agrícolas son muy extensos y se encuentran en zonas en donde el suministro eléctrico o de conectividad no es el más óptimo, además que se debe recolectar datos en diferentes zonas de un cultivo para poder obtener datos más precisos, tomando en cuenta que su instalación pueda realizarse por el mismo personal a cargo del sembrío.

El presente trabajo de maestría propone el diseño y construcción de una estación autónoma de parámetros agrícolas, que cuantifique variables agrícolas de un determinado espacio físico y sus datos puedan ser almacenados, enviados y posteriormente analizados para desarrollar estrategias de mejora para el manejo de cultivos.

1.2. Antecedentes

La investigación realizada en la universidad de Colimba (GUERRERO-IBAÑEZ, ESTRADA-GONZALEZ, & MEDINA-TEJEDA, 2021) explica como el uso de la tecnología en los últimos años ha tenido un fuerte impulso por parte de los investigadores. Hacen referencia al uso de IoT para el almacenamiento de datos y su posterior análisis para aplicarlo en la agricultura. En este trabajo se desarrolla una plataforma de bajo coste para monitorizar cultivos e invernaderos.

(Dagar, Subharanil, & Khatri, 2018) En su trabajo explican como el IoT se ha convertido en una tecnología revolucionaria que representa el futuro de las comunicaciones y la informática, y tratan sobre la implementación de un dispositivo IoT para mejorar la gestión de los cultivos utilizando sensores de pH de suelo, humedad temperatura; proponen una arquitectura simple de sensores el cual a través de una red Wi-Fi envían información al servidor donde se pueda tomar decisiones dependiendo de la información.

Para (Heble, y otros, 2020) lo más importan del uso de IoT es su bajo consumo de energía, para este trabajo hacen una comparativa con una red tradicional y su propuesta, la cual consiste en la monitorización de la humedad del suelo, obteniendo un dispositivo que consume menos energía y tiene una vida útil prolongada en promedio del 83% a un costo menor en comparación a la otra red.

La recolección de datos está creciendo rápidamente y se enfrenta a muchos obstáculos conocidos y desconocidos, es por eso que para (Wang, Yang, & Liu, 2021) nace la necesidad de gestionar granjas agrícolas de forma eficaz y toma de decisiones con precisión; llegando a la conclusión que el análisis a gran escala de datos almacenados reduce el costo de producción y se mejora la eficiencia.

Bajo este escenario de referencias se puede obtener algunas ideas y bases que pueden aportar para el desarrollo de la estación de parámetros agrícolas, tomando en cuenta las mejoras propuestas sobre energía y comunicación autónoma más las mejoras en la presentación y análisis de datos.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo General*

Construir una estación autónoma de parámetros agrícolas basado en el internet de las cosas (IoT).

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Analizar integralmente estaciones agrícolas actuales basadas en IoT.
- Diseñar un sistema embebido autónomo para el monitoreo, envío y presentación de parámetros agrícolas mediante IoT.
- Implementar una plataforma de recolección, análisis y presentación de datos.
- Evaluar la estación autónoma en condiciones reales de trabajo.

1.4. Justificación

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en su reporte de año 2019 (fao.org, 2019) expone que la demanda mundial de productos agrícolas crecerá un 15 por ciento en la próxima década. Sin embargo, los modelos tradicionales de agricultura no pueden satisfacer las demandas actuales. Los agricultores carecen de herramientas para recolectar información que sustente la toma de decisiones para mejorar su producción. La agricultura genera mucha de la comida necesaria, pero también consume mucha del agua disponible en la tierra. Es necesario un cambio significativo para satisfacer las demandas actuales. Existe la necesidad de crear mecanismos o soluciones que generen un balance entre la producción agrícola y la optimización de los recursos utilizados (agua, fertilizante, entre otros), contribuyendo a una producción sustentable (GUERRERO-IBAÑEZ, ESTRADA-GONZALEZ, & MEDINA-TEJEDA, 2021).

El desarrollo de aplicaciones tecnológicas representa una gran oportunidad en el campo agrícola, esta integración ha creado el concepto de agricultura de precisión, que se basa en la monitorización y procesamiento de variables para aplicar la cantidad exacta de insumos en el momento adecuado y en el lugar exacto (Garcia, 2021). Las soluciones basadas en el Internet de las Cosas proporcionan innovación y analítica para gestionar un cultivo, ofreciendo beneficios como monitoreo desde cualquier lugar, información 24/7, alertas en tiempo real, optimización de procedimientos agrícolas entre otras.

Con la consecución del presente trabajo de maestría se podrá obtener una idea más clara de cómo nuestro campo de aplicación desde la mecatrónica puede aportar con soluciones al

área agrícola, se comprenderá y expondrá todas las ventajas, desventajas, beneficios, requisitos y su implementación final, para que sirva como una guía de referencia local para futuras aplicaciones o soluciones derivadas.

1.5 Alcance

El presente trabajo comprende la recopilación de campo de información sobre los diferentes parámetros que se analizan actualmente en el sector agrícola dedicado al cultivo de rosas y como estos son usados en toda la cadena de producción.

Una vez analizados los parámetros se determinarán los sensores necesarios para el propósito y el controlador a ser utilizado, tomando en cuenta que la estación debe contar con energía y comunicación independiente, se analizarán diferentes tipos de baterías y su recarga mediante sistemas autónomos, para la comunicación se estudiarán diferentes tecnologías que puedan ser utilizadas dependiendo de la zona de cobertura, su fiabilidad y su operatividad.

Se describirán diferentes protocolos de comunicación que operan bajo IoT para la comunicación de la estación con la plataforma de almacenamiento y su posterior análisis y representación, los reportes se podrán visualizar en cualquier dispositivo que tenga acceso a internet con una interfaz gráfica que pueda ser interpretada por el personal de campo o técnicos agrícolas.

El dispositivo será ensamblado como un producto final para ser instalado de manera autónoma por el personal agrícola, con materiales resistentes tomando en cuenta las condiciones físicas donde va a operar y que su mantenimiento sea mínimo.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

En el presente capítulo se presentan las bases teóricas que abarcan el desarrollo, diseño e implementación de la estación autónoma, tomando en cuenta como bases los parámetros agrícolas utilizados, el protocolo de comunicación que se utilizara para conectar el módulo con el sistema de censado, además la información de cada uno de los sensores que se utilizara para su implementación. A su vez se presenta un análisis de las estaciones agrícolas actuales que utilizan IoT en la actualidad.

2.1. Parámetros Agrícolas

2.1.1. Humedad Suelo

Unos niveles suficientes de humedad del suelo son una condición importante para la formación adecuada de las plantas y el alto rendimiento de los cultivos. Para la planta, el agua no sólo sirve como agente de restauración de la humedad, sino también como regulador de la temperatura. En el proceso de termorregulación, la planta evapora hasta el 99% del agua obtenida, utilizando sólo entre el 0,2% y el 0,5% para la formación de la masa vegetativa. Por lo tanto, es fácil comprender que la planta tiene diferentes necesidades de humedad según las condiciones climáticas y las etapas de crecimiento. (Earth Observing System (EOS), 2020)

La capacidad de mantener controlada la humedad del suelo permite planificar de forma eficiente los trabajos a realizar en el campo y el tipo de productos que se pueden sembrar para un mejor rendimiento, además el almacenamiento de la información periódica permite realizar un análisis de datos para mejorar las prácticas de cultivo. (Earth Observing System (EOS), 2020)

2.1.2. Temperatura Ambiente

Según (Nutricontrol, 2020) los factores climáticos que influyen sobre el cultivo y la producción se encuentra la temperatura, que debe oscilar entre los 18-25 °C para que la planta pueda crecer correctamente y dar su fruto (Ver tabla con el resumen de exigencias de temperatura para distintas especies). Por debajo o por encima de esta temperatura óptima la planta no se consigue desarrollar adecuadamente y es posible que el cultivo no realice su ciclo biológico normal y no alcance su máximo potencial de rendimiento.

Cada planta tiene sus niveles óptimos de temperatura para su desarrollo, además existen temperaturas máximas y mínimas que pueden soportar por lo cual se vuelve necesario mantener un control constante para tomar decisiones y correctivos adecuados en caso de variaciones.

2.1.3. Calidad de aire

La calidad del aire, afectada fundamentalmente por la industria y el sector transportes, contamina a la agricultura al emitir partículas de ozono que caen sobre los cultivos y los vegetales.

La mayoría de los países integrantes de la Unión Europea está superando los límites ya definidos por la Organización Mundial de la Salud, aunque ha habido una mejoría en el tiempo. Esto supone que una gran parte de los ciudadanos europeos están expuestos a unos niveles demasiado altos de *contaminación del aire*. Cabe destacar que uno de los contaminantes predominantes es el ozono y sus partículas.

La industrialización es el factor principal que más incide en la contaminación del aire que respiramos. El efecto de los motores diésel es especialmente dañino a través de los gases que salen de los tubos de escape. Los vehículos provocan más muertes incluso que las relacionadas con accidentes de tráfico. El objetivo para el año 2030 es reducir estas tasas en un 20%, con medidas como obligar a los aviones a que paguen una cantidad por cada tonelada de dióxido de carbono que emitan a la atmósfera.

2.2. Internet de las Cosas (IoT)

La definición de IoT podría ser la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red (bien sea privada o Internet, la red de redes), dónde todos ellos podrían ser visibles e interactuar. Respecto al tipo de objetos o dispositivos podrían ser cualquiera, desde sensores y dispositivos mecánicos hasta objetos cotidianos como pueden ser el frigorífico, el calzado o la ropa. Cualquier cosa que se pueda imaginar podría ser conectada a internet e interactuar sin necesidad de la intervención humana, el objetivo por tanto es una interacción de máquina a máquina, o lo que se conoce como una interacción M2M (machine to machine) o dispositivos M2M. (Gracia, 2020)

En los últimos años, IoT se ha convertido en una de las tecnologías más importantes del siglo XXI. Ahora que podemos conectar objetos cotidianos, electrodomésticos, coches, termostatos, monitores de bebés, a Internet a través de dispositivos integrados, es posible una comunicación fluida entre personas, procesos y cosas. (ORACLE, 2019)

Mediante la informática de bajo costo, la nube, big data, analítica y tecnologías móviles, las cosas físicas pueden compartir y recopilar datos con una mínima intervención humana. En este mundo hiperconectado, los sistemas digitales pueden grabar, supervisar y ajustar cada interacción entre las cosas conectadas. El mundo físico y el digital van de la mano y cooperan entre sí. (ORACLE, 2019)

IoT industrial (IIoT). Imagínese el ciclo de vida de la maquinaria pesada que se utiliza en las obras en construcción. Con el tiempo, es posible que los especialistas que manejan los equipos los sometan a distintos tipos de esfuerzos, así que es de esperarse que haya averías durante las operaciones. Para abordar este problema, se pueden agregar sensores especializados a las partes de la maquinaria que son más propensas a sufrir daños o a utilizarse excesivamente. Estos se pueden emplear para realizar un mantenimiento predictivo, para mejorar el desempeño del personal (lo que representa un buen ejemplo de la recopilación y el análisis inmediatos de los datos) y para brindar información a los ingenieros que diseñaron el equipo sobre cómo mejorar los modelos nuevos (lo cual es un ejemplo del análisis a largo plazo). El IoT industrial (IIoT) abarca este tipo de casos prácticos en las actividades de las fábricas, las empresas de energía y otros sectores. (REDHAT, 2019)

IoT en la logística y el transporte. Una de las primeras implementaciones del IoT en el sector de la logística y el transporte consistió en etiquetar los contenedores de transporte con dispositivos de identificación por radiofrecuencia (RFID). Estas etiquetas almacenan datos que se pueden captar por medio de ondas de radio, lo cual permite que las empresas de logística realicen un seguimiento de los movimientos de los contenedores en ciertos puestos de control con RFID, como en el caso de los depósitos o las terminales de carga portuarias. Gracias a los avances en el IoT, se han desarrollado dispositivos de seguimiento con baterías que transfieren datos permanentemente a las aplicaciones de IoT sin la necesidad de tener lectores en las instalaciones, lo cual posibilita que las empresas analicen la información de los envíos de forma instantánea en cada tramo de la cadena de suministro. (REDHAT, 2019)

IoT en la agricultura. El IoT ha revolucionado el sector agrícola de varias formas, como es el caso del uso de sensores de humedad. Cuando los instalan en los campos, los agricultores obtienen datos más precisos para programar los períodos de riego. Además, pueden conectarlos a las aplicaciones de IoT que controlan la maquinaria de riego, la cual se activa automáticamente en función de los datos que generan los sensores. (REDHAT, 2019)

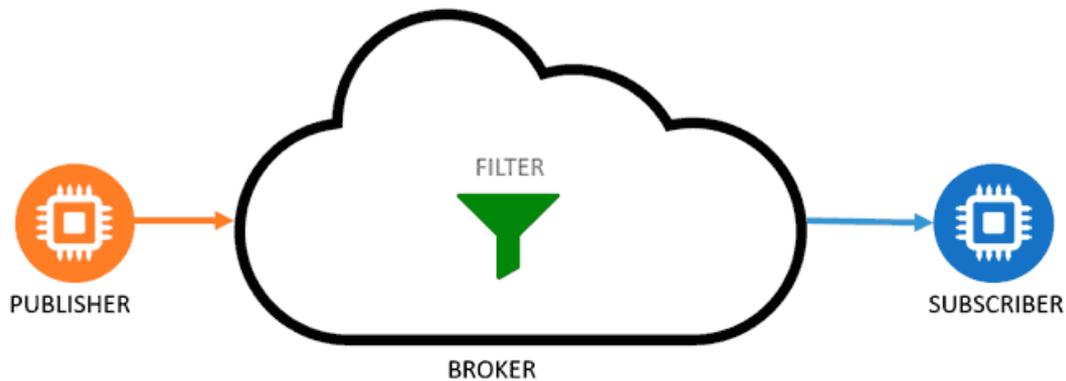
2.2.1. Protocolo de comunicación.

El Protocolo de Red MQ Telemetry Transport (MQTT) Se basa en la pila TCP/IP como base para la comunicación, pero en MQTT cada conexión de datos se mantiene enlazada o abierta y se utiliza para establecer comunicación entre cada uno de los publicadores y los suscriptores. Este protocolo fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom en 1999 para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera. (Llamas, 2019)

Es un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor, todos los clientes se conectan con un servidor central denominado bróker. Para seleccionar los mensajes que son enviados se disponen tópicos organizados jerárquicamente. (Llamas, 2019)

Figura 1

Modelo MQTT.



Nota. Tomado de (Llamas, 2019)

En la figura 1 se muestra un diagrama básico del funcionamiento de MQTT, donde un bróker se conecta por medio del protocolo TCP con los clientes que se encargan de publicar y suscribirse a un tópico.

Protocolo de aplicación restringida (CoAP) Se trata de un protocolo de nivel aplicación que se usa en dispositivos electrónicos simples en IoT, está centrado en la transferencia web para el uso de nodos restringidos y redes restringidas. Estos nodos en su defecto suelen tener microcontroladores de 8-bit con una pequeña memoria ROM y RAM, y se utilizan en redes restringidas a través de Low-Power Wireless Personal Area Networks. (Llamas, 2019)

El grupo que diseñó el protocolo CoAP lo crearon con las siguientes características en mente:

- Sobrecarga y complejidad de análisis
- URI y soporte de tipos de contenido
- Soporte de descubrimiento de recursos provisto por servicios conocidos de CoAP
- Una simple suscripción de recursos y resultados de push notifications
- Almacenamiento simple en caché basado en la capacidad máxima del servidor

Arquitectura unificada (OPC UA) Es el estándar de nueva generación que le sigue a OPC Foundation. OPC clásico es bien conocido en la industria y provee una interfaz estándar

para comunicarse con los PLC (Programmable Logic Controller, ‘controlador lógico programable’). OPC UA pretende expandir la compatibilidad de OPC al nivel de los dispositivos y de las empresas.

OPC UA es un protocolo cliente/servidor. Los clientes se conectan, navegan, leen y escriben al equipamiento industrial. UA define la comunicación desde la aplicación hacia la capa de transporte, lo que lo hace muy compatible entre vendedores de iniciativa privada. También es muy seguro, y usa mensajes bidireccionales firmados y encriptación de transporte.

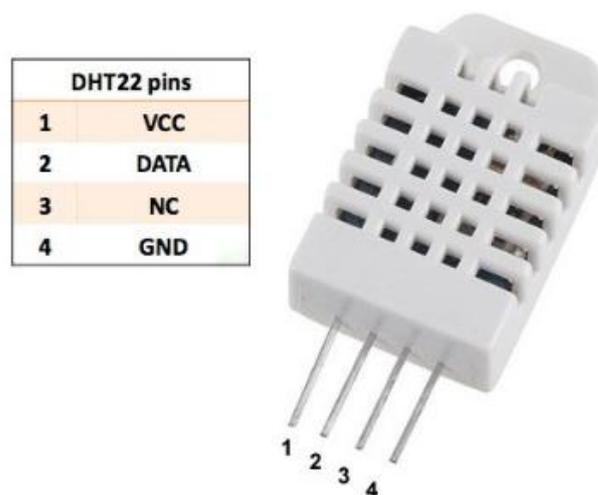
2.3. Sensores

2.3.1. Sensor de temperatura y humedad

Es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. (Naylamp Mechatronics SAC, 2020)

Figura 2

Pinout DHT22.



Nota. Recuperado de (Naylamp Mechatronics SAC, 2020)

Utilizar el sensor DHT22 con las plataformas Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT22 a un

mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fabrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m., de preferencia utilizar cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV). (Naylamp Mechatronics SAC, 2020)

El DHT22 presenta mejores prestaciones respecto al sensor DHT11, como mejor resolución, mayor precisión y un empaque más robusto.

Descripción técnica:

- Voltaje de Operación: 3V - 6V DC
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición de temperatura: $<\pm 0.5$ °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de censado: 2s
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Modelo: AM2302
- Dimensiones: 20*15*8 mm
- Peso: 3 gr.
- Carcasa de plástico blanco

2.3.2. Sensor de Calidad de Aire MQ-135

Este sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general es implementado en circuitos de control como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico como industrias que manejan compuestos químicos que pueden ser nocivos también para la salud, especialmente en equipos controladores de calidad de aire en edificios/oficinas. (SAC, 2021)

Figura 3

MQ-135.



Nota. Recuperado de (SAC, 2021)

Este sensor se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes, tal y como los son sus análogos MQ-3/4/5. La señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual, de carácter analógico y digital. Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de voltaje. La señal digital, esta presenta niveles TTL por lo que esta señal puede ser procesada por un microcontrolador. (SAC, 2021)

Descripción técnica:

- Voltaje de operación: 5V DC
- Corriente de operación: 150mA
- Potencia de consumo: 800mW
- Tiempo de precalentamiento: 20 segundos
- Resistencia de carga: Potenciómetro (Ajustable)
- Detección de partes por millón: 10ppm~1000ppm
- Concentración detectable: Amoniac, sulfuro, benceno, humo
- Concentración de oxígeno: 2%~21%
- Humedad de operación: <95%RH
- Temperatura de operación: -20°C~70°C

2.3.3. Sensor de Humedad del suelo FC-28

El Sensor de humedad de Suelo FC-28 permite medir de forma sencilla la humedad del suelo por medio de 2 electrodos resistivos. Compatible con Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32. El sensor es ideal para monitorear el nivel de humedad

de tus plantas y así recordar cuando necesitan ser regadas o incluso para realizar un sistema totalmente automatizado de riego añadiendo una válvula o una bomba de agua.

Figura 4

FC-28.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

El funcionamiento del sensor se basa en medir la resistencia entre 2 electrodos insertados dentro del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad del suelo, por lo que para un suelo muy húmedo tendremos una resistencia muy baja (corto circuito) y para un suelo muy seco la resistencia será muy alta (circuito abierto). El electrodo va conectado a una tarjeta de acondicionamiento (YL-38) que entrega una salida digital y otra analógica. La salida digital (DO) es la salida de un opamp en modo comparador, la salida digital se activa cuando el nivel de humedad es menor al nivel deseado, este nivel (umbral o threshold) se puede regular con el potenciómetro de la tarjeta. La salida analógica (AO) es la salida de un divisor de tensión entre una resistencia fija y la resistencia entre los electrodos, entrega un voltaje analógico desde 0V para un suelo muy húmedo hasta 5V para un suelo muy seco. Para la conexión a Arduino podemos optar por utilizar la salida analógica del módulo conectada a una entrada analógica del Arduino o por utilizar la salida digital (DO) conectada a una entrada digital del Arduino.

Recomendaciones: Introducir en la tierra solo la parte de los electrodos, los circuitos deben ser protegidos de la humedad. Para extender la vida útil del sensor se puede alimentar el sensor solo cuando va a ser leído y no permanentemente. Una alternativa de mayor vida útil es el Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo.

Descripción técnica:

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC (VCC)
- Corriente de operación: 35mA
- Voltaje de señal de salida analógico (AO): 0 a VCC
- Voltaje de señal de salida digital (DO): 3.3V/5V TTL
- Opamp LM393 en modo comparador, umbral (threshold) regulable por potenciómetro
- Superficie de electrodo: Estaño
- Incluye: Electrodo, Placa y cable de conexión
- Vida útil electrodo sumergido: 3 a 6 meses
- Dimensiones YL-38: 30*16 mm
- Dimensiones YL-69: 60*20*5 mm

2.4. Estaciones agrícolas actuales

Una estación de experimentos agrícolas (AES) o una estación de investigación agrícola (ARS) es un centro de investigación científica que investiga las dificultades y posibles mejoras en la producción de alimentos y la agroindustria . Los científicos de la estación experimental trabajan con agricultores , ganaderos , proveedores , procesadores y otras personas involucradas en la producción de alimentos y la agricultura .

2.4.1. Estación meteorológica Dyacon

Las estaciones meteorológicas de Dyacon están hechas en los Estados Unidos y han sido preconfiguradas para las necesidades específicas que tú, el agricultor, puedas tener. Por ejemplo, la estación meteorológica básica con energía solar de Dyacon con un teléfono celular integrado puede ser localizada siempre que sea necesario, específicamente, en el sitio de la operación de agricultura. (DYACON, 2020)

Después de que una estación meteorológica está instalada (es un proceso sencillo que puedes hacer tú mismo), simplemente puedes solicitar un reporte meteorológico de tu estación meteorológica usando un mensaje de texto, y un reporte meteorológico actual será enviado directamente a tu teléfono celular. No se requieren aplicaciones sofisticadas, programas de computadora, ni programación. (DYACON, 2020)

Figura 5

Estación meteorológica Dyacon.



Nota. Recuperada de (DYACON, 2020).

En la Figura 5 se observa una estación Dyacon instalada en el campo y los sensores con los que cuenta son:

- Sensor de aire
- Temperatura, presión de aire, sensor de humedad
- Sensor de temperatura del suelo
- Sensor de humedad del suelo
- Pluviómetro (opcional)
- Conectividad a Weather Underground.

2.4.2. Estación meteorológica Maher

La estación meteorológica para agricultura permite tener un mayor control, mediante datos, de todas aquellas variables ambientales y agronómicas que influyen en el desarrollo de los cultivos. (MAHER, 2021)

La información captada por los sensores es enviada en tiempo real vía GSM/GPRS, para que pueda ser monitorizada mediante una App desde cualquier dispositivo conectado a Internet; Smartphone, PC o Tablet. (MAHER, 2021)

Figura 6

Estación meteorológica Maher.



Nota. Recuperada de (MAHER, 2021).

En la Figura 6 se observa la estación agrícola Maher y los sensores que lo integran son:

- Pluviómetro
- Temperatura exterior
- Humedad relativa
- Radiación solar
- Velocidad y dirección de viento
- Humectación de hoja
- Suelo (humedad, conductividad eléctrica y temperatura)

2.4.3. Estación meteorológica DARRERA

La estación meteorológica para agricultura está diseñada para la monitorización de las condiciones ambientales y del suelo en todo tipo de aplicaciones agrícolas. La estación está formada por un datalogger de gran capacidad que actúa como unidad central de todo el sistema, alimentando de forma individual a cada uno de los sensores y capturando los datos que éstos proporcionan para su posterior almacenaje, descarga, tratamiento y visualización a través del software incluido. El datalogger permite, además, realizar cálculos estadísticos a partir de los datos obtenidos por los sensores. La pantalla LCD muestra distintos parámetros del sistema,

como los canales activos, la configuración de la memoria, la carga de la batería, etc.
(DARRERA, 2020)

Figura 7

Estación meteorológica DARRERA.



Nota. Recuperada de (DARRERA, 2020).

En la Figura 7 se observa la estación meteorológica DARRERA y las medidas que puede recopilar son:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura y humedad.
- Punto de rocío.
- Temperatura y humedad del suelo.
- Humectación de hoja.
- Lluvia e intensidad de lluvia.

CAPÍTULO III

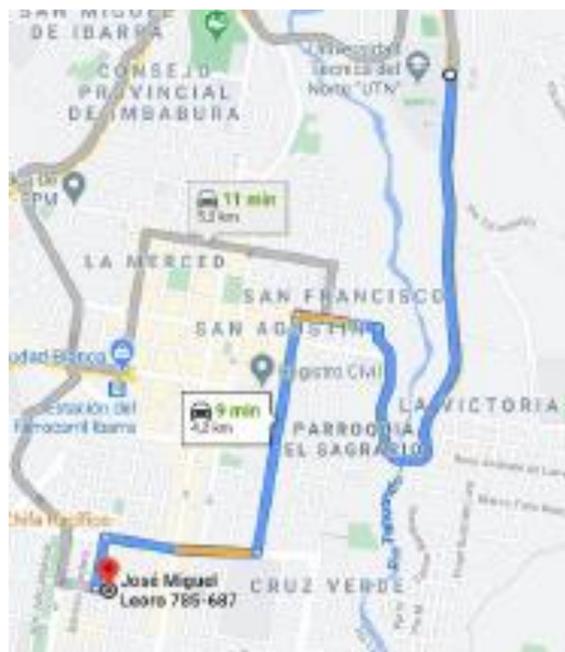
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio de investigación se realizará en las oficinas de la empresa Inprise Soluciones Tecnológicas Empresariales la misma se encuentra domiciliada en la ciudad de Ibarra calle José Miguel Leoro y Sánchez y Cifuentes. Esta está dedicada al desarrollo de soluciones integrales para empresas, enfocándose en software y hardware a la medida. En la figura 8 se muestra la ubicación de la empresa donde se realiza el estudio.

Figura 8

Localización empresa Inprise.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

3.2. Enfoque y tipo de investigación

La presente propuesta metodológica y tecnológica tiene como objetivo principal solucionar un problema en particular por lo que es necesario elegir un enfoque de investigación ingenieril, el mismo que está basado en todos los conocimientos, habilidades y destrezas de ingeniería que se deben llevar a cabo para solucionar dicho problema puntual.

Para el desarrollo del enfoque metodológico se propone las siguientes etapas: identificación y formulación del problema, análisis del problema, búsqueda de posibles

soluciones, evaluación de diferentes alternativas, selección de la solución y la especificación de la solución escogida.

Parte del desarrollo será documental ya que se tomará en cuenta una base de datos técnica de diferentes sistemas embebidos, sensores, comunicaciones inalámbricas y sistemas de energía, de tal manera que la estación a desarrollar cumpla con su objetivo.

Se realizará un trabajo explicativo el cual detalle todos los componentes de hardware y software necesarios para desarrollar una estación agrícola como un producto para su comercialización.

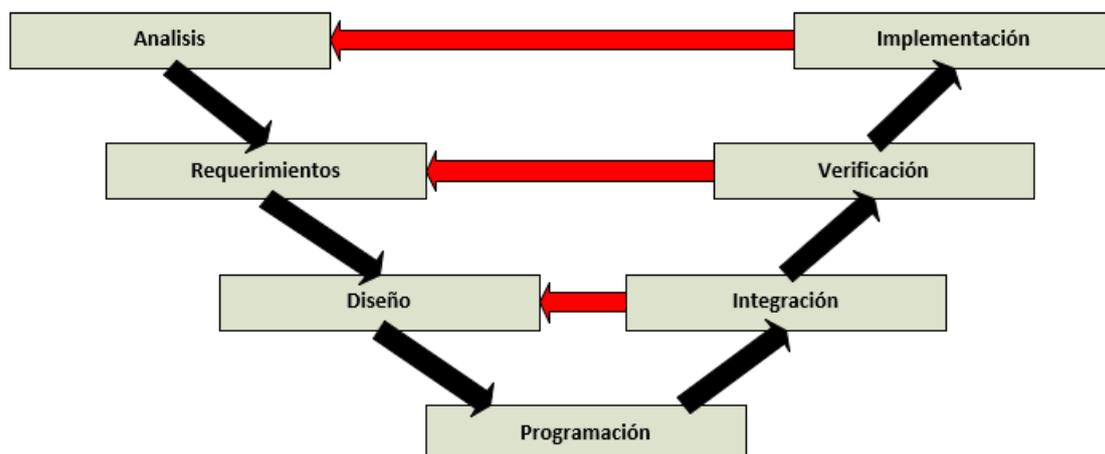
Y, es un trabajo aplicado, ya que se obtendrá un producto tangible para ser instalado, el cual cumpla con los requerimientos expuestos.

3.3. Modelo en V

Se puede entender como una modificación del modelo en cascada que relaciona las partes de prueba con el análisis y el diseño. Como se puede observar en la Figura 9, existe una condición en V, tomando en cuenta el análisis y diseño en la parte izquierda y las pruebas de funcionamiento en la derecha.

Figura 9

Etapas modelo en V



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

De la Figura 9 se puede notar que para cada etapa existe una fase correspondiente para la validación y verificación, de donde se puede obtener que para cada etapa del desarrollo se obtendrá un resultado.

- Nivel 1: Es el inicio y fin del proyecto y constituyen los extremos del ciclo que contienen el análisis de requisitos y especificación.
- Nivel 2: se refiere a las características funcionales del sistema, establece funciones directas o indirectas visibles por el usuario final.
- Nivel 3: se define los componentes hardware y software del sistema final, establece el diseño del dispositivo.
- Nivel 4: se refiere a la parte de la implementación.

Para cumplir con este modelo se establece fases del sistema, entre las cuales se puede destacar: Análisis, Requerimientos, Diseño, Programación, Integración, Verificación, Implementación.

3.3.1. Análisis

Formulación del problema

El presente trabajo de maestría propone el diseño y construcción de una estación autónoma de parámetros agrícolas, que cuantifique variables agrícolas de un determinado espacio físico y sus datos puedan ser almacenados, enviados y posteriormente analizados para desarrollar estrategias de mejora para el manejo de cultivos.

Análisis del problema

Es necesario tomar en cuenta que el proyecto necesita ubicarse en un sitio que permita recopilar los datos para las pruebas de funcionamiento, al tratarse de una estación autónoma se debe considerar utilización de batería y alimentación autónoma por medio de una tecnología que permite conexión en cualquier sitio o plantación.

La recopilación de datos se realizará por medio de sensores que integren la estación y deben ser ubicados en un sitio que permita realizar todas las mediciones necesarias, una vez tomadas las mediciones se procederá a definir el tipo de comunicación con la que se enviara los datos recopilados, los datos enviados deben ser almacenados por lo cual es necesario un servidor que permita guardar y presentar los datos de forma gráfica para su análisis y estudio.

Por lo cual de forma específica se tiene que los problemas para estudio son:

- Definir sitio de censado
- Alimentación autónoma
- Sensores a implementar
- Tipo de comunicación
- Servidor para almacenamiento
- Servidor para interfaz grafico

3.3.2. Requerimientos

Para definir los requisitos del sistema se tomará en cuenta las especificaciones descritas en la sección de análisis del problema, tomando en cuenta lo siguiente se tiene:

Sitio de censado

Es necesario tomar en cuenta que para el censado el sitio debe tener un espacio abierto con terreno y una cantidad de cultivos de cualquier tipo disponible en donde se tomara las medidas requeridas.

Alimentación Autónoma

Para la alimentación se debe tomar en cuenta que la estación agrícola se ubicara en sitios normalmente rurales con plantaciones o cultivo de productos por lo cual para la alimentación se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Sistema de carga para un sitio rural con limitado acceso a los medios tradicionales.
- Batería que permita almacenar carga en días donde el sistema de almacenamiento no cuente con las condiciones necesarias para funcionar.

Sensores a implementar

Los sensores a utilizar en la estación autónoma serán los siguientes:

- Sensor de humedad
- Sensor de temperatura
- Sensor de humedad en suelo
- Sensor de calidad de aire

Tipos de comunicación

El requisito es utilizar una tecnología que permita realizar una comunicación constante que permita enviar los datos desde el módulo al servidor, entre los requisitos más importantes se tiene:

Comunicación inalámbrica porque en sitios apartados es muy complicado realizar cableado por el costo y las condiciones del lugar.

Tecnología funcional: que permita acceso a información actualizada de funcionamiento.

Bajo consumo: Permita enviar datos de forma práctica sin elevar el consumo de la estación agrícola.

Costos de mercado: Es necesario escoger una tecnología funcional y a costos accesibles.

Disponibilidad de mercado: Que la tecnología a utilizar se encuentre disponible en el mercado de productos ecuatorianos.

Servidor para el almacenamiento

Los requisitos para almacenar los datos son los siguientes:

- Software libre
- Actualizaciones constantes
- Información disponible

Servidor para interfaz grafico

Se debe seleccionar un interfaz grafico que cumpla los siguientes requerimientos:

- Software libre
- Interfaz grafico funcional
- Manejo de datos

3.3.3. Selección de hardware y especificaciones

Interfaz de alimentación

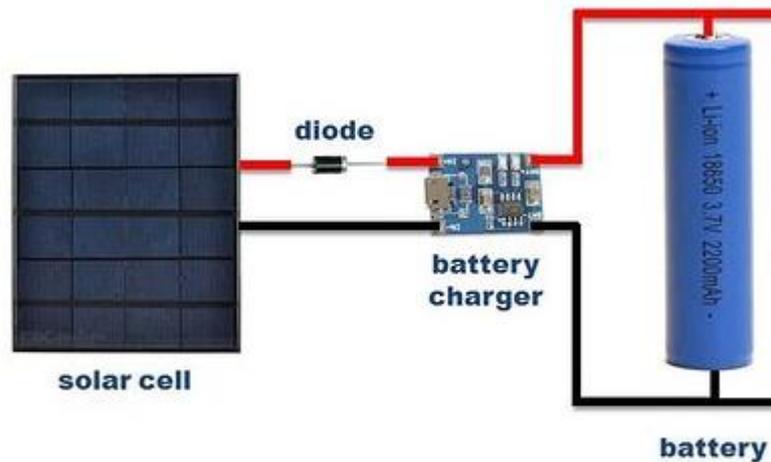
Para realizar una alimentación autónoma se tomó en cuenta el tipo de baterías disponibles en el mercado que permitan suministrar de forma eficaz energía al sistema, para esto se tomó en cuenta las baterías de Li-ion disponibles en el mercado y que se usan para la alimentación de computadores portátiles y dispositivos inalámbricos de uso diario.

Además, se tiene que mantener una fuente de energía que permita que la batería se vuelva a cargar y de esta manera aumentar su autonomía, de entre los sistemas existentes por cuestiones de utilidad y alcance dentro del mercado se utilizara un panel solar.

El sistema planteado quedaría como se muestra en la Figura 6, por lo que el panel se encarga de cargar la batería en el día mientras que en la noche y días con baja intensidad solar la estación utilizara la batería integrada para su funcionamiento.

Figura 10

Sistema de alimentación estación autónoma.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Como se observa en la Figura 10, el sistema cuenta con un panel solar, un sistema de carga para convertir el voltaje entregado por el panel solar en un voltaje de carga aceptado por la batería que en base a especificaciones de fabricación debe ser no mayor a 5v, ya que la batería en su carga máxima mantiene un voltaje de 4.2v, también se utilizó un diodo para que regule el sentido de la carga desde el panel hacia la batería y no al contrario.

Hardware de procesamiento

En la actualidad se tiene algunos sistemas embebidos en el mercado que permiten la lectura de sensores tanto analógicos como digitales, entre los cuales se puede destacar los siguientes fabricantes:

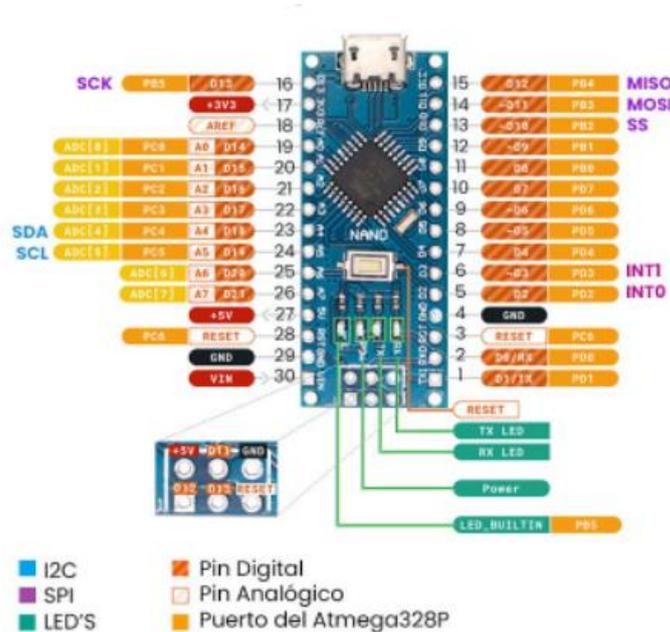
Arduino

Uno de los más potentes fabricantes de tecnologías embebidas en el ámbito profesional y educativo, dentro de las opciones que presenta Arduino se encuentran:

Arduino Nano. Es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo.

Figura 11

Pinout Arduino Nano.

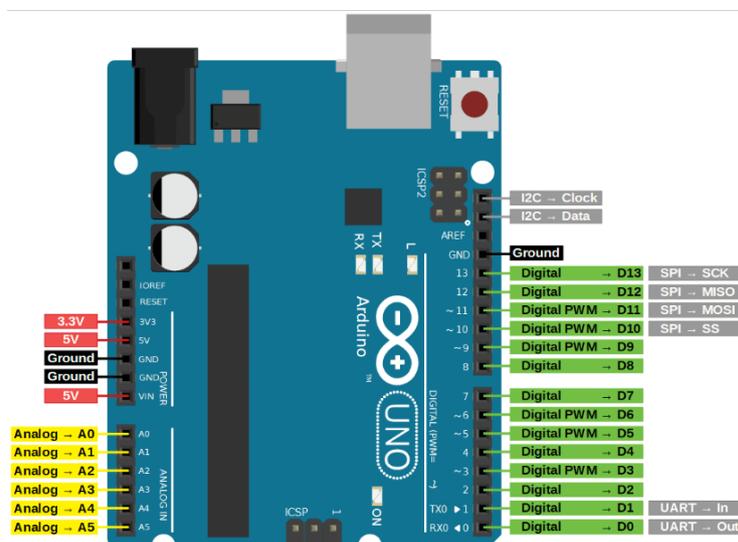


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Arduino Uno. Es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB, conector jack de alimentación, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Tiene toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, simplemente hay que conectarlo a la energía por el puerto USB ó con un transformador AC-DC

Figura 12

Pinout Arduino Uno.

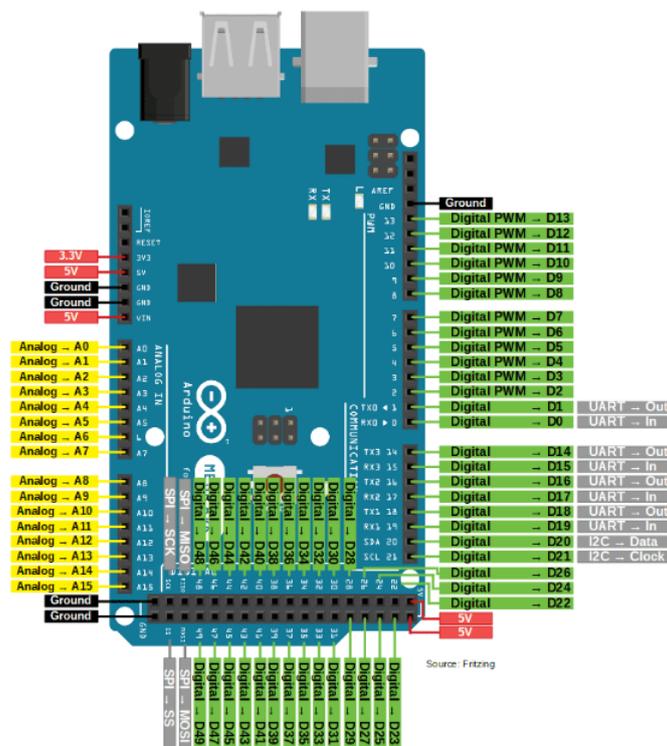


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Arduino Mega. Es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO.

Figura 13

Pinout Arduino Mega.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

ESPRESSIF

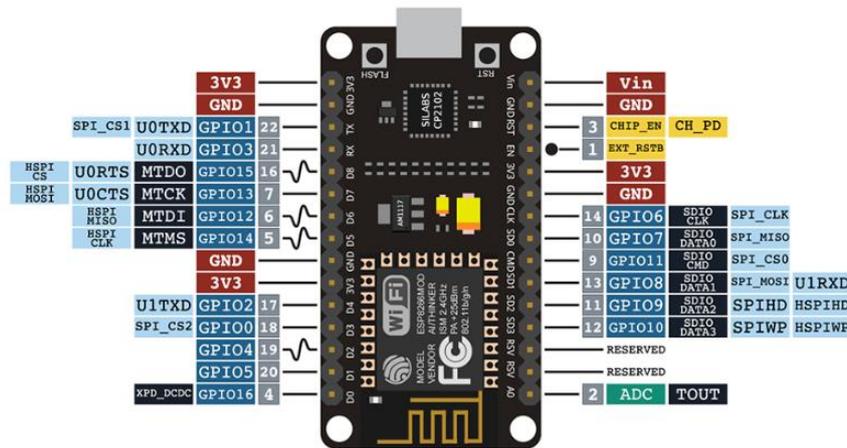
Presenta algunas placas de sistemas embebidos y un potente procesador desarrollado para integrarse en sistemas IoT de manera simple, entre los sistemas embebidos más destacados se observan los siguientes:

NODEMCU ESP8266. Es una plataforma de desarrollo similar a Arduino especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). La placa NodeMcu v2 ESP8266 tiene como núcleo al SoM ESP-12E que a su vez está basado en el SoC Wi-Fi ESP8266, integra además el convertor USB-Serial TTL CP2102 y conector micro-USB necesario para la programación y comunicación a PC. NodeMcu v2 ESP8266 está diseñado

especialmente para trabajar montado en protoboard o soldado sobre una placa. Posee un regulador de voltaje de 3.3V en placa, esto permite alimentar la placa directamente del puerto micro-USB o por los pines 5V y GND. Los pines de entradas/salidas (GPIO) trabajan a 3.3V por lo que para conexión a sistemas de 5V es necesario utilizar convertidores de nivel como: Conversor de nivel 3.3-5V 4CH o Conversor de nivel bidireccional 8CH - TXS0108E.

Figura 14

Pinout Nodemcu ESP8266.

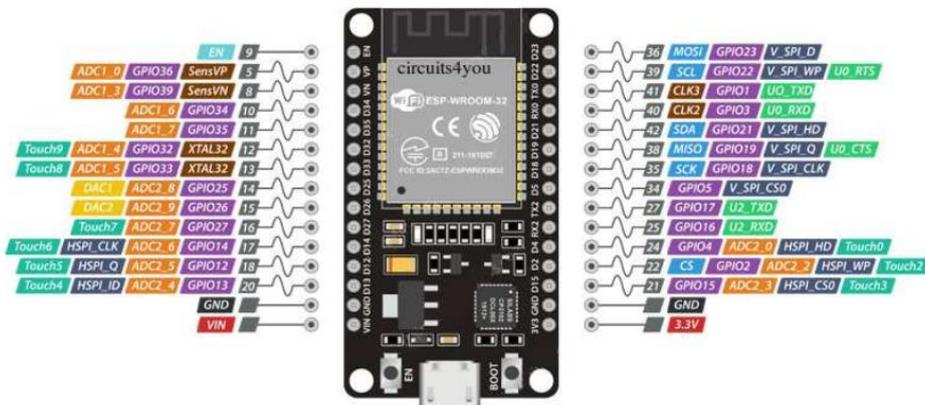


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

NODEMCU ESP32 Es una herramienta muy potente para el prototipado rápido de proyectos con IoT (Internet de las cosas). Integra en una placa el SoM ESP-WROOM-32 que tiene como base al SoC ESP32, el convertidor USB-serial CP2102 necesario para programar por USB el ESP32, reguladores de voltaje y leds indicadores. La plataforma ESP32 es la evolución del ESP8266 mejorando sus capacidades de comunicación y procesamiento computacional. A nivel de conectividad permite utilizar diversos protocolos de comunicación inalámbrica como: WiFi, Bluetooth y BLE. En cuanto a procesamiento su CPU 32-bit de dos núcleos de hasta 240Mhz que se pueden controlar independientemente. Además, incluye internamente una gran cantidad de periféricos para la conexión con: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C.

Figura 15

Pinout Nodemcu ESP32.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Tomando en cuenta cada uno de los microcontroladores disponibles en el mercado se realizó un análisis de requerimientos que permitió seleccionar la mejor opción al momento de realizar la estación autónoma de monitoreo, en base a los ejes funcionales como son: puertos analógicos y digitales para lectura de sensores, interfaz de comunicación integrado para envío de datos, consumo de potencia. Todo esto se puede observar en la Tabla 1, donde se detallo cada requerimiento.

Tabla 1.
Comparativa sistemas embebidos

	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino Nano	ESP8266	ESP32
Consumo (w)	46mA	93mA	15mA	110mA (Deep Sleep)	80mA(Deep Sleep)
Puertos Digitales	14	54	14	17	34
Puertos Analógicos	6	16	6	10	12
Protocolos de comunicación inalámbrica	RS-232,SPI,I2C	RS-232,SPI,I2C	RS-232,SPI,I2C	RS-232,SPI,I2C,WiFi	RS-232,SPI,I2C,WiFi,BLE

Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Hardware de comunicación

Para lo que es IoT en cuestiones inalámbricas existen ciertos protocolos de comunicación los cuales dependen de muchos factores y son los siguientes:

Bluetooth IEEE 802.15.

Se utiliza principalmente para todo tipo de conexiones que requieren sincronización de datos continua (Synchronous Connection Oriented Link), como, por ejemplo, una conexión entre un teléfono inteligente y un altavoz Bluetooth, unos auriculares o durante una transferencia de datos reales entre dos teléfonos inteligentes vecinos. La última versión

del estándar Bluetooth Classic, llamada 5.2, opera en 79 canales con una banda de 1 MHz y un espaciado de 1 MHz. Adopta la modulación Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) y utiliza el mecanismo llamado Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) para minimizar los efectos del desvanecimiento y el ruido de canal de las redes Wi-Fi que operan dentro de la misma banda ISM de 2,4 GHz.

Protocolo Wi-Fi IEEE 802.11.

Se refiere a una familia de estándares inalámbricos relacionados con el protocolo IEEE 802.11, en concreto, las versiones más comunes y ampliamente utilizadas son la Wi-Fi a / b / g / n y la última Wi-Fi 6 anunciada. Wi-Fi utiliza dos bandas ISM gratuitas: 2,4 GHz y 5,8 GHz. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones de Internet de las cosas utilizan 2,4 GHz. dado su mejor rango operativo y propiedades, que son lo suficientemente apropiados para la mayoría de los casos de uso de IoT. La banda Wi-Fi de 2,4 GHz utiliza 14 canales con un ancho de banda de 22 MHz cada uno y un espaciado de 5 MHz, pero normalmente solo los primeros 13 canales se pueden utilizar en Europa.

Algunas de las principales ventajas del estándar Wi-Fi son la alta difusión e integración de dispositivos, pero, sobre todo, la alta capacidad de transmisión (11-300 Mbit / s), la baja latencia y el rango operativo, lo suficientemente amplio como para cubrir casas pequeñas con un único Punto de Acceso (AP) central, ya que puede alcanzar fácilmente 50 m de alcance con obstáculos y paredes. En un entorno de espacio abierto libre, la cobertura operativa puede llegar hasta los 100 m y más. Sin embargo, el mayor inconveniente de los protocolos Wi-Fi es el alto consumo de energía, que, para las aplicaciones de IoT, lo hace adecuado solo para algunos casos de uso muy particulares, como transferencias de datos entre puertas de enlace, nodos que se pueden alimentar desde la red eléctrica o dispositivos con altos tiempos de sueño profundo.

LoRaWAN.

Es un protocolo de comunicación de largo alcance que se utiliza a menudo para crear redes de área amplia de bajo consumo (LPWAN) con un rango operativo que va desde cientos de metros hasta 10 kilómetros. Se basa en la modulación LoRa (capa PHY), mientras que la capa de control de acceso al medio (MAC) es una arquitectura de red abierta regulada por LoRa Alliance. La red LoRaWAN más utilizada y más grande es The Things Network, con más de 10.000 puertas de enlace LoRaWAN y más de 110.000 miembros en la comunidad.

Tiene diferentes clases de nodos finales: Clase A, B, y C. Todos los dispositivos LoRaWAN deben implementar la clase A, mientras que las clases B y C son extensiones de

los dispositivos de clase A. Estas clases definen el comportamiento de los paquetes de enlace descendente desde las puertas de enlace hasta los nodos finales. Por lo general, las puertas de enlace LoRaWAN actúan como dispositivos de Clase C, ya que están constantemente escuchando la transmisión entrante. Además, para transmitir y recibir datos a través de la red LoRaWAN, los nodos finales de LoRaWAN deben estar registrados y habilitados en el proveedor del servidor de aplicaciones.

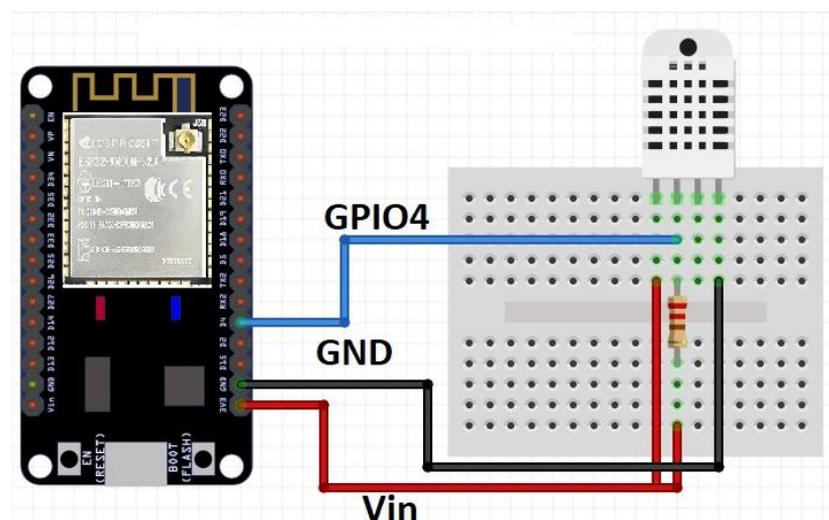
Interfaz para sensores

Sensor de temperatura y humedad en ambiente.

Este sensor DHT22 tiene 3 pines como se observa en la Figura 16, el pin GND, el de señal o datos y el de alimentación VCC que permite desde 3.3v a 5v, para conectarlo hasta el microcontrolador se usara respectivamente GND a GND, VCC a 3.3v y el pin de datos a un pin digital de ESP32.

Figura 16

Conexión ESP32 a DHT22.



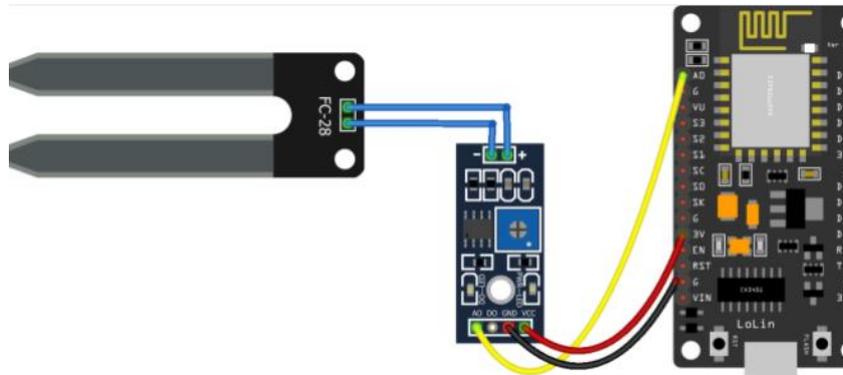
Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Sensor de humedad en el suelo.

El sensor FC-28 tiene una placa estándar de medición que entrega una salida analógica y una salida digital, la lectura digital entrega un valor cuando supera cierto umbral mientras que en lecturas analógicas van en valores desde 0 a 4095 por el tipo de conversión de 12 bits en ADC que soporta el ESP32, a mayor valor más seco el suelo. La conexión del módulo se puede observar en la Figura 17, donde VCC se conecta a 3,3v, GND se conecta a GND y el pin de datos o AC se conecta a un puerto analógico del microcontrolador.

Figura 17

Conexión ESP32 a FC-28.



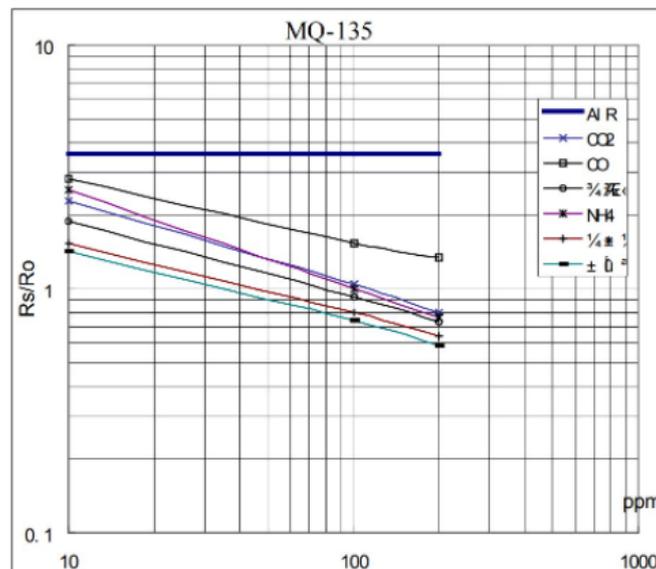
Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Sensor calidad de aire.

Los sensores MQ realizan lecturas de parte por millón, en el caso requerido se usará el 135 el cual detecta todos los tipos de contaminantes en el aire y permite verificar la calidad del aire en el sitio de censado, este sensor tiene un conector GND que se conecta a GND, el pin VCC al conector 3.3v y el pin analógico se conecta a un puerto analógico del ESP32, una vez realizada la conexión la medida se basa en la gráfica de sensibilidad que se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Curva característica MQ-135.

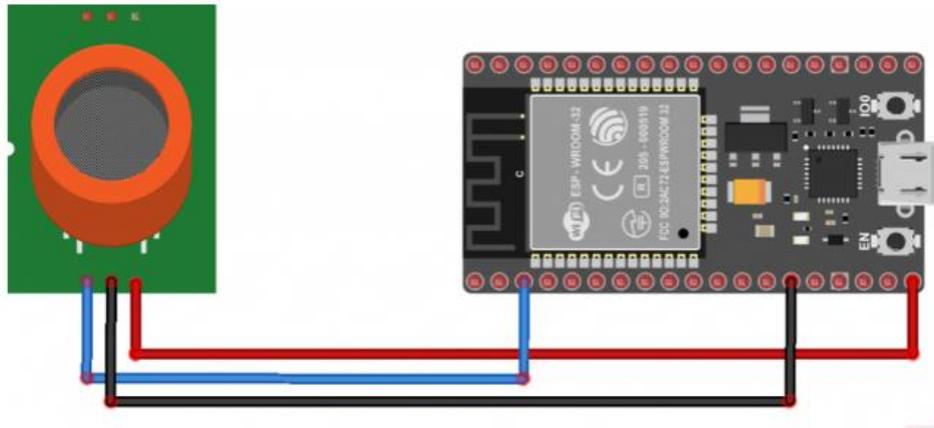


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Mientras que la forma de conexión se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Conexión ESP32 a MQ-135.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

3.3.4. Plataforma de recolección de datos

Node Red.

Es una herramienta de programación visual. Muestra visualmente las relaciones y funciones, y permite al usuario programar sin tener que escribir una línea, además es un editor de flujo basado en el navegador donde se puede añadir o eliminar nodos y conectarlos entre sí con el fin de hacer que se comuniquen entre ellos. Se ha convertido en el estándar open-source para la gestión y procesado de datos en tiempo real, logrando simplificar los procesos entre productores y consumidores de información.

Esta herramienta de programación conecta varios dispositivos a la vez, tanto de hardware como de servicios de Internet. Es perfecto para los equipos dedicados a trabajo industrial o como prueba de soluciones para equipos de planta que necesiten comunicarse entre sí. Se trata de un motor de flujos que cuenta con un enfoque IoT, y esta condición permite definir flujos de servicios a través de protocolos como el MQTT.

Figura 21
Interfaz Grafana



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Diseño

Se detallará la manera en que se recolectarán los datos enviados por la estación al servidor de aplicaciones, su almacenamiento y presentación de reportes.

4.2.1. Diseño de placas electrónicas

Para elaborar una estación autónoma utilizada en el sector agrícola fue necesario tomar en cuenta los parámetros más importantes en un campo que tiene algún tipo de producto para el consumo los cuales serán:

- Humedad del suelo
- Temperatura del sitio
- Humedad relativa del ambiente
- Calidad del aire del sitio donde se ubicará el modulo

En base a estas especificaciones se tomó en cuenta los siguientes sensores a utilizar:

- DHT22: Sensor de temperatura y humedad
- MQ-135: Sensor de calidad de aire
- FC-28: Sensor de humedad suelo

Una vez definido los sensores a utilizar es necesario mencionar la autonomía de la batería y la utilización de un panel solar que permita la carga y funcionamiento autónoma del ESP32. Para el cálculo de la batería y el panel solar es necesario tomar en cuenta el consumo de cada componente electrónico que integra la estación de censado para esto se tiene en la Tabla los valores de consumo en mA.

Tabla 2.
Consumo componentes electrónicos

Componente	Consumo
Esp32	120mA
Relé 5v	1 mA
DHT22	2.1mA
MQ-135	160mA
FC-28	35mA
MT3608	20mA
Total	338,1

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

La estación autónoma de parámetros agrícolas se plantea con los siguientes requerimientos:

- 4 entradas analógicas
- 1 entrada digital
- 1 salida digital
- Alimentación por baterías
- Comunicación inalámbrica
- Módulo de censado

El circuito tomo en cuenta las siguientes especificaciones necesarias para la elaboración, que son:

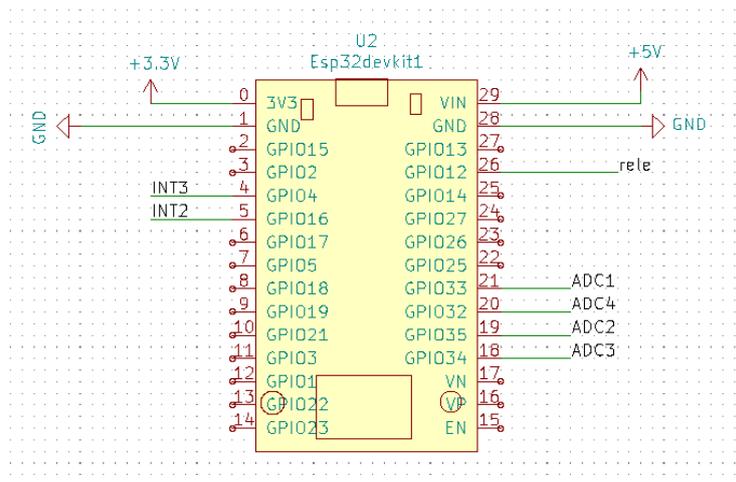
- Censado del voltaje de la batería de Litio
- Censado del voltaje entregado por el panel solar
- 1 entradas analógicas externas para sensores
- 1 entrada digital para sensor digital
- 1 entrada digital para botón
- Puerto de alimentación externa para carga de batería

Para el ESP32 se determinó los siguientes pines y funciones:

- Pines de alimentación (5v, GND).
- Pines de alimentación para los sensores analógicos y digitales (3.3v, GND)
- INT3 que se conecta al GPIO4 para entrada digital donde se conectará un botón.
- INT2 que se conecta al GPIO16 para entrada de un sensor digital.
- ADC1 que se conecta al GPIO33 para entrada de sensor analógico.
- ADC2 que se conecta al GPIO35 para entrada de sensor analógico.
- ADC3 que se conecta al GPIO34 para entrada del censado de la batería.
- ADC4 que se conecta al GPIO32 para entrada del censado del panel solar.
- Todo esto se puede realizar en kicad como se muestra en la Figura con su respectiva etiqueta.

Figura 22

Pines designados ESP32.



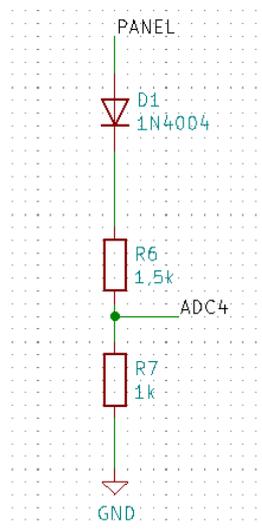
Nota. La figura fue elaborada por el autor.

En la Figura 22 se pudo observar el ESP32 en Kicad y sus pines con su designación.

Censado de panel solar: Para realizar el censado del panel solar hay que tomar en cuenta el pico de voltaje que envía el panel, el cual es 8 voltios. Considerando los 8 voltios como máximo voltaje de entrada se realiza un divisor de voltaje en base a resistencias, para de esta forma tener una entrada en los rangos desde 0v a 3.3v. Tomando en cuenta los cálculos se obtiene que el divisor de voltaje estará formado por $R1= 1.5k$ y $R2=1k$ para obtener un voltaje máximo en caso de tener una entrada de 8v de 3,2v. Esta configuración se tomó en cuenta para el diseño del circuito y se puede observar en la Figura 23.

Figura 23

Divisor de voltaje panel solar.

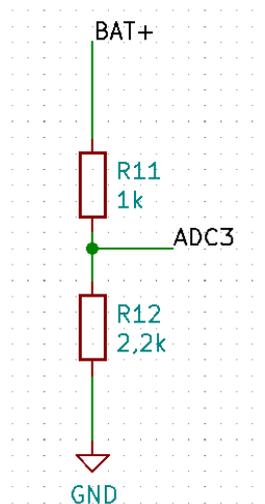


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Censado de batería: Se tiene que el voltaje de la batería es de un máximo de 4,2 por lo cual es necesario utilizar un divisor de voltaje que regule y reduzca la señal de entrada a un máximo de 3.3v por lo cual se usara los valores R1=1k y R2= 2.2k reduciendo la entrada analógica a un valor de 2.88v en caso de tener una entrada de 4.2v. Este circuito se puede observar en la Figura 24.

Figura 24

Divisor de voltaje censado de batería.



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Entradas sensores analógicos y digitales: Para las entradas analógicas no es necesario usar un divisor de voltaje porque la mayoría de sensores comerciales funcionan con alimentación de 3.3v o 5v.

Sistema de alimentación: EL circuito cuenta con dos tipos de alimentación uno por batería para el funcionamiento nocturno, mientras que para el funcionamiento del día se utiliza un panel solar.

Es necesario calcular la autonomía del módulo de censado con la batería para lo cual se utilizará la siguiente formula:

$$H = \frac{Wb}{Wc}$$

En donde H es la autonomía y WB es la potencia de la batería y Wc es la potencia consumida por el sistema.

Además, se obtiene Wb por medio de la siguiente formula:

$$Wb = Vb * Ib$$

En donde V_b es el voltaje de la batería y I_b es la intensidad o amperaje por hora que tiene la batería.

Y para encontrar W_c se utiliza la siguiente fórmula:

$$W_c = V_b * I_c$$

En donde I_c es el consumo del sistema en amperios hora.

Del sistema que se elabora se utilizará una batería 18650 que tiene una I_b de 2200 mAh y el módulo de censado tiene un consumo en amperios de

$$W_b = 3.7 * 2200mAh$$

$$W_b = 6660W$$

$$W_c = 5 * 338,1mAh$$

$$W_c = 1690,5mW$$

$$H = \frac{6660mW}{1690,5mW}$$

$$H = 4,81h$$

Lo que nos indica que el sistema tendrá una autonomía por medio de baterías antes de necesitar carga de 4,81h, para evitar consumos excesivos se utilizará la función Deep sleep del Esp32 lo que permite que el sistema minimice su consumo en los momentos que no envía datos de censado por lo cual consumirá el sistema en su totalidad 80 mA para lo cual aplicamos la misma fórmula:

$$W_b = 3.7 * 2200mAh$$

$$W_b = 6660W$$

$$W_c = 5 * 80mAh$$

$$W_c = 400mW$$

$$H = \frac{6660mW}{400mW}$$

$$H = 16,65h$$

Por lo tanto, se tiene que en Deep sleep existe una autonomía de 16 horas, consumo que solo ocupara en las noches y días totalmente nublados que no permita recoger ni el 30% de la potencia del panel solar

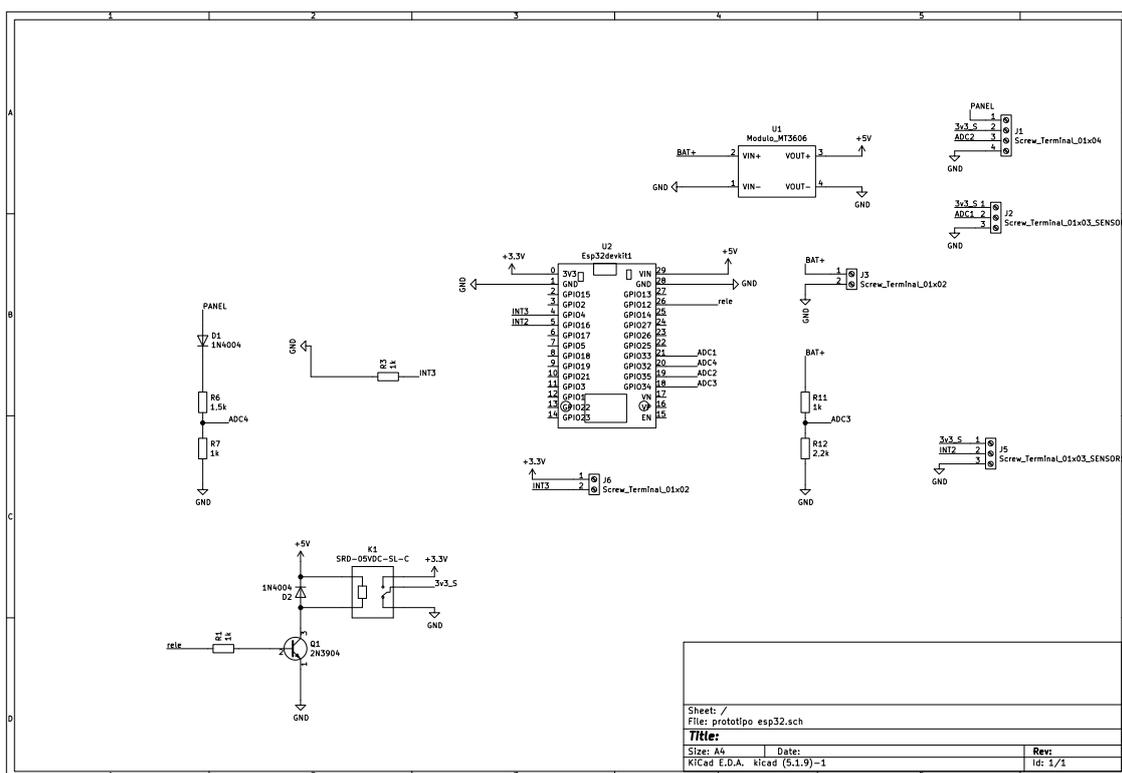
En base a estos cálculos se utilizó un panel solar de 6v y 3w de potencia, y en base a esto se diseñó el sistema de alimentación que se puede observar en la Figura 6.

La batería se conecta a un step up, que en este caso es un MT3608 que se encarga de regular desde 2.7v a 5v que requiere el ESP32 para funcionar en las mejores condiciones.

El circuito final con la agregación de conectores para conectar los respectivos módulos se lo puede ver en la Figura 25.

Figura 25

Esquemático Kicad

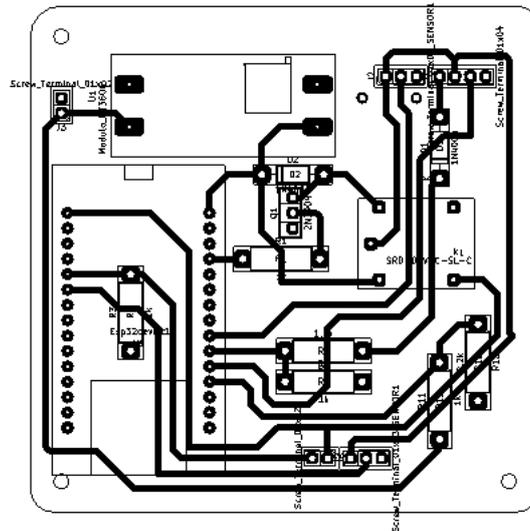


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Así también se puede observar en la Figura 26 la placa del circuito impreso necesaria que tiene unas medidas de 84x84mm.

Figura 26

Diseño PBC



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

El proceso de realización es por corte CNC y para eso se requiere realizar los archivos de corte en GCODE, estos archivos sirven para taladrar las pistas, perforar la baquelita y cortar los bordes.

4.2 Construcción y Ensamblaje

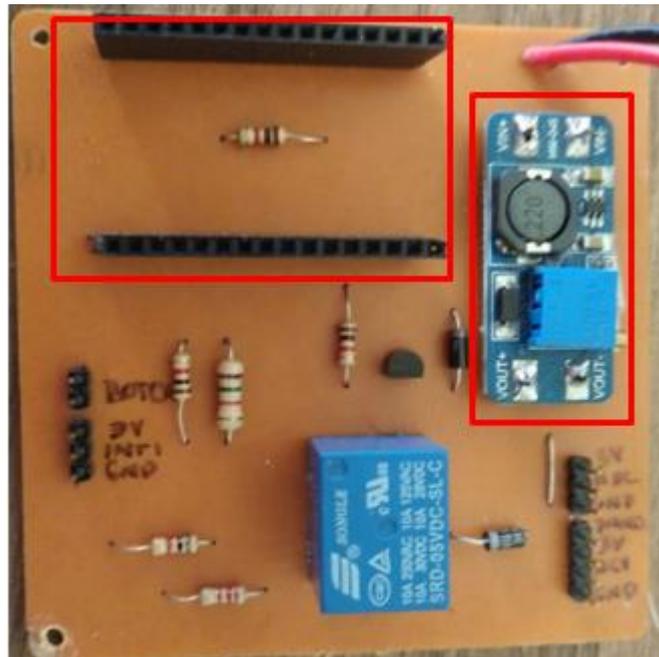
Para el ensamblaje del circuito se utilizará los siguientes componentes:

- Espadines hembra
- HW-045 Boost Módulo
- Relé 5v
- 2 diodos
- 1 transistor 2n3904
- 4 resistencias de 1k
- 1 resistencia de 2,2k
- 1 resistencia de 1,5k

En la Figura 27 se observa el circuito soldado con los componentes descritos con anterioridad.

Figura 27

Circuito soldado componentes

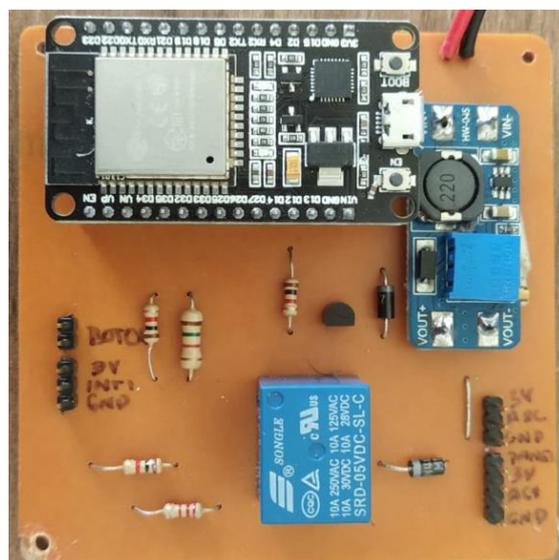


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Una vez realizado el proceso de soldadura se procede a ubicar el microcontrolador ESP32 como se muestra en la Figura 28

Figura 28

Circuito soldado componentes con ESP32 integrado



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

4.2.2. Construcción armazón

La elaboración de la armazón se realizó en FreeCad una herramienta de software libre para el modelado 3d, primero se realizó la base tomando en cuenta los componentes electrónicos como son el diseño de los circuitos, la batería y los conectores.

Los conectores usados para la conexión de los sensores son conectores de aviación 4 pines hembra como se muestran en la Figura 29, la batería a usar es un tipo Li-ion con su respectivo módulo de carga que se integrara en el borde del armazón para poder conectar la alimentación por medio del panel solar y un conector micro USB tipo b.

Figura 29

Conector de avión hembra

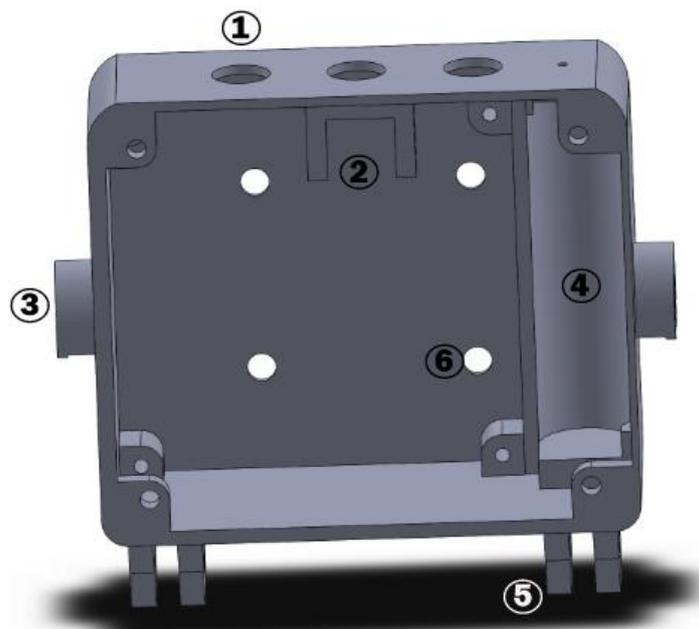


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

El diseño elaborado se muestra en el Anexo 1, ahí se detallan los componentes que lo integran y el acabado final se puede observar en la Figura 30.

Figura 30

Base armazón



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Como se observa en la Figura 30 se tiene los siguientes componentes:

- 1) Espacio para conector de avión hembra
- 2) Ubicación para módulo de carga
- 3) Ubicación para batería Li-ion
- 4) Ubicación para sensores
- 5) Espacio para panel solar
- 6) Conector para soporte barra.

El resultado final del circuito junto con el armazón se puede observar en la Figura 31.

Figura 31

Circuito con componentes en armazón

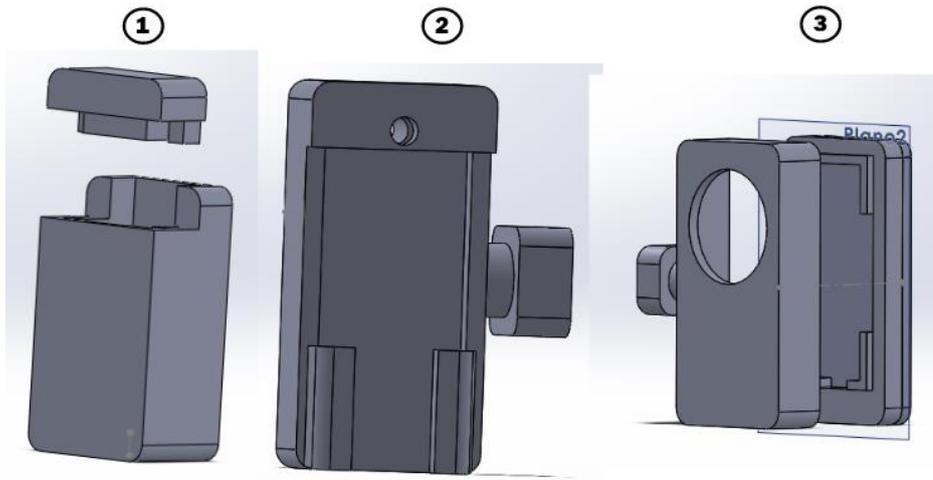


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Una vez realizado el armazón es necesario realizar el módulo donde se ubicarán los sensores los que se pueden ver en el Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4. Y en la Figura 32.

Figura 32

Armazón sensores



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

- 1) Armazón sensor de humedad en el suelo FC-28
- 2) Armazón sensor temperatura y humedad ambiente DHT22
- 3) Armazón sensor calidad de aire MQ-135

2.2.3. Construcción de estructura para instalación

Para la construcción se tomó en cuenta la ubicación del prototipo que para fines prácticos es necesario ubicarlo cerca del cultivo o terreno para que realice las medidas correspondientes,

Como se observa en la Figura 33 se procede a usar una barra de diámetro 23 mm, la misma que se introducirá en el campo para darle soporte al módulo.

Figura 33

Barra para soportar el modulo

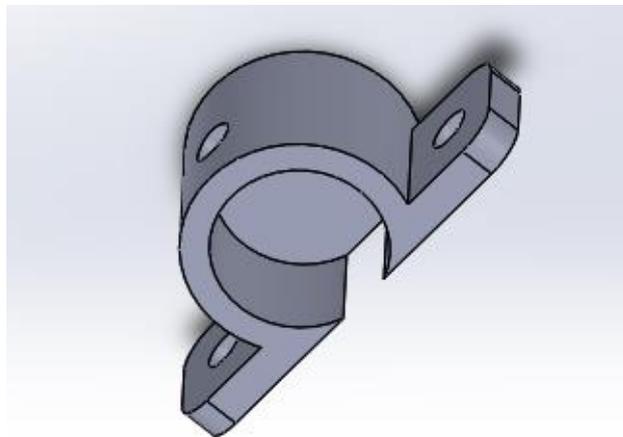


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Una vez seleccionada la barra para soporte se procede a diseñar los soportes que irán en el armazón del módulo en su parte posterior, esto se puede observar en la Figura 34 y el plano con las medidas se puede observar en el Anexo 5.

Figura 34

Soporte superior para barra en armazón

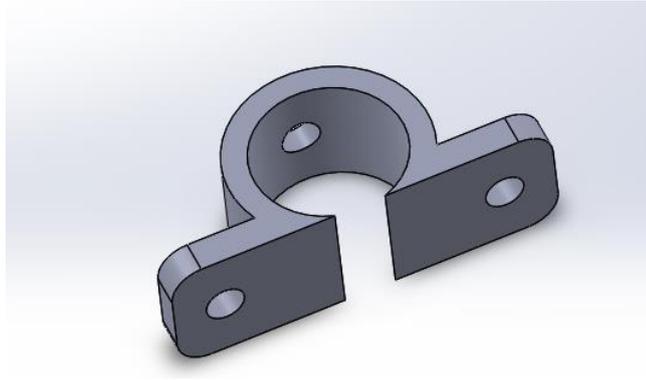


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Para darle mayor sujeción el constara de dos soportes que lo único que varían el uno del otro es que la barra a través del inferior atraviesa completamente y el superior tiene un tope para que la barra no exceda la distancia del armazón de la estación.

Figura 35

Soporte superior para barra en armazón

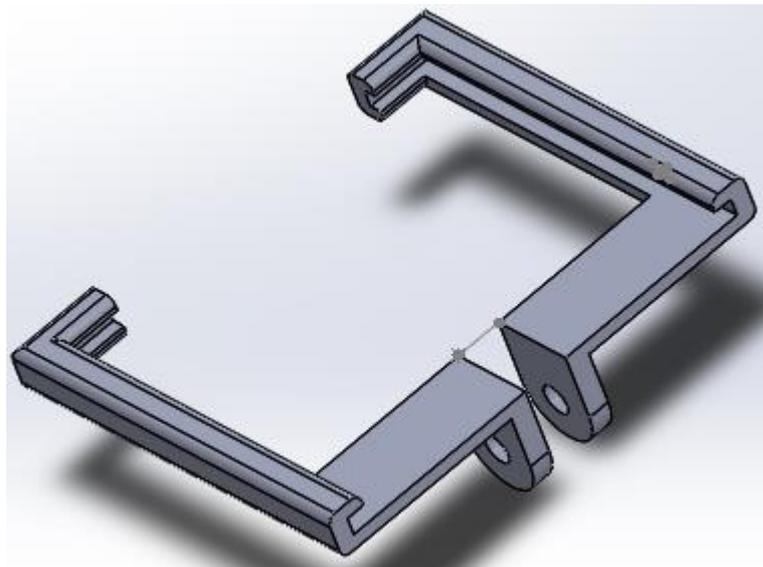


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Además, se realiza los soportes dependiendo del panel solar los que para este caso se pueden observar en la Figura 36, y que sus medidas se encuentran en el Anexo 6.

Figura 36

Soporte panel solar



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Una vez sujetado todos los soportes se ubica en el sitio a monitorizar como se muestra en la Figura 37.

Figura 37

Soporte panel solar



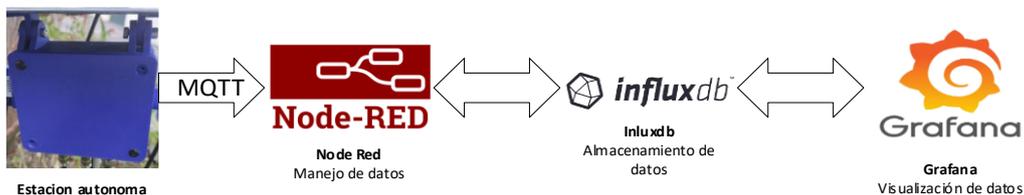
Nota. La figura fue elaborada por el autor.

4.3. Funcionamiento

El funcionamiento de la estación se define en base a la Figura 38.

Figura 38

Flujograma Funcionamiento



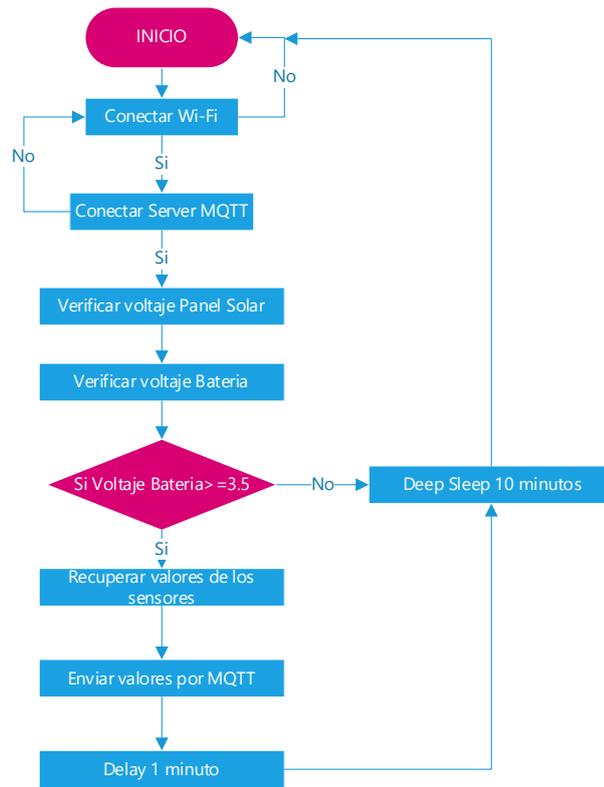
Nota. La figura fue elaborada por el autor.

La estación envía por medio de MQTT la información hacia el servidor que contiene los servicios de Node-RED, influxDB y Grafana. EL servicio de node red se encarga de recibir por medio de MQTT cada uno de los datos en su respectivo tópico para luego almacenarlo en una base de datos y Grafana recupera y grafica los datos de la base de datos.

El funcionamiento del código o software de la estación se puede observar en el diagrama de Flujo representado en la Figura 39, por lo cual se entiende que el módulo revisara sus conexiones hacia el servidor una vez establecido verifica los voltajes del panel y la batería y comienza con la lectura y envío de los valores hacia el servidor MQTT.

Figura 39

Diagrama de flujo Estación

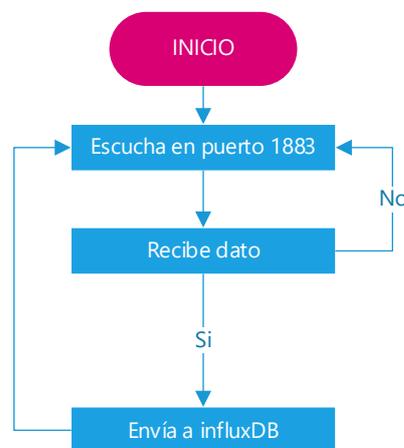


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

El funcionamiento de node Red como se muestra en la Figura 40, se encarga de escuchar en el puerto 1883 que es MQTT, una vez recibe el dato lo envía a influxDB para su almacenamiento junto con la hora y fecha de recepción.

Figura 40

Diagrama de flujo Node RED

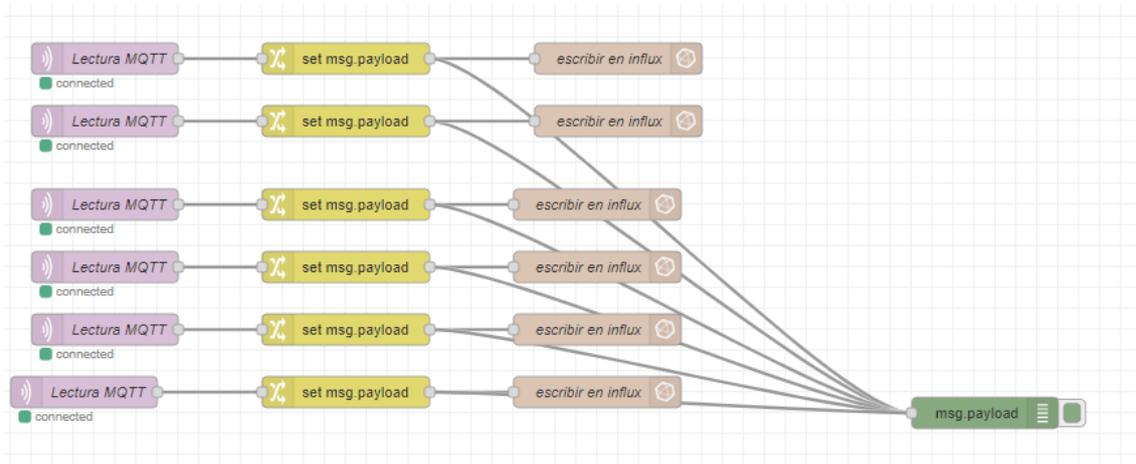


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

El tipo de programación de Node RED es por medio de bloques por lo cual se arrastra las funciones que se realizara y el código total se puede observar en la Figura 41.

Figura 41

Código en bloques Node RED

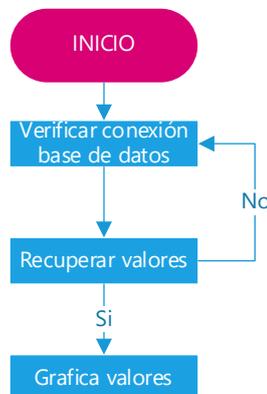


Nota. La figura fue elaborada por el autor.

Grafana se encargó de recuperar los datos en la base de datos y presentarla en forma de gráficos al usuario Final, este procedimiento se visualiza en la Figura 42.

Figura 42

Diagrama de flujo Grafana



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

El interfaz presentado al usuario final es el que se muestra en la Figura 43 y permite visualizar cada uno de los sensores que integra la estación.

Figura 43

Interfaz Gráfico Grafana



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

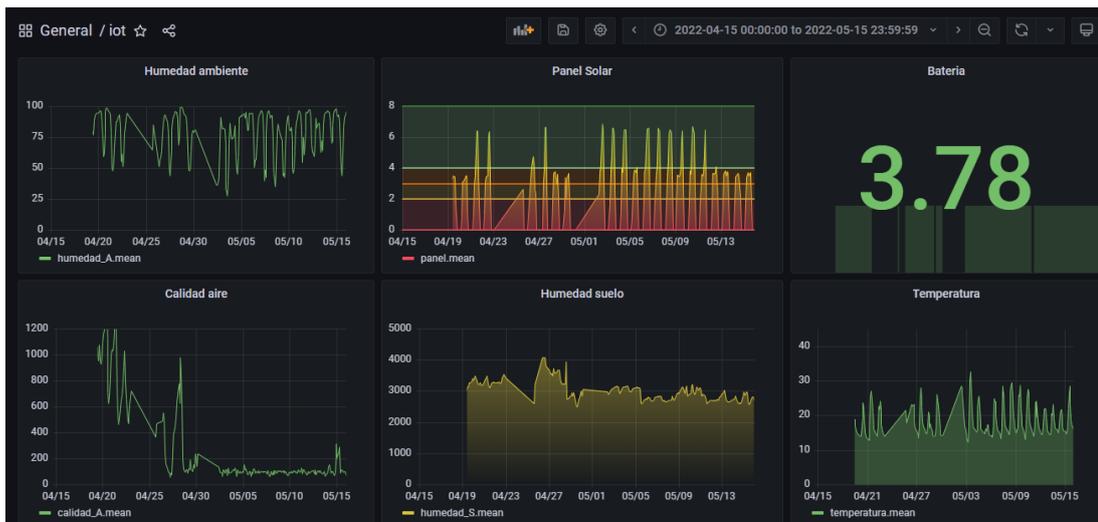
4.4. Pruebas de funcionamiento

Para realizar las pruebas se tomó en cuenta los sensores que se tiene en la estación agrónoma, y las pruebas se realizaron en el transcurso de algunas semanas en donde se pudo observar los siguientes valores.

Una vez censado por varias semanas se pudo observar valores relativos en base a ciertas condiciones que se muestran en la Figura 44.

Figura 44

Censado en un periodo de tiempo de un mes en Grafana



Nota. La figura fue elaborada por el autor.

De la recopilación de datos en el transcurso del periodo de tiempo que abarco desde el 20 al 26 de abril de 2022. Se tuvo los siguientes valores de cada uno de los días en los siguientes horarios.

Humedad relativa: Como se muestra en la Tabla 3, se tuvo los siguientes valores promediados en los horarios que se muestran y sus respectivos valores.

Tabla 3.

Valores promediados humedad relativa

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
20/4/2022	96%	74%	75%	100%
21/4/2022	96%	64%	60,80%	86,60%
22/4/2022	92%	53%	60%	86%
23/4/2022	96%	74%	75%	100%
24/4/2022	96%	64%	60,80%	86,60%
25/4/2022	92%	53%	60%	86%
26/4/2022	87%	68%	75%	98%

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

Temperatura relativa: Como se muestra en la Tabla 4, se obtuvo los siguientes valores en las fechas especificadas y el promedio de temperatura en los horarios.

Tabla 4.

Valores promediados temperatura relativa

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
20/4/2022	14°	18°	21°	14°
21/4/2022	13°	20°	24°	15°
22/4/2022	14°	22°	16°	15°
23/4/2022	14°	18°	21°	14°
24/4/2022	13°	20°	24°	15°
25/4/2022	14°	22°	16°	15°
26/4/2022	15°	19°	14°	14°

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

Humedad suelo: Como se muestra en la Tabla 5, se obtuvo los siguientes valores en las fechas especificadas y el promedio de humedad en el suelo en los horarios especificados.

Tabla 5.

Valores promediados humedad suelo

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
20/4/2022	82%	80%	77%	98%
21/4/2022	75%	70%	65%	65%
22/4/2022	72%	55%	70%	60%

23/4/2022	82%	80%	77%	98%
24/4/2022	90%	70%	65%	65%
25/4/2022	75%	70%	65%	65%
26/4/2022	78%	10%	25%	48%

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

Calidad aire: Como se muestra en la Tabla 6, se obtuvo los siguientes valores en las fechas especificadas y el promedio de partículas por millón de c02 en la calidad del aire en los horarios especificados.

Tabla 6.

Valores promediados partículas por millón C02

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
20/4/2022	150ppm	200ppm	500ppm	800ppm
21/4/2022	900ppm	750ppm	500ppm	586ppm
22/4/2022	700ppm	600ppm	350ppm	200ppm
23/4/2022	150ppm	200ppm	500ppm	800ppm
24/4/2022	900ppm	750ppm	500ppm	586ppm
25/4/2022	900ppm	750ppm	500ppm	586ppm
26/4/2022	400ppm	300pp	500ppm	600ppm

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

Panel solar: Como se muestra en la Tabla 7, se obtuvo los siguientes valores en las fechas especificadas y el promedio de voltajes arrojados por el panel solar en los horarios especificados.

Tabla 7.

Valores promediados voltaje panel solar

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
20/4/2022	0	3,2	2,8	0
21/4/2022	0	2,8	6	0,3
22/4/2022	0	3	6	0,2
23/4/2022	0	3,2	2,8	0
24/4/2022	0	2,8	6	0,3
25/4/2022	0	3	6	0,2
26/4/2022	0	3	6	0,5

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

Batería de litio: Como se muestra en la Tabla 8, se analizó los valores recabados en las fechas especificadas y el promedio de voltajes arrojados por la batería en los horarios especificados.

Tabla 8.

Valores promediados voltaje batería

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
20/4/2022	3,69	3,98	4,06	3,84
21/4/2022	3,64	4,35	3,57	4,01
22/4/2022	3,99	3,51	4,24	3,63
23/4/2022	3,69	3,98	4,06	3,84
24/4/2022	3,64	4,35	3,57	4,01
25/4/2022	3,99	3,51	4,24	3,63
26/4/2022	3,8	4,15	3,58	3,98

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

4.5. Resultados

En base a las pruebas de funcionamiento por el periodo de tiempo que abarco desde el 20 de abril hasta el 26 de abril de 2022, se obtuvo los valores en las Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8. De donde observaron los valores promedio en los horarios que se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Resultados censados estación agrónoma

	00:00 a 06:00	6:00 a 12:00	12:00 a 18:00	18:00 a 23:59
Humedad Relativa	94%	64%	67%	92%
Temperatura Relativa(°C)	13,85	19,85	19,42	14,57
Humedad suelo	79%	62%	63%	71%
Calidad de aire(ppm)	145,35	227,03	266,14	188,34
Panel Solar(v)	0	3	5,08	0,21
Batería(v)	3,77	3,97	3,90	3,84

Nota. La tabla fue elaborada por el autor.

Como se observa en la Tabla 9 los valores promediados en el tiempo de censado en los horarios determinados y en base a estos datos se puede determinar qué tipo de cultivo es apto según el sector y sus condiciones climáticas. La estación agrícola se mantiene en funcionamiento y recopilando datos hasta la fecha actual, permitiendo acumular datos para su utilización en futuros cultivos.

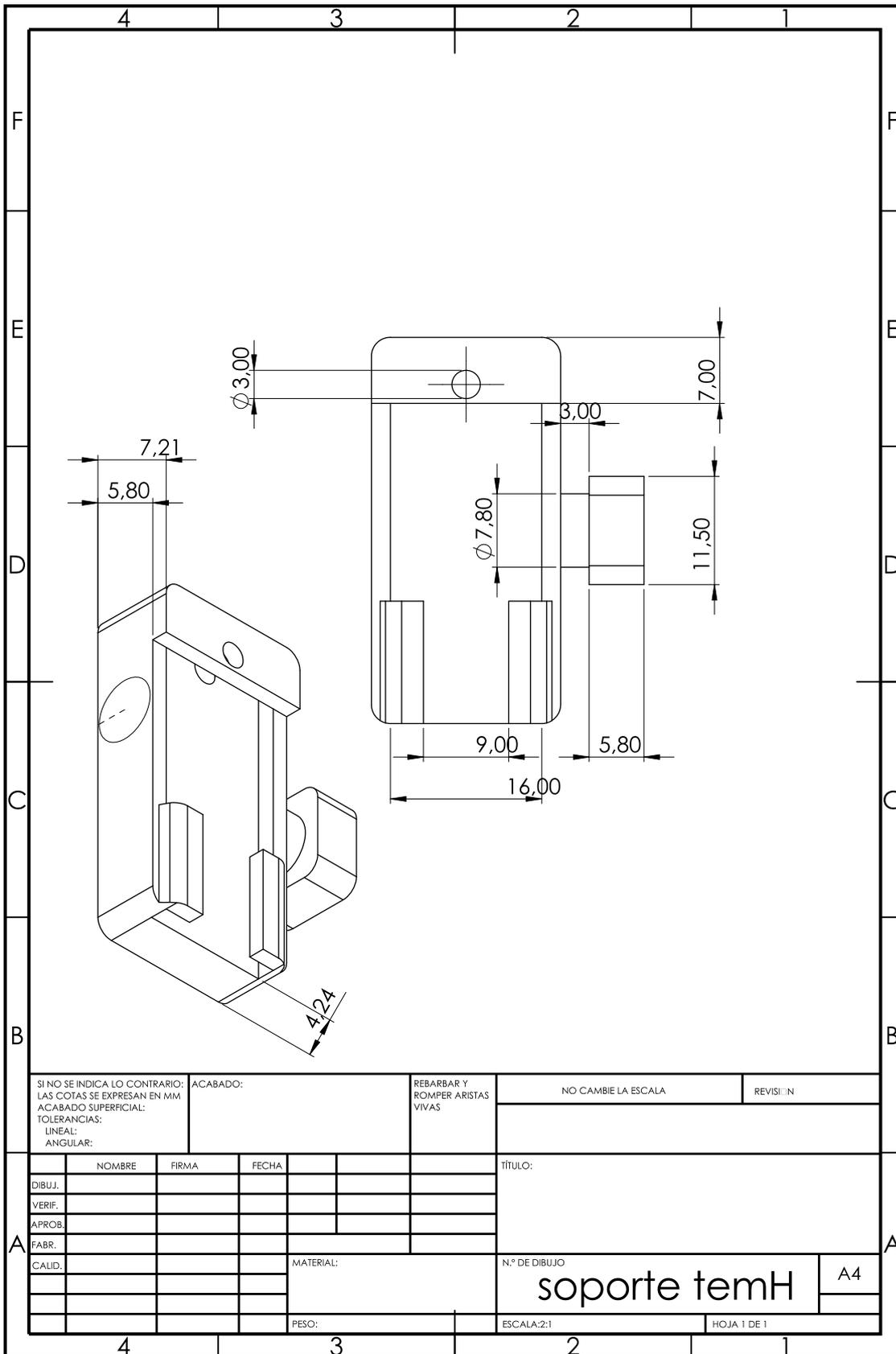
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La estación autónoma agrícola desarrollada en el presente proyecto cuenta con la opción de modificar el tipo de sensores en base a los requerimientos del propósito agrícola.
- Se puede concluir que una estación agrícola autónoma requiere de un sistema de alimentación que permita su trabajo de forma autónoma y continua para su funcionamiento tanto en sitios rurales como urbanos.
- La recopilación y almacenamiento de datos permite realizar estimaciones de las condiciones del sitio en donde se planea cultivar, y de esta manera obtener mejor calidad en el producto final y planificar el tiempo y progreso de la plantación.
- En base al proceso de desarrollo, se puede concluir que el almacenamiento de datos es útil para mejorar las prácticas en la agricultura y desarrollar mejores técnicas agrícolas que beneficien al agricultor y reduzcan costos de operación.
- En el diseño de la estación agrícola es necesario tomar en cuenta el lugar donde se instalará para escoger el tipo de comunicación necesaria para el envío de datos.
- Se debe tomar en cuenta que para cada cultivo es necesario ciertas condiciones, por lo cual la estación agrícola no debe estar limitada a los sensores que se utilizaron en el desarrollo de este proyecto, más bien adaptarse a las necesidades del agricultor.
- El sistema de alimentación se debe diseñar en base al consumo de los componentes y las condiciones en donde se instalará la estación agrícola.
- Por tratarse de un componente que está a la intemperie es necesario tomar en cuenta la caja protectora para que soporte las inclemencias del tiempo.
- Para futuras versiones las mejoras a presentar comprenden la calidad y efectividad de los sensores mas no la unidad de procesamiento.

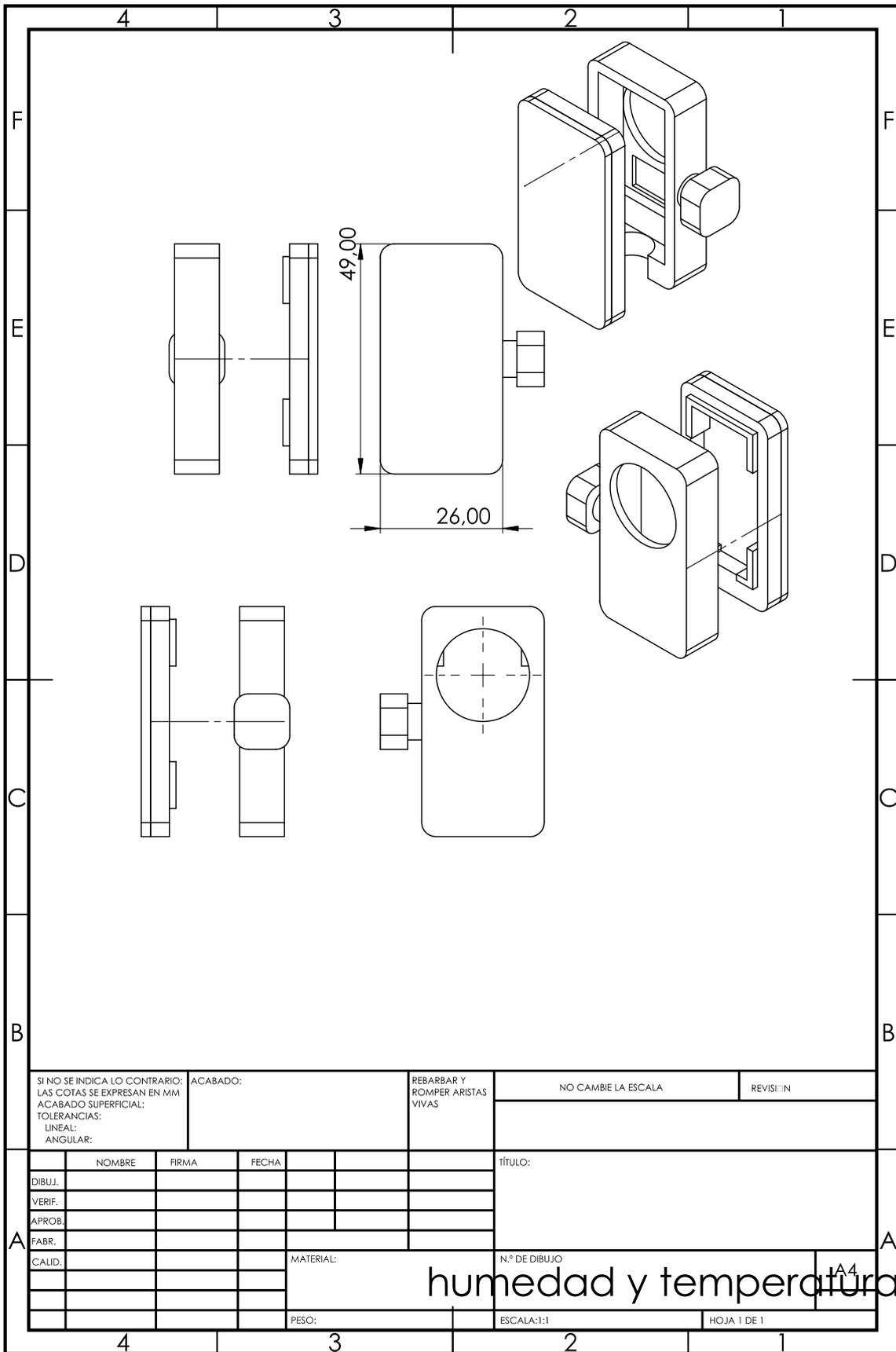
Referencias

- Agroptima, B. (21 de Octubre de 2021). *Big data en agricultura: siembra datos, cosecha decisiones*.
Obtenido de <https://www.agroptima.com/es/blog/big-data-agricultura-datos-decisiones/>
- Andres, M. B. (2018). Internet de las cosas. En M. B. Andres, *Internet de las cosas* (pág. 126). Madrid: REUS.
- Dagar, R., Subharanil, S., & Khatri, K. (2018). *Smart Farming – IoT in Agriculture*. First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC).
- DARRERA. (20 de Marzo de 2020). *Estación meteorológica para la agricultura*. Obtenido de <https://www.darrera.com/wp/es/producto/3r-aws200-estacion-meteorologica-agricultura/>
- DYACON. (5 de Junio de 2020). *Estación meteorológica de agricultura*. Obtenido de <https://dyacon.com/estacion-meteorologica-de-agricultura/>
- Earth Observing System (EOS). (9 de Septiembre de 2020). *El Control De La Humedad Del Suelo: Un Factor Clave*. Obtenido de <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/>
- fao.org. (8 de Julio de 2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/news/story/es/item/1201025/icode/>
- Fieldview, C. (6 de Noviembre de 2021). *Ciencia de Datos, aliada clave para la agricultura eficiente*.
Obtenido de <https://blog.climatefieldview.com.ar/big-data-en-la-agricultura>
- Garcia, E. &. (12 de Octubre de 2021). *Agricultura de Precisión. Tecnología Agropecuaria, 99-116*.
Obtenido de <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- Gracia, M. (10 de Febrero de 2020). *IoT - Internet Of Things*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/loT-internet-of-things.html>
- GUERRERO-IBAÑEZ, ESTRADA-GONZALEZ, F., & MEDINA-TEJEDA, M. (20 de Octubre de 2021). *SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión*. Obtenido de <http://www.iiisci.org/journal/pdv/risci/pdfs/CA544SI17.pdf>
- Heble, S., Kumar, A., Prasad, K. V., Samirana, S., Rajalakshmi, P., & Desai, U. B. (2020). *A low power IoT network for smart agriculture*. IEEE Pune Section International Conference (PuneCon).
- Llamas, L. (17 de Abril de 2019). *¿QUÉ ES MQTT? SU IMPORTANCIA COMO PROTOCOLO IOT*.
Obtenido de <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>
- MAHER. (14 de Agosto de 2021). *Estación meteorológica para la agricultura*. Obtenido de <https://www.maherelectronica.com/sensores-agricolas-clima/estacion-meteorologica-para-agricultura/>
- Naylamp Mechatronics SAC. (9 de Julio de 2020). *SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DHT22 (AM2302)*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Nutricontrol. (27 de Enero de 2020). *LA IMPORTANCIA DE LA TEMPERATURA PARA EL CULTIVO EN INVERNADERO*. Obtenido de <https://nutricontrol.com/es/la-importancia-de-la-temperatura-para-el-cultivo-en->

ANEXO 2. Plano 2D armazón sensor DHT22



ANEXO 3. Plano 2D armazón MQ-135

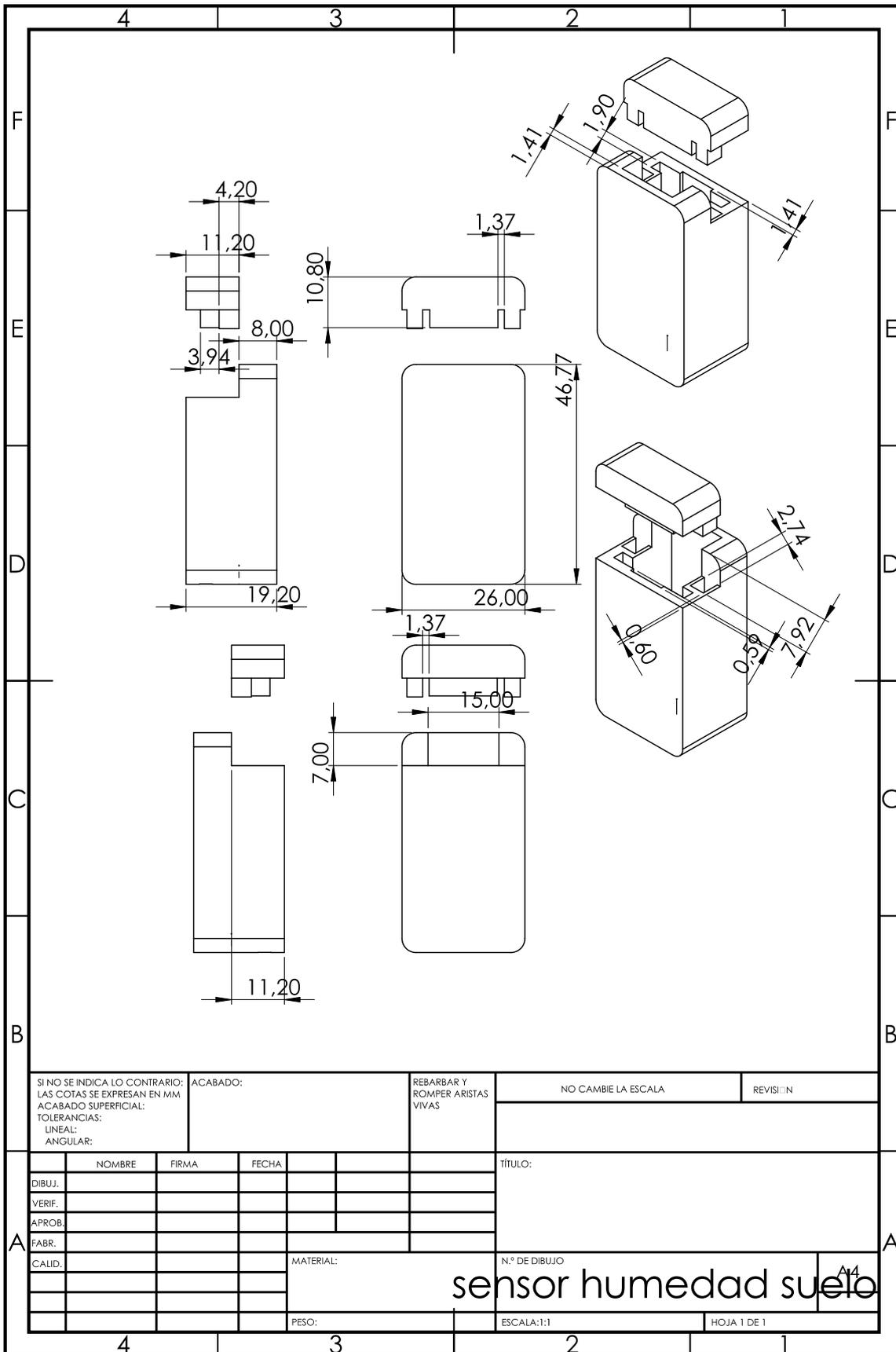


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
			PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

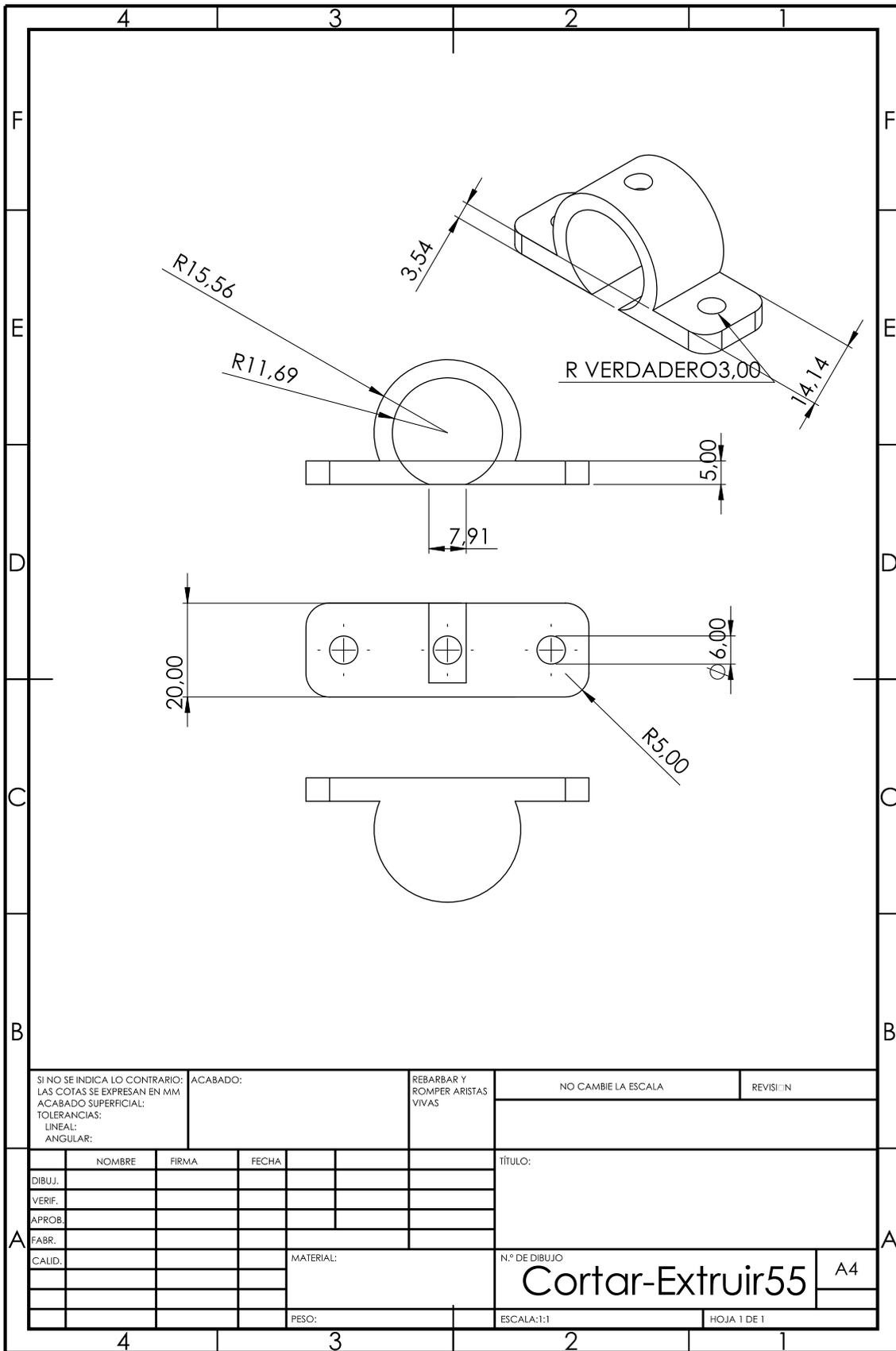
humedad y temperatura

A4

ANEXO 4. Plano 2D armazón FC-28



ANEXO 5. Plano 2D soporte barra



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		
			Cortar-Extruir55		
PESO:			ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1

Cortar-Extruir55

A4

ANEXO 6. Plano 2D Soporte Panel Solar

