



Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN
METEOROLÓGICA MODULAR Y ECONÓMICA PARA
MONITOREO EN TIEMPO REAL***

Franco Gabriel Debortoli Palacios

Trabajo final de Ingeniería Mecatrónica

Director: Mgtr. Ing. Javier Alejandro Carletto
Codirector: Esp. Ing. Juan Pablo Demichelis

Villa Mercedes, San Luis
Año 2025

DERECHO DE AUTOR

© 2025, Franco Gabriel Debortoli Palacios.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

A mi padre, Raúl Debortoli, quien me mostró la belleza de la ingeniería y fue mi primera inspiración como profesional.

A mi madre, Liliana Palacios, por estar siempre presente, motivándome en los momentos más difíciles y por darme las herramientas para afrontar cada paso con fortaleza.

A mis hermanas, Emma y Helena, por hacer que este camino académico sea más ameno, más alegre y lleno de compañía.

Esta tesis es también su logro, porque sin sus apoyos constantes, nada de esto habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de San Luis, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y por ser el espacio donde crecí como profesional y como persona.

A mis profesores, por compartir generosamente su conocimiento, su tiempo y su vocación. Gracias por sembrar curiosidad, por exigir con empatía y por acompañar cada paso de este recorrido académico. Su compromiso con la enseñanza dejó huellas profundas en mi formación, y su ejemplo seguirá guiando mi camino profesional.

A mis amigos y compañeros de la universidad, gracias por compartir este viaje conmigo. Por las charlas infinitas, los apuntes prestados, los desafíos compartidos y, sobre todo, por las alegrías que me llevo para siempre. Ustedes hicieron que este camino fuera más humano, más divertido y más llevadero.

A todos los que, de una u otra forma, me acompañaron en este proceso: gracias por estar.

RESUMEN

El presente trabajo final de la carrera de Ingeniería Mecatrónica se enfoca en el análisis, diseño, desarrollo e integración de un prototipo funcional de estación meteorológica de bajo costo, orientado a brindar una alternativa accesible y adaptable para el monitoreo climático en tiempo real. El proyecto adopta una metodología empírica y experimental, que abarca desde la identificación de requerimientos técnicos hasta la construcción, puesta en marcha y validación de los distintos componentes del sistema. El diseño de la estación se estructura en seis módulos independientes, desarrollados con criterios de escalabilidad, interoperabilidad y eficiencia energética. Estos módulos son: el Módulo Central Interior (MCI), el Módulo Central Exterior (MCE), el Módulo de Viento (MV), el Módulo de Lluvia (ML), el Módulo Agrometeorológico (MA) y el Módulo de Radiación (MR). Cada uno fue concebido para cumplir funciones específicas, y su integración permite configurar el sistema según las variables de interés del usuario. Durante el desarrollo del prototipo, se llevaron a cabo múltiples pruebas individuales y de integración, orientadas a verificar la precisión de las mediciones, la estabilidad de las comunicaciones inalámbricas y la robustez general del sistema. Estas pruebas incluyeron la validación de sensores en condiciones controladas, ensayos de compatibilidad entre módulos, y evaluaciones de desempeño del sistema completo en entornos reales. Se realizaron también ajustes iterativos de hardware y firmware para optimizar el consumo energético, mejorar la eficiencia de la comunicación LoRa, y asegurar la integridad y periodicidad de los datos transmitidos. La visualización remota de la información se habilitó mediante una interfaz web y una aplicación móvil, desarrolladas para facilitar el acceso en tiempo real a los datos meteorológicos desde cualquier dispositivo conectado a Internet. Este desarrollo amplía el alcance y la utilidad del sistema, permitiendo su aplicación tanto en contextos educativos como en entornos rurales o productivos que requieran seguimiento climático constante. En conclusión, este trabajo representa un aporte concreto al desarrollo de tecnologías meteorológicas modulares, accesibles y personalizables, que combinan innovación, bajo costo y funcionalidad. La implementación del prototipo demuestra la viabilidad técnica de un sistema distribuido de monitoreo ambiental, escalable y adaptable a distintas necesidades, con un fuerte componente de diseño propio y validación experimental.

Palabra clave- Acceso remoto – Bajo costo – Estación meteorológica – Modularidad – Prototipo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
CAPITULO 1: Propuesta	12
Introducción	13
Objetivos	14
Alcances y limitaciones.....	14
Justificación	14
Estado del arte	15
Marco teórico.....	16
CAPITULO 2: Características y estructura del prototipo	20
Estructura general	21
CAPITULO 3: Módulos y diseño del hardware	24
Módulo central interior (MCI)	26
Módulo central exterior (MCE)	29
Módulo de viento (MV).....	32
Módulo de lluvia (ML)	39
Módulo agro meteorológico (MA).....	45
Módulo radiación solar (MR).....	47
CAPITULO 4: Diseño del software	50
Programación del MCE.....	50
Programación del MCI	53
Presentación de la información.....	55
CAPITULO 5: Calibraciones de los módulos	64

Sensores de temperatura	66
CAPITULO 6: Costos de fabricación	82
Sensores y microcontroladores	82
Carcasas y cierres de empaquetados.....	84
Soportes.....	85
Costo total	86
CAPITULO 7: Contraste de mediciones	87
Sensado de variables	89
CAPITULO 8: Caracterización del prototipo	91
CAPITULO 9: Conclusiones	92
Referencias Bibliográficas	94
Glosario.....	96
ANEXOS	97
Anexo I: Comparación de sensores comerciales	98
Anexo II: Comparación de microcontroladores comerciales.....	100
Anexo III: Cálculo de consumo eléctrico	101
Anexo IV: Tablas de calibración	102
Anexo V: Datos de contraste con estación comercial	107
Anexo VI: Repositorio de códigos de programación	113
Anexo VII: Planos dimensionales	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Esquema visual de funcionamiento del protocolo MQTT.	19
Figura N°2. Módulos del prototipo.	22
Figura N°3. Vista isométrica del módulo central interior diseñado.	27
Figura N°4. Componentes del MCI montados sobre PCB.....	28
Figura N°5. Prototipo de MCI fabricado.	28
Figura N°6. Componentes del MCE montados sobre PCB.	30
Figura N°7: Diseño 3D del MCE.	31
Figura N°8. Diferentes tipos de anemómetros.	32
Figura N°9: Encoder mecánico y opto acoplador.....	33
Figura N°10: Vista isométrica del anemómetro diseñado.	34
Figura N°11: Prototipo de aanemómetro fabricado.....	35
Figura N°12: Comparación entre veletas de viento.....	37
Figura N°13: Veleta de viento diseñada.....	38
Figura N°14: Prototipo de veleta de viento fabricada.	38
Figura N°15. Equivalencia de unidades para la precipitación.	39
Figura N°16. Vista isométrica del pluviómetro diseñado.	41
Figura N°17: Prototipo del pluviómetro fabricado.....	41
Figura N°18. Vista isométrica sensor de presencia de lluvia.....	43
Figura N°19. Prototipo fabricado del sensor de presencia de lluvia.	44
Figura N°20. Termohigrómetro de suelo.....	45
Figura N°21. Vista isométrica del módulo agro meteorológico.....	46
Figura N°22. Piranómetro de suelo.....	49
Figura N°23. Diseño de comunicación e integración de tecnologías a nivel software	50
Figura N°24. Diagrama de flujo MCE.....	52
Figura N°25. Diagrama de flujo MCI.	54

Figura N°26. Diagrama de flujo Node-Red.	56
Figura N°27: Pantalla de inicio del dashboard.	57
Figura N°28: Pantalla MCI.	58
Figura N°29: Pantalla MCE.....	58
Figura N°30: Pantalla módulo de viento.....	59
Figura N°31: Pantalla módulo de lluvia.	60
Figura N°32: Pantalla módulo de agrometeorológico.....	60
Figura N°33: Pantalla módulo de radiación solar.	61
Figura N°34: Pantalla de botonera de variables y datos diarios.	62
Figura N°35: Pantalla datos semanales y mensuales.	62
Figura N°36: Pantalla datos anuales.	63
Figura N°37: variación de mediciones entre sensores de la misma familia.	65
Figura N°38: calibración por método de dos puntos.	65
Figura N°39: termómetro digital AM-4257SD - LUTRON.	66
Figura N°40:Rueda dentada diseñada.....	67
Figura N°41: Velocidad sensada sin escalar.	68
Figura N°42: Velocidad sensada escalada.	69
Figura N°43: Mediciones de calibración.....	69
Figura N°44: PCB veleta de viento.	70
Figura N°45:dimensiones balancín - A.....	72
Figura N°46:dimensiones balancín - B.....	72
Figura N°47: tabla de calibración de Greenspan. Fuente: [12].....	73
Figura N°48: Valores de humedad y temperatura del sensor DHT21.	74
Figura N°49: Referencias de valores UV.	74
Figura N°50: Experiencia de calibración UV.	76
Figura N°51. Valores PPM de los gases capaces de ser gastados por el sensor MQ135.....	77

Figura N°52. Curva de sensibilidad de CO2 para el sensor MQ135.	78
Figura N°53. Curva de sensibilidad del aire para el sensor MQ135.	78
Figura N°54. Resistencia RL del sensor MQ135.....	79
Figura N°55. Mediciones efectuadas de R0.....	80
Figura N°56. Medición de respuesta frente al aire.	80
Figura N°57. Fabricación aditiva de carcasa del MCE con PLA.....	84
Figura N°58. Presentación de datos web por el LER.	87
Figura N°59. Datalogger de la estación comercial.	88
Figura N°60. Prototipo montado insitu para contraste de mediciones.	89
Figura N°61. Medición de variables insitu.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Variables de medición por módulo.....	23
Tabla N° 2: Componentes del MCI	26
Tabla N° 3: Componentes del MCE.....	30
Tabla N° 4:Componentes del anemómetro.....	36
Tabla N° 5: Componentes de la veleta de viento.	39
Tabla N° 6: Componentes del pluviómetro.	42
Tabla N° 7: Componentes de la presencia de lluvia.	44
Tabla N° 8: Componentes del MA.	47
Tabla N° 9: Componentes del MR.	49
Tabla N° 10: valores geométricos del balancín.....	71
Tabla N° 11: Costo de sensores seleccionados.	83
Tabla N° 12: Costos de microcontroladores seleccionados.	83
Tabla N° 13: Costo de sensores seleccionados.	85
Tabla N° 14: Costo de sensores seleccionados.	86
Tabla N° 15: Características técnicas del prototipo.	91
Tabla N° 16 – Anexo I: Comparación de sensores comerciales.	98
Tabla N° 17 – Anexo II: Comparación de microcontroladores comerciales.....	100
Tabla N° 18 – Anexo III: Consumo energético por modulo y total.....	101
Tabla N° 19 – Anexo IV: Calibración DS18B20.	102
Tabla N° 20 – Anexo IV: Calibración anemómetro.....	102
Tabla N° 21 – Anexo IV: Calibración veleta de viento.....	103
Tabla N° 22 – Anexo IV: Calibración DHT21.	104
Tabla N° 23 – Anexo IV: Calibración DHT22.	105
Tabla N° 24 – Anexo IV: Calibración sensores de humedad de suelo.	106
Tabla N° 25 – Anexo IV: Contraste 13-09-2025 y gráficos derivados.	107

Tabla N° 26 – Anexo IV: Contraste 14-09-2025 y graficas derivadas. 110

CAPITULO 1: Propuesta

Introducción

Para comprender el clima y conocer el estado del tiempo de una determinada zona geográfica, es necesario estudiar los parámetros meteorológicos los cuales se registran periódicamente a través de estaciones meteorológicas. Estos dispositivos tienen una gran adaptabilidad y son capaces de proporcionar una gran cantidad de información. Los fines son muy diversos, por ejemplo, la pronosticación del clima, monitoreo de condiciones ambientales, observación y análisis del clima, entre otras.

Las estaciones meteorológicas se adaptan perfectamente a diversas zonas climáticas y proporcionan los datos necesarios en los intervalos de tiempo requeridos. Aunque en el mercado existe una amplia gama de modelos con características diversas, los costos aumentan considerablemente cuando se necesitan prestaciones específicas para determinados estudios. Aquellas que son más asequibles sólo registran variables meteorológicas básicas y no pueden incorporar otros parámetros de interés. Además, generalmente no permiten el acceso remoto a la información que proporcionan, lo que es deseable para instalaciones alejadas o de difícil acceso.

La propuesta implica el desarrollo y la construcción de un prototipo de estación meteorológica de bajo costo, que utiliza módulos específicos que permitan seleccionar parámetros de interés, realizándose la visualización de los datos mediante un navegador web o una aplicación para teléfonos inteligentes.

La metodología utilizada será empírica experimental. Para cada parte integrante de la estación se identificó la necesidad, se seleccionó de posibles soluciones, y se construyó, se realizaron pruebas de integración, mediciones, y análisis de funcionamiento que permitieron proponer alternativas de optimización y rediseño.

En conclusión, se diseña cada uno de los módulos, tanto hardware y software, se implementa un prototipo completo y se realizan ensayos para verificar el funcionamiento. Se extraen conclusiones del proceso de diseño, y se analizan los costos para la construcción de la estación. Finalmente se hace un contraste con un modelo comercial.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar un prototipo de estación meteorológica automática, modular y de bajo costo.

Objetivos específicos

- Determinar los componentes electrónicos para el diseño de la estación meteorológica.
- Diseñar hardware de la estación meteorológica.
- Diseñar el software para la estación meteorológica.
- Contrastar el prototipo con un modelo de estación meteorológica comercial
- Calcular el costo de implementación.
- Documentar el proyecto.

Alcances y limitaciones

La presente propuesta busca crear un prototipo económico y modular de estación meteorológica que permita adquirir datos mediante el diseño e implementación de la estación y sus módulos correspondientes.

Debido a las condiciones nacionales actuales referentes a factores económicos y leyes y/o restricciones de importación, son quienes generan las limitaciones principales para la adquisición de los elementos que compondrán el hardware de la estación. Por ende, el prototipo se ajustará a los elementos que se encuentren en el mercado comercial nacional.

Justificación

El monitoreo de los parámetros climáticos es de interés debido a las aplicaciones en los sectores ganaderos, agrícolas, hídricos, científicos, energéticos, aeronáuticos, sociales, entre otros. Las estaciones meteorológicas son las encargadas de las mediciones periódicas del clima de una determinada zona geográfica.

En el mercado nacional se encuentra una gama acotada de dispositivos destinados a la medición de variables meteorológicas, contando con un alto precio para su adquisición y sin poder optar por variables de interés.

El presente trabajo trae como solución la adquisición de datos meteorológicos por medio de una arquitectura modular dividida en un módulo central y múltiples módulos externos intercambiables, cada uno diseñado para medir variables climáticas específicas. El módulo central recopila los datos y los transmite a una plataforma en la nube mediante WiFi, permitiendo así el acceso remoto en tiempo real desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. Los módulos se comunican de forma inalámbrica mediante tecnología LoRa, lo que permite una instalación flexible incluso en zonas de difícil acceso. La estructura planteada facilita el mantenimiento, la personalización de variables según el entorno de uso, y reduce considerablemente los costos frente a estaciones meteorológicas comerciales.

Estado del arte

Una estación meteorológica es un conjunto de instrumentos y sensores utilizados para medir y registrar variables climáticas y atmosféricas en un lugar determinado. Estas estaciones miden y recopilan datos como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, precipitación, radiación solar, entre otras.

En la actualidad las estaciones meteorológicas se aplican áreas como climatología, agricultura, ingeniería, aeronáutica, etc. Se las encuentra desde pequeños productos para el hogar hasta grandes equipos satelitales que permiten, en conjunto con algoritmos, predecir con un gran grado de exactitud el clima.

El continuo avance de la tecnología ha impactado sobre estos equipos, pasando de equipos manuales a automatizados. Estos últimos, de nuestro interés, pueden recopilar datos, registrarlos, analizarlos, transferirlos y presentarlos en cuestión de segundos.

Las estaciones meteorológicas que se pueden encontrar disponibles dentro del mercado nacional son diversas, a partir de \$100 USD¹ superando en algunas ocasiones los \$2000² USD para áreas específicas. Los productos en oferta no son modulares y poseen un paquete de variables fijas a medir sin la posibilidad de elegir las que son de interés para el comprador, solo en algunos casos pueden ser personalizadas, obligando al fabricante realizar un producto especial impactando en un aumento de precio significativo para el comprador. En sí, el mercado

¹ Link de referencia: <https://goo.su/e9azu>

² Link de referencia: <https://goo.su/8ZLR6>

nacional refleja un mercado limitado y costoso, lo que impulsa el desarrollo de este prototipo modular y de bajo costo.

Respecto al tema, se encuentran referencias anteriores de proyecto de final de grado, como el elaborado por la Ing. Andrada Tivani, Astri Edith de la Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales perteneciente a la Universidad Nacional de San Luis. En el cual se mencionan protocolos de comunicación, se trata IoT y se implementan herramientas como Node Red que se utilizaron en este proyecto; aun así, no se hace hincapié en los sensores y los instrumentos de medición derivados de estos, la modularidad de la estación meteorológica o los métodos de fabricación aditiva, que son puntos clave para el desarrollo del prototipo que este proyecto expone.

Marco teórico

El desarrollo de una estación meteorológica de bajo costo, como el prototipo planteado en este proyecto, requiere un análisis de las variables meteorológicas de interés y de los protocolos de comunicación necesarios para la recopilación, transferencia y almacenamiento de datos. Este apartado aborda los fundamentos conceptuales y técnicos que sustentan la medición de parámetros clave, así como los principios detrás de las tecnologías de comunicación utilizadas.

En estos conceptos se basa el prototipo, por lo que la integración de estos como herramientas es fundamental para realizar la implementación del prototipo y poder compararlo con una estación meteorológica comercial.

Variables de interés

A continuación, se detallan las variables meteorológicas de interés que se medirán con el prototipo de estación meteorológica:

- Temperatura: Se define como el grado de calor de un cuerpo o de la atmósfera, cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (k) [1].
- Humedad Relativa: cantidad de vapor de agua en el aire en relación con la máxima cantidad que puede contener a una temperatura determinada, medida en porcentaje (%).

- Calidad del aire: Es la medición de concentración de gases que presentes en el aire tales como el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, azufre, entre otros. Se mide en partículas por millón sobre metros cúbicos (ppm/m^3).
- Presión atmosférica: Tensión ejercida por la atmósfera a nivel del mar, equivalente a una columna de mercurio de 760 mm de alto, medida en $mmHg$, MPa , Pa , Atm , entre otras.
- Altitud sobre el nivel del mar (a.s.n.m): Distancia vertical de un punto de la tierra respecto al nivel del mar, medida en metros (m).
- Velocidad: Cambio de posición respecto del tiempo, su unidad es el m/s o km/h utilizando el sistema internacional. En contexto respecto al viento, es el cambio de rapidez en una dirección determinada.
- Dirección: Camino o rumbo que un cuerpo sigue en su movimiento; los puntos cardinales (norte, sur, este, oeste), orientación sobre el plano terrestre, son utilizados como unidad de medición.
- Radiación global: cantidad de radiación solar incidente sobre una superficie horizontal. Es la suma de la radiación directa y la radiación difusa. Su unidad es el watt sobre metro cuadrado (W/m^2).
- Radiación ultravioleta: Radiación electromagnética proveniente de la luz solar y fuentes artificiales, los rayos incidentes no son visibles a la vista humana, sus longitudes de onda se encuentran entre las de las radiaciones no-ionizantes y las ionizantes. Se mide en micro watts por centímetro cuadrado por nanómetro ($\mu W/cm^2nm$).
- Precipitación: Cantidad de agua procedente de la atmosfera obtenida mediante lluvia. Se mide en milímetros de altura de agua caída (mm) o en litros por metro cuadrado (l/m^2).

Tecnologías de comunicación

Wi-Fi

Es la abreviatura de la expresión inglesa “Wireless Fidelity”, fidelidad inalámbrica en español. Se utiliza como denominación genérica para los productos que incorporan cualquier variante de la tecnología inalámbrica 802.11, que permite la creación de redes inalámbricas locales posibilitando la comunicación entre dispositivos para enviar y recibir paquetes entre ellos, siendo factible la conexión a internet.

Las redes Wifi presentan una pérdida de velocidad de transferencia mientras más alejados se encuentran los dispositivos entre sí; el radio de cobertura varía según la versión de Wifi que se utilice, la más usual es la que utiliza frecuencias en 2,4 GHz cubriendo un radio de 45 metros. Los obstáculos físicos y/o las ondas electromagnéticas pueden afectar a la transferencia de información en una WLAN.

La principal ventaja es ser prescindible del cableado físico, por lo que los costos de implementación son bajos y de fácil montaje. Se debe tener presente que en la actualidad que esta tecnología está afianzada en la gran mayoría de los dispositivos, siendo de gran facilidad la creación de una WLAN.

La aplicación de este protocolo de comunicación se implementa para la transferencia de datos hacia la nube por medio de internet.

Long Range (LoRa)

LoRa, Long Range en inglés o largo alcance en español, es un protocolo de comunicación inalámbrico que fue originado en el año 2008, la transferencia de información se realiza por medio de modulación de radiofrecuencias. Posee una gran aplicación en el campo de IoT.

La principal característica de este protocolo recae en el gran alcance de transmisión, entre 10 y 20 Km, y el bajo consumo de energía para realizar la comunicación entre dispositivos. La mayor desventaja, actualmente en Argentina, es la disponibilidad de módulos que implementen esta tecnología y que se ajusten a las bandas de frecuencia regularizadas por los entes de control nacionales.

En este proyecto, LoRa se aplica para la comunicación entre el Modulo Central Exterior (MCE) y el Modulo Central Interior (MCI).

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Es un protocolo de comunicación M2M (machine-to-machine) de tipo message queue, se basa en TCP/IP. Fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 como un mecanismo para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera.

El funcionamiento del MQTT es un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub), el cual es un modelo de comunicación donde los emisores de mensajes (publicadores) no envían la información directamente a los receptores (suscriptores), sino que la publican en un intermediario central llamado bróker permitiendo que solo los suscriptores interesados reciban la información relevante. Esto optimiza la comunicación y la gestión de datos en sistemas conectados.

Para filtrar los mensajes que son enviados a cada cliente, estos se disponen en tópicos organizados jerárquicamente. Un cliente puede publicar un mensaje en un determinado tópico. Otros clientes pueden suscribirse a este tópico, y el broker le hará llegar los mensajes suscritos.

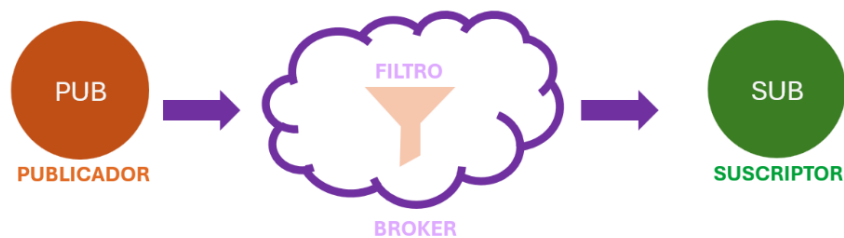


Figura N°1. Esquema visual de funcionamiento del protocolo MQTT.

MQTT presenta varias características, pero la más importante es la sencillez y ligereza para la implementación, bajo consumo de energía, valores pequeños de ancho de banda para la conectividad y transferencia de datos, la posibilidad de agregar seguridad y modificar la calidad del servicio según la implementación.

En este proyecto se utiliza MQTT para enlazar el MCI con la nube, consiguiendo la carga de la información obtenida por todos los sensores que conforman el prototipo.

CAPITULO 2: Características y estructura del prototipo

En el diseño de sistemas de medición ambiental, la capacidad de adaptación, mantenimiento y escalabilidad resulta clave. En este contexto, la modularidad emerge como una característica estructural fundamental del prototipo desarrollado.

Si bien las estaciones meteorológicas tienen como propósito principal la medición y recopilación de variables climáticas, este trabajo propone una arquitectura modular que permite seleccionar, intercambiar y ampliar sensores según las necesidades específicas del usuario o del entorno.

Esta sección describe en detalle la implementación de la modularidad en el sistema, abordando tanto su diseño físico como lógico, sus ventajas funcionales y su impacto en términos de:

- Personalización: el usuario puede permitirse elegir los parámetros climáticos de interés y/o necesarios para la aplicación de la estación, lo que trae ligada la adaptabilidad del equipo según el entorno al cual se destina.
- Mantenimiento: al poseer módulos independientes se vuelve más fácil realizar mantenimiento; por ejemplo, es más sencillo sustituir módulos dañados o desmontar y reparar aquellos que no estén funcionando adecuadamente, sin afectar el funcionamiento general del equipo.
- Escalabilidad: permite que el sistema crezca o se adapte según las necesidades sin grandes inversiones adicionales ni cambios complejos en la estructura existente.
- Mejora de tecnología: cada módulo puede ser actualizado a futuro con tecnologías emergentes sin afectar a los demás que componen el sistema.
- Producción: en términos de desarrollo y fabricación, al dividir el sistema en módulos independientes, cada uno puede diseñarse, fabricarse y probarse por separado. Esto permite a los fabricantes trabajar en paralelo en diferentes partes del sistema, acelerando el proceso general y aumentando la eficiencia.

Respecto a la fabricación del hardware, excluyendo al cableado, de las estaciones meteorológicas podemos encontrar métodos como la inyección de plásticos, el moldeo por compresión, mecanizados por control numérico, entre otros. Estas tecnologías son beneficiosas para la producción en masa y aplicarlas al prototipo sería contraproducente, por lo que se puede optar por tecnologías emergentes y en continuo crecimiento como lo es la fabricación aditiva, método de producción que crea objetos capa por capa, utilizando materiales como polímeros, metales o cerámicas. A diferencia de los métodos mencionados, este añade material solo donde se necesita, lo que permite diseños más complejos, personalización y reducción de desperdicios. Se pueden utilizar impresoras 3D como medio, la cual es una máquina que utiliza la fabricación aditiva para construir objetos tridimensionales a partir de un modelo digital, generalmente utiliza polímeros y como materia prima se destaca el PLA (ácido poli láctico) accesible comercialmente.

Otro punto fundamental es la diversidad de sensores, microcontroladores y componentes electrónicos que hay en el mercado. Se pueden encontrar estos dispositivos en formato genérico, de bajo costo y de buen rendimiento, sin la necesidad de optar por uno de uso industrial y comunicaciones complejas.

La integración entre el método de fabricación aditiva y los componentes genéricos son fundamentales ya que la reducción de costo radica en esto, evitando disminuir buenas características de sensado para la estación meteorológica y permitiendo realizar modelos fáciles de fabricar.

Estructura general

El diseño de la estación meteorológica se compone de 6 módulos individuales:

1. Modulo Central Interior (MCI)
2. Módulo Central Exterior (MCE)
3. Módulo de Viento (MV)
4. Módulo de Lluvia (ML)
5. Módulo agro meteorológico (MA)
6. Módulo de Radiación (MR)

El MCE es el encargado de la recopilación de las mediciones de las variables meteorológicas exteriores, al cual es posible asociarle 4 módulos (MV, ML, MA, MR) para la

elección de variables de interés según prefiera el usuario. Es capaz de realizar mediciones de presión atmosférica, altitud sobre el nivel del mar, humedad relativa y temperatura de forma independiente. Además, transmite los datos obtenidos desde los sensores al MCI mediante un sensor que aplica LoRa.

El MCI es el receptor de la información y el encargado de subir los datos a la nube mediante conexión a internet. Su característica principal es ser el único módulo totalmente independiente, ya que tiene la capacidad de obtener el valor de temperatura, humedad y calidad de aire, y transferir los datos hacia la nube sin ningún intermediario. Un punto fundamental a tener en cuenta, el MCI no puede asociarse a los módulos MV, ML, MA y MR, ya que estos no tienen la función de transferencia de información mediante LoRa, por lo que el MCE es necesario como intermediario.

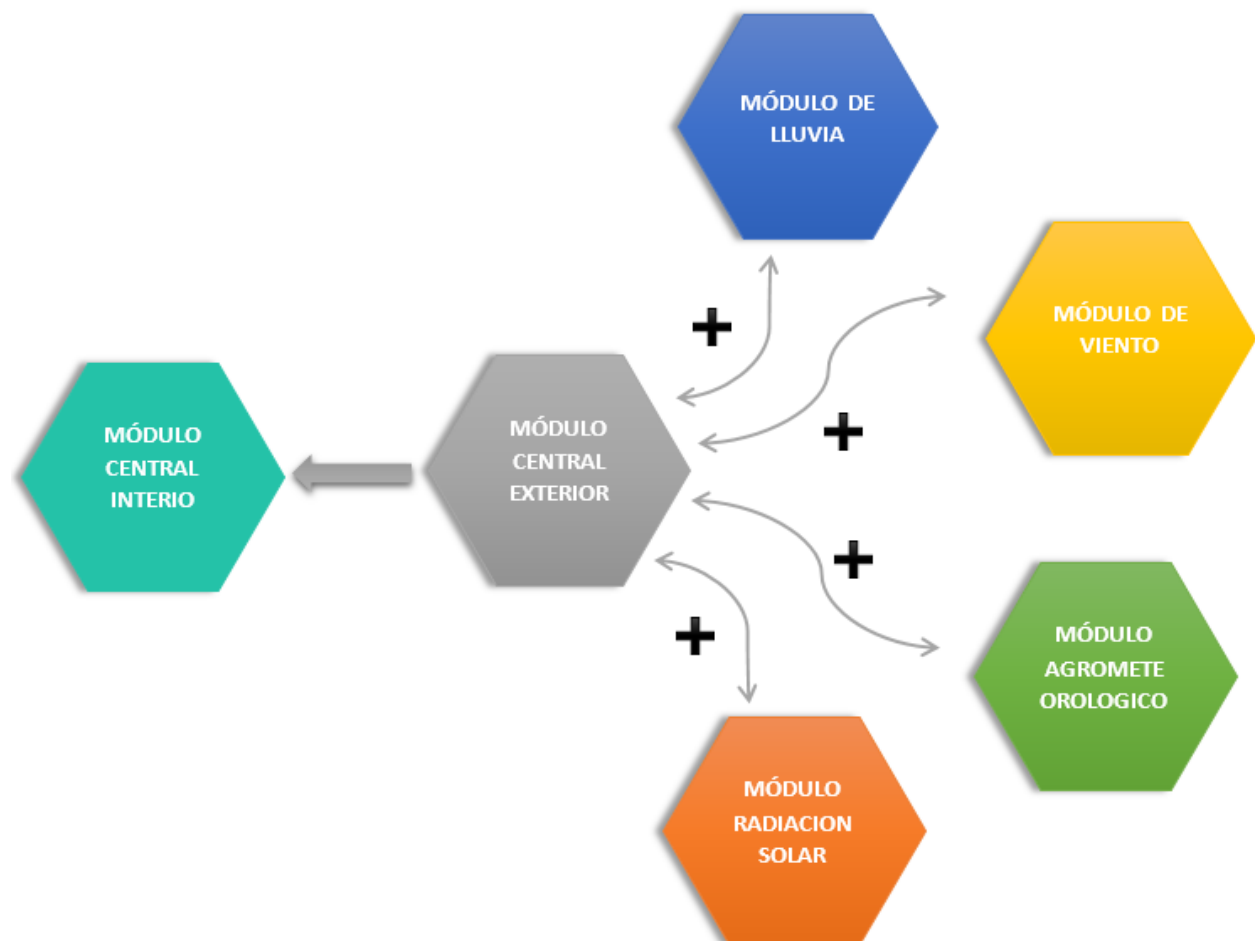


Figura N°2. Módulos del prototipo.

Los módulos restantes son capaces de medir los siguientes parámetros:

- Módulo de viento: dirección y velocidad del viento.
- Módulo de lluvia: precipitaciones e indica la presencia de lluvia.
- Módulo agro meteorológico: humedad y temperatura del suelo.
- Módulo de radiación: radiación UV y global.

Las variables de medición seleccionadas para cada módulo han sido determinadas en función de productos comerciales y aplicaciones prácticas, priorizando aquellas magnitudes que influyen directamente en la toma de decisiones. Se ha optado por un enfoque estratégico que equilibra la relevancia de las mediciones con la viabilidad del prototipo, evitando incluir variables excesivamente específicas que podrían complicar su desarrollo sin aportar beneficios sustanciales en esta etapa.

Tabla N° 1: Variables de medición por módulo.

ITEM	Variable	Modulo
1	Humedad	Módulo Central Interior
2	Temperatura	
3	Calidad de aire	
4	Humedad	Módulo Central Exterior
5	Temperatura	
6	Presión atmosférica	
7	Altura sobre el nivel del mar	
8	Velocidad del viento	Módulo de Viento
9	Dirección del viento	
10	Cantidad de lluvia	Módulo de Lluvia
11	Presencia de lluvia	
12	Humedad del suelo	Módulo Agro meteorológico
13	Temperatura del suelo	
14	Radiación UV	Módulo de Radiación
15	Radiación global	

CAPITULO 3: Módulos y diseño del hardware

En este capítulo se presenta el desarrollo de cada uno de los módulos que componen la estación meteorológica, abordando su diseño desde una perspectiva de hardware. Se detallan los componentes electrónicos utilizados, el funcionamiento específico de cada módulo y los criterios técnicos que fundamentaron la selección de los modelos implementados.

Para el diseño del hardware se han seguido pautas generales, tales como:

- Lluvia y partículas: el agua y el polvo podrían afectar los correctos funcionamientos de los instrumentos, por lo que se han realizado coberturas con encastrés firmes de poca tolerancia para aumentar los grados IP.
- Mantenimiento y repuestos: como las piezas que conforman cada conjunto son derivadas de la fabricación aditiva, los polímeros comercialmente utilizados pueden no ser de buena calidad por ende se pretende que éstas puedan ser reemplazadas en caso de desgaste o posibles daños, resultando así un ensamble amigable y funcional, y una solución frente a inconvenientes.
- Cableado y conectores: la practicidad de conexión y la disminución de canalizaciones, son los ejes fundamentales de esta pauta. Se opta utilizar cable UTP y conectores RJ45, debido a la cantidad de pines utilizados desde el microcontrolador a cada módulo. Este apartado impacta directamente sobre el MCE y los módulos capaces de conectarse a este.

Otro punto a tener en cuenta han sido los sensores y microcontroladores que permitieron a los distintos módulos la medición de variables, control, automatización y comunicación. Para la elección de los sensores se han tenido en cuenta las siguientes pautas:

- Disponibilidad comercial: el componente seleccionado debe ser fácil de conseguir en caso de realizar mantenimiento correctivo.
- Costo del componente: el prototipo tiene como uno de sus objetivos reducir el costo de fabricación por lo que este eje es fundamental.
- Exactitud, rango y resolución: Características intrínsecas del componente que deben realizar una buena sinergia para obtener una medición acorde. Los valores

de exactitud, el error de medición, debe ser pequeño para no tener un gran espectro de tolerancia; el rango debe ser acorde con la finalidad del prototipo; la resolución es importante para ciertas variables dependiendo de la aplicación, por ejemplo, en el sensor de calidad aire es fundamental ya que debe detectar el mínimo cambio de concentración en el aire para informar si es necesario tomar acción en cuanto a la medición, en cambio en los sensores de humedad del módulo agro meteorológico no tiene gran incidencia ya que este valor varia referente a horas y no instantáneamente.

- Alimentación: Los componentes deben ser capaces de ser alimentados con las propias salidas del microcontrolador, siendo un rango aceptable de 3,3 a 5 Volts.

En cuanto a los microcontroladores, las características para la elección han sido:

- Entradas analógicas y digitales: la cantidad de pines del microcontrolador debe ser proporcional a la cantidad de sensores a concretar.
- La cantidad de bits en la conversión analógica-digital determina la resolución del sistema: a mayor cantidad de bits, mayor precisión para detectar variaciones en la señal de entrada.
- Conectividad a internet: disponibilidad de tecnologías incorporadas en el microcontrolador para conectarse a internet.
- Alimentación: posibilidad de ser alimentados con una fuente de 5 Volts.
- Costo.
- Disponibilidad comercial.
- Dimensiones: se prefieren dimensiones reducidas de los empaquetados para disminuir las carcasas, soportes y piezas en general llevadas a cabo por medio de fabricación aditiva, consiguiendo disminuir costos y tiempo.

Para evitar repeticiones a lo largo de este capítulo y a fin de conocer la selección de los componentes a través de las características mencionadas, se aconseja dirigirse hacia el

Anexo I: Comparación de sensores comerciales y Anexo II: Comparación de microcontroladores comerciales.

Módulo central interior (MCI)

EL MCI se diseña partiendo de la idea de un módulo encargado de la recepción de información obtenida por el MCE y los módulos asociados, con la posibilidad de enviar los datos hacia la nube. La idea es que este módulo se aloje dentro del hogar del usuario, donde es necesaria una red WLAN y un tomacorriente para la alimentación; al estar en un lugar confinado se eligen como variables a medir la temperatura, humedad y calidad del aire como los parámetros de mayor interés.

Con el objetivo de garantizar la conectividad a internet sin recurrir a módulos comerciales adicionales, se seleccionó un microcontrolador con conectividad integrada mediante Ethernet o Wi-Fi. Esta decisión permitió simplificar el diseño, reducir costos y evitar la incorporación de componentes externos para establecer la conexión deseada. En función de estos criterios, junto con otras pautas de selección, se optó por el ESP8266.

El MCI necesita de hardware que mida las variables elegidas por lo que la elección de los sensores a implementar son el DHT22 y el MQ135, y para la transferencia de información con los demás módulos se elige el sensor SX1278 el cual implementa LoRa en una banda de 433MHz.

Tabla N° 2: Componentes del MCI

MODULO CENTRAL INTERIOR			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	ESP8266	Microcontrolador	1
2	SX1278	Comunicación LoRa	1
3	DHT21	Sensor de humedad y temperatura	1
4	MQ135	Sensor de calidad de aire	1
5	FUENTE	Alimentación	1

El empaquetado del módulo es de gran practicidad, presenta dimensiones de $\varnothing 101mm \times 52,5mm$ (diámetro, altura). Todo el conjunto se encuentra montado sobre una PCB fabricada por el autor.

La alimentación se realiza a través del puerto del microcontrolador y luego se distribuye a los sensores, el prototipo utiliza una fuente de alimentación de 10W, de 5 Volts, esto se debe a que el consumo no es significativo y que el controlador podría dañarse a mayores tensiones según su hoja de datos.

La mayor desventaja que presenta es el hecho de ser el cuello de botella para la comunicación, por ejemplo, si el bus de comunicación Wi-Fi del microcontrolador se llena de información o bien si no logra conectarse a la red, los datos adquiridos no llegarán a ser visualizados y se perderán debido a que el MCI no guarda información obtenida por sí mismo o por los demás módulos.

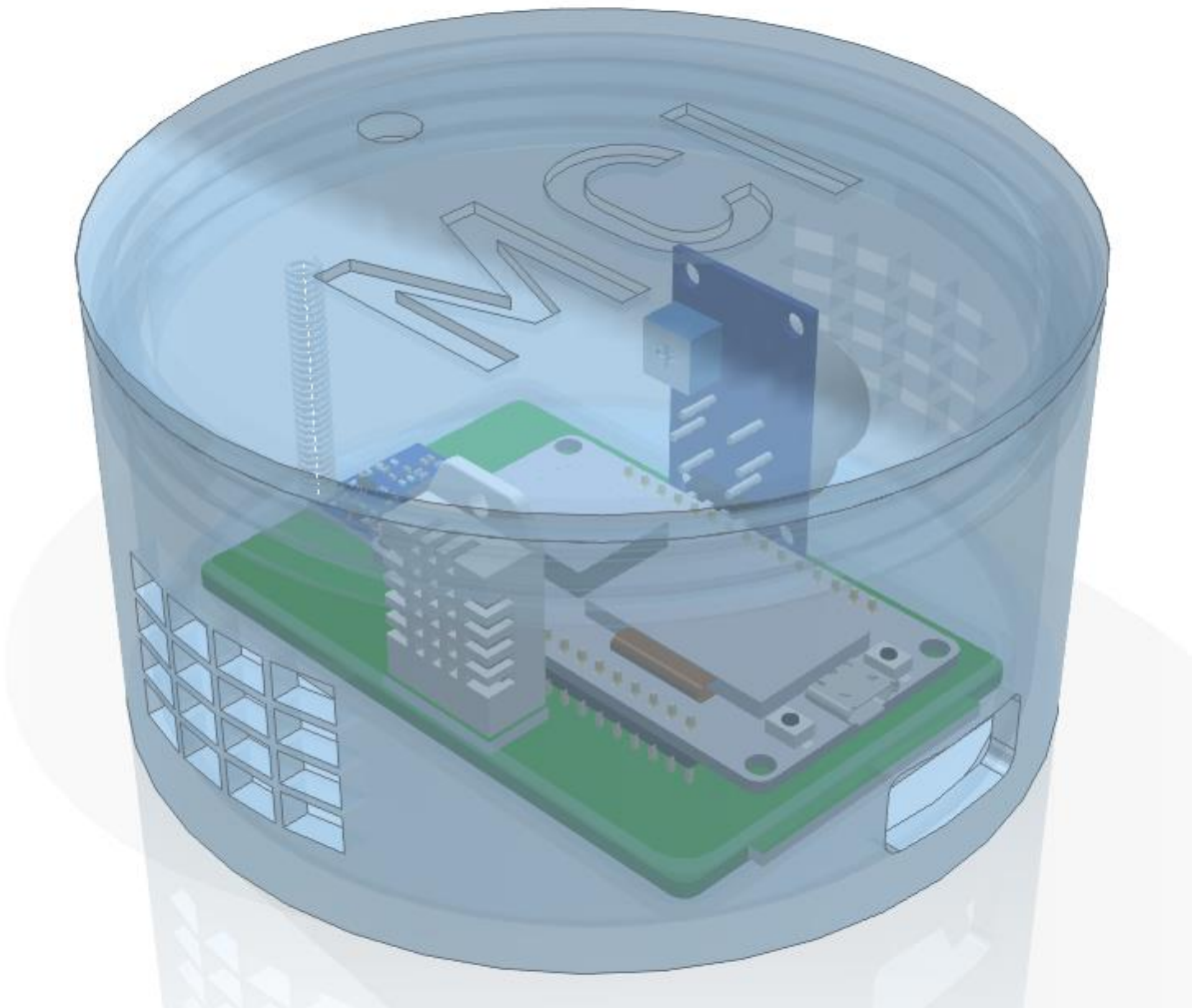


Figura N°3. Vista isométrica del módulo central interior diseñado.

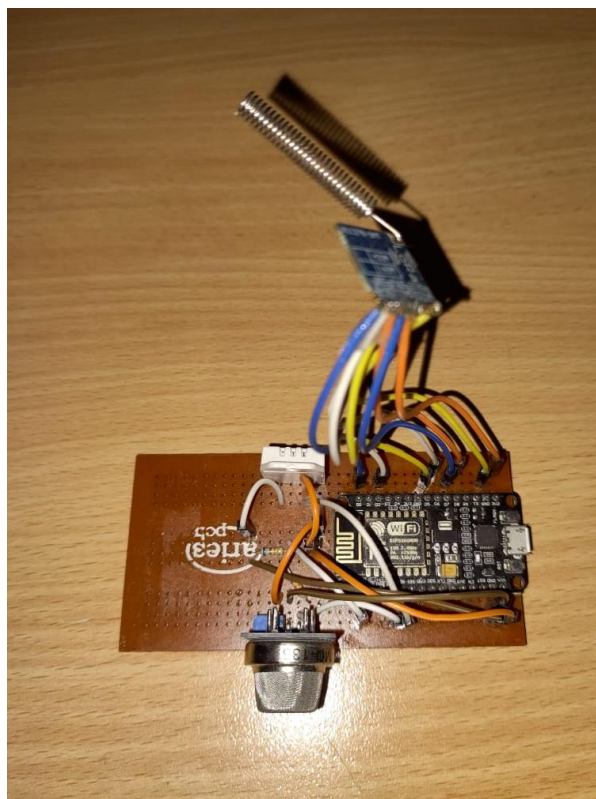
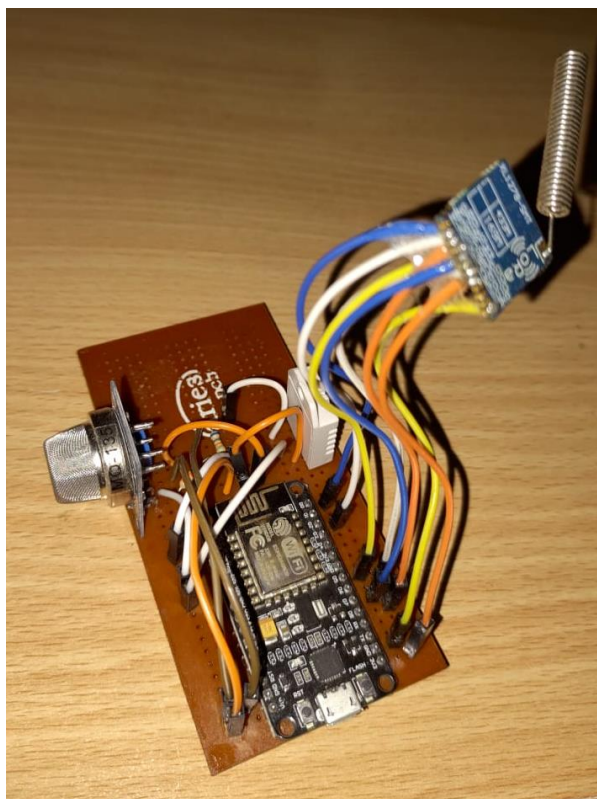


Figura N°4. Componentes del MCI montados sobre PCB.



Figura N°5. Prototipo de MCI fabricado.

Módulo central exterior (MCE)

El diseño del MCE se desarrolla con base en la idea de un módulo capaz de medir las variables básicas exteriores, temperatura, humedad, presión atmosférica y altitud sobre el nivel del mar. A su vez, se plantea como el recopilador de información debido a que los módulos de viento, lluvia, radiación y agro meteorológico deben poder asociarse a este, y al albergar todos los datos debe tener la capacidad de emisión para conectarse con el MCI, teniendo en cuenta que el MCE no se conecta a internet, sino que por LoRa consolida la comunicación.

Como veremos más adelante en este capítulo, los demás módulos cuentan con varias salidas analógicas y digitales, cantidad que fue de suma importancia para la selección del microcontrolador. Basado en esta y las demás pautas de selección se ha elegido el ESP32 para comandar el MCE.

Para la medición de humedad y temperatura se seleccionó el sensor DHT21, mientras que el BME280 fue elegido para registrar las variables restantes. En cuanto al sistema de comunicación LoRa, se emplea el mismo módulo utilizado en el MCI.

El MCE al tener la tarea de asociar los módulos opcionales y pensando en que el conexionado debe ser práctico, capaz de soportar varias entradas analógicas y digitales y, alimentar a los módulos, se ha diseñado con cuatro conectores hembra RJ45.

En cuanto a la alimentación, al momento de diseñar se tuvo en cuenta que debía tener la capacidad de suministrar energía a sí mismo y a los 4 módulos, y poseer una autonomía tal de mantener el prototipo prendido fuera del rango horario de incidencia solar. Mientras que el panel solar reciba luz, la batería 18650 se cargara por medio del TP4056 manteniendo un valor de tensión de 4,2V a la salida por lo que se implementa el elevador de tensión XL6009 para obtener 5V y alimentar correctamente el ESP32. El sistema de alimentación cuenta a su vez con dos LDR, npn y pnp, que funcionan como fotocélulas para abrir y cerrar el circuito con el fin automatizar el sistema y aprovechar la energía de forma eficiente. En el **Anexo III** se encuentra el cálculo de consumo de energía del MCE.

Tabla N° 3: Componentes del MCE

MODULO CENTRAL EXTERIOR			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	ESP32	Microcontrolador	1
2	SX1278	Comunicación LoRa	1
3	DHT22	Sensor de humedad y temperatura	1
4	BPM280	Sensor de presión	1
5	TP4056	Cargador de batería	1
6	18650	Batería	1
7	-	Panel solar	1
8	XL6009	Elevador DC/DC	1
9	LDR	Foto resistor	2

Se presenta en una PCB elaborada por el autor, implementando borneras para practicidad de conexión, colocada dentro de un abrigo meteorológico de dimensiones $\varnothing 169mm \times 215mm$. El abrigo alberga todos los componentes enunciados en la Tabla 3, teniendo en su base los conectores RJ45 protegidos ante el ingreso de agua, y una tapa de inspección para fácil corroboración de los componentes para evitar el desmontaje. En la parte superior se sitúa el panel solar capaz de posicionarlo dependiendo de la zona a instalar.

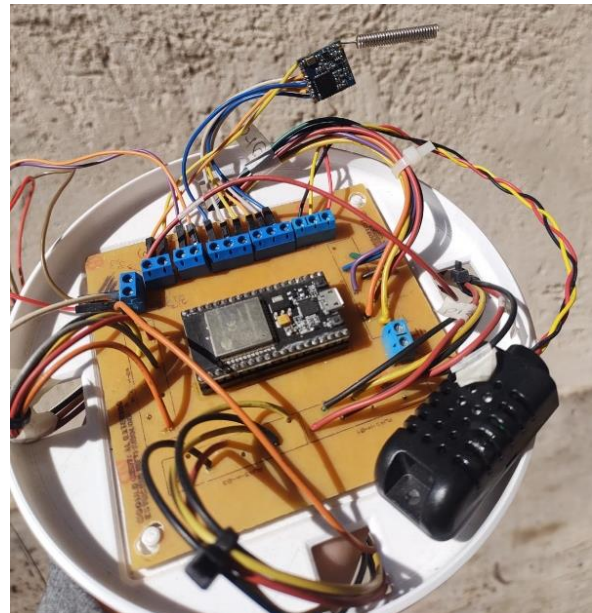
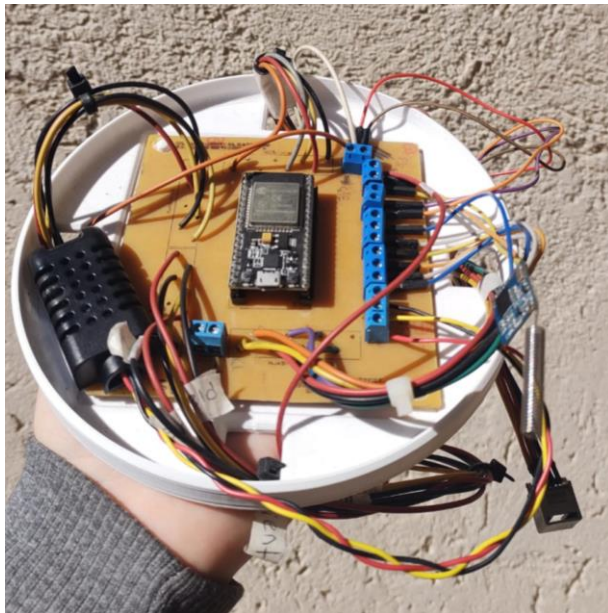


Figura N°6. Componentes del MCE montados sobre PCB.



Figura N°7: Diseño 3D del MCE.

El diagrama de conexionado del hardware y planos constructivos, pueden visualizarse en el **Anexo III-B**

Módulo de viento (MV)

Este módulo se compone de un anemómetro y una veleta de viento. Estos instrumentos son los encargados de realizar la medición de velocidad y dirección del viento respectivamente.

Para el conexionado con el MCE se cuenta con una pequeña PCB, que cuenta con el conector hembra RJ45 y dos borneras para la conexión de los instrumentos de medición.

Anemómetro

El anemómetro es un instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Existen varios tipos, como el anemómetro de cazoletas que gira con el viento alrededor de un eje fijo, el anemómetro de hilo caliente que mide la variación de temperatura en un filamento, y el anemómetro ultrasónico que utiliza ondas de sonido.



Figura N°8. Diferentes tipos de anemómetros.
Fig. A: anemómetro de hilo caliente. Fuente A: [2]
Fig. B: anemómetro de cazoletas. Fuente B: [3]
Fig. C: anemómetro ultrasónico. Fuente C: [4]

Para el prototipo desarrollado en este proyecto, se ha optado por un anemómetro de cazoletas, principalmente debido a su bajo costo de fabricación en comparación con otras opciones, como el anemómetro ultrasónico, cuya tecnología avanzada lo hace significativamente más costoso. Además del factor económico, se ha considerado la resistencia del instrumento ante diversas condiciones climáticas, fenómenos como la lluvia, nieve y granizo pueden afectar e incluso dañar el equipo.

El diseño del instrumento se basa en el principio de funcionamiento de un encoder rotativo, donde se presenta la operación de un sensor óptico y una rueda dentada para obtener un tren de pulsos y, a través de los flancos descendentes, el tiempo, la cantidad y distancia entre ranuras,

obtener la velocidad del viento. Para el desarrollo del instrumento se ha optado por el sensor WCMCU H206.

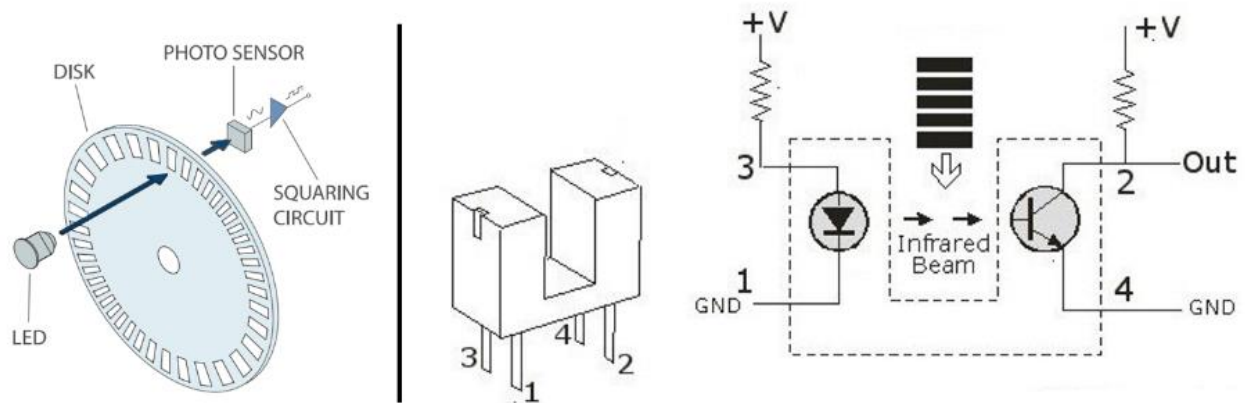


Figura N°9: Encoder mecánico y opto acoplador.

Fig. A: Principio de funcionamiento de un encoder óptico. Fuente A: [5]

Fig. B: Sensor óptico y su circuito de funcionamiento. Fuente B: [6]

El instrumento desarrollado se compone de 6 piezas desarrolladas en PLA (base, alojamiento del encoder, rueda ranurada, cierre de alojamiento, asiento de revolución y las cazoletas). Cuenta a su vez con un rodamiento de diámetro interno Ø5mm para disminuir la fricción del eje y mejorando la resolución, y a su vez poder centrarlo evitando movimientos indeseados; el eje es metálico de 5mm el cual ha sido reciclado.

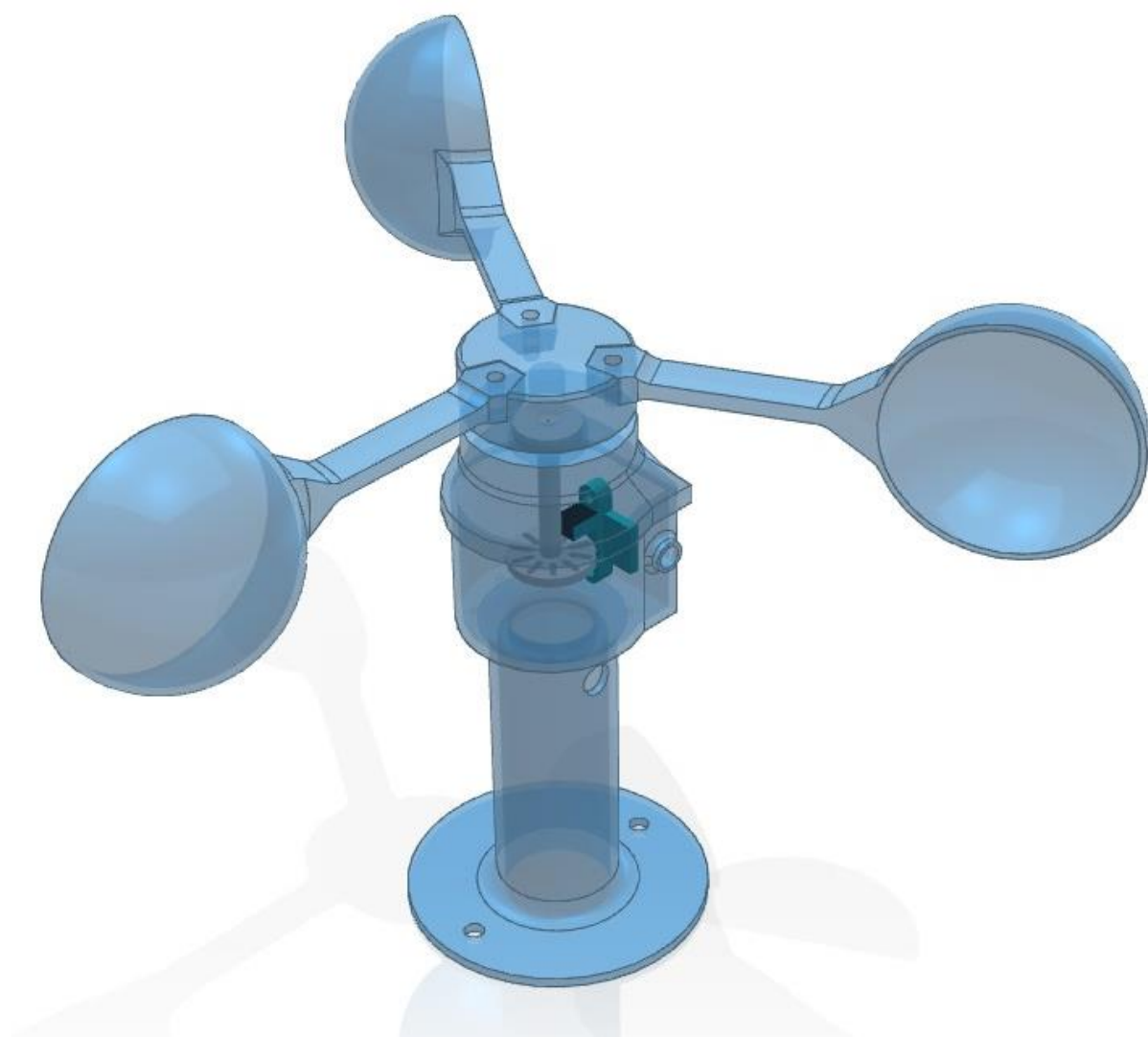


Figura N°10: Vista isométrica del anemómetro diseñado.



Figura N°11: Prototipo de anemómetro fabricado.

Tabla N° 4:Componentes del anemómetro

ANEMÓMETRO			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	Base	Impreso en PLA	1
2	Alojamiento encoder	Impreso en PLA	1
3	Rueda ranurada	Impreso en PLA	1
4	Cierre de alojamiento	Impreso en PLA	1
5	Asiento de revolución	Impreso en PLA	1
6	Cazoletas	Impreso en PLA	3
7	Rodamiento	Comercial	1
8	Eje	Metálico - Reciclado	1
9	WCMCU H206	Sensor óptico	1

Veleta de viento

La veleta de viento es un dispositivo utilizado para indicar la dirección del viento, generalmente se presenta como una estructura montada sobre un eje vertical, permitiendo la rotación y orientación según la corriente del viento. Ha sido utilizado desde hace cientos de años y aplicada en áreas como la agricultura, navegación, meteorología, entre otras.

Se pueden encontrar veletas de viento mecánicas o electrónicas. Las primeras tienen un comportamiento pasivo indicando la dirección del viento a través de la alineación con una estructura con los puntos cardinales fijada en su base, se presentan realizadas en madera o metal. En cambio, las electrónicas combinan los elementos mecánicos y sensores para obtener la posición dando un resultado más preciso, son de menor tamaño en comparación con las mecánicas.

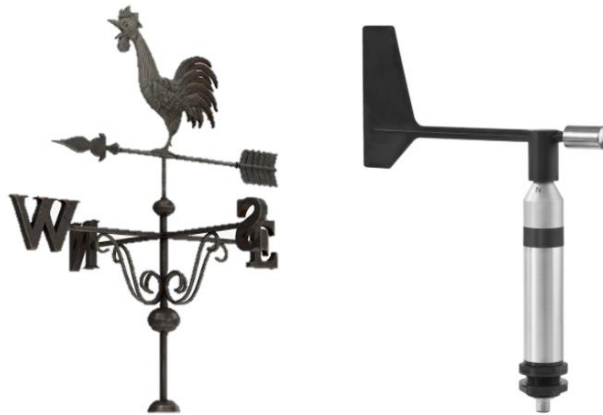


Figura N°12: Comparación entre veletas de viento.

Fig. A: Veleta de viento mecánica. Fuente A: [Disponible en línea.\(Fig.10-A\)](#)

Fig. B: Veleta de viento industrial. Fuente B: [Disponible en línea.\(Fig.10-B\)](#)

Se ha diseñado una veleta de viento electrónica debido a que se enmarca dentro del contexto del prototipo y permite registrar el valor de la dirección por medio de sensores. Compuesta de 2 piezas impresas en PLA, donde carcasa superior puede rotar libremente sobre un eje a través de un rodamiento comercial embutido en la pieza, idéntico al del anemómetro; obtiene la posición por medio de un imán de neodimio colocado paralelo al eje de la veleta el cual activa interruptores magnéticos distribuidos de forma cardinal sobre una PCB, los sensores magnéticos seleccionados son Reed Switch genéricos.

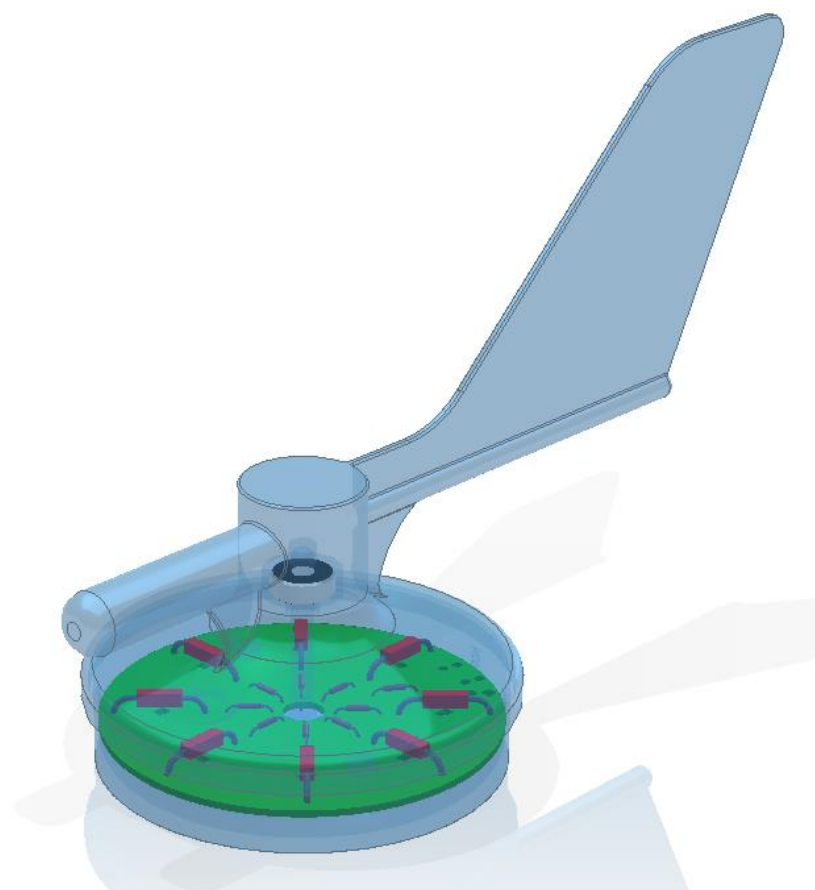


Figura N°13: Veleta de viento diseñada.



Figura N°14: Prototipo de veleta de viento fabricada.

Tabla N° 5: Componentes de la veleta de viento.

Veleta de viento			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	Base	Impreso en PLA	1
2	Veleta	Impreso en PLA	1
3	Rodamiento	Comercial	1
4	Reed Switch	Interruptores magnéticos	8

Módulo de lluvia (ML)

El módulo de lluvia se compone de un pluviómetro para medir las precipitaciones y un sensor de presencia de lluvia. Como el MV, el ML cuenta con una pequeña PCB para la conexión de los instrumentos de medición.

Pluviómetro

Es un instrumento de medición para las precipitaciones, generalmente expresa la medición en mm de agua. La unidad de medición está basada en la cantidad de milímetros de agua que hay en un metro cuadrado, siendo un equivalente para la precipitación el uso de la unidad de litros de agua por metro cuadrado.

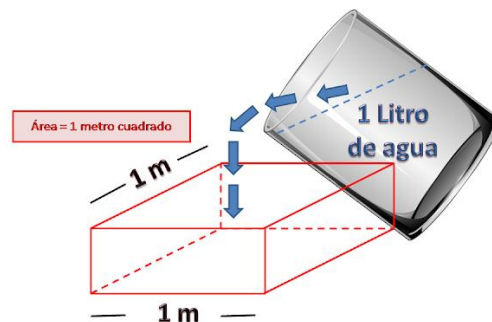


Figura N°15. Equivalencia de unidades para la precipitación.
Fuente: [7].

Entre los distintos tipos de pluviómetros se destacan:

- Pluviómetro de escala: compuesto de un recipiente cilíndrico graduado, el cual recopila el agua e indica de forma analógica la cantidad de agua. Utilizados generalmente para mediciones que no requieren ser leídas en tiempo real.
- Pluviómetro de sifón: similar al anterior, este presenta un embudo para la captación y un sistema para evitar los desbordamientos de agua, utilizando un diseño parecido a un sifón. La lectura es analógica como el de escala, también se encuentran modelos que graban sobre un papel la cantidad de agua, denominados pluviógrafos.
- Pluviómetro de cubeta basculante: compuesto por un embudo y un balancín en su interior, el cual bascula en función a la cantidad de agua permitiendo rotar sobre un eje. Generalmente se acompaña con sensores para que en cada basculación se sume a un contador el valor total de mm de agua. La cantidad de basculaciones para obtener un mm de agua depende del volumen del balancín.
- Pluviómetro de peso: se basa en un recipiente que acumula la precipitación y a través de una balanza o sensores, como galgas extensiométricas, calcula el peso del fluido para obtener la medición.

En cuanto al prototipo, se ha seleccionado un pluviómetro de cubeta basculante, ya que es de medición instantánea y la implementación de sensores es sencilla.

En base al diseño, el pluviómetro cuenta con cuatro piezas impresas en PLA (embudo de captación, base, balancín y eje). El balancín presenta un imán de neodimio en sus extremos, ejecutando un pulso cada vez que bascula gracias a un sensor magnético colocado en la base del instrumento de medición.

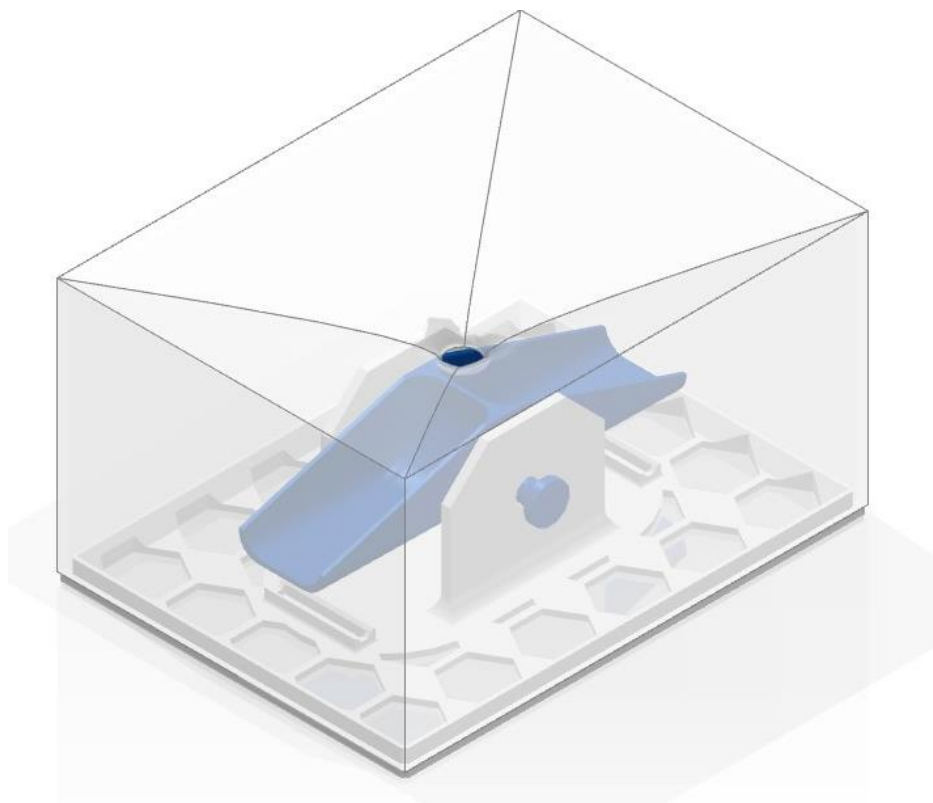


Figura N°16. Vista isométrica del pluviómetro diseñado.

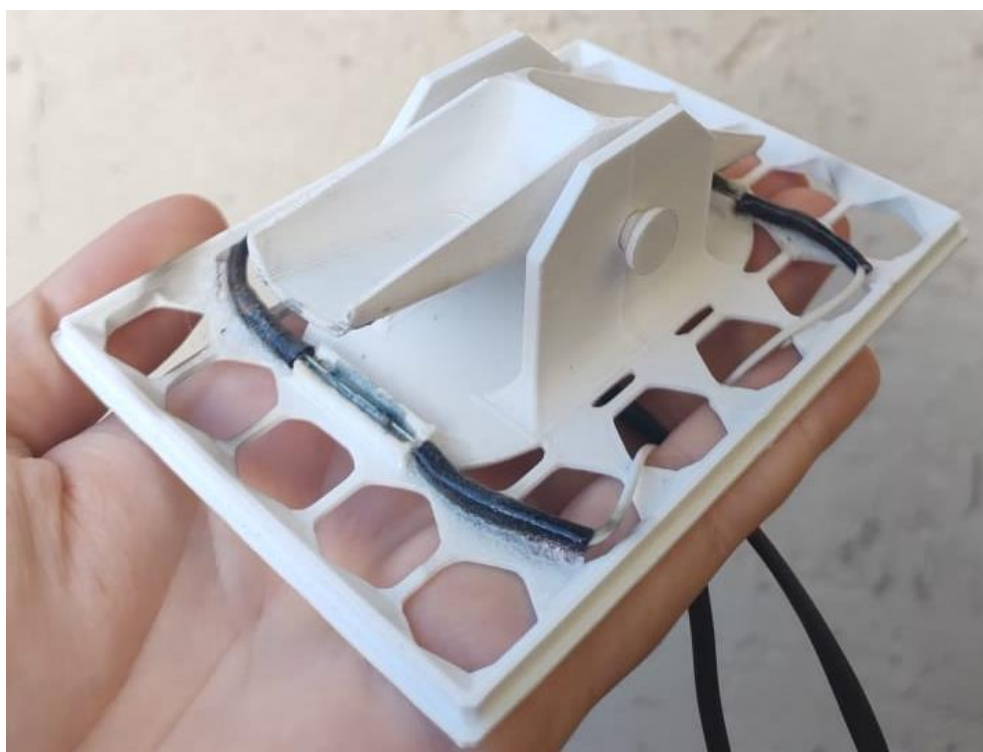


Figura N°17: Prototipo del pluviómetro fabricado.

Tabla N° 6: Componentes del pluviómetro.

Pluviómetro			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	Base	Impreso en PLA	1
2	Embudo	Impreso en PLA	1
3	Eje	Impreso en PLA	1
4	Balancín	Impreso en PLA	1
4	Reed Switch	Interruptores magnéticos	2

Presencia de lluvia

En algunas ocasiones, la precipitación es inferior a 0,5 mm (el umbral de sensibilidad del pluviómetro), lo que impide confirmar la presencia de lluvia de forma confiable. Por ello se implementa en el diseño de este módulo un sensor para solucionar el problema.

El sensor elegido presenta un módulo de alimentación que contiene un conversor analógico a digital y una placa para la medición, la cual al ser mojada modifica su resistencia. Las salidas pueden digitales (0 / 1), indicación está sujeta al valor de resistencia de un potenciómetro presente en la placa del sensor, o bien analógicas.

Este instrumento se ha configurado para emitir la presencia de lluvia por medio de la salida digital, y obtener una escala de indicación si está lloviendo mucho, poco o nada a partir de la medición analógica.

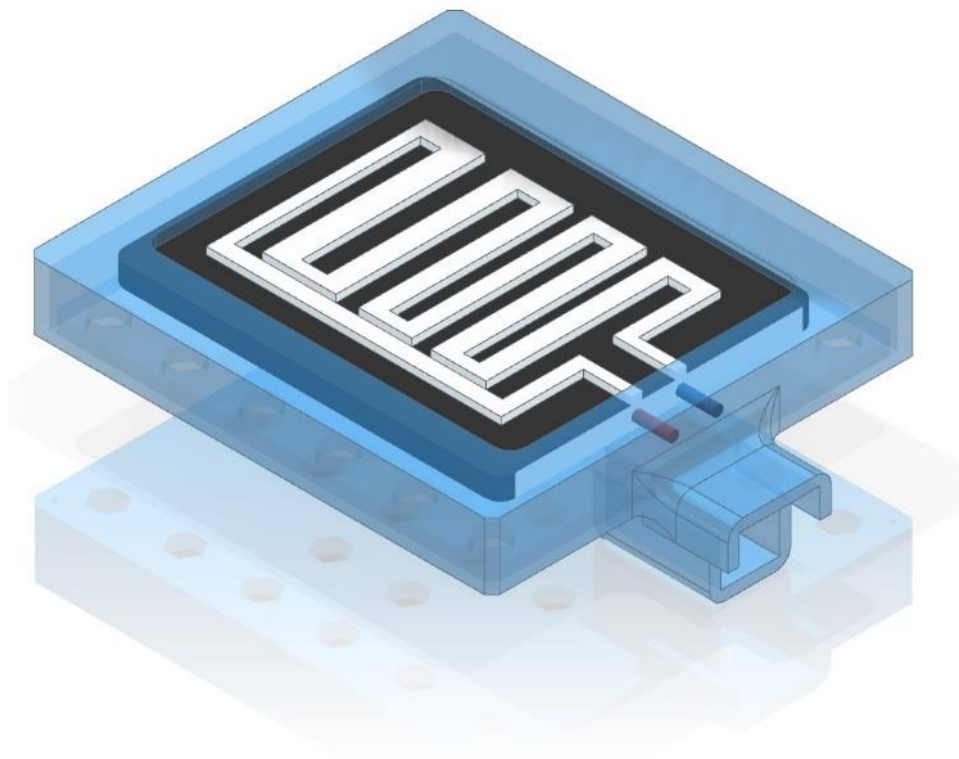


Figura N°18. Vista isométrica sensor de presencia de lluvia.



Figura N°19. Prototipo fabricado del sensor de presencia de lluvia.

Tabla N° 7: Componentes de la presencia de lluvia.

Presencia de lluvia			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	Base	Impreso en PLA	1
2	Cobertor	Impreso en PLA	1
3	Sensor de presencia de lluvia	Comercial	1

Módulo agro meteorológico (MA)

En el ámbito agronómico, se emplean diversas variables de medición para evaluar su impacto en el desarrollo vegetal. Entre ellas, destaca la temperatura y la humedad del suelo, cuyos efectos inciden directamente en el crecimiento y la salud de las plantas.

Para medir estas variables, se emplean termómetros e higrómetros de suelo, dispositivos diseñados para evaluar la temperatura y humedad a distintas profundidades. Estos equipos cuentan con una sonda que se introduce en el suelo y cuya profundidad puede ajustarse según la medición requerida. Dependiendo de la tecnología utilizada pueden ser analógicos o digitales, y utilizar distintos métodos de medición como pueden ser capacitivos o resistivos. Un punto a destacar en las mediciones realizadas en el suelo es la profundidad, debido a que no es lo mismo medir a cinco centímetros que a treinta, debido a que entra en juego la transmisión de energía térmica entre las distintas capas o la evaporación del agua almacenada, como también agentes externos, fuentes de energía calórica o el mismo sol por medio de la radiación solar; por ello es necesario realizar mediciones a distintas temperaturas según la aplicación.



Figura N°20. Termohigrómetro de suelo.

Fuente: [8]

El módulo agro meteorológico se ha enfocado en medir estas variables de incidencia, para ello se ha diseñado una PCB que contenga sensores de temperatura y humedad para colocarlos a cinco, quince y treinta centímetros de profundidad respecto al suelo. Los sensores tienen la característica de poder ser sumergidos en agua, pensando en circunstancias de grandes precipitaciones. Los sensores de temperatura elegidos fueron los DS18B20 de característica digital, operados mediante un bus de comunicación denominado 1-Wire el cual permite conectarlos en paralelo. En cuanto a los sensores de humedad de suelo se optó por sondas FC-28 y su módulo YL 69; realizan la medición de humedad por medio de la variación de resistencia entre el suelo y la sonda, entregando un valor de voltaje a través del módulo para la interpretación del microcontrolador.

El empaquetado del MA cuenta con dos piezas impresas en PLA, tres sensores de temperatura y tres de humedad de suelo, y una ficha RJ45 hembra para el conexionado con el MCE.

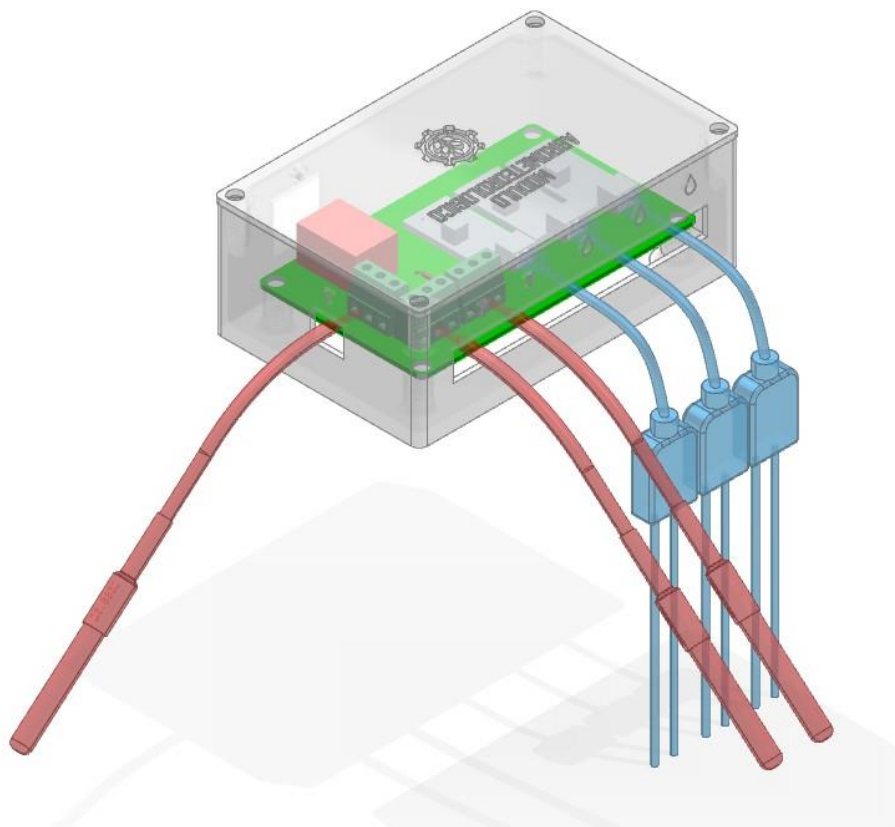


Figura N°21. Vista isométrica del módulo agro meteorológico.

Tabla N° 8: Componentes del MA.

Agro meteorológico			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	Base	Impreso en PLA	1
2	Tapa de cierre	Impreso en PLA	1
3	DS18B20	Sensor de temperatura	3
4	FC-28 / YL 69	Sensor de humedad / módulo de conversión	3
4	RJ45 Hembra	Comercial	1

Módulo radiación solar (MR)

La energía que recibe la Tierra proviene de una capa relativamente delgada (1000 Km. de espesor) del Sol, llamada fotosfera o corteza, que se encuentra a elevada temperatura (4000-6000 K). La energía que mantiene esta temperatura tiene su origen último en reacciones termonucleares de fusión que se producen en la parte central del Sol (núcleo e interior) y que transforman en cada segundo cuatrocientos millones de toneladas de hidrógeno en helio aproximadamente. [9]

La radiación procedente del sol puede ser dividida a través de la longitud de onda teniendo:

- Radiación ultra violeta: Comprende longitudes de onda menores a 400 nanómetros. Se compone de tres subgrupos AVA, AVB, AVC, siendo el primero el que tiene mayor incidencia en la superficie terrestre.
- Radiación visible: Ocupa el rango de aproximadamente 400 a 700 nanómetros. Es la parte del espectro que podemos ver y es fundamental para procesos como la fotosíntesis.
- Radiación infrarroja: Se extiende desde algo más de 700 nanómetros hasta longitudes de onda mucho mayores. Es la principal responsable de la transferencia de calor.

Así también podríamos clasificar la radiación solar según la incidencia en la superficie:

- Radiación directa: Es la fracción de la radiación que viaja en línea recta desde el Sol hasta la superficie, sin ser dispersada por la atmósfera.

- Radiación difusa: Radiación solar que, al encontrarse con moléculas, partículas o nubes en la atmósfera, se dispersa en varias direcciones.
- Radiación global: Es la suma de la radiación directa y la difusa que llega a un plano horizontal en la superficie terrestre.

Todos estamos expuestos a la radiación UV procedente del sol y de numerosas fuentes artificiales utilizadas en la industria, el comercio y durante el tiempo libre. En el ser humano, una exposición prolongada a la radiación UV solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunitario. Las quemaduras solares y el bronceado son los efectos agudos más conocidos de la exposición excesiva a la radiación UV. [10]

En sí, la incidencia de la radiación solar debe ser medida debido a que tiene un impacto en la salud de los seres humanos y, se puede utilizar en distintos campos para aplicarla y obtener beneficios, como por ejemplo el uso de celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica de un hogar ubicado en zonas remotas o de difícil acceso. Por esto, se eligieron como parámetros de medición la radiación UV y global, esta última es más fácil de ser obtenida y para la aplicación de este prototipo es suficiente.

Para realizar la medición de estos parámetros se utilizan instrumentos denominados piranómetros, los cuales cuentan con un sensor dentro de una cúpula que permite la captación según un ángulo de apertura intrínseco del sensor. Son dispositivos muy específicos y en ocasiones costosos debido a su tecnología.

El módulo de radiación solar se diseña teniendo en cuenta que debe realizar las mediciones de ambas radiaciones. En un principio se pretendió medir la radiación global utilizando un sensor SUF268J001 perteneciente al laboratorio de energías renovables de la facultad, pero debido a que no es de fácil acceso y debe realizarse por pedido al fabricante, se desestimó su uso. Para no dejar de lado este valor de suma importancia se investigó la forma de realizar una medición indirecta a través del sensor de radiación UV, lo cual dio resultados coherentes.



Figura N°22. Piranómetro de suelo.
Fuente: [11]

El módulo finalmente se compone de un sensor GUVB-S12SD capaz de realizar mediciones de la radiación e índice UV, y una carcasa de sujeción con su respectivo RJ45.

Tabla N° 9: Componentes del MR.

Agro meteorológico			
ITEM	Componente	Observación	Cantidad
1	Carcasa	Impreso en PLA	1
2	GUVA-S12SD	Sensor radiación UV	1
3	RJ45 Hembra	Comercial	1

CAPITULO 4: Diseño del software

En este capítulo se presenta la arquitectura lógica del sistema, abordando la estructura de la programación implementada sobre los microcontroladores y la estrategia de transmisión de datos. Asimismo, se describe el diseño de la interfaz de visualización desarrollada en Node-RED, orientada a la representación clara y accesible de las variables monitoreadas.

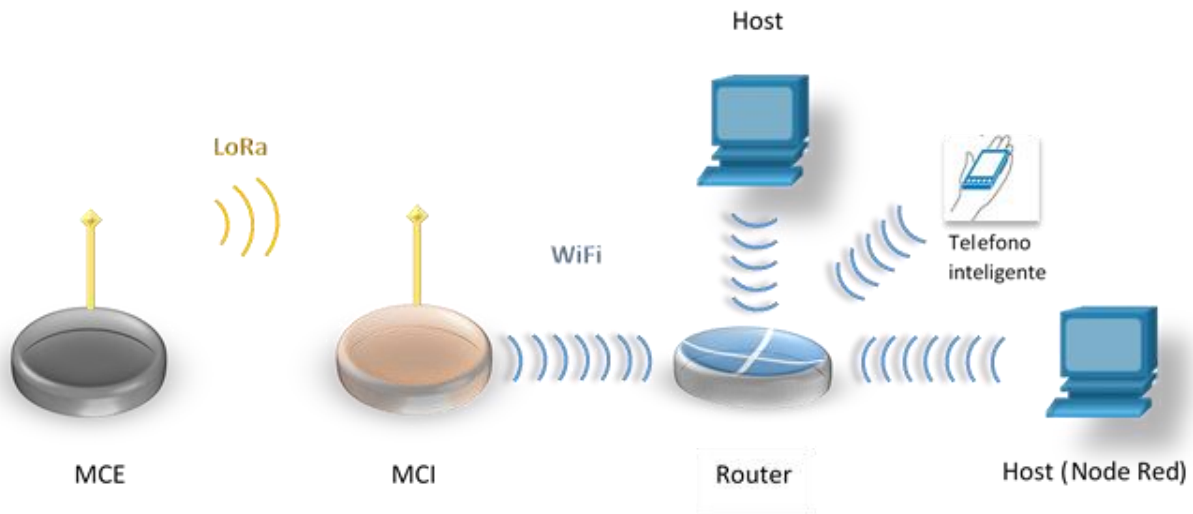


Figura N°23. Diseño de comunicación e integración de tecnologías a nivel software

El sistema de comunicación desarrollado permite que cualquier dispositivo, dentro de la red donde esté el MCI, pueda acceder de forma sencilla y visualizar los datos de interés de forma remota.

Programación del MCE

El microcontrolador ESP32 es el encargado de la adquisición de los datos de los módulos capaces de conectarse al MCE, además debe transmitir la información al MCI aplicando LoRa.

La programación en primera instancia define las variables a utilizar, los pines utilizados para cada módulo, las constantes y funciones específicas, además llama a cada una de las librerías a utilizar en caso de sensores que lo necesiten. A continuación, se configura el canal de comunicación del microcontrolador a 9600 baudios y se da arranque al temporizador de adquisición de datos.

Se ha establecido un periodo de 10 minutos para la adquisición de datos, es decir que cuando haya transcurrido el tiempo el microcontrolador pedirá a los sensores de los distintos módulos conectados al MCE que realicen una medición, de lo contrario todo el conjunto permanecerá en un estado de reposo gracias a la implementación de la librería Sleep del ESP32, la cual permite mantener un consumo mínimo para así extender el almacenaje de la batería cuando no se esté cargado por acción del panel solar.

Al terminarse el temporizador, se apaga el estado de reposo, se adquieren los datos de cada uno de los sensores, se procesan para obtener valores reales y calibrados, y se empaquetan para ser enviados a través de LoRa al MCI. Una vez enviados, se reinicia el temporizador y se vuelve al estado de reposo.

La programación del ESP32 se basa en una rutina iterativa infinita, donde no hay un valor de alguna magnitud medida o entrada que pueda terminar la ejecución del loop. Si bien la alimentación está condicionada por el hardware a través de un switch on/off en la base del MCE, es la única forma en que puede terminarse la rutina. Existe la posibilidad de que la alimentación esté conectada y que la energía en la batería se haya consumido por completo de tal forma que no pueda alimentar correctamente al módulo, por lo que se apagará; una vez que el panel solar pueda generar energía alimentará todo el circuito, retomando la rutina del microcontrolador. Debe aclararse que cada vez que se apague y se vuelva a encender el MCE debido a una interrupción de alimentación, el microcontrolador se reiniciará lanzando el programa desde cero, sin guardar ningún punto de partida anterior.

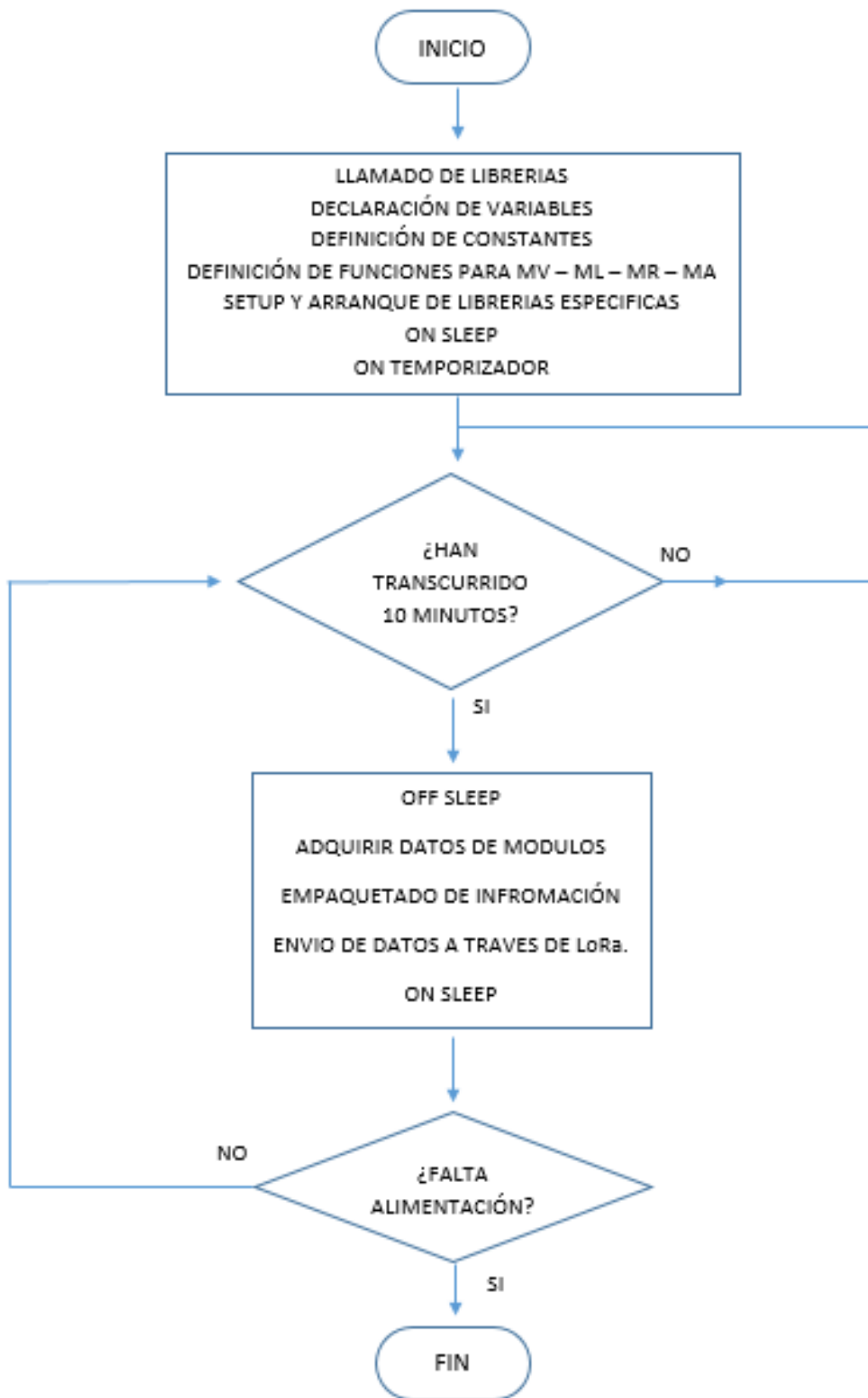


Figura N°24. Diagrama de flujo MCE.

Programación del MCI

La programación del MCI está orientada a la recepción de la información proveniente del MCE y, a la emisión de la misma, luego de procesarla, hacia el servidor MQTT.

El microcontrolador ESP8266 en primera instancia realiza una preparación de variables, funciones y librerías a utilizar, similar al MCE. Como particularidad se configura la red Wi-Fi, el servidor MQTT y el tópico que se utilizará para enviar los datos.

Luego de la configuración, el microcontrolador se conectará a la red Wi-Fi asignada. En caso de no poder concluir exitosamente, volverá a intentar luego de unos segundos hasta lograrlo. Así mismo pasará con el servidor MQTT. Debe aclararse que el servidor al cual nos estamos conectando está corriendo sobre un host de la misma red donde se encuentra el prototipo.

Una vez conectado exitosamente, el MCI queda a la espera de la recepción del mensaje del MCE lo que dispara la obtención de las mediciones de los sensores y el procesamiento de la información para adjuntarla en un solo mensaje el cual se envía hacia el servidor MQTT. Enviado el paquete, se vuelve al bucle de espera.

En caso de que haya una desconexión referente a la red o el servidor, se volverán a ejecutar hasta realizar la conexión.

Como sucede con el ESP32, la única forma de terminar el programa del ESP8266 es quitando la alimentación debido a que su programación está basada en una rutina iterativa.

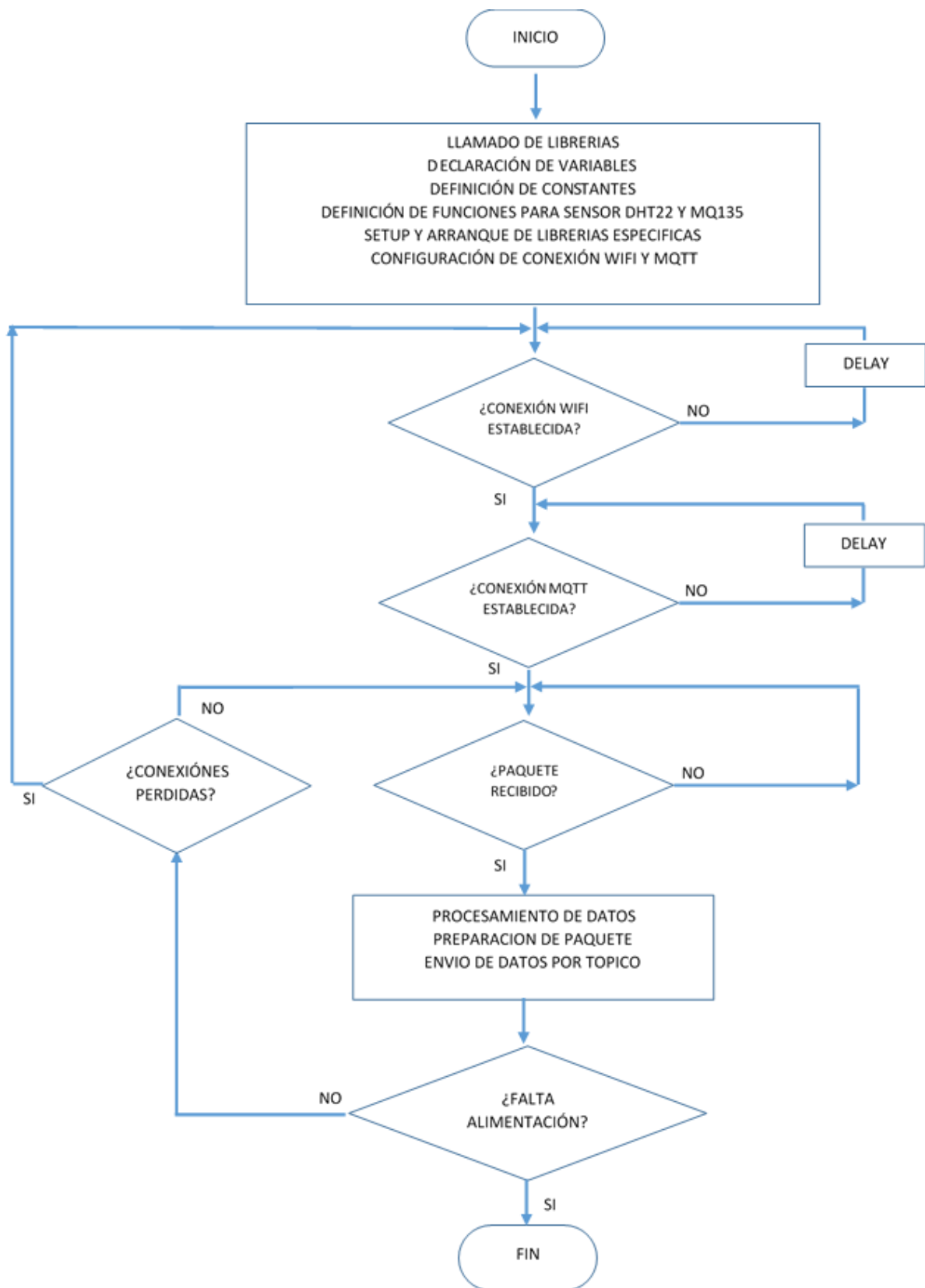


Figura N°25. Diagrama de flujo MCI.

Presentación de la información

Una vez que la información transmitida por el MCI alcanza el host que ejecuta el servidor de Node-RED, se inicia el proceso de presentación de los datos.

El flujo comienza en un nodo suscripto al tópico correspondiente, por el cual el MCI ha publicado la información, donde quedará a la espera de un nuevo mensaje para iniciar el procesamiento de la información. Al recibirse el paquete, este es descompuesto, y sus valores son asignados a las distintas variables de los módulos, para luego realizar la presentación por medio de las ventanas en un panel.

En paralelo se realiza un almacenamiento de los datos, creando y/o sobrescribiendo archivos CSV que son alojados en el host que alberga al servidor de Node-Red, cada archivo está asignado con un periodo de tiempo: diario, semanal, mensual y anual. Al generarse los archivos, se habilita la ventana de datos históricos en el panel.

Cuando las variables ya están presentadas, el programa verifica si ha pasado una hora para eliminar las listas volátiles que ha creado para el almacenamiento en la memoria caché del flujo que se lleva a cabo, es decir que los valores que han ingresado en una hora son borrados para disminuir el cálculo computacional ya que estos están disponibles en los datos históricos y pueden ser consultados en cualquier momento por el usuario.

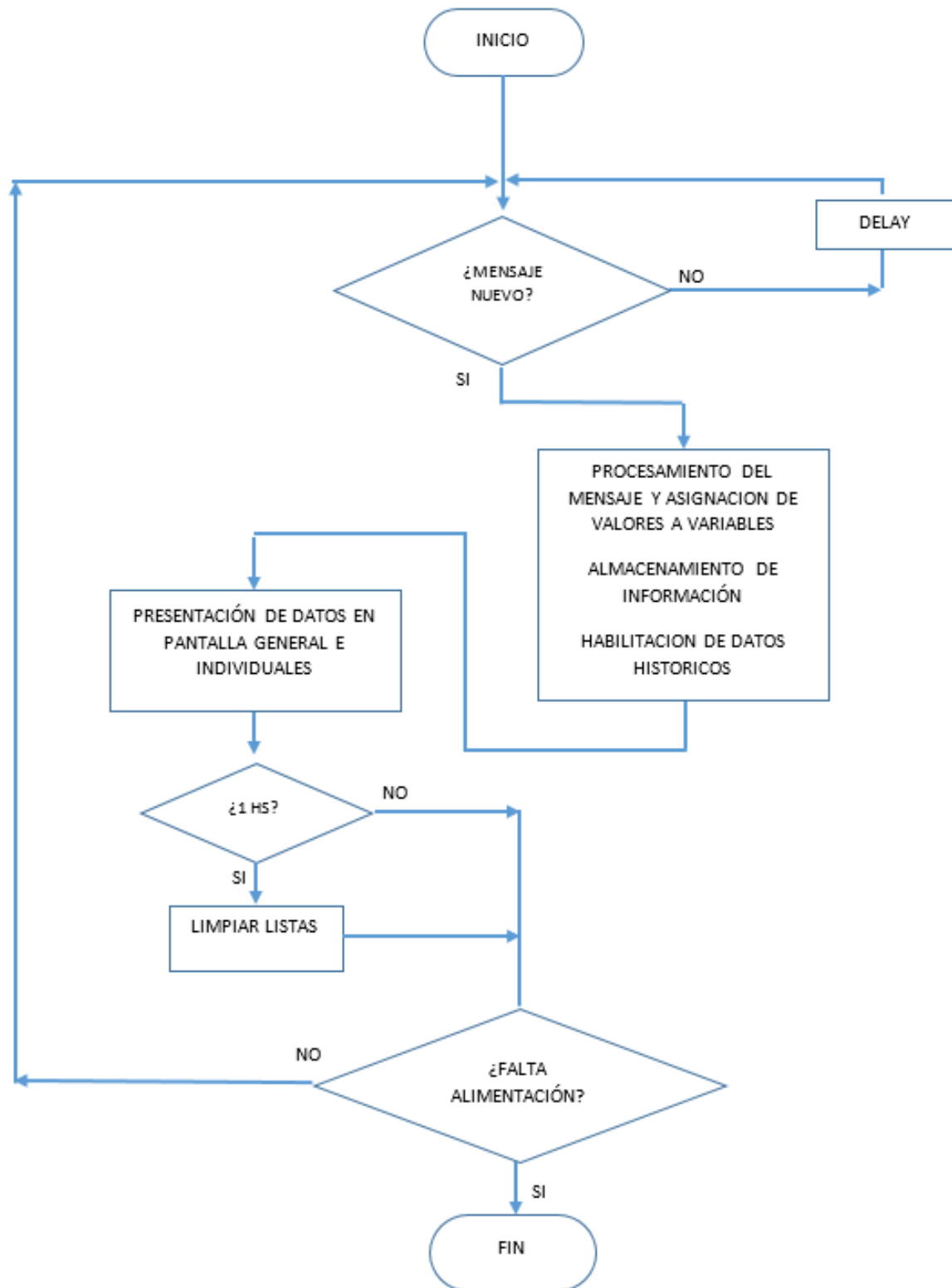


Figura N°26. Diagrama de flujo Node-Red.

Como en los demás diagramas de flujo, la finalización de la ejecución del programa se realizará únicamente si no se presenta alimentación sobre el host.

La presentación de la información está organizada en tres clases de pantallas:

Home

La información se organiza mediante una estructura modular, en la cual se han incorporado complementos específicos que facilitan una lectura más intuitiva para el usuario. Esta interfaz tiene como objetivo principal ofrecer una visualización clara y rápida de los valores actuales registrados por la estación meteorológica, permitiendo detectar con facilidad cualquier parámetro fuera de rango y su correspondiente alerta.



Figura N°27: Pantalla de inicio del dashboard.

Pantallas por módulo

Cada módulo cuenta con una ventana individual en la que se visualizan los valores actuales de las variables que lo componen, junto con los indicadores de máximo, mínimo y promedio registrados por hora, así como una gráfica de comportamiento horario en tiempo real. El propósito de estas pantallas es ofrecer una visualización detallada de las mediciones en rangos horarios breves, facilitando el análisis puntual y la identificación de tendencias a corto plazo.

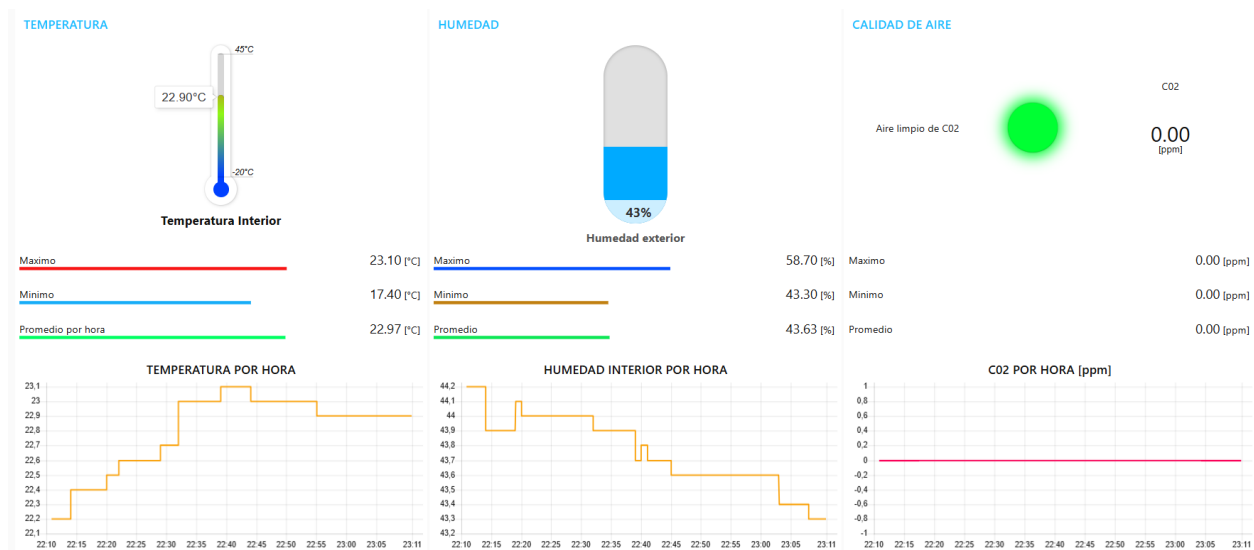


Figura N°28: Pantalla MCI.

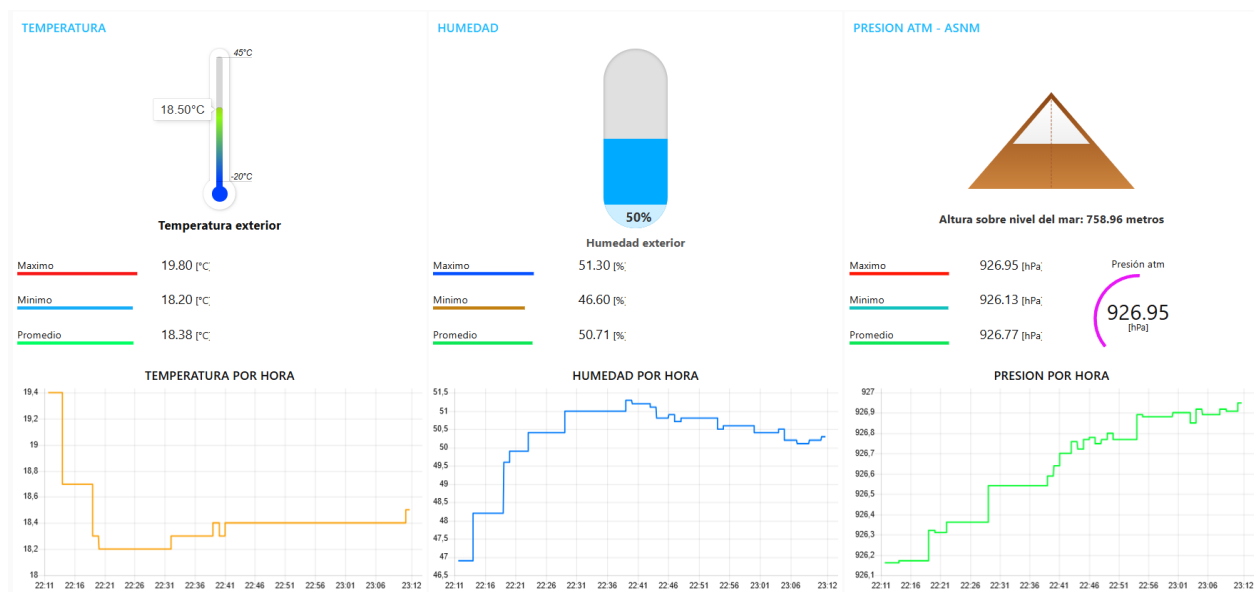


Figura N°29: Pantalla MCE.

DATOS DEL VIENTO



Maximo	0.00 [km/h]	Velocidad 0.00 [km/h]
Minimo	0.00 [km/h]	
Promedio	0.00 [km/h]	

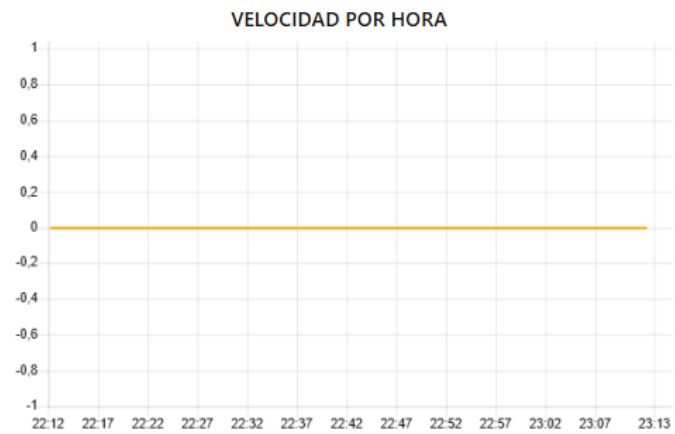
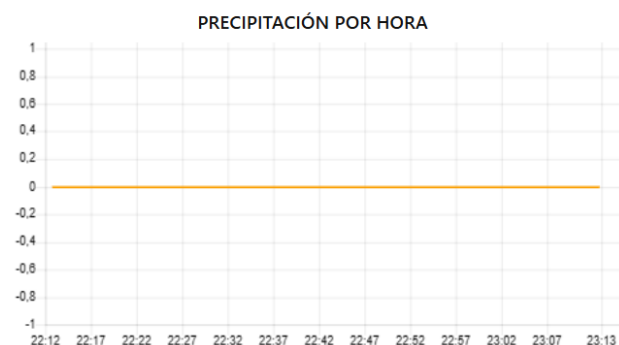
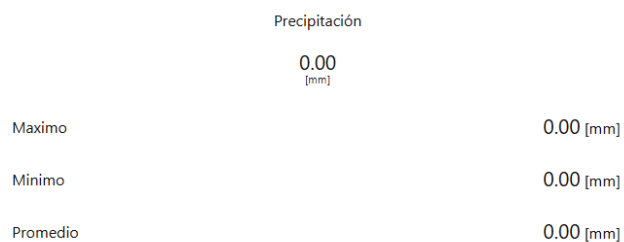


Figura N°30: Pantalla módulo de viento.

DATOS DE LLUVIA



DATO HOJA MOJADA

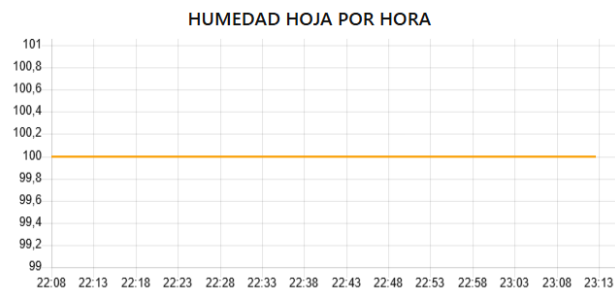
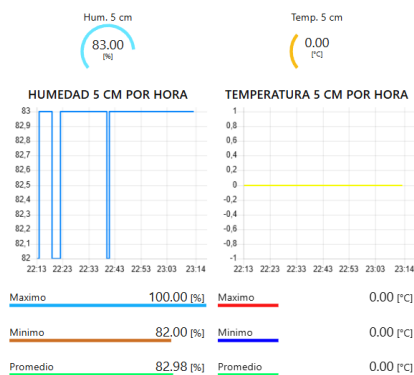
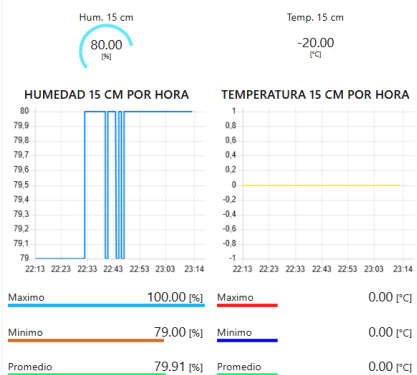


Figura N°31: Pantalla módulo de lluvia.

5 CM DEL SUELO



15 CM DEL SUELO



30 CM DEL SUELO

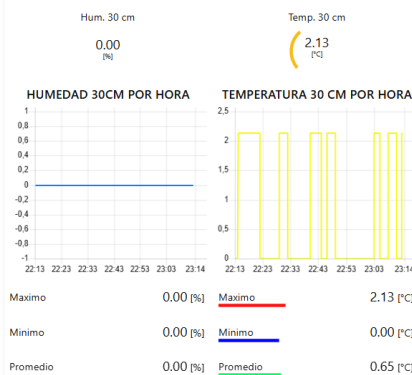


Figura N°32: Pantalla módulo de agrometeorológico.

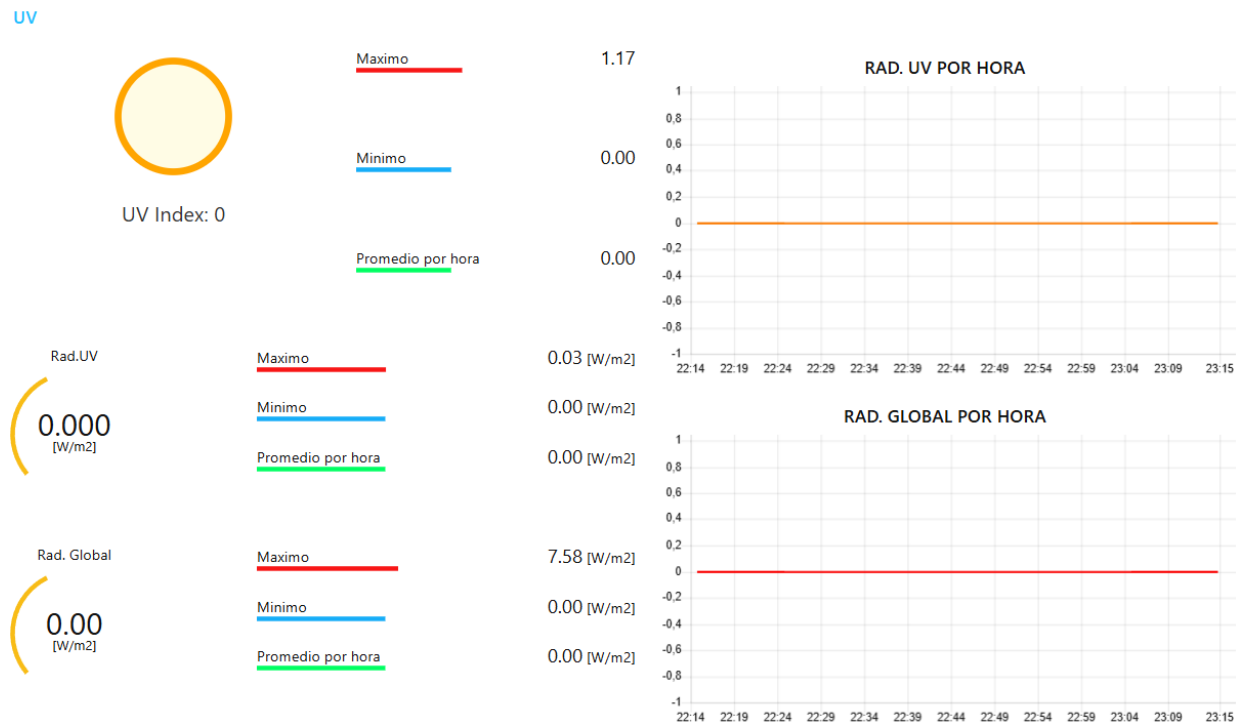


Figura N°33: Pantalla módulo de radiación solar.

Datos históricos

Esta pestaña permite la visualización de los datos registrados por la estación meteorológica y almacenados mediante Node-RED. Se presenta una botonera interactiva que facilita al usuario la selección de las variables de interés a visualizar. La interfaz presenta cuatro gráficos diferenciados según el período temporal: diario, semanal, mensual y anual, brindando una perspectiva integral e interactiva.

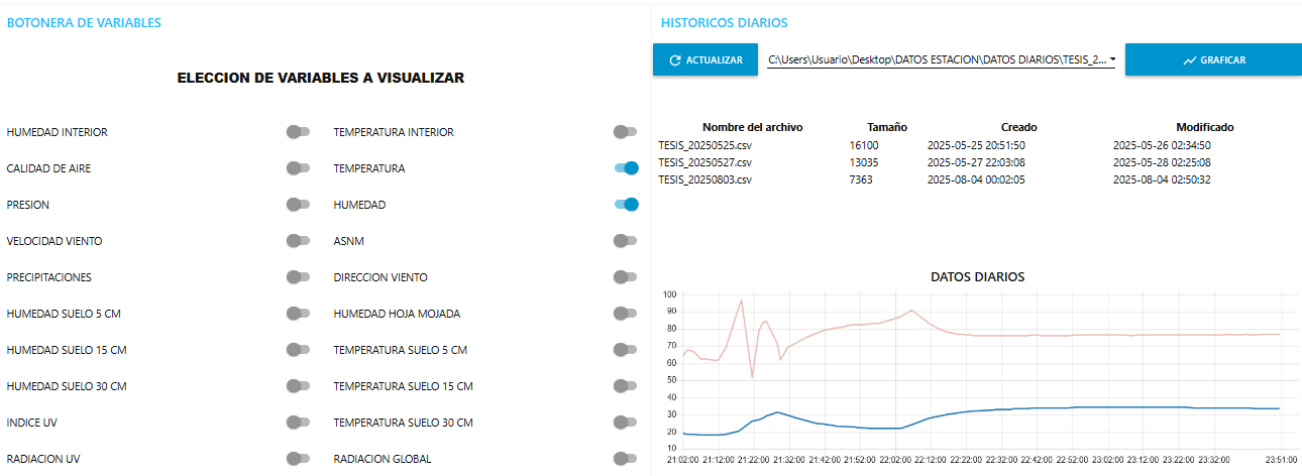


Figura N°34: Pantalla de botonera de variables y datos diarios.

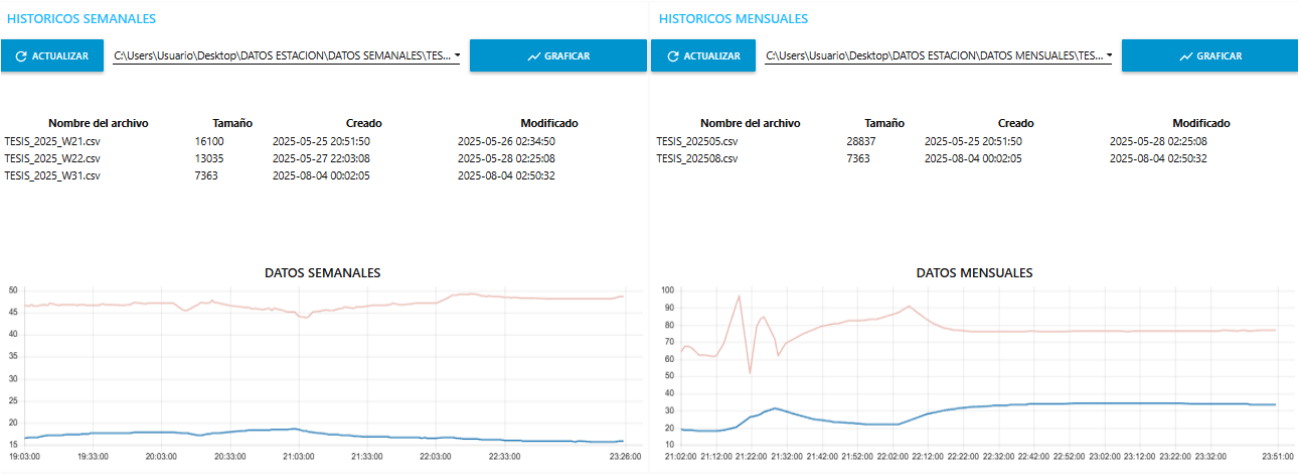


Figura N°35: Pantalla datos semanales y mensuales.

HISTORICOS ANUALES

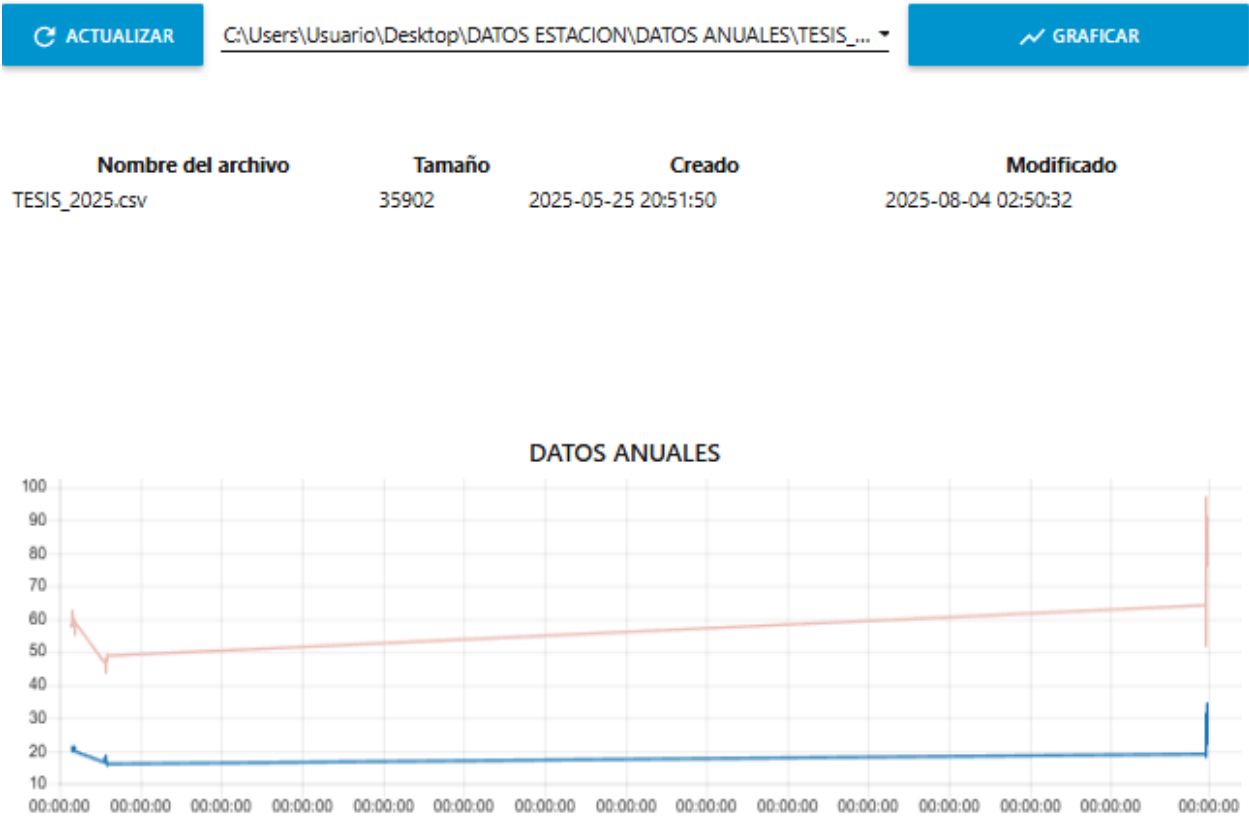


Figura N°36: Pantalla datos anuales.

CAPITULO 5: Calibraciones de los módulos

Una vez ensamblado el prototipo y verificada la funcionalidad individual de cada módulo, se procede a realizar mediciones destinadas a obtener un conjunto de datos para aplicar calibraciones en los sensores. Esto se debe a que se desea garantizar que las mediciones reflejen con la mayor fidelidad posible las condiciones reales.

El proceso de calibración se basa en comparar las lecturas del prototipo con las obtenidas mediante instrumentos de medición de referencia, específicos para cada variable evaluada. Estas comparaciones permiten ajustar la respuesta de cada sensor, aumentando la precisión del sistema en su entorno operativo.

Como consideración a tener en cuenta, se ha asumido que el empaquetado de los sensores implementados presenta una respuesta aproximadamente lineal en función del voltaje suministrado. Esta suposición se ha adoptado sin un análisis exhaustivo de los componentes internos de cada sensor, con el objetivo de simplificar el proceso de evaluación y procesamiento de datos.

Dado que el propósito del prototipo de estación meteorológica no exige mediciones de alta precisión, se ha buscado reducir los errores de medición hasta alcanzar valores razonablemente cercanos a los reales, sin requerir su eliminación total. Este enfoque permite optimizar recursos y tiempo, manteniendo un margen aceptable de exactitud para los fines de uso.

Método de calibración por dos puntos

En la siguiente imagen podemos comparar teóricamente como se presentan las mediciones, en este caso de ejemplo, de tres sensores de temperatura para una misma familia. El rango de operación radica desde T1 a T4 pero para distintos valores de voltaje podemos obtener discrepancias en la temperatura, esto se debe a interferencias eléctricas, errores de fabricación, materiales utilizados, entre otros. Entonces, para estos sensores del mismo modelo podemos tener tres respuestas distintas.

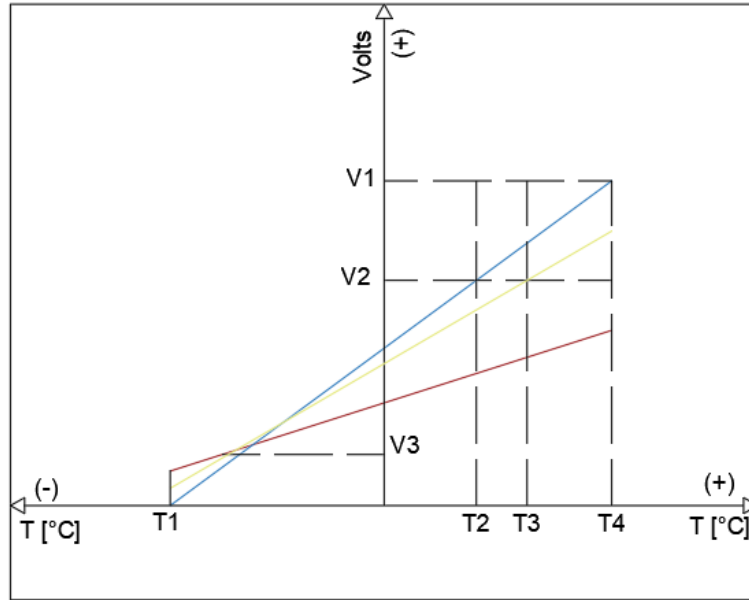


Figura N°37: variación de mediciones entre sensores de la misma familia.

$$Med. Calibrada = \left[\frac{(X_{medido} - X_{sensorMin}) * (X_{ReferenciaMax} - X_{ReferenciaMin})}{X_{sensorMax} - X_{sensorMin}} \right] + X_{ReferenciaMin}$$

Este método se puede ha aplicado a la mayoría de los sensores presentes en el prototipo, siendo la excepción el sensor MQ135 de calidad de aire.

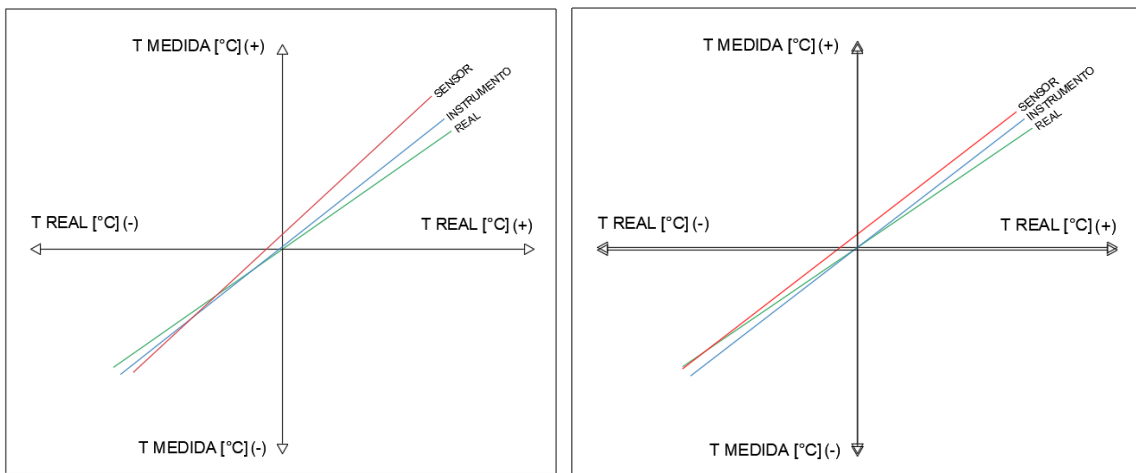


Figura N°38: calibración por método de dos puntos.

Sensores de temperatura

Dentro del prototipo encontramos tres modelos distintos de sensores de temperatura: DHT21, DHT22 y DS18B20. Para validar las lecturas y tomar referencias de temperaturas se empleó un termómetro digital AM-4257SD de la marca LUTRON, el cual incorpora una termocupla tipo K modelo TP-K02.



Figura N°39: termómetro digital AM-4257SD - LUTRON.

En la **sección A del Anexo V** se presentan en detalle las tablas correspondientes a las mediciones realizadas, incluyendo una comparación entre los valores obtenidos antes y después del proceso de calibración.

Luego de la implementación del método, se han obtenido valores próximos de medición entre los sensores con diferencias de décimas respecto al valor medido por el instrumento patrón, lo cual garantiza una buena medición.

Anemómetro

El anemómetro diseñado emplea el sensor WCMCU H206 y una rueda ranurada con las siguientes dimensiones:

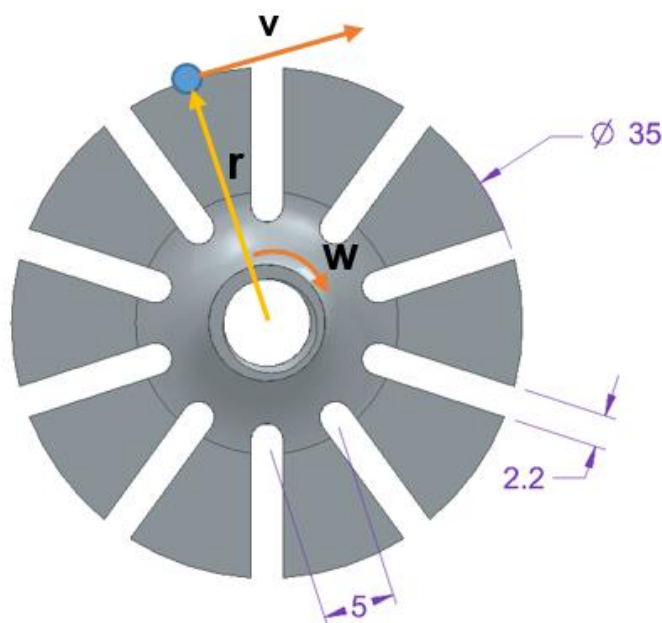


Figura N°40:Rueda dentada diseñada.

Para realizar el cálculo de la velocidad, y sabiendo que el anemómetro funciona bajo el concepto de encoder digital, partiremos de la relación de frecuencia y velocidad angular:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{w}{2\pi} \text{ [rad/seg]}$$

El valor de la frecuencia está dado por los pulsos del sensor y a su vez por la cantidad de ranuras que este tiene, por ende:

$$f = \frac{\text{pulso}}{n^{\circ} \text{ ranuras}} * \frac{1}{T} = \frac{w}{2\pi}$$

De aquí se puede obtener el valor de la velocidad angular, la cual se relaciona mediante la siguiente fórmula con la velocidad lineal:

$$v = w * r \rightarrow v = r * 2\pi * \frac{\text{pulso}}{n^{\circ} \text{ ranuras}} * \frac{1}{T} = \text{pulsos} * 0.02 \left[\frac{m}{seg} \mid \frac{km}{hr} \right]$$

Para realizar una medición instantánea, el valor del tiempo se toma en dos segundos, siendo esta la ventana de medición dedicada al sensor. Es decir que el sensor tendrá 2 segundos para enviar la cantidad de pulsos al microcontrolador y este realizará la conversión de valores.

Para contrastar los valores medidos se utiliza un anemómetro AM-4257SD de la marca LUTRON con un anemómetro de copolas, siendo obtenidos los valores que se detallan en la **sección B del Anexo V**. Se procedió a colocar un ventilador frente a los dos instrumentos, con el fin de obtener una velocidad controlada para realizar la calibración, probando en tres velocidades 10, 13 y 15 kilómetros por hora.

La siguiente graficas expresan las mediciones obtenidas. Como el diseño está basado en un sensor que mide los pulsos por revolución, para poder realizar una medición real los valores deben ser escalados obteniendo una aproximación a la medición real. Los valores obtenidos se aproximan a la velocidad del ventilador, siendo un resultado aceptable.

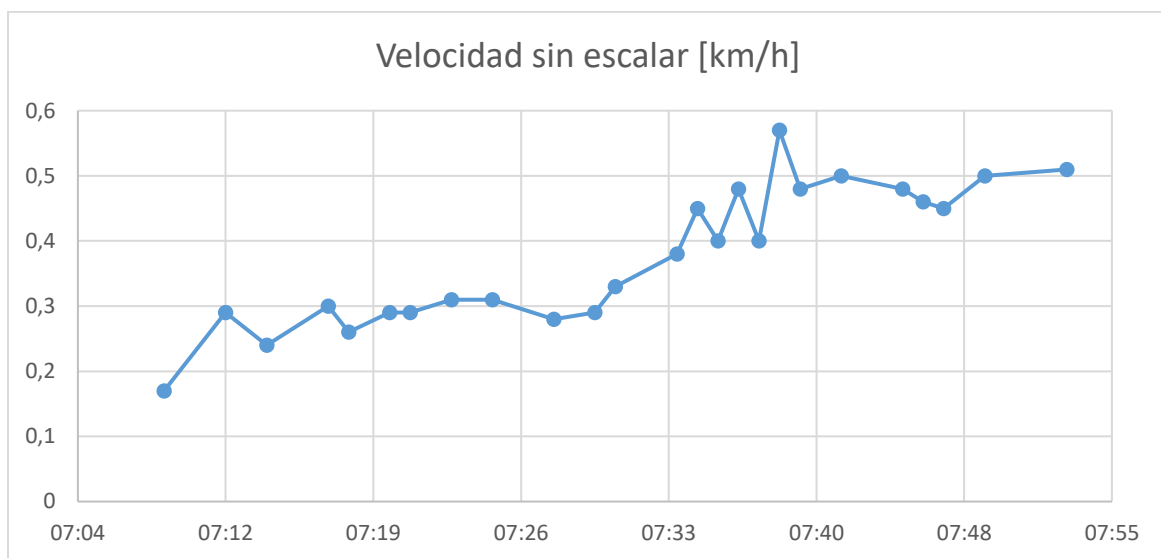


Figura N°41: Velocidad sensada sin escalar.

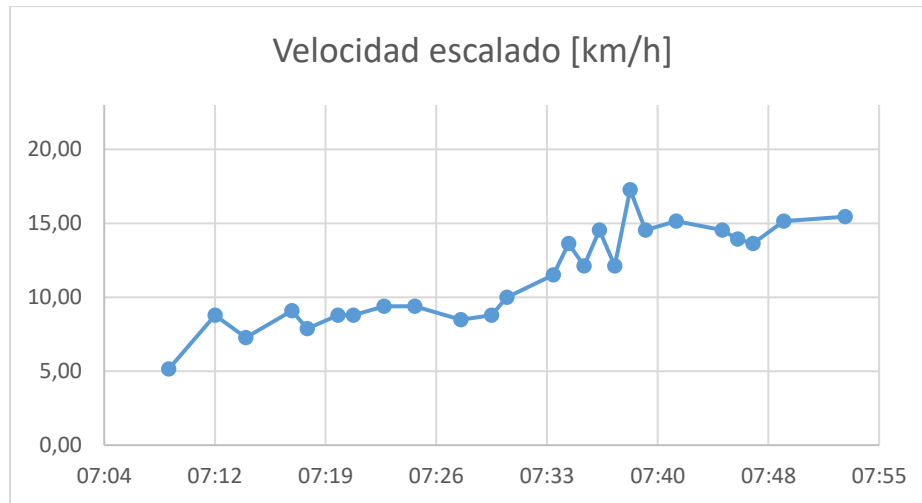


Figura N°42: Velocidad sensada escalada.



Figura N°43: Mediciones de calibración.

Veleta de viento

Para la veleta de viento se debió realizar una calibración respecto al voltaje que se recibe por cada una de las posiciones cardinales. En sí, el funcionamiento de la veleta se basa en un divisor de voltaje, siendo la tabla que se presenta en la **sección C del Anexo V** la que expresa los valores de voltaje en relación a la posición de la veleta y respecto a la resistencia asociada en la placa electrónica.

El método de calibración de este instrumento se fundamenta en determinar el valor efectivo de voltaje que alcanza la PCB cuando todos los módulos están conectados. Esto se debe a que, al activarse simultáneamente los puertos del microcontrolador para realizar mediciones, puede producirse una caída de tensión. Para evaluar este comportamiento, se utilizó un multímetro modelo IZR 00955 de la marca ZURICH, realizando mediciones para cada posición cardinal. A partir de estos datos, se estableció un rango operativo en la programación que permite detectar con mayor precisión la posición real.



Figura N°44: PCB veleta de viento.

Sensor de presión

El sensor de presión BMP280 fue calibrado utilizando el método de dos puntos a partir del contraste entre el prototipo y la estación meteorológica comercial que posee la FICA, debido a que no se disponía de un barómetro en su momento.

Pluviómetro

El pluviómetro diseñado se rige totalmente por la relación de vuelco del balancín, por lo que incidir sobre el diseño de esta pieza es fundamental ya que la calibración está completamente relacionada con la capacidad volumétrica de este.

Para realizar el cálculo del balancín, se ha optado por que tenga una relación de vuelco de 0,5 L/m² o bien 5mm de precipitación. En base a esta característica se derivan las dimensiones.

Se partió definiendo el área de captación del embudo del pluviómetro, conllevando a dimensiones de 90 mm x 120 mm, siendo un área 0,0108m². Se procede a calcular el valor del volumen del balancín que hará bascular en base a la relación de vuelco:

$$V = 0,108m^2 * \frac{0,5L}{m^2} = 0,054Lts = 5400mm^3$$

Con este valor se han diseñado los valores geométricos del balancín, siendo ajustado de forma empírica. Las dimensiones del volumen del balancín se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla N° 10: valores geométricos del balancín.

DISEÑO GEOMETRICO DE BALANCIN			
V_b	Volumen del balancín	<i>mm</i> ³	5400
b_b	Base del balancín	<i>mm</i>	20
h_b	Altura del balancín	<i>mm</i>	15
p_b	Profundidad del balancín	<i>mm</i>	18

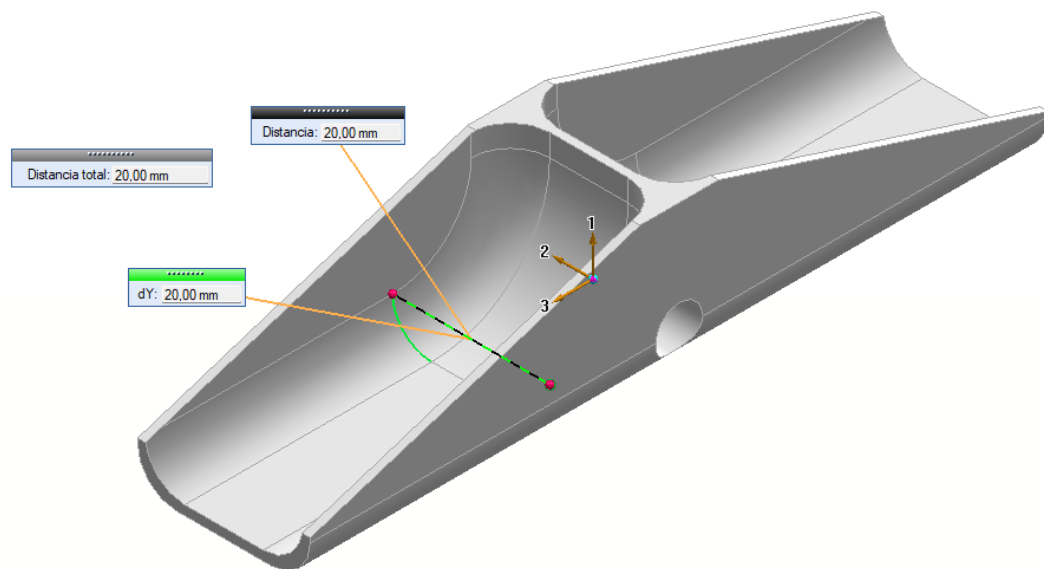


Figura N°45:dimensiones balancín - A.

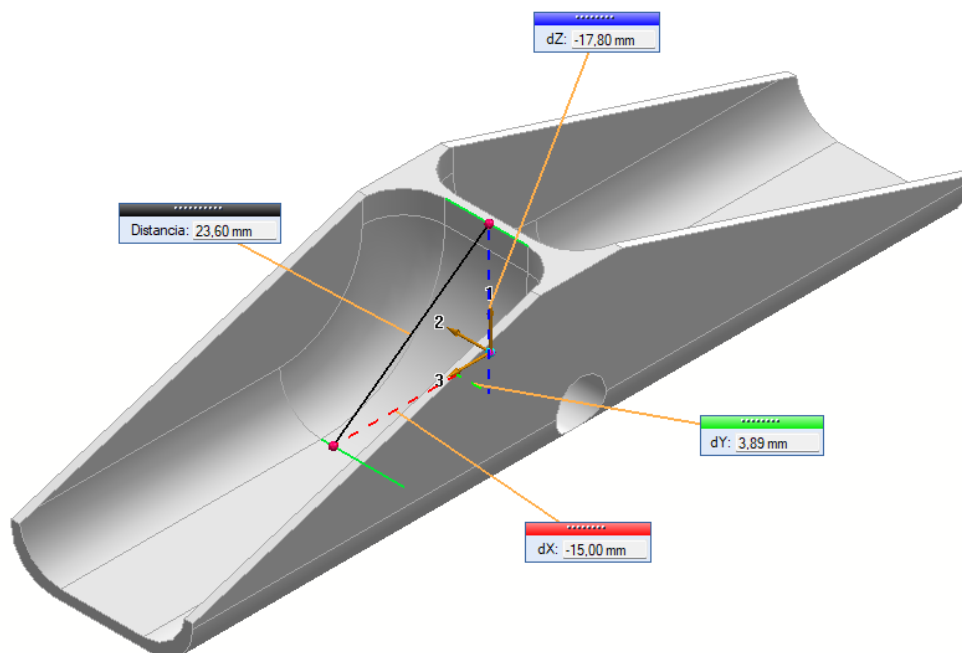


Figura N°46:dimensiones balancín - B.

Sensor de humedad DHT21 y DHT22

Para calibrar las mediciones de humedad obtenidas con los sensores DHT21 y DHT22, idealmente se habría utilizado un higrómetro, instrumento destinado a medir la humedad relativa. Sin embargo, en el momento de realizar la calibración no se disponía de uno.

Como alternativa, se optó por aplicar la tabla de calibración de Greenspan, la cual proporciona valores de humedad relativa en función de la temperatura para soluciones saturadas de sales, entre las cuales se encuentra el cloruro de sodio (NaCl) conocida como sal de mesa. A partir de una solución de 500 g de NaCl y 100mL de agua, a una temperatura ambiente de 25°C, se obtiene un valor de humedad de 75%.

°C	LiCl	MgCl ₂	NaCl	KCl	K ₂ SO ₄
0		33.7 ± 0.3	75.5 ± 0.3	88.6 ± 0.5	98.8 ± 1.1
5		33.6 ± 0.3	75.7 ± 0.3	87.7 ± 0.5	98.5 ± 0.9
10		33.5 ± 0.2	75.7 ± 0.2	86.8 ± 0.4	98.2 ± 0.8
15		33.3 ± 0.2	75.6 ± 0.2	85.9 ± 0.3	97.9 ± 0.6
20	11.3 ± 0.3	33.1 ± 0.2	75.5 ± 0.1	85.1 ± 0.3	97.6 ± 0.5
25	11.3 ± 0.3	32.8 ± 0.2	75.3 ± 0.1	84.3 ± 0.3	97.3 ± 0.5
30	11.3 ± 0.2	32.4 ± 0.1	75.1 ± 0.1	83.6 ± 0.3	97.0 ± 0.4
35	11.3 ± 0.2	32.1 ± 0.1	74.9 ± 0.1	83.0 ± 0.3	96.7 ± 0.4
40	11.2 ± 0.2	31.6 ± 0.1	74.7 ± 0.1	82.3 ± 0.3	96.4 ± 0.4
45	11.2 ± 0.2	31.1 ± 0.1	74.5 ± 0.2	81.7 ± 0.3	96.1 ± 0.4
50	11.1 ± 0.2	30.5 ± 0.1	74.4 ± 0.2	81.2 ± 0.3	95.8 ± 0.5

Figura N°47: tabla de calibración de Greenspan.

Fuente: [12]

Con esta referencia se procedió a colocar los sensores dentro de un recipiente hermético con la solución ya disuelta dentro. Al realizar las mediciones también se toman los valores de temperatura gracias a la familia DHTXX, previamente calibrados. Con ello se han obtenido los valores presentes en la **sección X del Anexo V**, donde se exponen en detalle las tablas correspondientes a las mediciones realizadas.

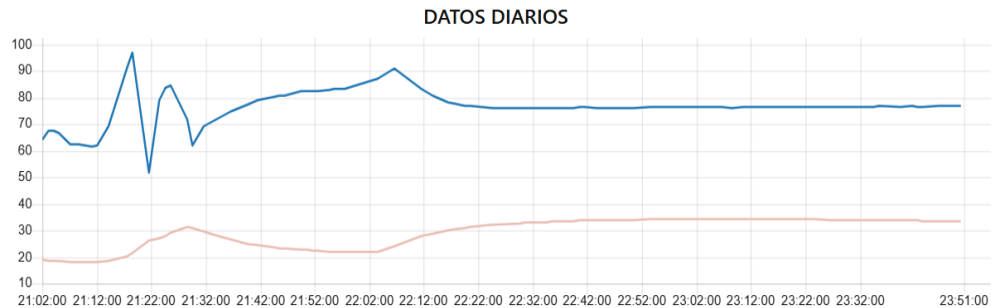


Figura N°48: Valores de humedad y temperatura del sensor DHT21.

En la gráfica se puede apreciar como hay un periodo de manipulación y preparación del sensor de dentro del recipiente, valores que son descartados. En el periodo comprendido desde las 22:12 horas, podemos observar como el sensor tiene un periodo de asentamiento, donde los valores oscilan entre los 76% RH y 78% RH, habiendo una diferencia de 2% respecto a la tabla, por lo que podemos decir que estamos dentro de parámetros deseables para la aplicación del prototipo, por ende, no ha sido necesario realizar una modificación a la programación del sensor.

Sensor UV

A partir de este sensor analógico al realizar las mediciones y posteriormente convertirlas en muestras digitales, es posible enunciar el valor del índice UV.

UV Index	0	1	2	3	4	5	paso	Rango de índice	Intensidad UV (mW/m2)
Vout(mV)	<50	227	318	408	503	606	llanura	~2	0~75
UV Index	6	7	8	9	10	11+	comúnmente	3~5	75~149
Vout(mV)	696	795	881	976	1079	1170+	altura	6~7	150~199
							Muy alto	8~10	200~274
							peligro	11~	275~

Figura N°49: Referencias de valores UV.

Fig. A: Valores de referencia de Índice UV según voltaje. Fuente A: [13]

Fig. B: Valores aproximados emitidos por fabricante del sensor UV. Fuente B: [13]

Así mismo se puede utilizar para medir la radiación ultravioleta de forma indirecta, utilizando el valor del voltaje medido por el sensor y multiplicando por un factor de aproximación dado por el fabricante del sensor, realizando una medición de radiación UV dentro del espectro de 240 a 370 nanómetros.

$$Radiacion\ UV = V_{out-sensor} * 307 \left[\frac{mW}{m^2} \right] \quad [1]$$

La radiación UV presenta una relación proporcional con el valor del índice UV, la cual se presenta como un factor de escala de 40 unidades. Téngase en cuenta que este factor incide solo si la radiación se expresa en W/m².

$$INDICE\ UV = Radiacion\ UV \left[\frac{W}{m^2} \right] * 40 \left[\frac{m^2}{W} \right]$$

Entre la radiación UV y la radiación global existe una correlación, donde la primera es representativa del 3% W/m² al 7% W/m² de la segunda [17]. Esto quiere decir que se puede realizar una medición indirecta a partir de la radiación UV calculada. Con este parámetro podemos realizar un contraste con un Piranómetro portátil para conocer si el valor calculado es representante de la realidad. Se realizaron pruebas y ajustes en base a las experiencias empíricas.



Figura N°50: Experiencia de calibración UV.

Sensor MQ135

El sensor MQ135 se basa en el funcionamiento resistivo químico, donde la resistencia del sensor varía según la presencia de gases en el medio.

Para realizar la calibración se partió del gráfico de sensibilidad característico provisto por el datasheet del fabricante. Se observa una curva de respuesta para cada uno de los gases capaces de ser detectados, referido a las partículas por millón y el valor de R_s/R_0 ; R_0 hace referencia a la resistencia del sensor en presencia de aire limpio, mientras que R_s es el valor de resistencia en presencia del gas.

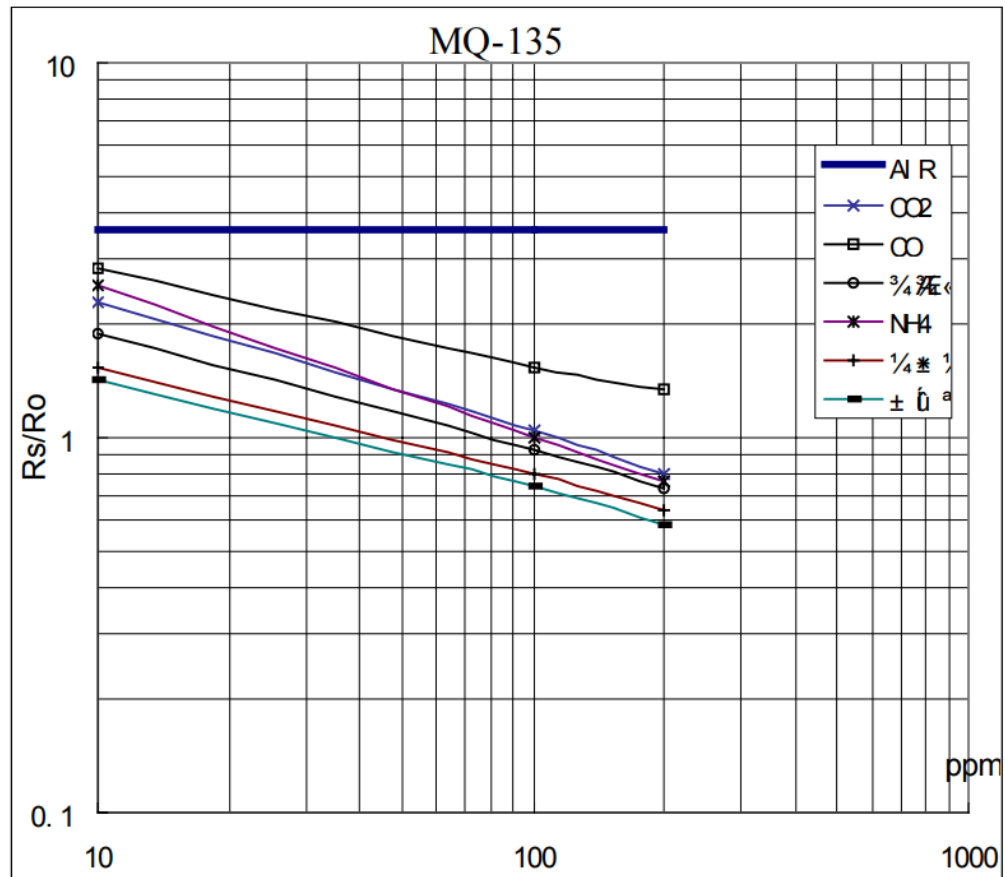


Figura N°51. Valores PPM de los gases capaces de ser gastados por el sensor MQ135.

Fuente: tomado de [15].

Para la aplicación en el prototipo se ha optado de calibrar el sensor para la concentración de CO₂ en el entorno. Para obtener los valores exactos de la gráfica se ha utilizado una herramienta en línea ([webplotdigitizer](https://webplotdigitizer.com/)³) de acceso gratuito, que posibilita conocer los valores de la gráfica según un escalado y marcado de puntos de la curva. Téngase en cuenta que la respuesta del sensor está en base logarítmica según el fabricante, por lo que se pueden linealizar los valores para entender el comportamiento del sensor y poder calibrarlo.

³ Link de acceso: <https://automeris.io/>

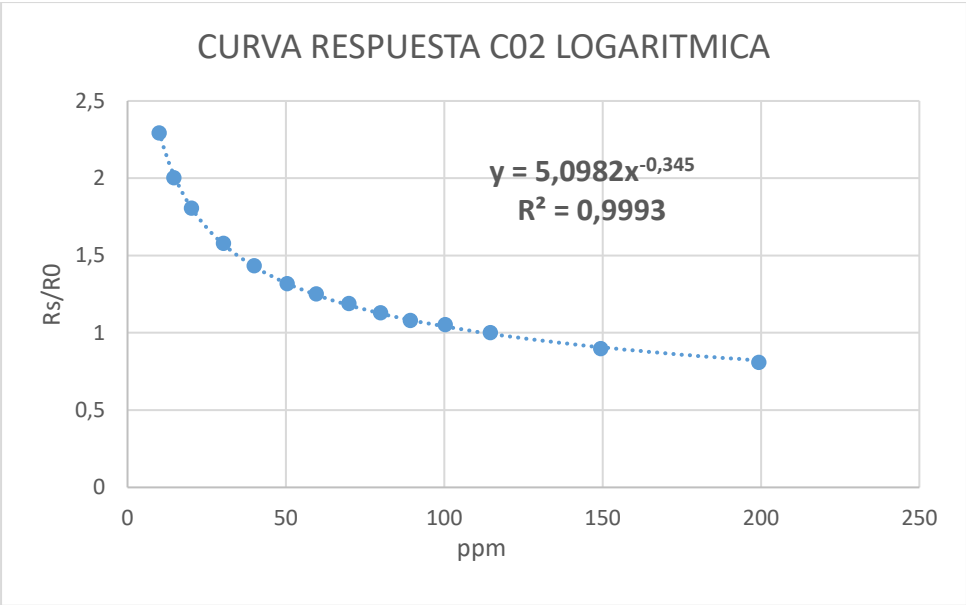


Figura N°52. Curva de sensibilidad de CO2 para el sensor MQ135.

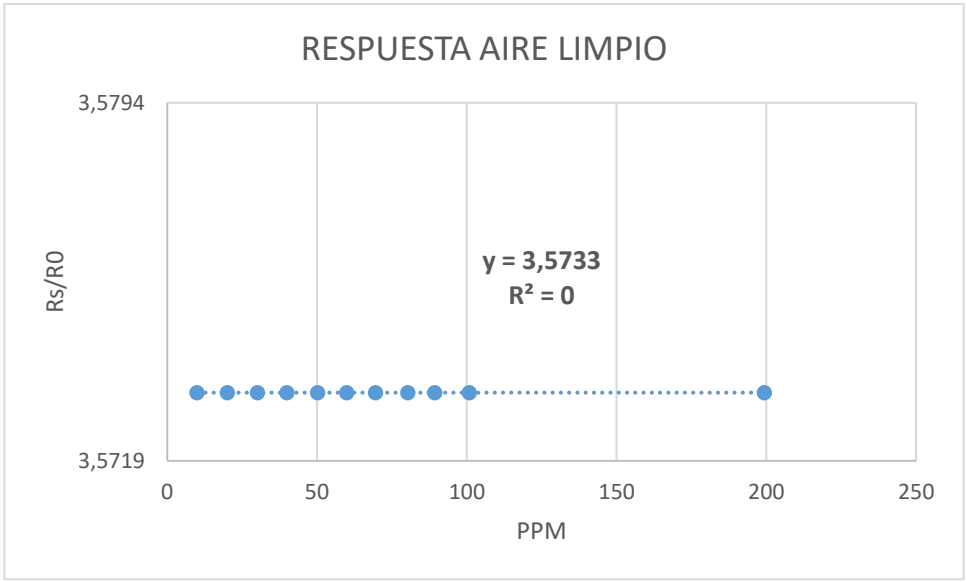


Figura N°53. Curva de sensibilidad del aire para el sensor MQ135.

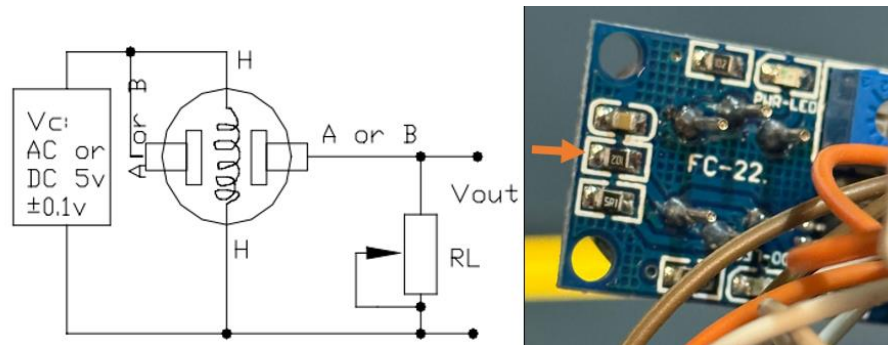


Figura N°54. Resistencia R_L del sensor MQ135.

Fig. A: tomado de [15].

Fig. B: Foto del sensor físico tomada por el autor.

Para calibrar el sensor para la curva de CO_2 se debe conocer el valor de R_0 en el entorno de aire limpio y para ello debemos conocer el valor de R_s en este entorno, lo que nos lleva a la conexión física del sensor, donde a través de un divisor de tensión y el diagrama de conexión podemos obtener el valor de R_s :

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{v - v_{out}}{v_{out}}$$

El valor de R_L se encuentra en el paquetizado, siendo este de $1K \Omega$.

Entonces con el valor de R_s obtenemos R_0 con el valor de la gráfica:

$$\frac{R_s}{R_0} = 3,5733$$

Se realizó la toma de muestras en aire limpio cada un minuto obteniendo la siguiente gráfica, donde los primeros minutos el sensor se asienta y luego se mantiene a **7,60**, tomando este valor para R_0 .

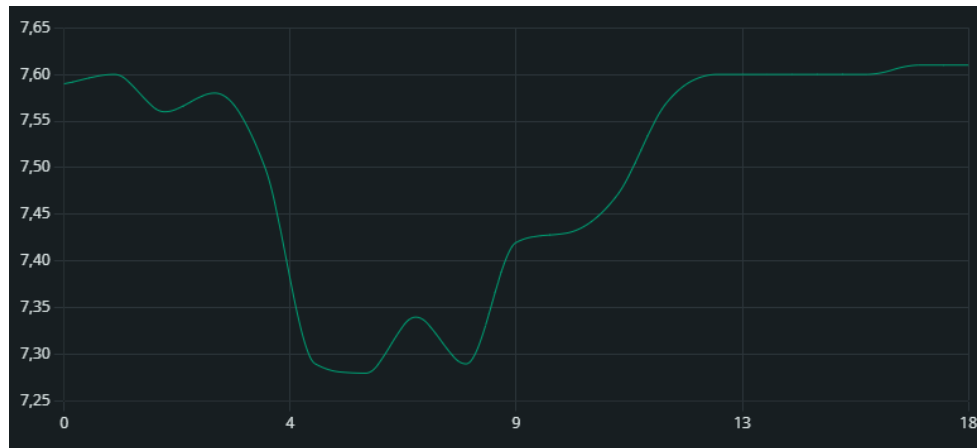


Figura N°55. Mediciones efectuadas de R0.

Entonces, ahora se toman muestras del valor del cociente de R0/RS en base a la calibración del sensor, obteniendo un valor de 3,26.



Figura N°56. Medición de respuesta frente al aire.

Entonces, con los valores ajustados de R0 y sabiendo que el valor del cociente entre resistencias es aceptable al brindado por el fabricante, se procede a calcular el valor de concentración de CO2 a partir de la fórmula de la curva de respuesta:

$$CO_{2PPM} = 5,0982 * \left(\frac{Rs}{7,6}\right)^{-0.345}$$

Siendo Rs la única variable implicada para el cálculo.

Sonda YL-69 y Módulo YL-38

Para los sensores de humedad, basados en la variación de la resistencia de la sonda YL-69, se implementó el método de calibración de dos puntos tomando de referencia valores de 0% y 100% de humedad. Para lograr estos valores se realizó una medición al aire sin introducir la sonda en recipientes con el fin que la resistencia al “aire” no varíe y buscando la presencia de algún offset; la segunda medición se logró realizando una medición de saturación, introduciendo la sonda en un recipiente con agua. Los valores obtenidos se encuentran presentes en la **sección E del Anexo V**.

Al realizar las mediciones se obtuvo que dos de los sensores presentaban un offset, esto es debido a que están conectados a pines reservados del microcontrolador, siendo los pines N°2 y N°4. El primero está ligado al led testigo del ESP32, causando un aumento de tensión no deseada al realizar la conectividad con el sensor, lo que genera una pérdida del rango de medición del sensor. En el caso del pin N°4, este está ligado a la memoria flash del microcontrolador produciendo el mismo efecto que el pin anterior, solo que este realiza variaciones en la tensión, generando que el offset se desplace.

Se realizó una modificación en el código del MCE para disminuir el inconveniente, para el primer caso se realizó la obstrucción del led testigo cancelando su operación al inicio del programa, y en el segundo caso se aplicó un filtro digital para eliminar la presencia de la memoria flash del microcontrolador. Una vez modificado el programa, se realizaron nuevamente las mediciones en ambos entornos.

Los valores obtenidos luego de la calibración de dos puntos resultan acordes a lo solicitado, ya que su fin es informar un aproximado de los valores de humedad del suelo buscando conocer si es necesario realizar un riego.

CAPITULO 6: Costos de fabricación

En el mercado actual, los precios de las estaciones meteorológicas en circulación parten desde los \$200.000 (doscientos mil pesos argentinos), aproximadamente USD145,5 (ciento cuarenta y cinco dólares estadounidenses) al momento de realizar este prototipo, hasta más de un millón de pesos argentinos. Se los encuentra de todo tipo, color y características según la aplicación deseada. Pero aun así los valores son sumamente elevados para aquellos que quisieran acceder a una estación con las características que se han descripto en los capítulos previos.

El presente trabajo final tiene como objetivo el bajo costo para la elaboración de un prototipo de estación meteorológica, por lo que al momento de realizar el diseño ha sido una característica fundamental para la selección sensores, microcontroladores y demás materiales que forman parte del prototipo.

Sensores y microcontroladores

Con el fin de cumplir con el objetivo de reducción de costos, se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva sobre los componentes de mayor impacto funcional y económico dentro del diseño, principalmente sensores y microcontroladores, que yacen disponibles en el mercado. Este proceso incluyó una comparación entre los diversos dispositivos y se realizó un análisis de costo-beneficio. Finalmente, la selección de los componentes óptimos tuvo en cuenta la disponibilidad en el mercado, la factibilidad de implementación, las características y prestaciones, el método de comunicación, la facilidad de integración tecnológica, la calidad del dispositivo y, el costo.

En la siguiente tabla podemos observar los sensores elegidos, los costos de adquisición de cada uno y el valor total⁴. Para ver en detalle el pliego completo del análisis dirigirse al **Anexo I: Comparación de sensores comerciales**.

⁴ Al momento de realizar la compra de los sensores, el valor de conversión entre pesos argentinos a dólares estadounidenses era de \$987 ARG = \$1 USD.

Tabla N° 11: Costo de sensores seleccionados.

Sensor	Magnitud que aplica	Cantidad	Precio unitario	Precio por cantidad
BMP280	Presión y temperatura	1	\$ 2.406	\$ 2.406
DTH21	Temperatura y humedad	1	\$ 7.299	\$ 7.299
Sonda FC-28 Módulo YL-38	Humedad de suelo	3	\$ 5.239	\$ 15.717
DS18B20	Temperatura de suelo	3	\$ 2.325	\$ 6.975
MODULO WCMCU H206	Velocidad del viento	1	\$ 1.950	\$ 1.950
SENSOR MAGNÉTICO	Dirección del viento y Pluviómetro	10	\$ 365	\$ 3.650
GENÉRICO	Hoja mojada	1	\$ 1.080	\$ 1.080
GUVA-S12SD	Ratos UV	1	\$ 7.341	\$ 7.341
DHT22	Temperatura y humedad	1	\$ 6.358	\$ 6.358
MQ135	Calidad de aire	1	\$ 4.900	\$ 4.900
Sx1278	Lo-Ra	2	\$ 12.500	\$ 25.000

TOTAL	\$82.676 ARG	\$83,75 USD
--------------	---------------------	--------------------

Tabla N° 12: Costos de microcontroladores seleccionados.

Microcontrolador	Modulo al que aplica	Cantidad	Precio unitario	Precio por cantidad
ESP32	MCE	1	\$ 13.500	\$ 13.500
ESP8266	MCI	1	\$ 10.700	\$ 10.700

TOTAL	\$24.200 ARG	\$24,5 USD
--------------	---------------------	-------------------

Carcasas y cierres de empaquetados

Es complejo obtener un producto bueno, barato y de rápida fabricación, sin tener que eliminar alguna de estas variables. En el caso que nos compete, como se ha realizado un prototipo y el objetivo no es tratar un proyecto de inversión, el tiempo de fabricación es despreciable. Esto ha sido beneficioso ya que nos da lugar a una tecnología en crecimiento, la fabricación aditiva.

La posibilidad de realizar múltiples accesorios, carcasas, soportes, piezas y elementos constructivos, entre diversidad de elementos, por medio de la fabricación aditiva o bien conocida como impresión 3D, ha facilitado el empaquetado de cada uno de los módulos, con solo la aplicación de software de modelado tridimensional y una Impresora 3D, precisamente el modelo CREALITY ENDER 3.

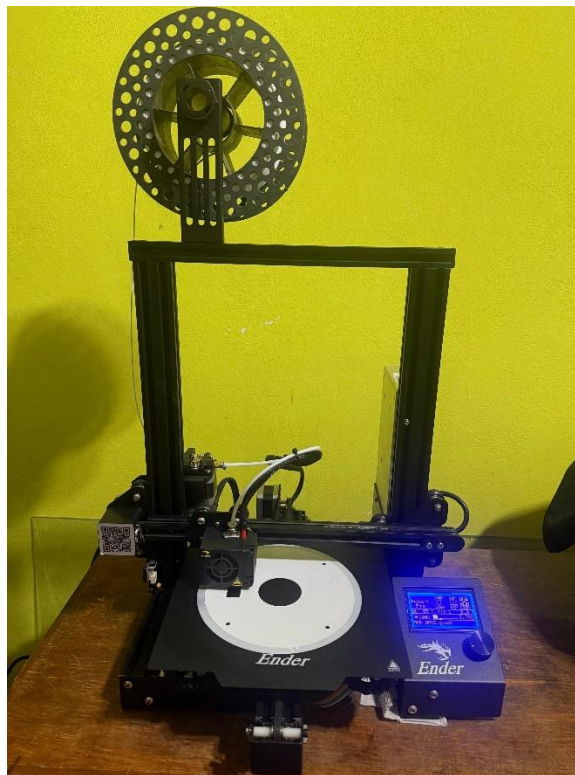


Figura N°57. Fabricación aditiva de carcasa del MCE con PLA.

Para cada una de las piezas fabricadas se ha utilizado como material el PLA, el cual es de muy fácil acceso económico y rendidor. Una bobina de este material se encuentra en el mercado en \$20.000 ARG (veinte mil pesos argentinos), aproximadamente \$14,55 USD (catorce dólares con cincuenta y cinco centavos estadounidenses)⁵. Para llevar a cabo la totalidad de las piezas se ha consumido aproximadamente un kilogramo y medio de PLA.

Soportes

Para no demorar en la implementación del prototipo, se decidió realizar el montaje de los módulos que se asocian al MCE por medio de soportes fabricados a partir de caños y accesorios de PVC, debido al bajo costo y facilidad de manejo. Se detallan a continuación los materiales:

Tabla N° 13: Costo de sensores seleccionados.

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio por cantidad
Caño Ø40mm PVC x 6m	1	\$ 14.300	\$ 14.300
Curva 45° PVC	8	\$ 680	\$ 4.080
Codo 90°	5	\$680	\$3.400
Tee	3	\$700	\$2.100
TOTAL		\$23.880 ARG	\$17,4 USD⁶

⁵ Al día de la fecha (02/09/2025) la conversión se encuentra a un valor de \$1 USD = \$1375 ARG.

⁶ Conversión \$1 USD = \$1375 ARG

Costo total

Luego del conteo de cada uno de los materiales y consumibles utilizados para el prototipo, se presenta a continuación el valor total de la estación meteorológica modular implementada.

Tabla N° 14: Costo de sensores seleccionados.

Material	Totales en ARG	Totales en USD
Sensores	\$ 82.676	\$ 83,75
Microcontroladores	\$ 24.200	\$ 24,50
Impresión 3D	\$ 30.000	\$21,825
Materiales de PVC	\$ 23.880	\$17,4
Consumibles y otros materiales (1)	\$ 8,038	
COSTO FINAL	\$168.794 ARG	\$ 122,8 USD⁷

Nota (1): Materiales necesarios para realizar la implementación física de cada módulo, como cableado, placas de cobre vírgenes para la fabricación de las PCBs, ácido de cloruro férrico, alcohol isopropílico, el flux, estaño, entre otros, se han tomado como el 5% del subtotal.

⁷ Conversión \$1 USD = \$1375 ARG

CAPITULO 7: Contraste de mediciones

Uno de los objetivos planteados en este trabajo fue realizar un contraste con un modelo comercial de estación meteorológica. La Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias cuenta con el modelo agro meteorológico DAVIS Vantage Pro2 , el cual está instalado en el campus del departamento de agronomía. El Laboratorio de Energías Renovables (LER) es quien está encargado de las mediciones, las cuales presenta en la página web de la facultad.

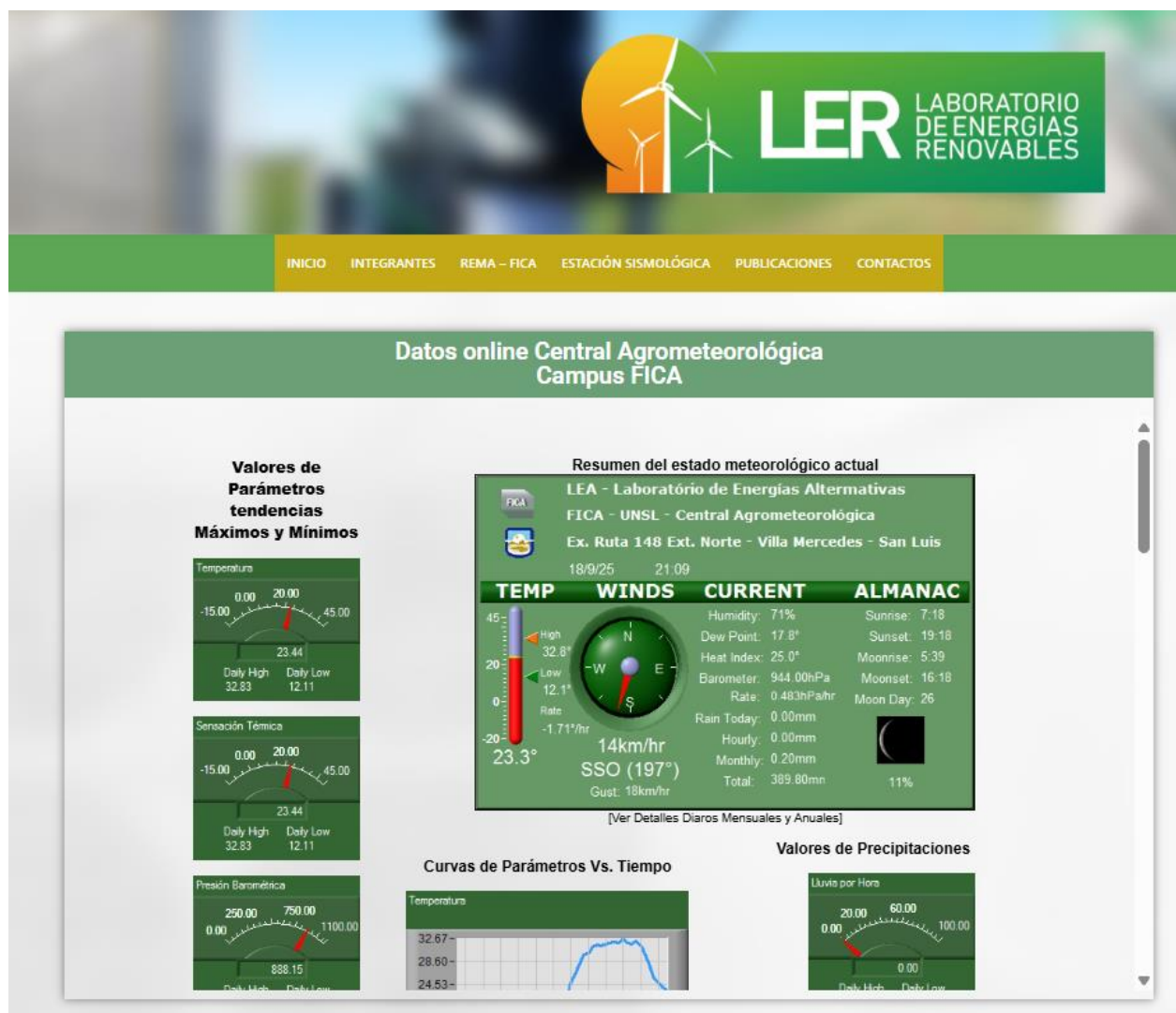


Figura N°58. Presentación de datos web por el LER.

Fuente: tomado de [20].

La estación meteorológica comercial cuenta con un datalogger el cual cumple su función de recepción y carga de información al sistema para posterior presentación. Este se ubica en el edificio de ciencias agropecuarias.



Figura N°59. Datalogger de la estación comercial.

Sensado de variables

El día sábado 13 de septiembre de 2025 por la mañana, se llevó a cabo el primer registro de mediciones para realizar el contraste con el modelo comercial. El ensamble de la estación prototipo contó con todos sus módulos, exceptuando el de lluvia ya que el día se encontraba despejado, con temperaturas altas y una gran velocidad de viento. Luego de procesar y corroborar los datos obtenidos, se realizó una segunda medición al siguiente día, igualmente por la mañana. Los datos obtenidos, tanto del prototipo como la estación comercial se encuentran en el **Anexo V: Datos de contraste con estación comercial.**



Figura N°60. Prototipo montado insitu para contraste de mediciones.



Figura N°61. Medición de variables insitu.

CAPITULO 8: Caracterización del prototipo

Este capítulo presenta la hoja de especificaciones técnicas que caracterizan al prototipo y a cada uno de sus módulos. Dichos datos han sido obtenidos a partir de mediciones directas y experiencias empíricas realizadas durante el proceso de desarrollo e implementación.

Tabla N° 15: Características técnicas del prototipo.

Modulo	Instrumento y/o Variable	Sensor asociado	Medición	Unidad	Rango	Resolución	Error ≈
Módulo Central Interior	Humedad	DTH22	Directa	%	0 a 100 %	0,10%	2%
	Temperatura		Directa	°C	-40 a 80 °C	0,10 °C	2%
	Calidad de aire - CO2	MQ135	Indirecta	PPM	1 a 200 ppm	1 ppm	-
Módulo Central Exterior	Humedad	DTH21	Directa	%	0 a 100%	0,10%	2%
	Temperatura		Directa	°C	-40 a 80 °C	0,10 °C	2%
	Presión atmosférica	BMP280	Directa	hPa	300 a 1100 hPa	0.0016 hPa	8%
	Altura sobre el nivel del mar		Indirecta	Metros	-	1 m	8%
Módulo de Viento	Anemómetro	WCMCU H206	Indirecta	km/h	0 a 45 km/h	0,1 km/h	8%
	Veleta de viento	REED SWITCH	Directa	Angular [°]	0 a 360 °	-	-
Módulo de Lluvia	Pluviómetro	REED SWITCH	Directa	mm	-	0,5 mm	-
	Presencia de lluvia	SENSOR DE LLUVIA GENÉRICO	Directa	-	-	-	-
Módulo Agro meteorológico	Humedad del suelo	SONDA FC-28	Directa	%	0 a 100 %	0,10%	5 a 15%
	Temperatura del suelo	DS18B20	Directa	°C	-55 a 125°C	0.125°C	2%
Módulo de Radiación	Índice UV	GUVA-S12SD	Directa	Adimensional	0 - 20	1	-
	Radiación UV		Indirecta	W/m2	0 a 41,5 W/m2	0,1	23%
	Radiación global		Indirecta	W/m2	0 a 830 W/m2	0,1	23%

CAPITULO 9: Conclusiones

En los apartados previos se ha detallado el proceso de diseño e implementación tanto del hardware como del software del prototipo, describiendo en detalle cada módulo involucrado, su lógica de funcionamiento, los materiales utilizados y los procedimientos de calibración aplicados.

Con todos los módulos debidamente ensamblados, verificados y evaluados tanto de forma individual como integrados en el conjunto de la estación, se puede afirmar con certeza que el proyecto ha sido implementado con éxito. Su funcionamiento es estable y cumple con los objetivos específicos de documentar, diseñar, determinar y contrastar.

Con base en el contraste llevado a cabo, podemos decir que los resultados obtenidos no son iguales debido a varias variables como son el hardware de los sensores, sus prestaciones, los diseños de los instrumentos, los materiales utilizados, el posicionamiento físico al momento de muestrear, la fricción, las ráfagas de viento, entre otros. Sin embargo, los valores obtenidos están dentro de rangos adecuados y no presentan errores significativos, siendo una salvedad la radiación global que es estimada por un cálculo indirecto; para el fin al que está destinada la estación meteorológica se puede afirmar que cumple con lo deseado.

Respecto al costo final, aproximado de \$123 USD, se considera competitivo en relación con los precios del mercado. Esto se debe a que el prototipo desarrollado ofrece funcionalidades poco frecuentes en productos comerciales, y en comparación con los que sí las incluyen estas características, se presenta una diferencia económica significativa, posicionándolo como una alternativa accesible.

Se ha conseguido concretar un prototipo operativo, construido con materiales accesibles y empleando técnicas de fabricación como la impresión 3D. Gracias a este enfoque, se han obtenido características claves como la visualización remota de datos y una arquitectura modular que facilita su adaptación al entorno y requerimientos del usuario.

Aún así, durante la implementación del prototipo se identificaron varios aspectos que requieren ajustes, los principales son:

- Respaldo de datos sin conexión: ante posibles interrupciones en la comunicación entre el MCE y el MCI, es fundamental contar con un sistema de almacenamiento local. Esto puede resolverse integrando una tarjeta SD y su módulo correspondiente al ESP32, permitiendo guardar datos como respaldo.

- Optimización estructural: aunque los soportes de PVC son económicos, su exposición prolongada al entorno puede deteriorarlos. Se sugiere rediseñar la estructura en formato vertical central, utilizando una columna de madera o acero como eje principal. Los módulos se dispondrían de forma perpendicular, lo que facilitaría el montaje, aumentaría la resistencia frente a condiciones ambientales y prolongaría la vida útil del conjunto.
- Mayor autonomía energética: para asegurar el funcionamiento continuo ante fallos en la captación solar, se recomienda incorporar una segunda batería recargable que extienda el tiempo operativo de la estación.
- Sistema de alertas y comunicación: enfocando el prototipo en una versión comercial, sería beneficioso implementar notificaciones periódicas al usuario sobre las variables medidas. Esto permitiría informar y advertir sobre condiciones críticas como temperaturas extremas, baja humedad en el suelo o niveles elevados de radiación UV, promoviendo acciones preventivas.
- Ampliación de variables derivadas: A partir de los datos sensados por el prototipo, es posible realizar cálculos indirectos que permitan obtener nuevas variables. Por ejemplo, se pueden estimar indicadores agrometeorológicos adicionales basados en la humedad y temperatura del suelo, lo que enriquecería el análisis y aumentaría el valor informativo de la estación.
- Adaptación de estándares: El prototipo desarrollado demuestra una notable versatilidad, siendo aplicable en contextos diversos. Esta amplitud de uso exige su alineación con normas y estándares reconocidos a nivel internacional, a fin de asegurar la calidad, comparabilidad y confiabilidad de los datos obtenidos. En este marco, se propone adoptar como referencia las buenas prácticas y procedimientos de medición establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), lo cual fortalece la validez técnica del sistema y facilita su integración en aplicaciones específicas [21].

Cada uno de los puntos mencionados requiere ajustes específicos en el hardware o el software, lo que permite mejorar las prestaciones del sistema y optimizar la presentación general de la estación meteorológica. Aunque representan desafíos técnicos, cada uno de ellos abre la puerta a oportunidades valiosas de perfeccionamiento y evolución del prototipo, conllevando a una mejora continua.

Referencias Bibliográficas

- [1] Polna, «Naver,» [En línea]. Available: <https://blog.naver.com/darknisia/223513363177>. [Último acceso: 29 Julio 2025].
- [2] R. A. Española, «<https://www.rae.es/>,» 2025. [En línea].
- [3] «Zamtsu,» [En línea]. Available: <https://zamtsu.com/producto/anemometro-de-hilo-caliente-am-4204/>. [Último acceso: 20 julio 2025].
- [4] «Taloselectronics,» [En línea]. Available: <https://www.taloselectronics.com/products/sensor-velocidad-de-viento-anemometro>. [Último acceso: 20 julio 2025].
- [5] «Detectores,» [En línea]. Available: <https://www.detectores.cl/tienda/anemometro-ultrasonico-3d-tres-salidas-4-20-ma/>. [Último acceso: 20 julio 2025].
- [6] «Logicbus,» [En línea]. Available: https://www.logicbus.com.mx/info_encoders. [Último acceso: 20 julio 2025].
- [7] «Zaragozmakerspace,» [En línea]. Available: <https://zaragozmakerspace.com/courses/arduino-basico/lessons/sensor-optico-encoder-wheel/>. [Último acceso: 20 julio 2025].
- [8] Biosinop, [En línea]. Available: <https://biosinop.blogspot.com/2017/10/que-significa-1-mm-de-agua-caida.html>. [Último acceso: 20 julio 2025].
- [9] «Made-in-china,» [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_wantbalance/product_Mini-Probe-Electronic-Temperature-and-Humidity-Probe-Soil-Thermometer-and-Hygrometer_eonurgngy.html. [Último acceso: 25 julio 2025].
- [10] Organización Mundial de la Salud, Índice UV solar mundial : guía práctica., Ginebra: WHO, 2002.
- [11] B. A. De la Morena Carretero, M. Sorribas Panero, J. Adame Carnero, J. M. Vilaplana Guerrero, M. Gil Ojeda, L. Balairón Ruiz, C. Vílchez Lobato y F. J. López Narbona, La radiación solar :efectos en la salud y el medio ambiente., Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía, 2010.
- [12] «Instrumentosdemedicion,» [En línea]. Available: <https://instrumentosdemedicion.org/radiacion/piranometro/>. [Último acceso: 28 julio 2025].
- [13] Big.Jack.Jazz, «Instructables,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.instructables.com/Calibration-of-DS18B20-Sensor-With-Arduino-UNO/>. [Último acceso: 15 agosto 2025].
- [14] «Vaisala,» [En línea]. Available: <https://docs.vaisala.com/r/M210185ES-E/es-ES>. [Último acceso: 20 agosto 2025].
- [15] S. S. Goplani, Analisis, caracterizacion y calibracion de sensores de bajo coste para Arduino, Universidad de La Laguna, 2018.
- [16] O. M. d. I. Salud, «World health organization,» [En línea]. Available: [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-\(uv\)-index](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-(uv)-index). [Último acceso: 14 Agosto 2025].
- [17] 2. L. E. D. E. A. W. M. A. B. L. C. Navntoft1, «LA RELACIÓN ENTRE LA IRRADIACIÓN UV-A/GLOBAL PARA LA CIUDAD DE BUENOS AIRES,» 1Unidad de Actividad

Química, Comisión Nacional de Energía Atómica, Provincia de Buenos Aires. Argentina., 2006.

- [18] H. E. CO, «Electronicoscaldas,» [En línea]. Available: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf. [Último acceso: 12 enero 2025].
- [19] «Grove - Gas Sensor (MQ2),» 22 09 2015. [En línea]. Available: <https://docs.particler.io/assets/datasheets/electronsensorkit/MQ-2.pdf?q=mq>. [Último acceso: 18 agosto 2025].
- [20] LER-UNSL, «Datos online Central Agrometeorológica,» [En línea]. Available: <https://ler.fica.unsl.edu.ar/index.php/cm-agronomia/>. [Último acceso: 2025 09 15].
- [21] OMM, Guía de instrumentos y métodos de observación, vol. III, Ginebra: Organización Meteorológica Mundial, 2024.

Glosario

Grado IP	Ingress Protection, sus siglas en inglés, es el estándar internacional definido por la norma IEC 60529 que clasifica los niveles de protección de un dispositivo o equipo contra la entrada de sólidos y líquidos.
Abrigo meteorológico	Estructura diseñada para proteger los instrumentos de medición meteorológica de factores externos como la radiación solar directa, la precipitación y la condensación, entre otros.
Encoder rotativo	Dispositivo que detecta y transforma la posición angular o el movimiento de un eje en señales eléctricas.
Índice UV	Indicador de la intensidad de la radiación ultravioleta del sol y su riesgo de daño para la salud de la radiación ultravioleta.
Datalogger	Dispositivo electrónico que registra automáticamente datos de diversas variables a lo largo del tiempo, almacenando la información en una memoria interna para su posterior análisis en una computadora.

ANEXOS

Anexo I: Comparación de sensores comerciales

Tabla N° 16 – Anexo I: Comparación de sensores comerciales.

Parámetro/s	Denominación	Ilustración	Unidad	Precio	Características				Link Datasheet
					Resolución	Exactitud	Rango	Alimentación	
Temperatura Y Humedad	DHT21		°C	\$ 7.299	0.1 %RH	±3%RH	0% a 100%	3.5V a 5.5V	DHT21 - DATASHEET
			%RH		0.1 °C	±0.3°C	-40°C a 80°C		
	DHT11		°C	\$ 1.800	1%RH	±5%RH	20 a 90 %RH	3.5V a 5.5V	DHT11 - DATASHEET
			%RH		1°C	±2°C	0 a 50°C		
	DHT22		°C	\$ 6.358	0.1 %RH	±2%RH	0% a 100%	3.5V a 5.5V	DHT22 - DATASHEET
			%RH		0.1 °C	±0.5°C	-40°C a 80°C		
	AHT10		°C	\$ 3.512	0.024% RH	± 2%RH	0 a 100%	3.3V a 5V	AHT10 - DATASHEET
			%RH		0.01 °C	± 0.3 ° C	-40°C a 85°C		
	AHT25		°C	\$ 2.900	0.024% RH	± 2%RH	0 a100%	2.2V a 5.5V	AHT25 - DATASHEET
			%RH		0.01°C	± 0.3 ° C	-40°C a 80°C		
	HTU21D		°C	\$ 3.580	1%RH	± 2% RH	5% a 95% HR	3.3V a 5V	HTU21D - DATASHEET
			%RH		1°C	± 1 ° C	-30 a 90 ° C		

Parámetros/s	Denominación	Ilustración	Unidad	Precio	Características				Link Datasheet
					Resolución	Exactitud	Rango	Alimentación	
Presión y Temperatura	BMP180		hPa	\$ 1.850	0.01 hPa	±1 hPa	300-1100hPa	1.8V a 3.6V	BMP180 - DATASHEET
			°C		0.1 °C	±1.0 °C	0 - 65°C		
	BMP280		hPa	\$ 2.406	0.0016 hPa	±1 hPa	300-1100hPa	1.7V a 3.6V	BMP280 - DATASHEET
			°C		0.01 °C	±1.0 °C	0 - 65°C		
	BMP085		hPa	\$ 13.231	0.01 hPa	±1 hPa	300-1100hPa	1.8V a 3.6V	BMP085 - DATASHEET
			°C		0.1 °C	±1.0 °C	0 - 65°C		
Temperatura de suelo	DS18B20		°C	\$ 2.325	0.125°C,	±0.5 °C	-55°C -125°C	3V a 5.5V	DS18B20 - DATASHEET

[illegible]

Presencia de lluvia	Sensor de lluvia genérico		-----	\$ 1.080	Método de medición resistivo	Digital: (0 / 1) Analógica	3.3 V a 5 V	-----
----------------------------	---------------------------	---	-------	----------	------------------------------	-------------------------------	-------------	-------

Parámetro/s	Denominación	Ilustración	Unidad	Precio	Características			Link Datasheet
					Resolución	Salidas	Alimentación	
Velocidad del viento	HC-020K Módulo Encoder B83609		r.p.m velocidad [m/s] (convertir)	\$ 2.977	0.01 mm	Digital (0 / 1)	4.5V a 5.5V	-----
	WCMCU H206		r.p.m velocidad [m/s] (convertir)	\$ 1.950	0.01 mm	Digital (0 / 1) Analógica	3.3V a 5V	WCMCU H206 - DATASHEET
Dirección de viento y precipitación	Reed Switch		-----	\$ 365	-----	Analógica	1v a 100V	----

Parámetro/s	Denominación	Ilustración	Unidad	Precio	Características				Link Datasheet
					Resolución	Exactitud	Rango	Alimentación	
Rayos UV	ML8511		mW / cm2 (convertir desde V)	\$ 9.331	1nm	±1nm	280nm a 390 nm	3V a 3.3V	ML8511 - DATASHEET
	GUVA-S12SD		mW / cm2 (convertir desde V)	\$ 7.341	1nm	±1nm	240nm a 370nm	2.5V a 5V	GUVA-S12SD - DATASHEET
Calidad de aire	Mq135		ppm	\$ 4.900	1ppm	±1 ppm	1 a 1000 ppm	5V	MQ-135 - DATASHEET

Parámetro/s	Denominación	Ilustración	Observación	Precio	Características		Link Datasheet
					Alimentación	Frecuencia	
Comunicación Lo-Ra	Sx1278		Empaquetado compacto. Incluye la antena de comunicación	\$12.500	1.8 a 3.7 V	433MHz	SX1278-DATASHEET
	Ra-02 Sx1278		La provisión no incluye antena.	\$24.500	1.8 a 3.7 V	433MHz	RA-02 SX1278-DATASHEET

Anexo II: Comparación de microcontroladores comerciales

Tabla N° 17 – Anexo II: Comparación de microcontroladores comerciales.

Denominación	Ilustración	Precio	Características								Link Datasheet
			Alimentación	Dimensión	Pines		Comunicación				
					Digitales	Analógicos	Wi-Fi	Bluetooth	LoRa	Ethernet	
Arduino MEGA		\$35.800	7 V	53 x 99 mm	54	16	NO	NO	NO	NO	Arduino MEGA - DATASHEET
Arduino NANO		\$10.600	7 V	43 x 18 mm	20	8	NO	NO	NO	NO	Arduino NANO - DATASHEET
Arduino UNO		\$10.500	7 V	51 x 66 mm	21	6	NO	NO	NO	NO	Arduino UNO - DATASHEET
Blue Pill		\$20.150	5 V	23 x 53mm	26	10	NO	NO	NO	NO	STM32F103C8T6 - DATASHEET
Esp32		\$ 13.500	3,3 V	25 x 48 mm	20	18	SI	SI	NO	NO	ESP32 - DATASHEET
Esp8266		\$10.700	3,3 V	48 x 26 mm	17	1	SI	NO	NO	NO	ESP8266 - DATASHEET

Anexo III: Cálculo de consumo eléctrico

Tabla N° 18 – Anexo III: Consumo energético por modulo y total.

NOMBRE	ILUSTRATIVO	CANTIDAD	DE MEDICION			STAND-BY			TOTAL	
			$V_m[V]$	$I_m[mA]$	$P_m[mW]$	$V_{sby}[V]$	$I_{sby}[mA]$	$P_{sby}[mW]$	$P_{TxS}[mW]$	$P_{TxSxc}[mW]$
MODULO CENTRAL										
DHT22		1	5	1,5	7,5	5	0,05	0,25	7,75	7,75
BMP280		1	3,3	0,00274	0,009042	3,3	0,001	0,0033	0,012342	0,01
ESP32		1	5	240	1200	3,3	0,8	2,64	1202,64	1202,64
SX1278		1	3,3	190	627	3,3	0,001	0,0033	627,0033	627,00
MODULO DE LLUVIA										
REED SWITCH		1	5	2	10	5	0	0	10	10
SENSOR DE LLUVIA GENÉRICO		1	5	20	100	5	2	10	110	110
MODULO DE VIENTO										
REED SWITCH		2	5	2	10	5	0	0	10	20
MODULO WCMCU H206		1	5	50	250	5	0,001	0,005	250,005	250
MODULO AGRO METEOROLOGICO										
SONDA FC-28		3	5	35	175	5	2	10	185	555
DS18B20		3	5	30	150	5	0	0	150	450
MODULO DE RADIACIÓN SOLAR										
GUVA-S12SD		1	5	2	10	5	0	0	10	10
						POTENCIA DE CONSUMO [mW]			3242,41	
						POTENCIA DE CONSUMO [W]			3,24	

BATERIA LI-ION RECARGABLE - MARCA: VAPEX - MODELO: VP18650H		
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
VOLTAJE	3,7	V
CAPACIDAD	1800	mAh
ENERGIA	6.6	Wh

CALCULOS	VALOR	UNIDAD
$I_{Descarga}$	389,7	mA
$T_{Descarga}$	4,6	hs
I_{Carga}	380	mA
$Eficiencia$	0,65	%
T_{Carga}	7,3	hs

Anexo IV: Tablas de calibración

A – Sensores de temperatura DS18B20

Tabla N° 19 – Anexo IV: Calibración DS18B20.

SENSOR TEMPERATURA - DS18B20 - DHT21 - DHT22						
Mediciones sin calibrar						
Medición	Referencia [°C]	Temperaturas no calibradas [°C]				
		DS18B20 N°1	DS18B20 N°2	DS18B20 N°3	DHT21	DHT22
T alta	51	55,25	54,25	56	47	45
T baja	2,3	1	1,25	1,25	2,3	2,2
Mediciones calibradas						
Medición	Referencia [°C]	Temperaturas calibradas [°C]				
		s1	s2	s3	DHT21	DHT22
T1	21,2	20,3	20,8	20,8	21,1	21
T2	3,5	3,4	3,2	3,6	3,3	3,2
T3	43,4	41,2	42,4	41,2	43,2	43,3

B – Anemómetro

Tabla N° 20 – Anexo IV: Calibración anemómetro.

Hora [hs:min]	Velocidad [km/h]	Velocidad escalada [km/h]
07:09	0,17	5,15
07:12	0,29	8,79
07:14	0,24	7,27
07:17	0,3	9,09
07:18	0,26	7,88
07:20	0,29	8,79
07:21	0,29	8,79
07:23	0,31	9,39
07:25	0,31	9,39
07:28	0,28	8,48
07:30	0,29	8,79
07:31	0,33	10,00
07:34	0,38	11,51
07:35	0,45	13,64
07:36	0,4	12,12
07:37	0,48	14,54
07:38	0,4	12,12
07:39	0,57	17,27
07:40	0,48	14,54
07:42	0,5	15,15
07:45	0,48	14,54
07:46	0,46	13,94
07:47	0,45	13,64
07:49	0,5	15,15
07:53	0,51	15,45

C – Veleta de viento

Tabla N° 21 – Anexo IV: Calibración veleta de viento.

DIRECCIÓN	VALOR CAPTADO [V]	CONVERSIÓN [MUESTRAS]	RANGO DE DETECCIÓN	
			MENOR	MAYOR
ESE	0,19	120	10	180
ENE	0,25	190	181	218
E	0,28	228	219	345
SSE	0,39	355	346	575
SE	0,57	585	576	805
SSO	0,76	815	806	990
S	0,9	1000	991	1455
NNE	1,27	1465	1456	1670
NE	1,44	1680	1671	2175
OSO	1,84	2185	2176	2285
SO	1,93	2295	2286	2665
NNO	2,24	2675	2666	2980
N	2,47	2990	2981	3190
ONO	2,63	3200	3191	3530
NO	2,81	3540	3531	3900
O	2,97	3910	3901	4095

D – Sensores de humedad ambiente

Tabla N° 22 – Anexo IV: Calibración DHT21.

Hora [Hs:min]	Temperatura [°C]	Humedad [%]
22:24	32	76,1
22:29	32,7	76,1
22:32	32,9	76,1
22:35	33,1	76,1
22:38	33,1	76,1
22:41	33,2	76,1
22:44	33,3	76,2
22:47	33,5	76,3
22:50	33,6	76,3
22:53	33,7	76,4
22:56	33,7	76,4
22:59	33,8	76,3
23:02	33,9	76,3
23:05	34	76,3
23:08	34	76,3
23:11	34,1	76,5
23:14	34,1	76,5
23:17	34,1	76,4
23:20	34,2	76,5
23:23	34,2	76,5
23:26	34,2	76,5

Hora [Hs:min]	Temperatura [°C]	Humedad [%]
23:29	34,2	76,5
23:32	34,2	76,6
23:35	34,2	76,3
23:38	34,2	76,5
23:41	34,2	76,7
23:44	34,2	76,6
23:47	34,2	76,6
23:50	34,1	76,6
23:53	34,1	76,6
23:56	34	76,7
23:59	34	76,6
00:02	34	76,7
00:05	34	76,9
00:08	33,9	76,6
00:11	33,9	76,8
00:14	33,8	76,7
00:17	33,7	76,7
00:20	33,7	77,1
00:23	33,6	77,1
00:26	33,6	77,1
00:29	33,6	77,1

Tabla N° 23 – Anexo IV: Calibración DHT22.

Hora [Hs:min]	Temperatura [°C]	Humedad [%]
22:24	32,3	76,1
22:29	32,5	76,1
22:32	32	76
22:35	33,6	76
22:38	33,7	76,1
22:41	33,5	76,1
22:44	33,5	76
22:47	33,4	76,3
22:50	33,6	76,3
22:53	33,8	76,9
22:56	33,2	76
22:59	33,9	76,1
23:02	33,9	76,1
23:05	34	76,1
23:08	34	76,1
23:11	34,2	76,5
23:14	34,6	76,5
23:17	34,9	76,2
23:20	34,9	76,7
23:23	34,9	76,7
23:26	34,9	76,6

Hora [Hs:min]	Temperatura [°C]	Humedad [%]
23:29	34,8	77
23:32	34,8	77
23:35	34,8	76
23:38	34,7	76,5
23:41	34,7	77,6
23:44	34,7	76,8
23:47	34,7	77
23:50	34,5	77,1
23:53	34,5	77,5
23:56	33,8	77,55
23:59	33,8	77,3
00:02	34,5	77,6
00:05	34,4	77,6
00:08	34,2	77,55
00:11	34	77,55
00:14	33,8	76,5
00:17	33,7	77,6
00:20	33,5	77,6
00:23	33,3	77,6
00:26	33,3	77,6
00:29	33,3	77,6

E – Sensores de humedad de suelo

Tabla N° 24 – Anexo IV: Calibración sensores de humedad de suelo.

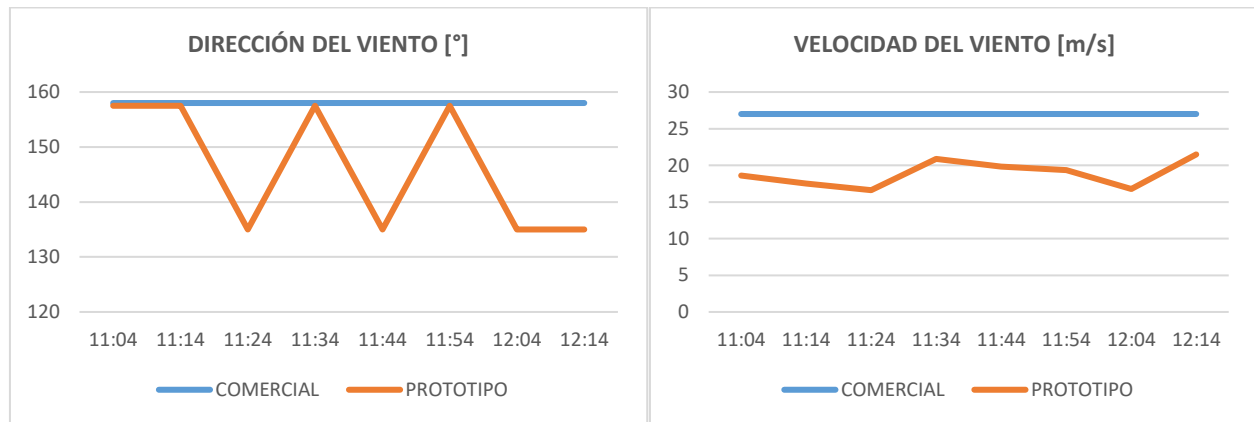
SENSOR HUMEDAD DE SUELO - YL-38 Y SONDA YL-69 -				
Mediciones sin calibrar sin aplicación de filtros y led testigo activado				
Medición	Referencia [%]	Humedades no calibradas [%]		
		s1 [5cm]	s2 [15cm]	s3 [30cm]
H alta	100	60	57	37
H baja	0	49	35	0
Mediciones sin calibrar sin aplicando filtro y led obstruido				
Medición	Referencia [%]	Humedades no calibradas [%]		
		s1 [5cm]	s2 [15cm]	s3 [30cm]
H alta	100	50	20	37
H baja	0	29	15	0
Mediciones calibradas				
Medición	Referencia [%]	Humedades calibradas [%]		
		s1 [5cm]	s2 [15cm]	s3 [30cm]
H alta	100	100	100	100
H baja	0	3	0	0

Anexo V: Datos de contraste con estación comercial

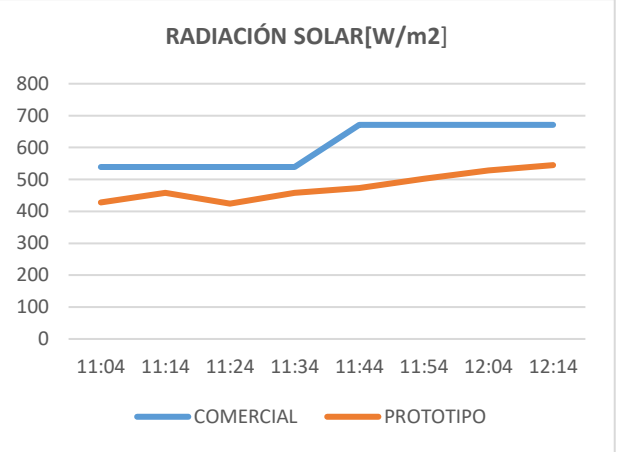
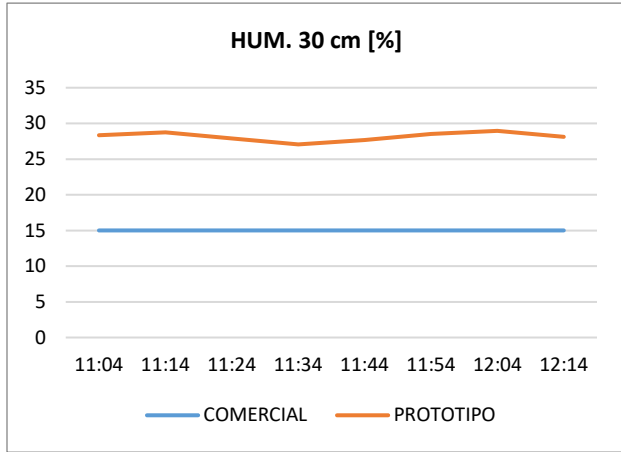
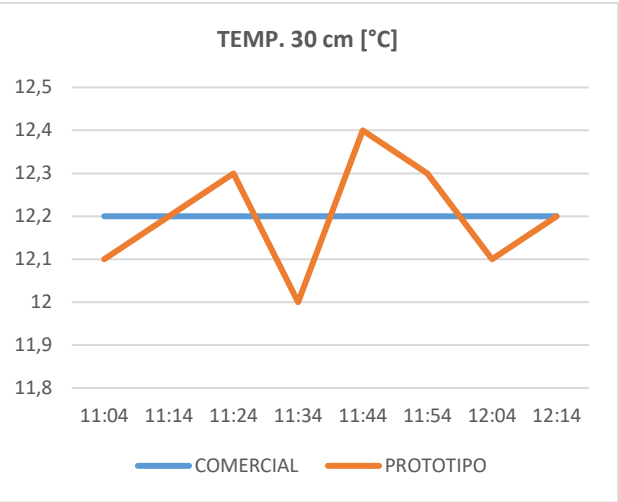
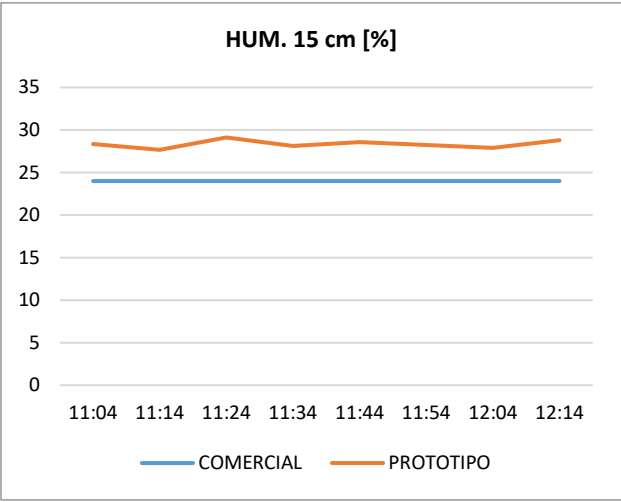
Mediciones 13-09-2025

Tabla N° 25 – Anexo IV: Contraste 13-09-2025 y gráficos derivados.

Toma de datos 13/9/2025													
Tiempo	Dirección del viento [°]	Velocidad del viento [km/hr]	Humedad [%]	Temperatura [°C]	Presión [hPa]	Temp. 5 cm [°C]	Hum 5 cm [%]	Temp. 15 cm [°C]	Hum 15 cm [%]	Temp. 30 cm [°C]	Hum 30 cm [%]	Rad. UV [W/m2]	Rad. Solar [W/m2]
ESTACIÓN METEOROLOGICA COMERCIAL DAVIS Vantage Pro2													
09:00	225	5	54	16,4	890,82	11,1	23	12,8	24	12,2	15	0	134
10:00	158	10	41	23,4	890,95	11,1	23	12,8	24	12,2	15	0	375
11:00	158	27	38	25,4	890,15	12,2	22	12,8	24	12,2	15	0	539
12:00	158	27	37	27,4	889,84	13,3	21	12,8	24	12,2	15	0	671
PROTOTIPO ESTACION METEOROLOGICA													
11:04	157,5	18,60	37,9	25,1	891,2	12,3	26,32	12,9	28,34	12,1	28,32	21,42	428
11:14	157,5	17,51	38,1	25,3	888,7	12,1	25,65	12,7	27,66	12,2	28,74	22,9075	458
11:24	135	16,61	37,5	25,6	884,5	12,4	27,10	12,6	29,12	12,3	27,90	21,2075	424
11:34	157,5	20,90	37,2	25,7	879,8	12,2	25,87	12,8	28,11	12	27,06	22,9075	458
11:44	135	19,85	36,9	25,4	875,3	12	25,31	12,95	28,56	12,4	27,69	23,63	473
11:54	157,5	19,36	37,6	25,2	870,1	13,1	27,66	12,85	28,22	12,3	28,53	25,1175	502
12:04	135	16,76	38	26,9	868,9	13,3	28,45	12,7	27,89	12,1	28,95	26,3925	528
12:14	135	21,49	37,3	27,1	871,7	13,5	29,12	12,6	28,78	12,2	28,11	27,2425	545







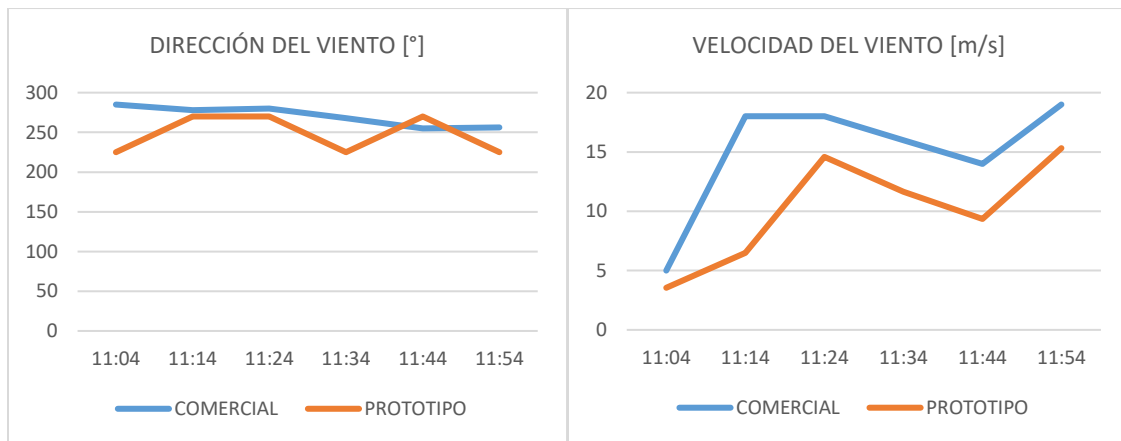
Mediciones 14-09-2025

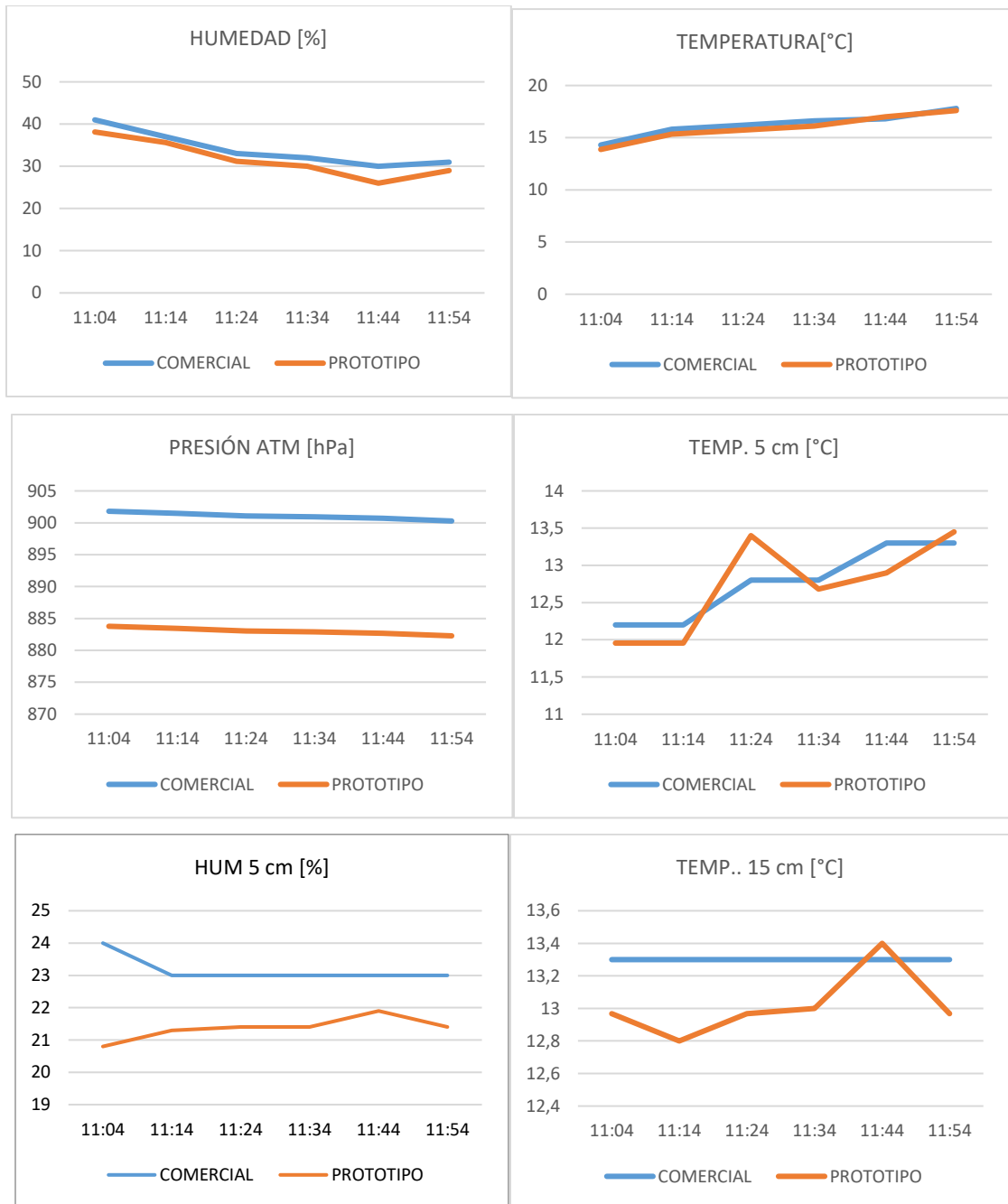
Tabla N° 26 – Anexo IV: Contraste 14-09-2025 y graficas derivadas.

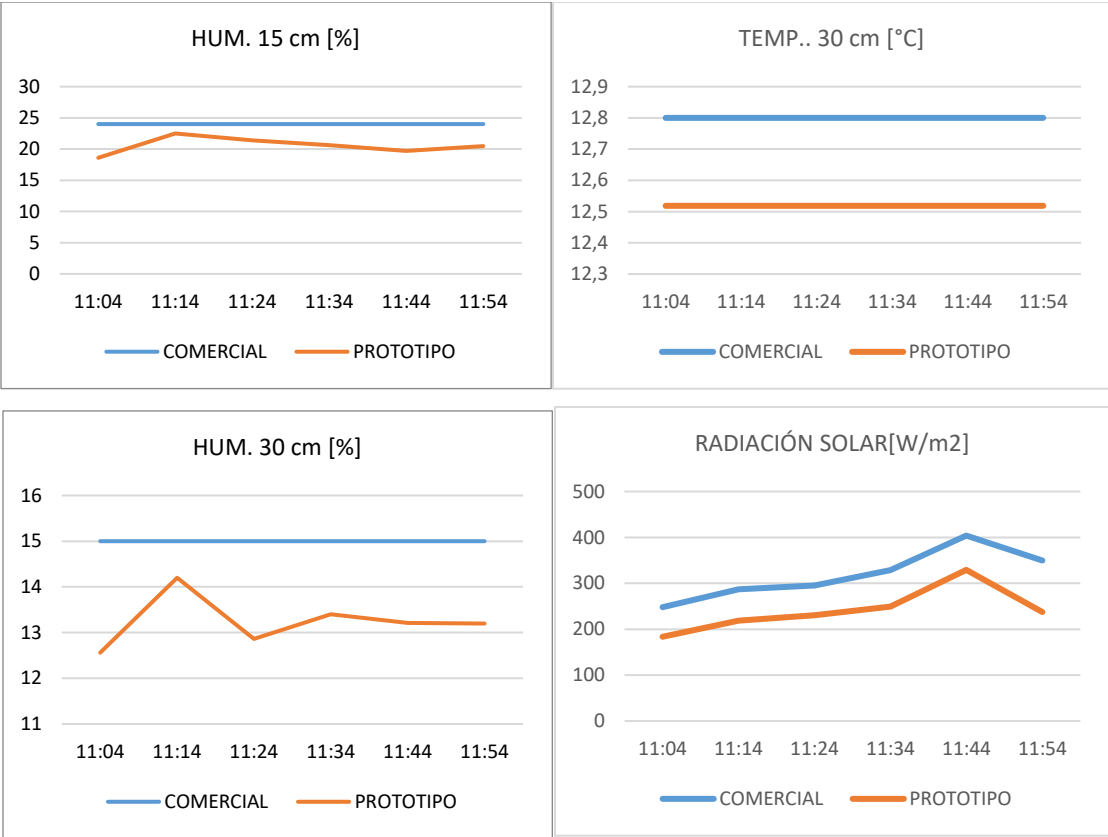
14/9/2025													
Tiempo	Dirección del viento [°]	Velocidad del viento [km/hr]	Humedad [%]	Temperatura [°C]	Presión [hPa]	Temp. 5 cm [°C]	Hum 5 cm [%]	Temp. 15 cm [°C]	Hum 15 cm [%]	Temp. 30 cm [°C]	Hum 30 cm [%]	UV	Rad, Solar [W/m²]

ESTACIÓN METEOROLOGICA COMERCIAL DAVIS Vantage Pro2													
10:20	285	5	41	14,3	901,81	12,2	24	13,3	24	12,8	15	0	248
10:40	278	18	37	15,8	901,46	12,2	23	13,3	24	12,8	15	0	287
11:00	280	18	33	16,2	901,08	12,8	23	13,3	24	12,8	15	0	295
11:20	268	16	32	16,6	900,92	12,8	23	13,3	24	12,8	15	0	329
11:40	255	14	30	16,8	900,7	13,3	23	13,3	24	12,8	15	0	404
12:00	256	19	31	17,8	900,28	13,3	23	13,3	24	12,8	15	0	350

PROTOTIPO ESTACION METEOROLOGICA													
10:20	225	3,55	38,13	13,87	883,77	11,96	20,8	12,97	18,6	12,52	12,56	9,18	183,6
10:40	270	6,48	35,60	15,33	883,43	11,96	21,3	12,80	22,5	12,52	14,20	10,93	218,6
11:00	270	14,58	31,20	15,71	883,06	13,40	21,4	12,97	21,4	12,52	12,86	11,52	230,4
11:20	225	11,65	30,00	16,10	882,90	12,68	21,4	13,00	20,64	12,52	13,40	12,48	249,6
11:40	270	9,34	26,00	17,00	882,69	12,90	21,9	13,40	19,7	12,52	13,21	16,47	329,3
12:00	225	15,32	29,00	17,60	882,27	13,45	21,4	12,97	20,45	12,52	13,20	11,86	237,2







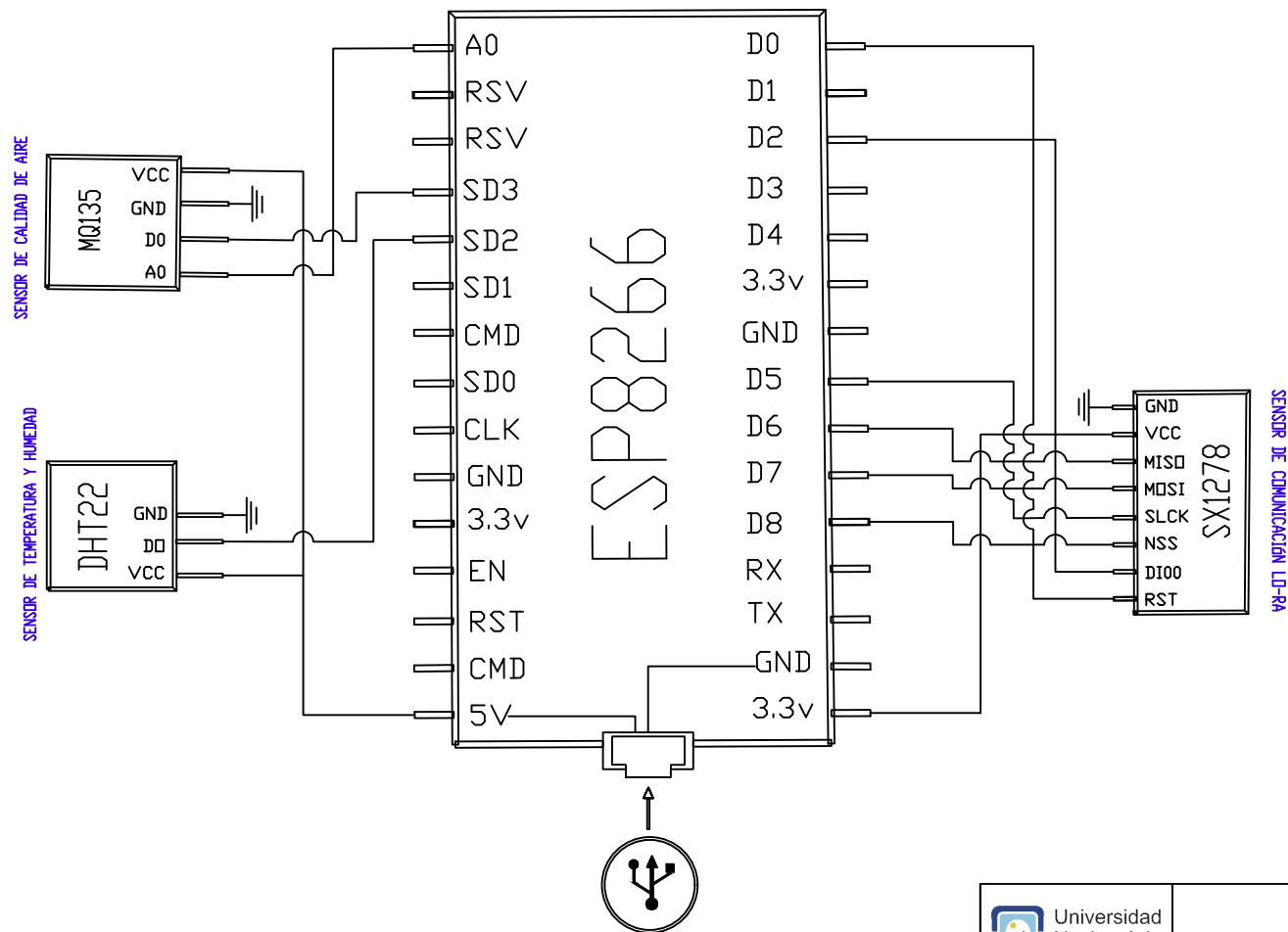
Anexo VI: Repositorio de códigos de programación

En el siguiente link se encuentra el repositorio con los tres códigos principales, pertenecientes a los microcontroladores ESP32 y ESP8266, y el código de node red con para el host local.

Repositorio disponible en: [DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA MODULAR Y ECONÓMICA PARA MONITOREO EN TIEMPO REAL](#)

Anexo VII: Planos dimensionales

CONEXIÓN SENSORES MCI



PINES LO-RA		
N°	SX1278	ESP8266
1	RST	D0
2	DIO0	D2
3	NSS	D8
4	SLCK	D5
5	MOSI	D7
6	MISO	D6
7	VCC	3.3v
8	GND	GND

TABLA CONEXIÓN LO-RA

PINES MQ135		
N°	MQ135	ESP8266
1	VCC	5V
2	GND	GND
3	DO	SD3
4	A0	A0

TABLA BORNERA MQ135

PINES DHT22		
N°	DHT22	ESP8266
1	VCC	5V
2	GND	GND
3	DO	SD2

TABLA BORNERA DHT22

* LA ALIMENTACIÓN SE REALIZA CON UN USB MICRO B



MODULO INTERIOR

CONEXIONADO GENERAL

PLANOS
ELÉCTRICOS

R: 00



ESCALA: N/A

Δ CAMBIOS

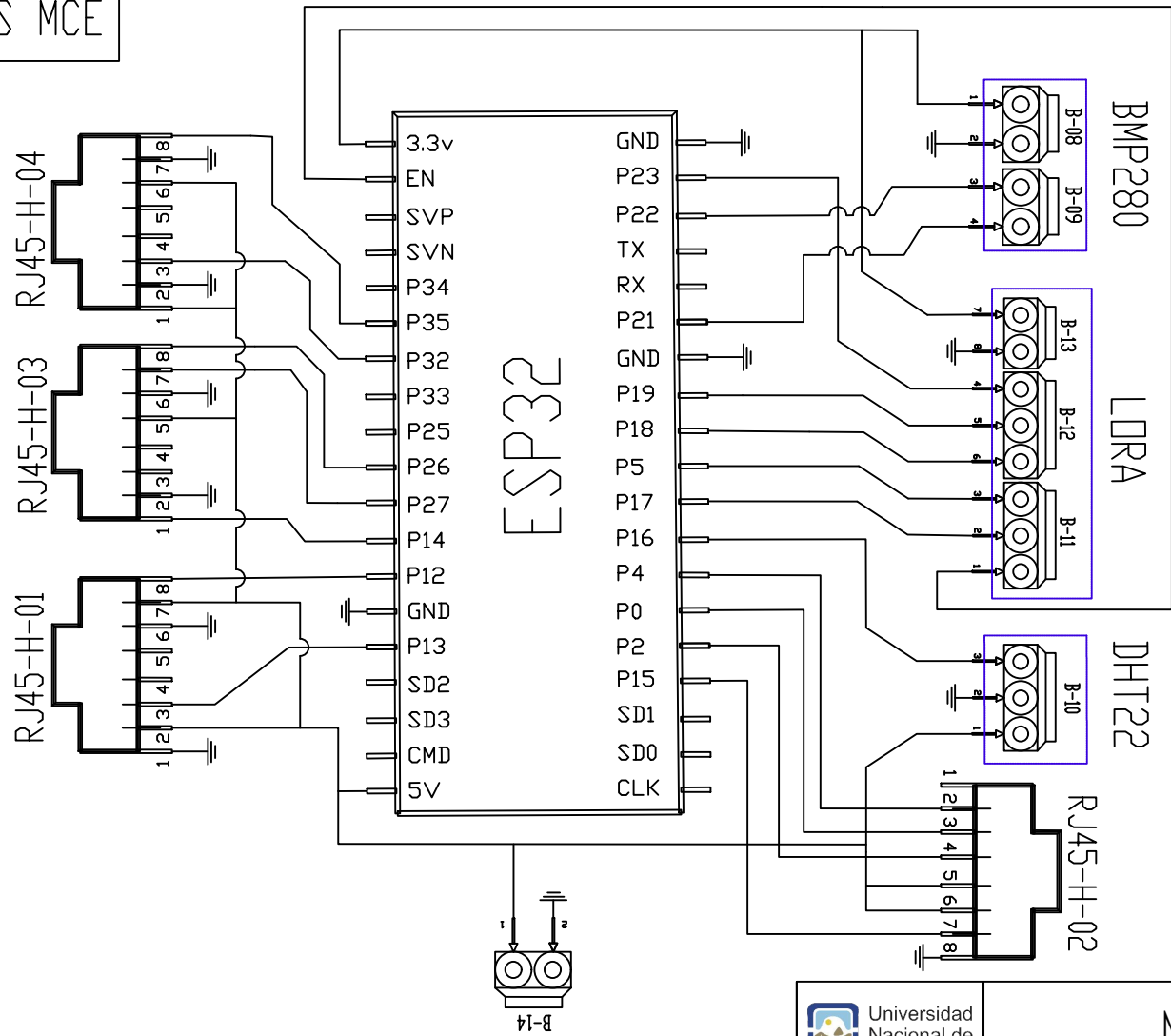
FRANCO DEBORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real

DISEÑO: FGD

FECHA: 27/9/2025

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

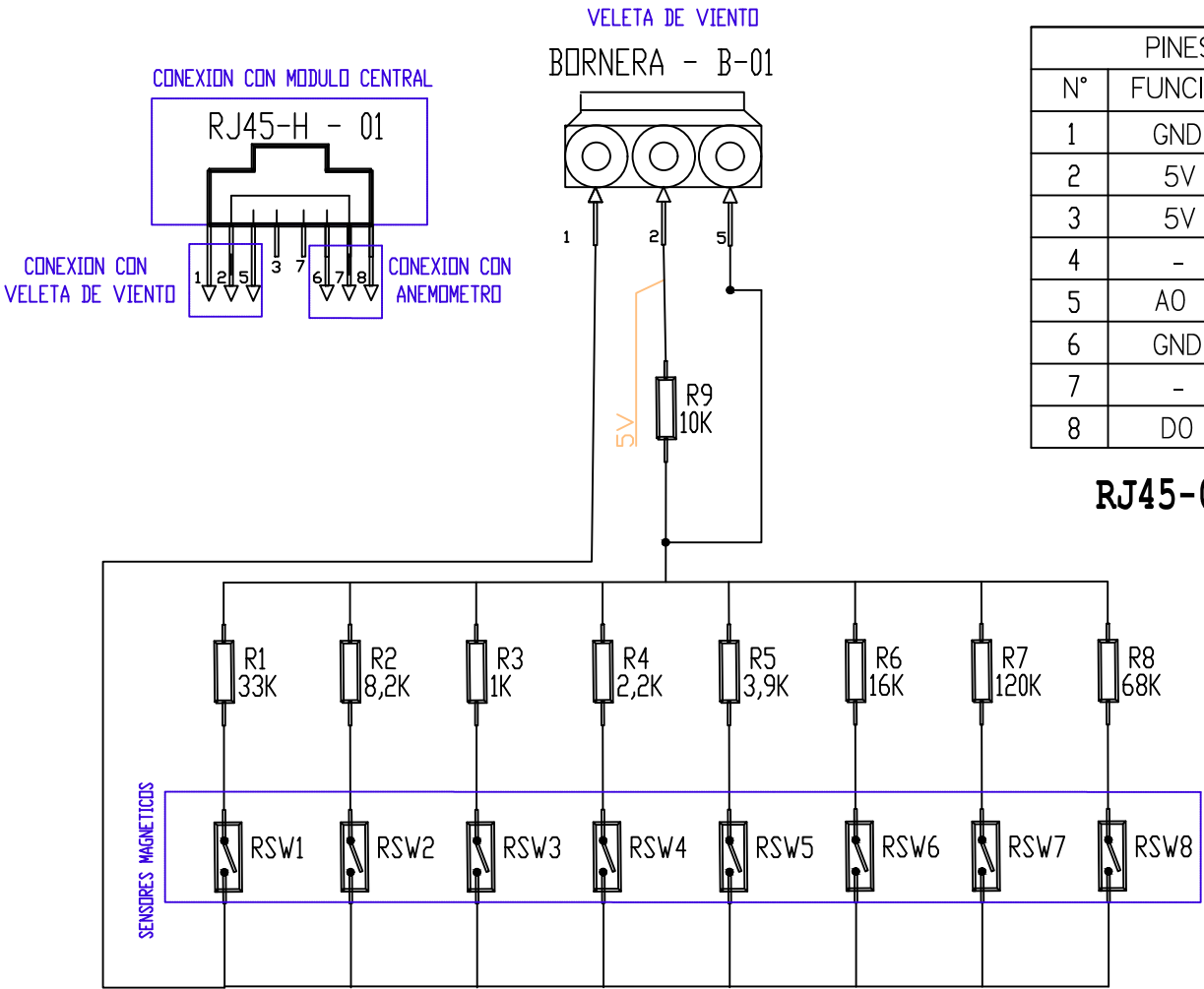
CONEXIÓN BORNERAS MCE



 Universidad Nacional de San Luis		MODULO EXTERIOR			
 Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias		CONEXIONADO GENERAL			
PLANOS ELÉCTRICOS	R: 00	 ESCALA: N/A	FRANCO DEBORTOLI TRABAJO FINAL INTEGRADOR Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real		
	H: 2 DE 7	 CAMBIO	DISEÑO: FGD	FECHA: 27/9/2025	

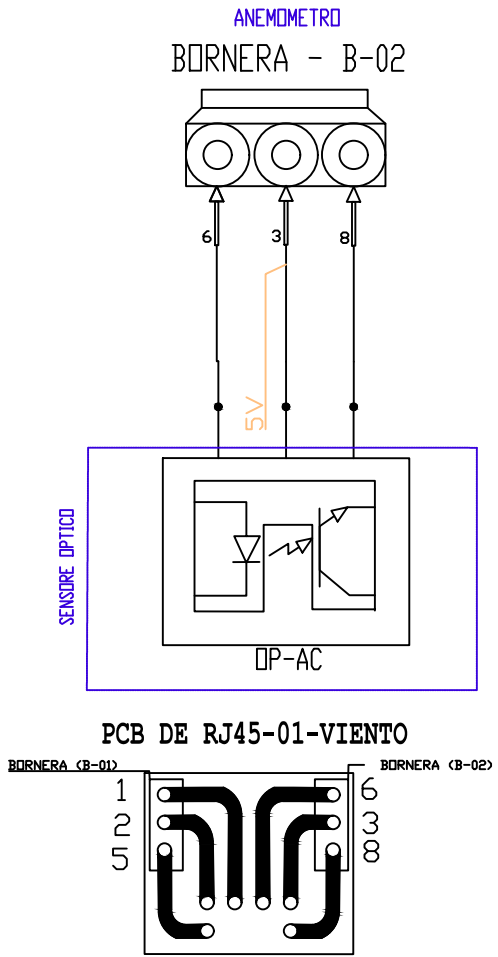
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

CONEXIÓN CON MODULO VIENTO



PINES RJ45 - 01			
N°	FUNCIÓN	I / O	PIN
1	GND	I	GND
2	5V	I	5V
3	5V	I	5V
4	-	-	-
5	A0	O	PI3
6	GND	I	GND
7	-	-	-
8	DO	O	PI2

RJ45-01-VIENTO



MODULO DE VIENTO

CONEXIONADO GENERAL

PLANOS
ELÉCTRICOS

R: 00

ESCALA: N/A

H 3 DE 7

Δ CAMBIOS

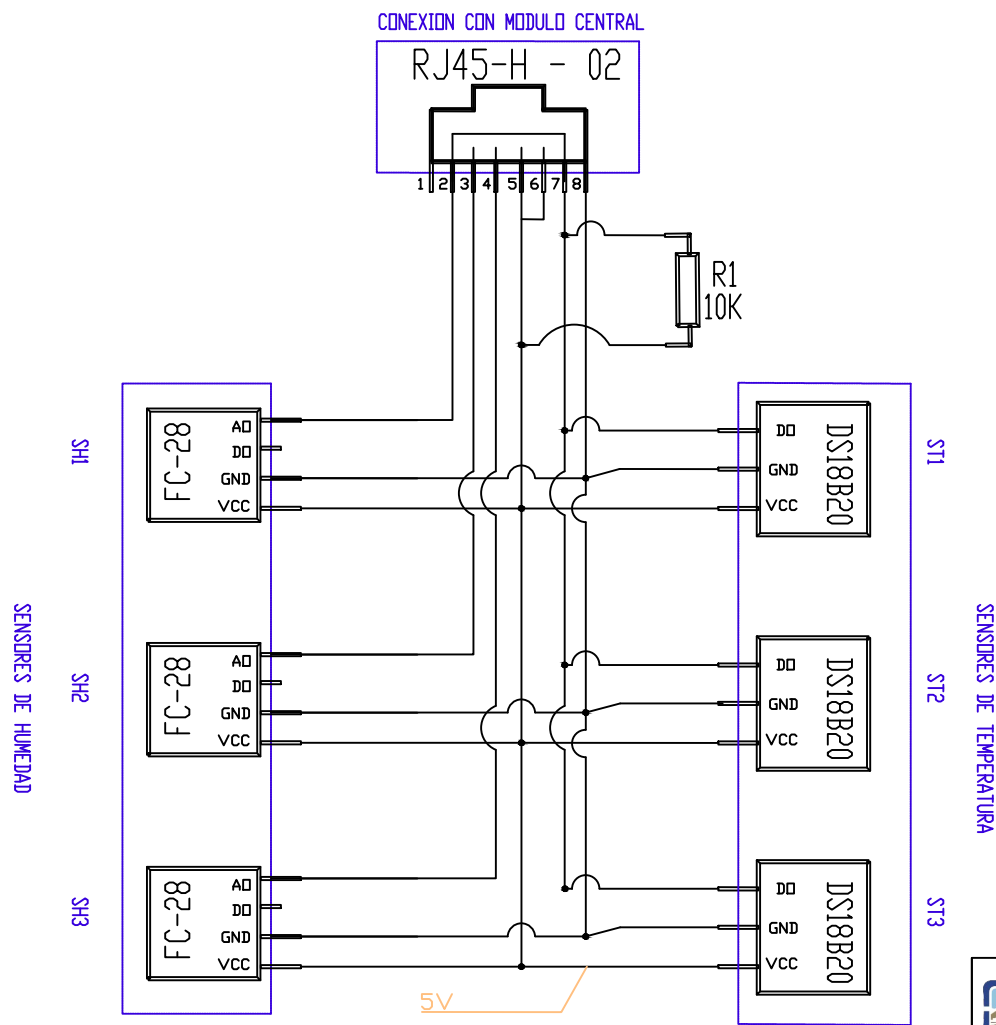
FRANCO DEBORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real

DISEÑO: FGD

FECHA: 27/9/2025

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

CONEXIÓN CON MODULO AGRO METEOROLÓGICO



* NO HAY PCB DE RJ45 PORQUE ESTÁ INCLUIDA EN LA PCB

RJ45-02-AGRO

PINES RJ45 - 02			
N°	FUNCIÓN	I / O	PIN
1	-	-	-
2	A0 - SH1	0	P2
3	A0 - SH2	0	P4
4	A0 - SH3	0	P0
5	5V	I	5V
6	5V	I	5V
7	GND	I	GND
8	BUS - ST	0	PI5



MODULO AGROMETEOROLOGICO

CONEXIONADO GENERAL

PLANOS
ELÉCTRICOS

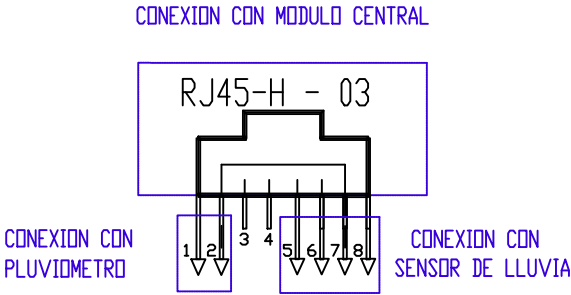
R: 00
H: 4 DE 7



FRANCO DEBORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real
DISEÑO: FGD
FECHA: 27/9/2025

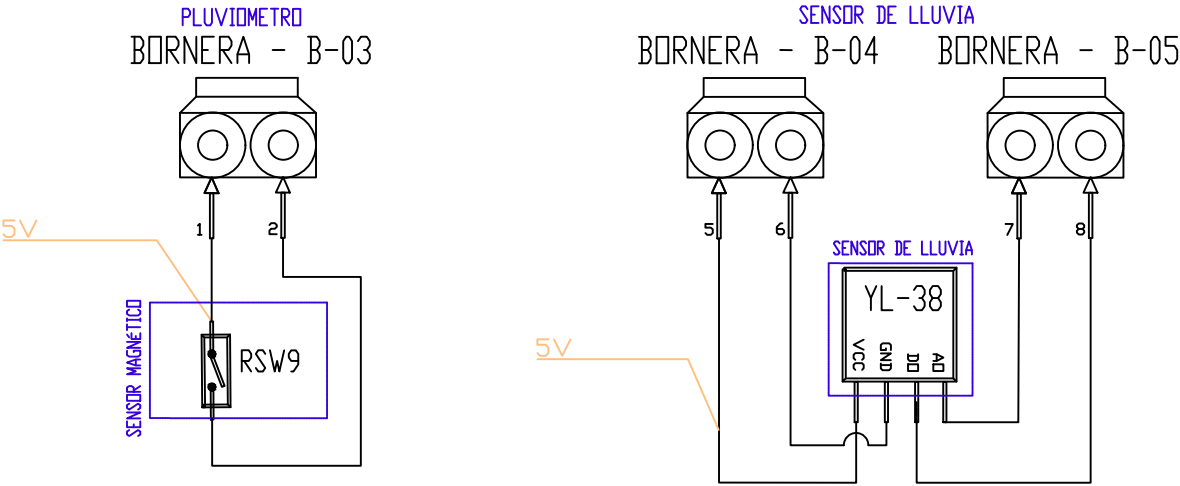
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

CONEXIÓN CON MODULO DE LLUVIA

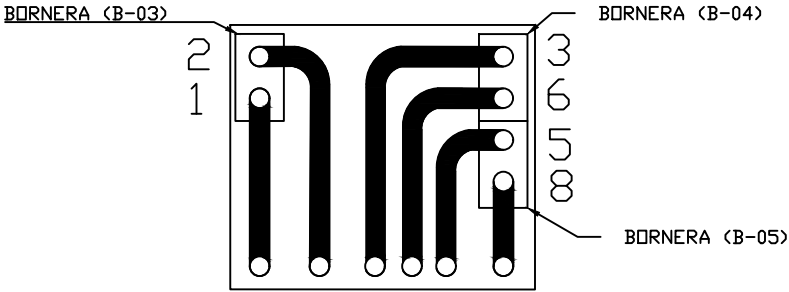


PINES RJ45 - 03			
N°	FUNCIÓN	I / O	PIN
1	D0	0	PI4
2	GND	I	GND
3	A0	0	P27
4	-	-	-
5	D0	0	P26
6	GND	I	GND
7	-	-	-
8	5V	I	5V

RJ45-03-LLUVIA



PCB DE RJ45-03-LLUVIA



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

MODULO DE LLUVIA

CONEXIONADO GENERAL

PLANOS
ELÉCTRICOS

R: 00



ESCALA: N/A

H: 5 DE 7

Δ CAMBIOS

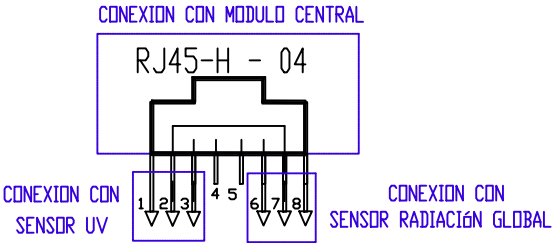
DISEÑO: FGD

FECHA: 27/9/2025

FRANCO DEBORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica
para monitoreo en tiempo real

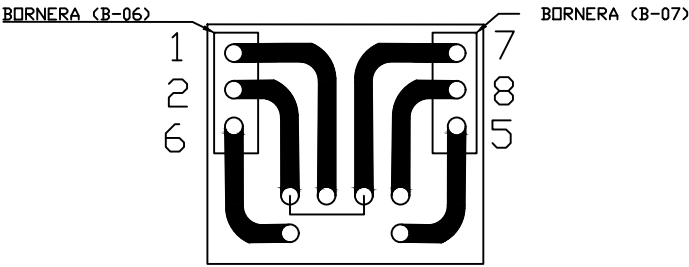
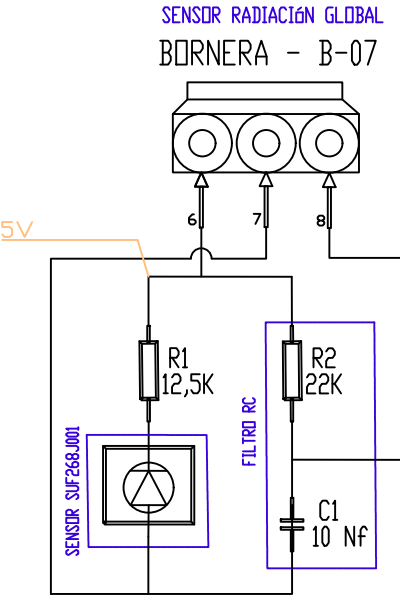
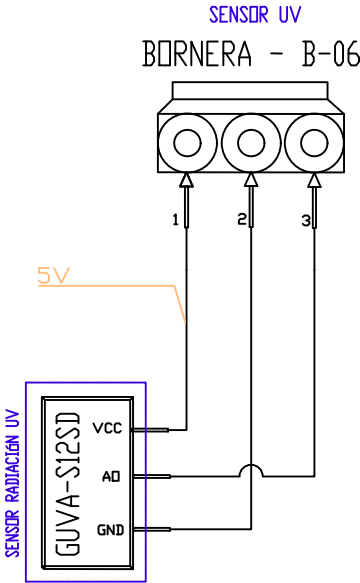
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

CONEXIÓN CON MODULO RADIACIÓN



PINES RJ45 - 04			
N°	FUNCIÓN	I / O	PIN
1	GND	I	GND
2	5V	I	5V
3	-	-	-
4	-	-	-
5	A0	O	P35
6	A0	O	P32
7	GND	I	GND
8	5V	I	5V

RJ45-04-RADIACIÓN



PCB DE RJ45-04-RADIACIÓN



MODULO DE RADICIÓN

CONEXIONADO GENERAL

PLANOS
ELÉCTRICOS

R: 00



ESCALA: N/A



CAMBIOS

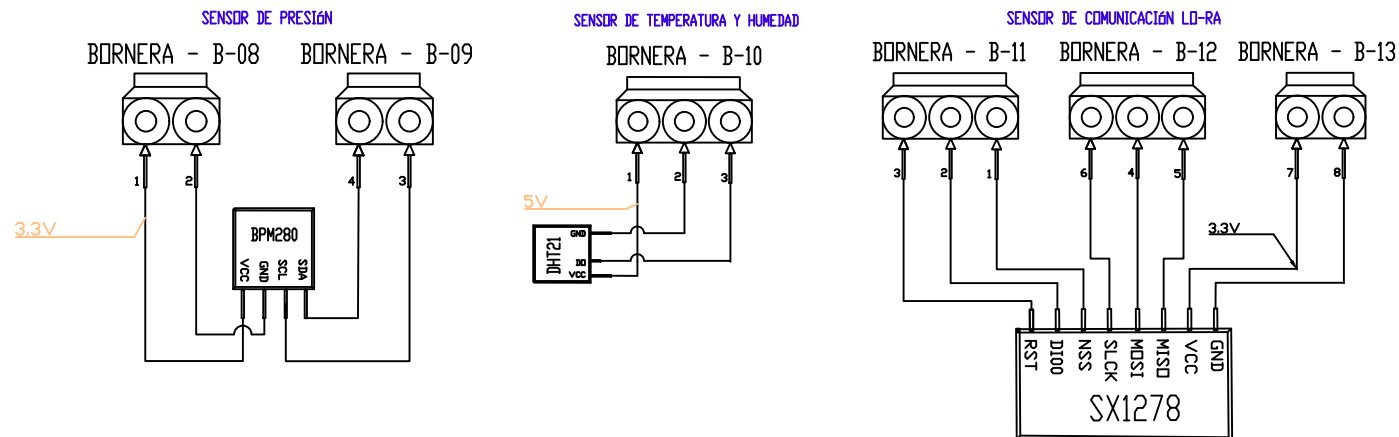
FRANCO DEBORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real

DISEÑO: FGD

FECHA: 27/9/2025

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

CONEXIÓN SENSORES MCE



PINES BMP280		
N°	BORNERA	PIN
1	B-08	3.3V
2	B-08	GND
3	B-09	P22
4	B-09	P21

TABLA BORNERA BMP280

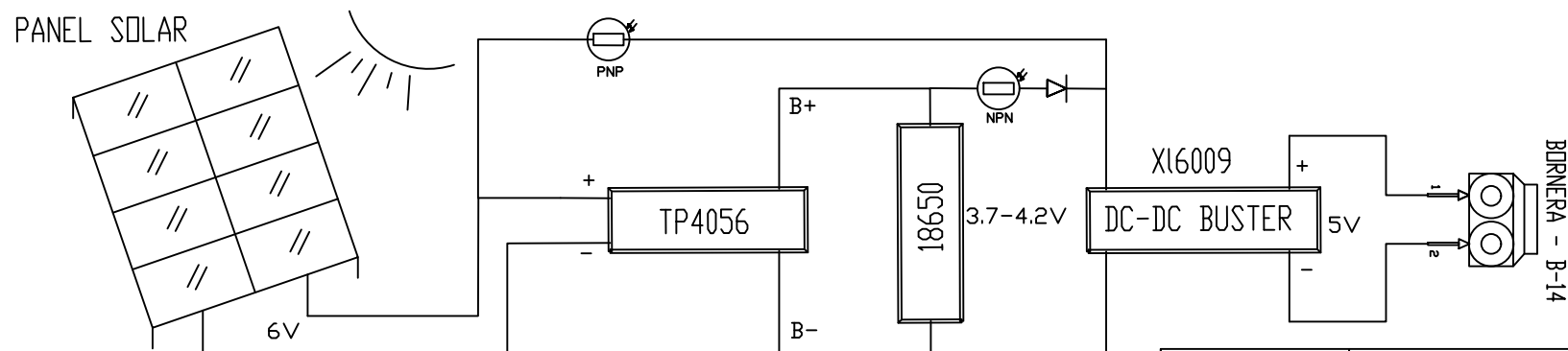
PINES DHT21		
N°	BORNERA	PIN
1	B-10	5V
2	B-10	GND
3	B-10	PI6

TABLA BORNERA DHT21

PINES LO-RA		
N°	BORNERA	PIN
1	B-11	P5
2	B-11	PI7
3	B-11	EN
4	B-12	P23
5	B-12	PI9
6	B-12	PI8
7	B-13	3.3v
8	B-13	GND

TABLA BORNERA LO-RA

MODULO DE ENERGIA



PINES ENERGIA		
N°	BORNERA	PIN
1	B-14	Vin
2	B-14	GND

TABLA BORNERA ENERGIA

* NO HAY PCB DE RJ45 PORQUE ESTÁ INCLUIDA EN PLACADEL MODULO CENTRAL EXTERIOR



Universidad Nacional de San Luis



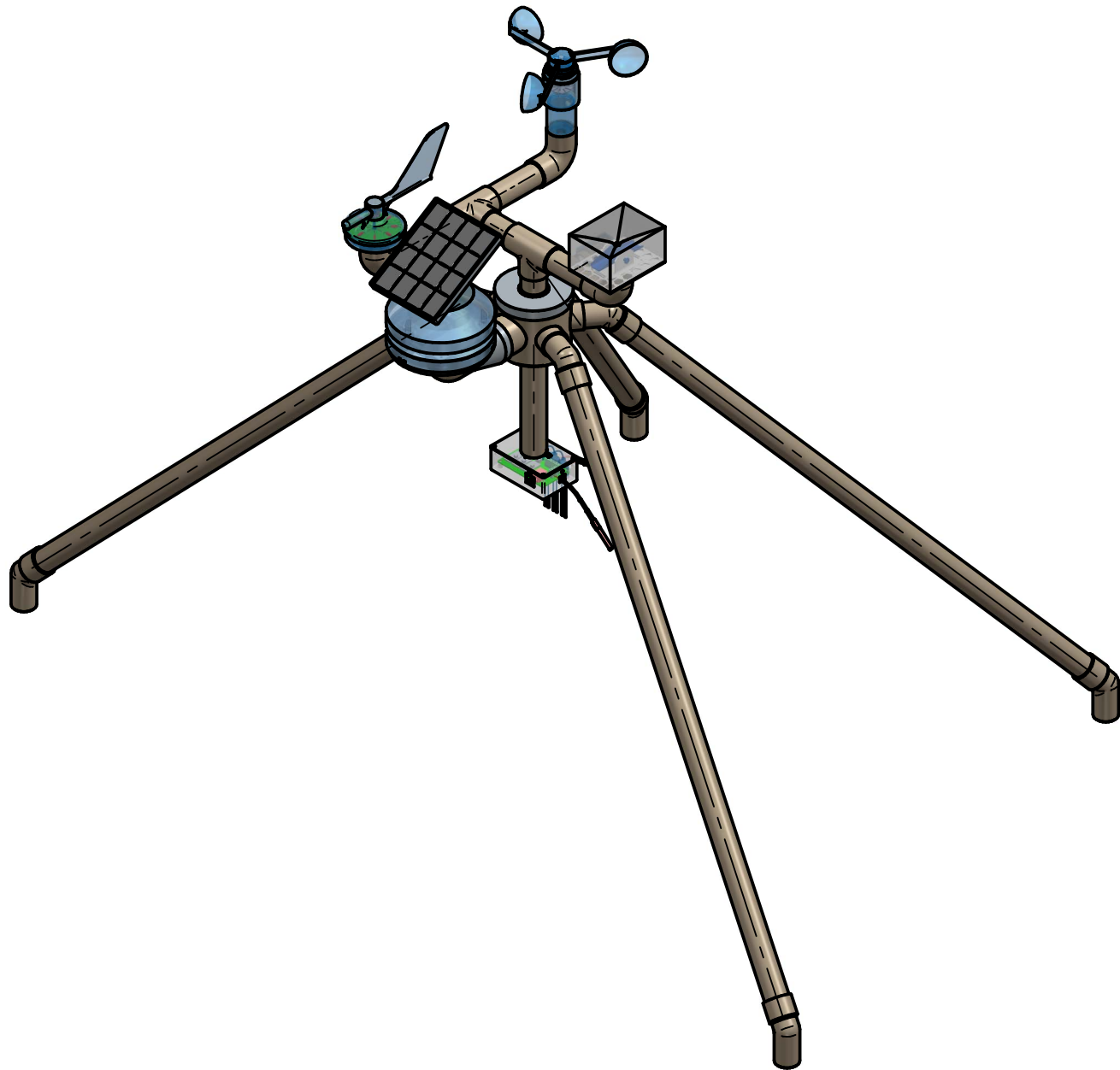
FICA Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

MODULO DE ENERGIA - SENSORES MCE

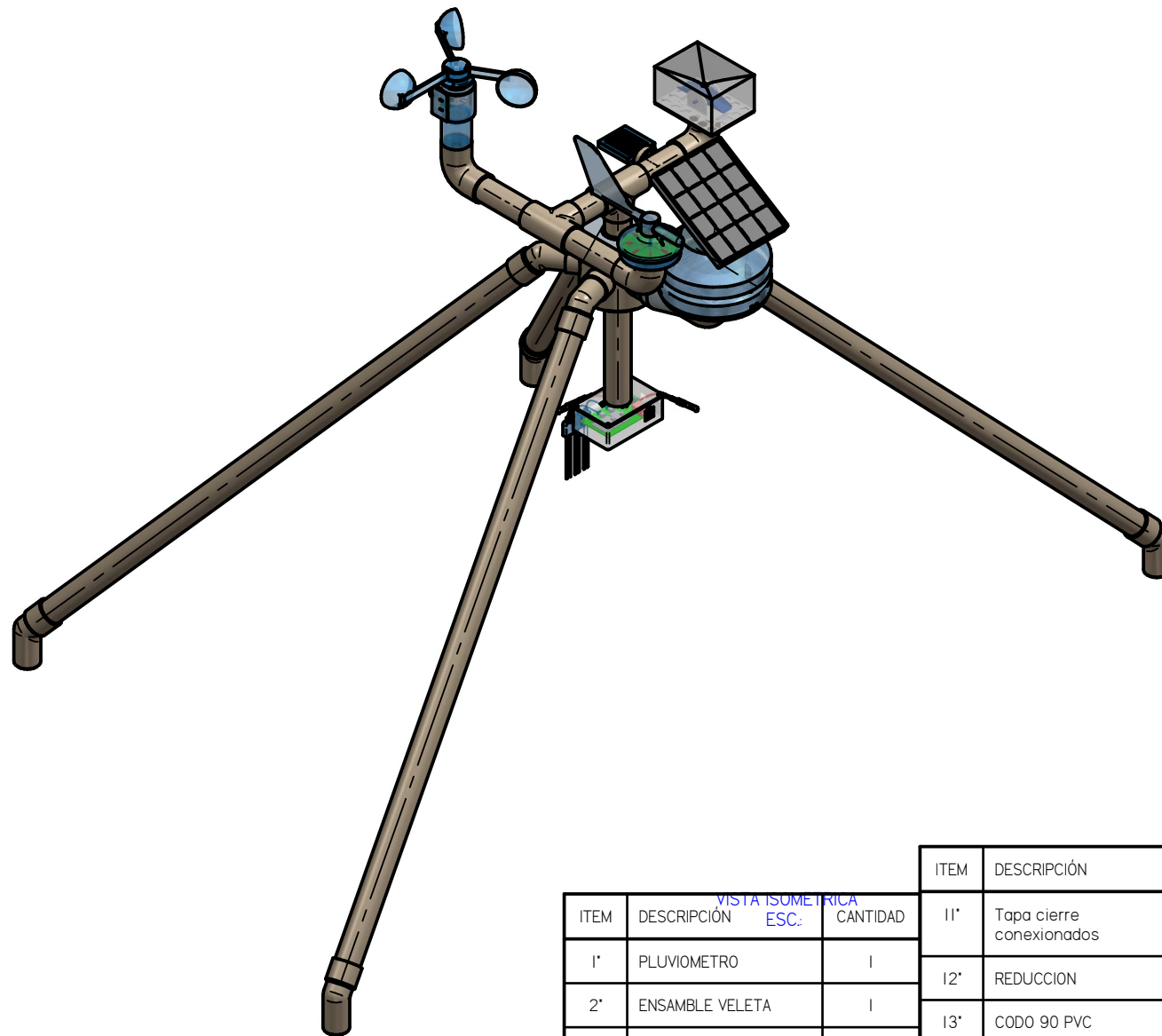
CONEXIONADO GENERAL

PLANOS ELÉCTRICOS	R: 00	 ESCALA: N/A	FRANCO DEBORTOLI TRABAJO FINAL INTEGRADOR Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real
H: 7 DE 7	 CAMBIO	DISEÑO: FGD	FECHA: 27/9/2025

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.



VISTA ISOMETRICA
ESC.:



ITEM			ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
11*	Tapa cierre conexionados	1	1*	PLUVIOMETRO	1
12*	REDUCCION	1	2*	ENSAMBLE VELETA	1
13*	CODO 90 PVC	4	3*	ENSAMBLE ANEMOMETRO	1
14*	CORTE CAÑO PVC 40	4	4*	ENSAMBLE AGROMETOROLOGICO	1
15*	CORTE CAÑO PVC 40	1	5*	ABRIGO METEOROLOGICO	1
16*	CORTE CAÑO PVC 40	1	6*	ENSAMBLE MCE	1
17*	CORTE CAÑO PVC 40	1	7*	CONJUNTO RECEPTOR	1
18*	CORTE CAÑO PVC 40	1	8*	curva 45 PVC	8
19*	CORTE CAÑO PVC 40	1	9*	base pvc	1
20*	CORTE CAÑO PVC 40	1	10*	TEE PVC	2
21*	CORTE CAÑO PVC 40	1	22*	CORTE CAÑO PVC 40	1
22*	CORTE CAÑO PVC 40	1	TABLA DE MATERIALES		
TABLA DE MATERIALES			TABLA DE MATERIALES		



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

ESTACION METEOROLOGICAR

ENSAMBLE - DIMESNIONES GENERALES

PLANOS
MECÁNICOS

R: 00

H: 1 de 2

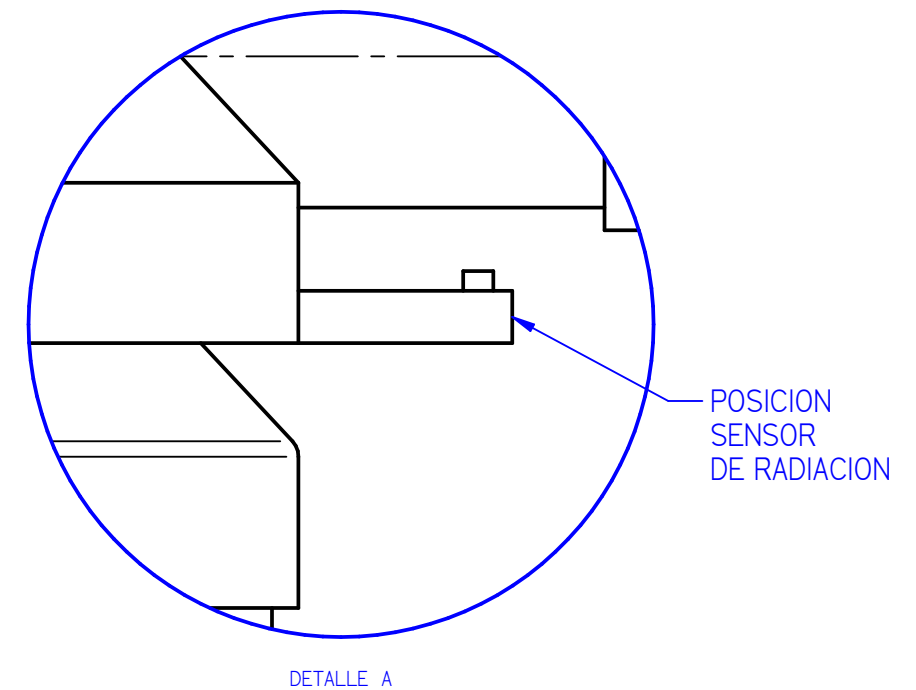
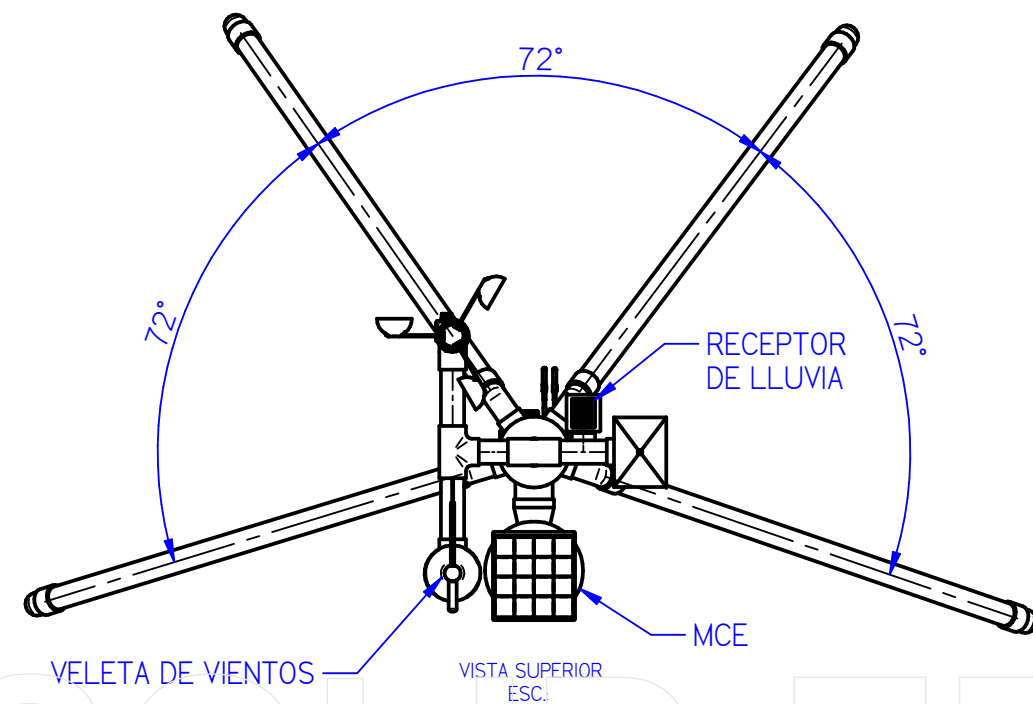
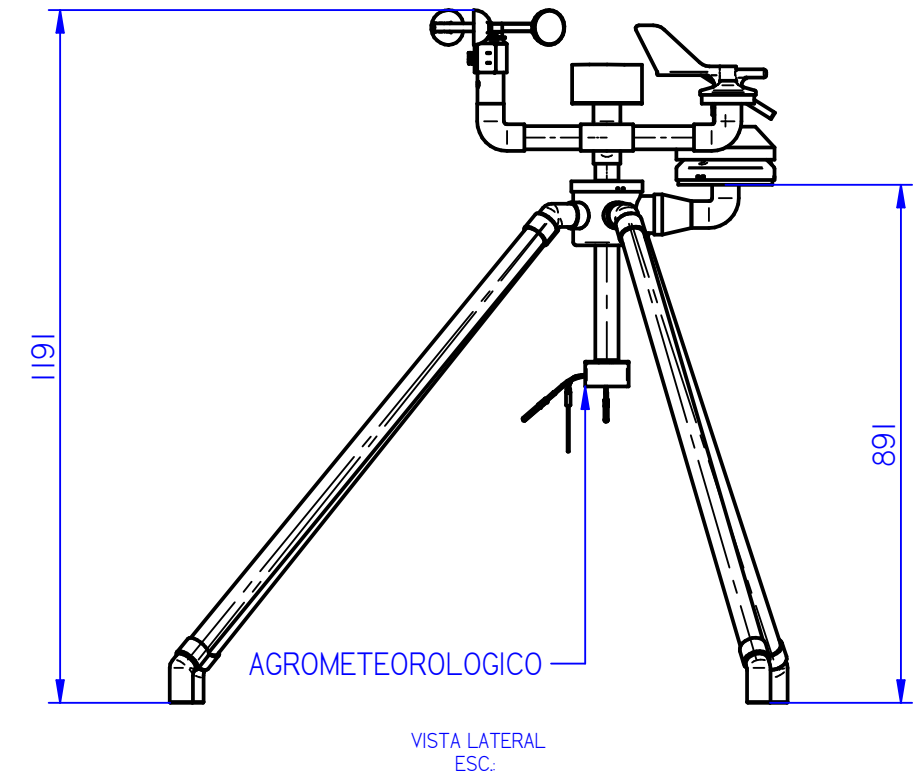
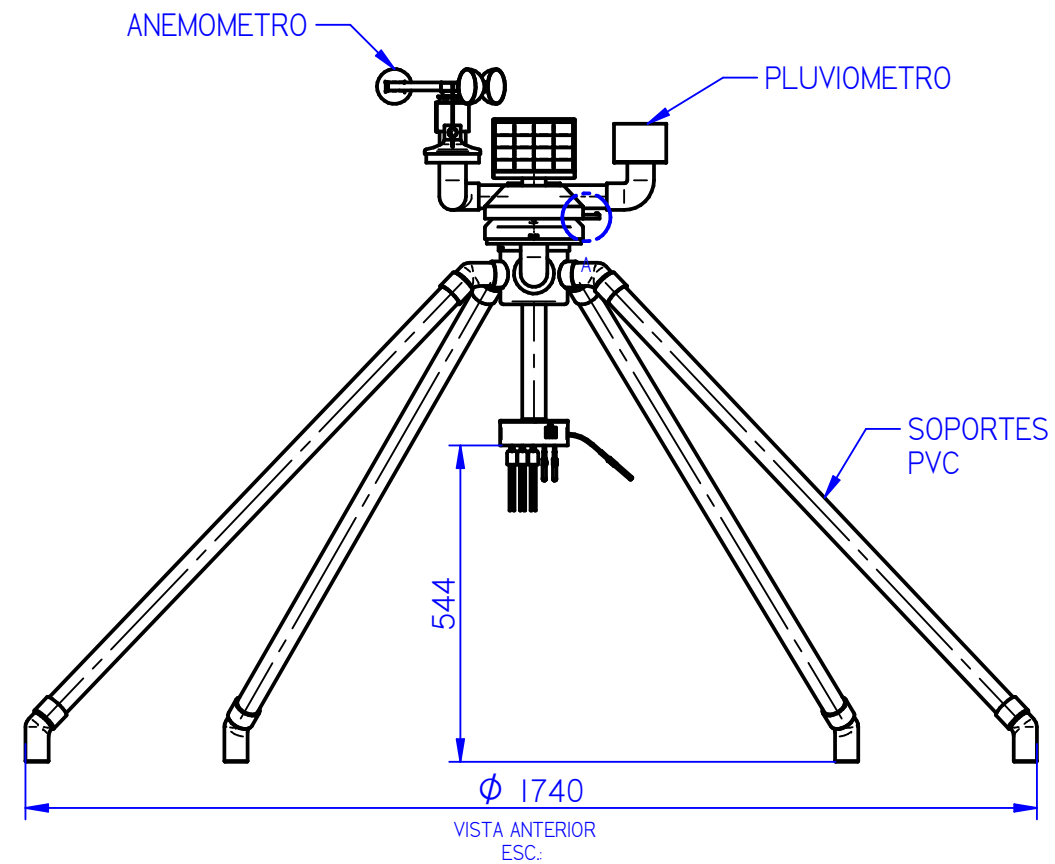
ESCALA

CAMBIO

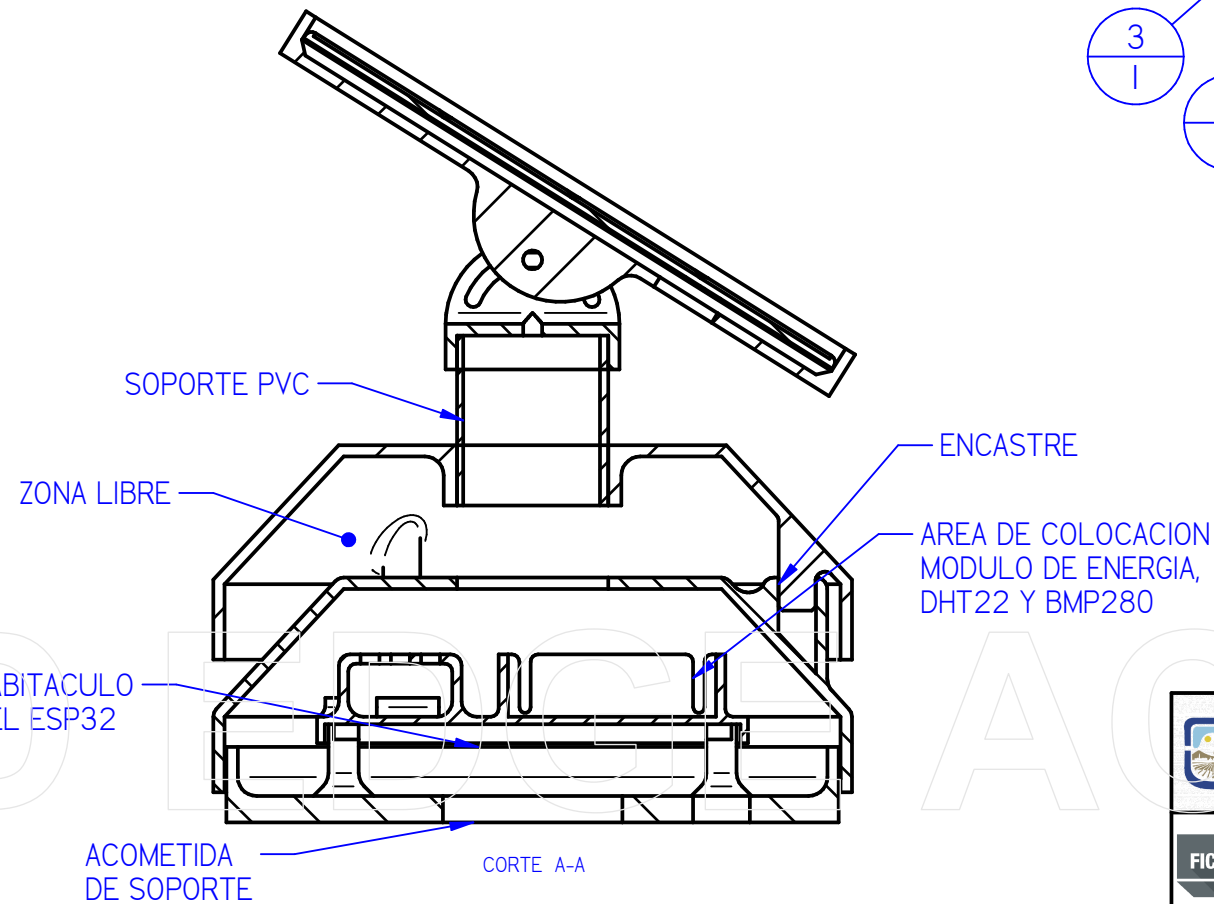
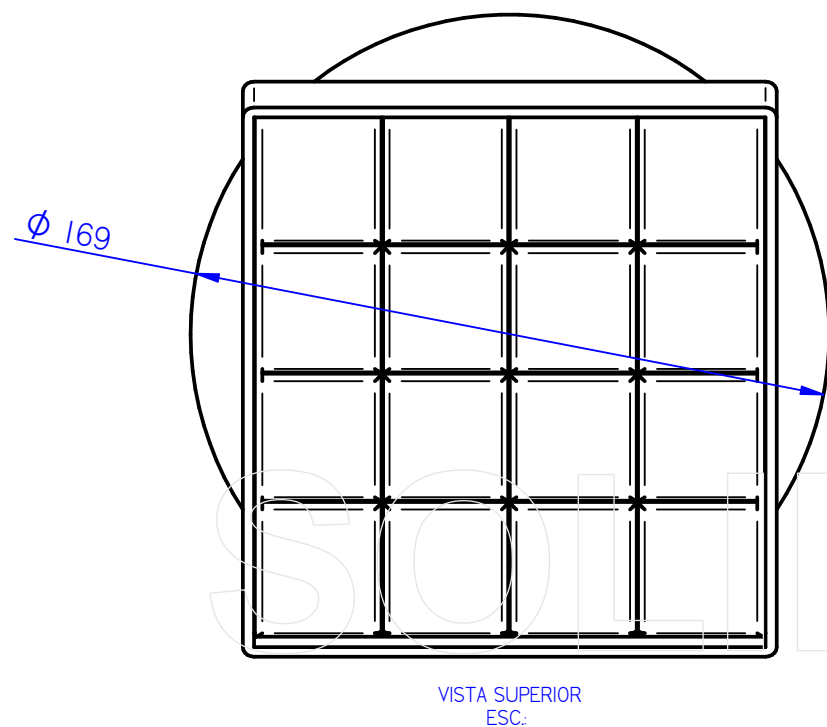
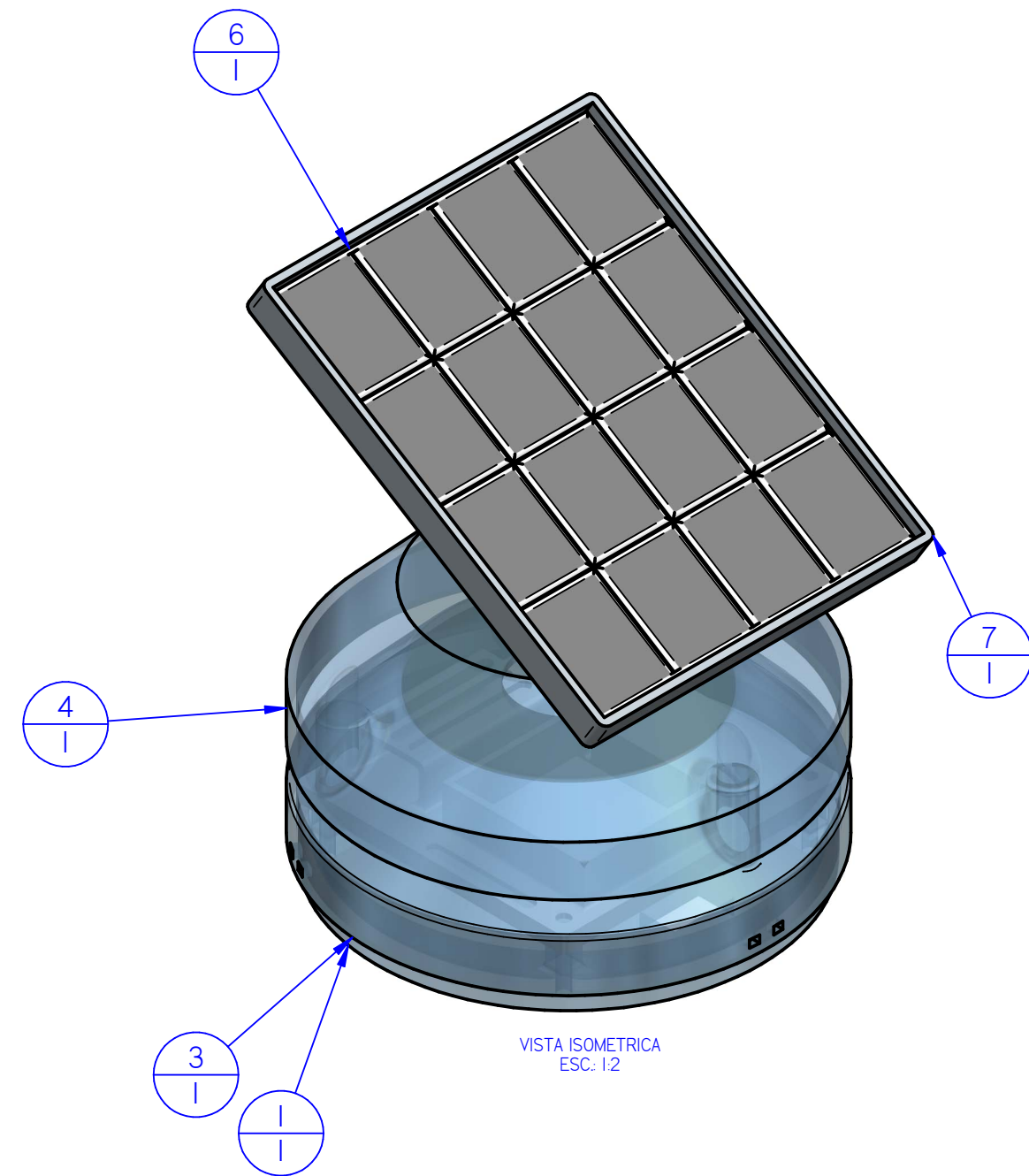
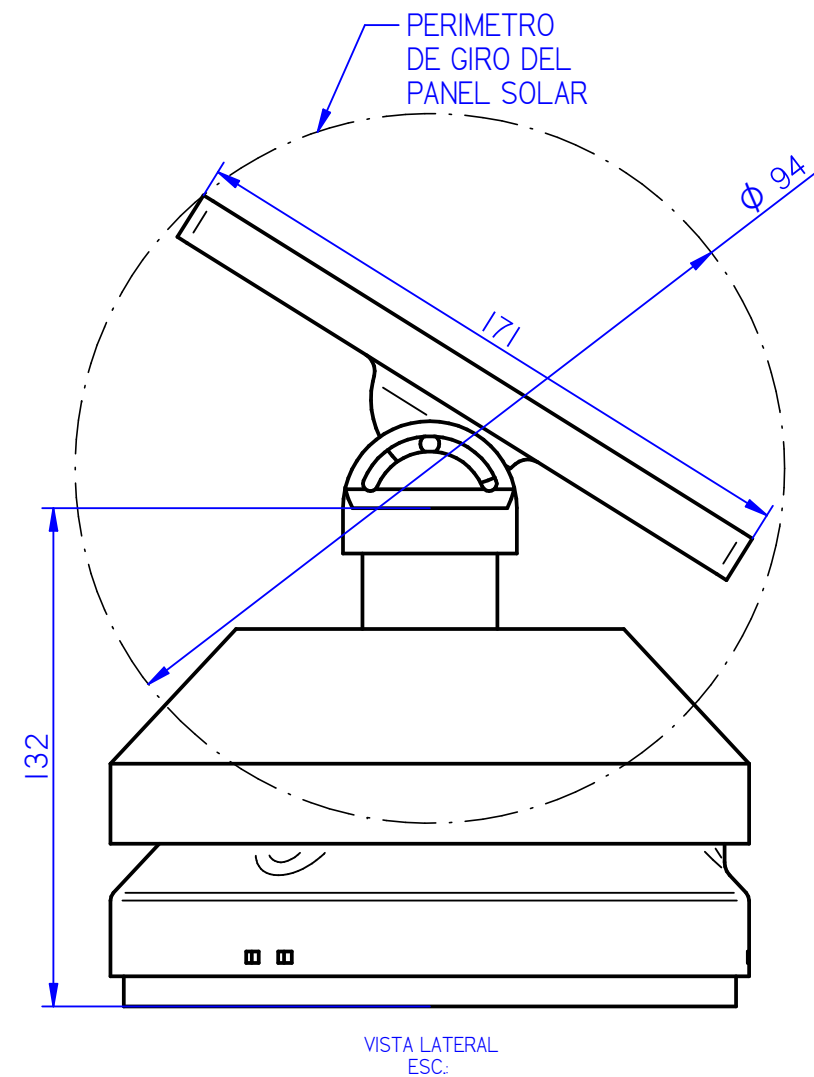
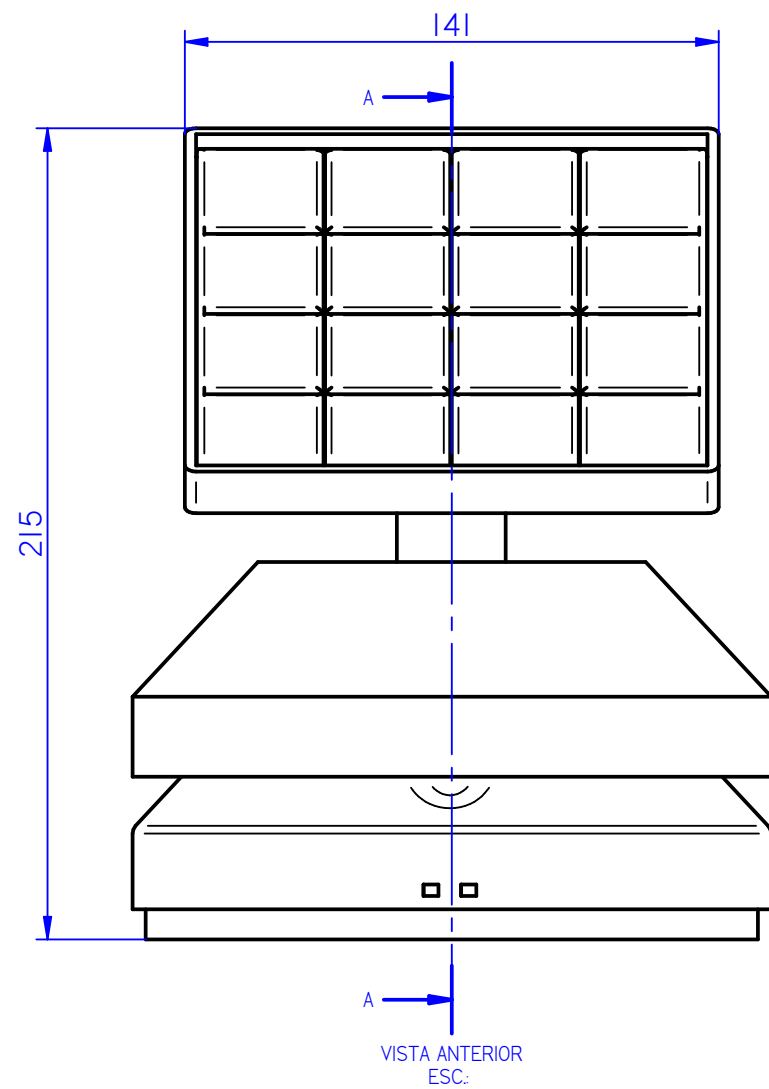
FRANCO DESORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular
y económica para monitoreo en tiempo real

FECHA: 27/9/2025

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.



 Universidad Nacional de San Luis		ESTACION METEOROLOGICA ENSAMBLE - DIMESNIONES GENERALES				
 Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias	PLANOS MECÁNICOS	R: 00	 ESCALA	FRANCO DESBOTOLO TRABAJO FINAL INTEGRADOR		
				Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real		
		H: 2 de 2	 CAMBIOS	DISEÑO: F.G.D.	FECHA: 27/9/2025	
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.						



ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BASE MCE	1
2	TAPA APOYO SENSORES	1
3	SOPORTE SUPERIOR DE ABRIGO	1
4	SOPORTE PANEL	1
5	SOPORTE VERTICAL PANEL	1
6	PANEL SOLAR	1
7	BASE PANEL SOLAR	1

TABLA DE MATERIALES



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

MODULO CENTRAL EXTERIOR

ENSAMBLE

PLANOS
MECÁNICOS

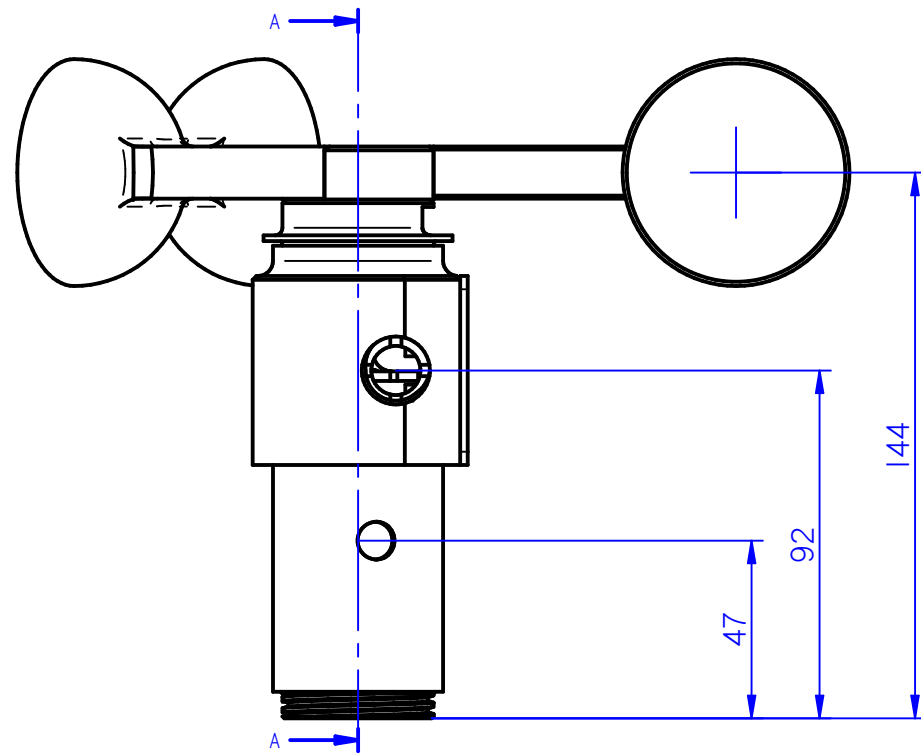
R: 00

H: 1 de 2

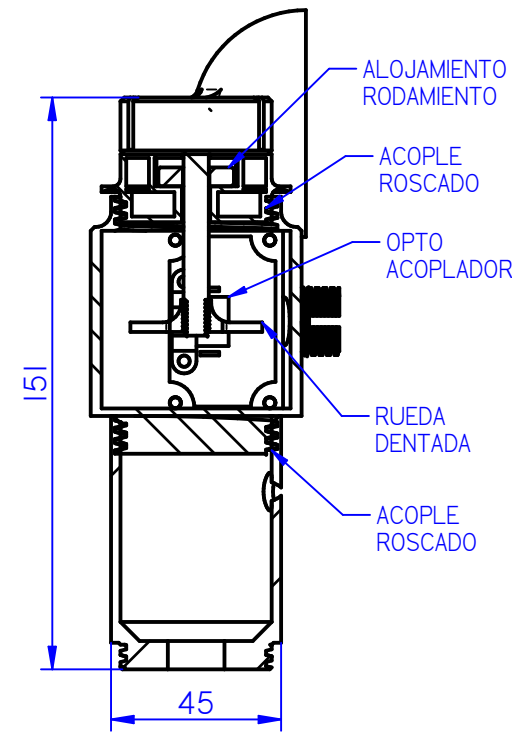
ESCALA
CAMBIOS

FRANCO DESORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular
y económica para monitoreo en tiempo real

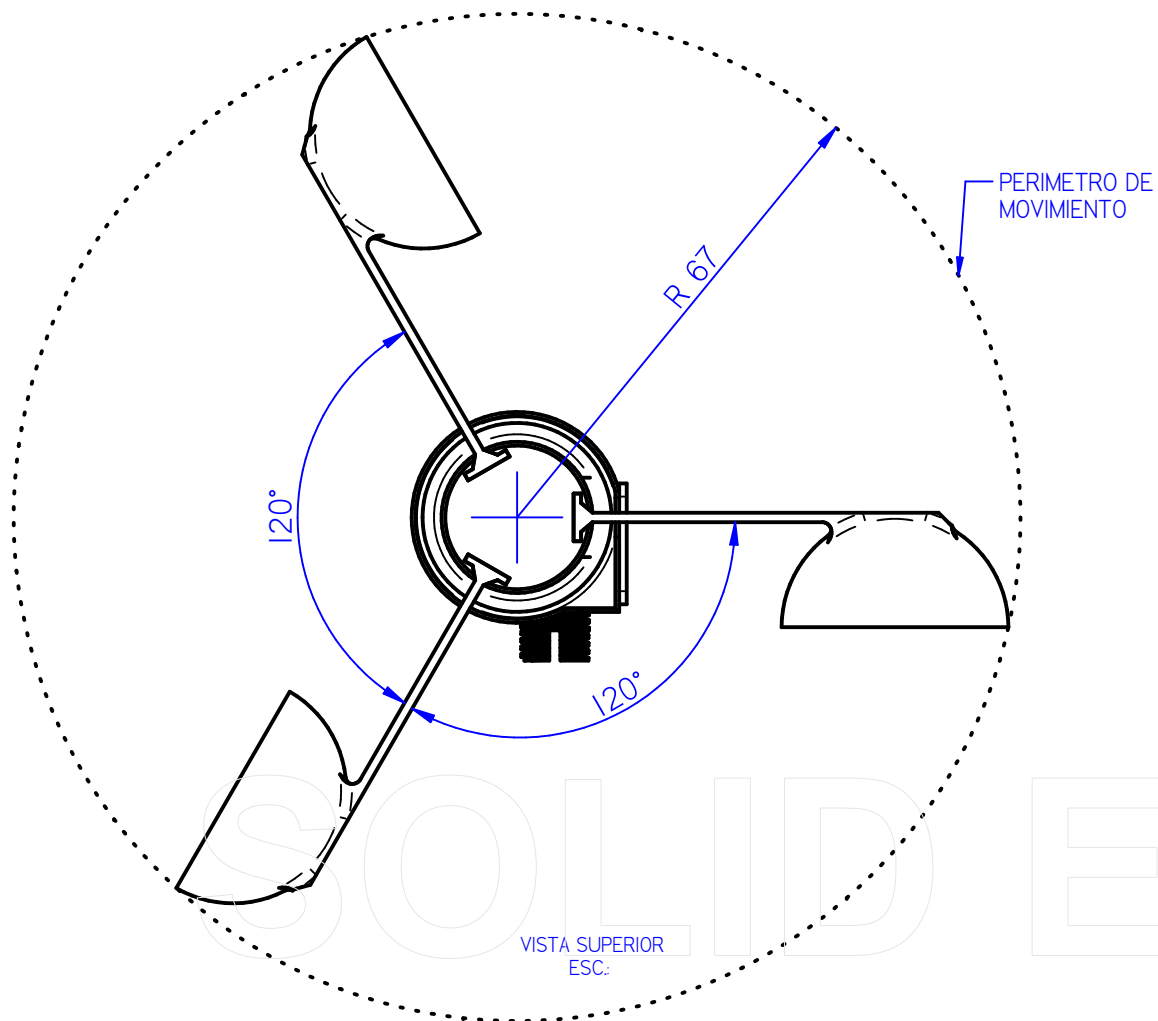
FECHA: 27/9/2025



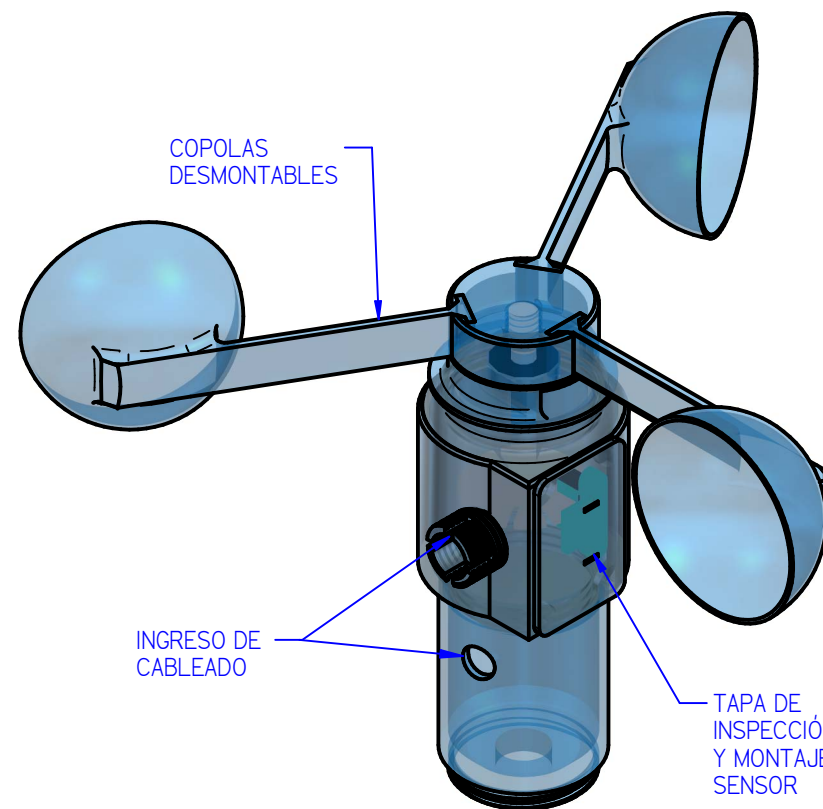
VISTA ANTERIOR
ESC: 1:2



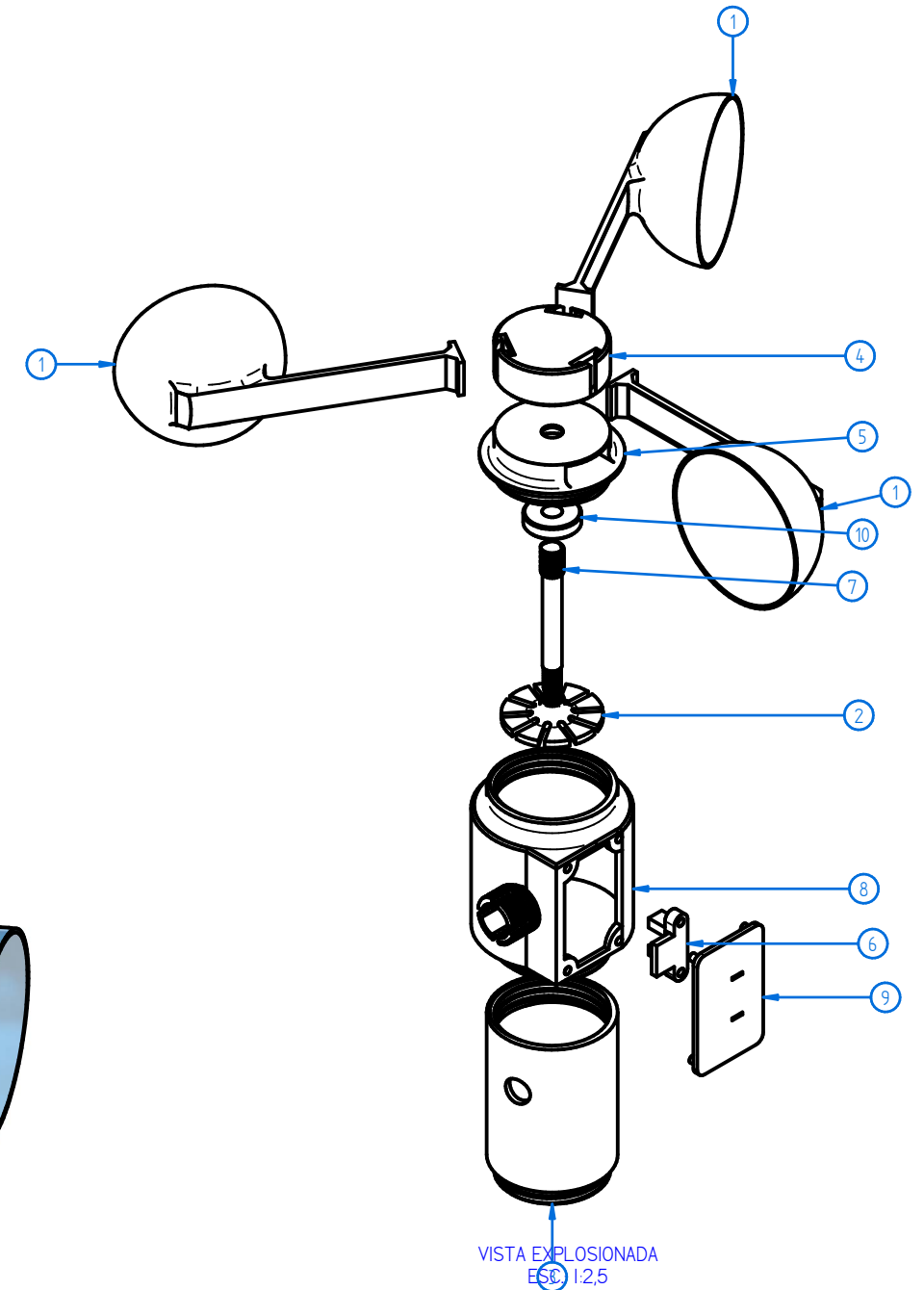
CORTE A-A



VISTA SUPERIOR
ESC: 1:2



VISTA ISOMETRICA
ESC: 1:2



VISTA EXPLOSIONADA
ESC: 1:2,5

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	PESO
1	COPOLA	3	PLA (Ácido Poliláctico)	0,035 kg
2	RUEDA	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,003 kg
3	BASE ANEMOMETRO	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,035 kg
4	SOPORTE COPOLAS	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,010 kg
5	BASE RODAMIENTO	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,012 kg
6	OPTO ACOPLADOR	1	PLASTICO - PCB	0,010 kg
7	EJE ROSCADO	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,003 kg
8	BASE	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,051 kg
9	TAPA DE INSPECCION	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,004 kg
10	RODAMIENTO Øint 7mm	1	Acero	0,025 kg

TABLA DE MATERIALES

ANEMOMETRO

MODULO DE VIENTO - ENSAMBLE Y DESPIECE



FICA Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

PLANOS MECÁNICOS

R: 00

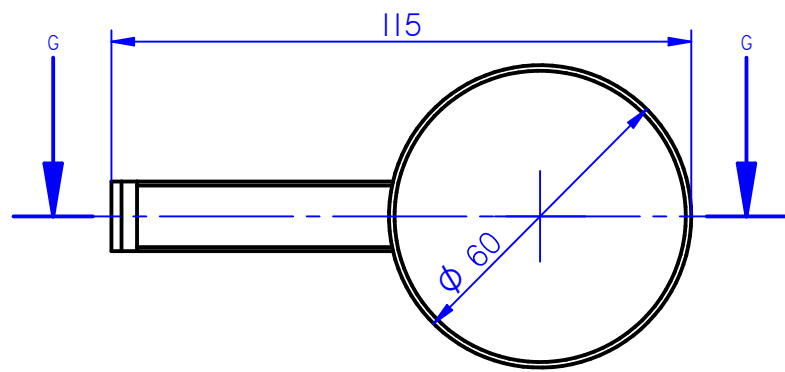
H: 1 de 3

Δ CAMBIOS

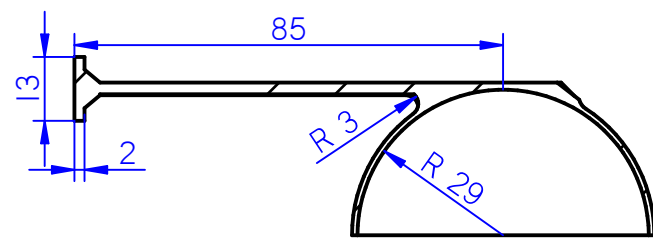
ESCALA

FRANCO DESORTOLI TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real
DISEÑO: F.G.D. FECHA: 27/9/2025

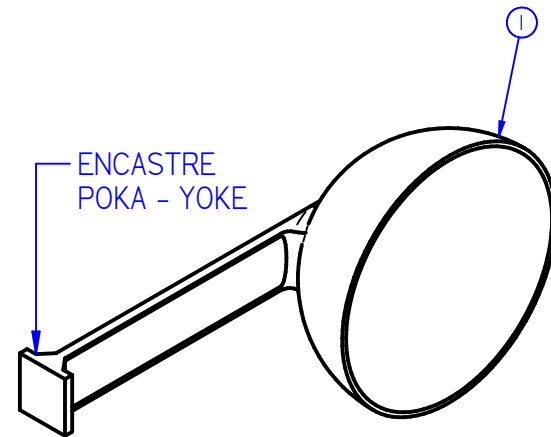
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión actualizada.



VISTA ANTERIOR
ESC: 1:1,5

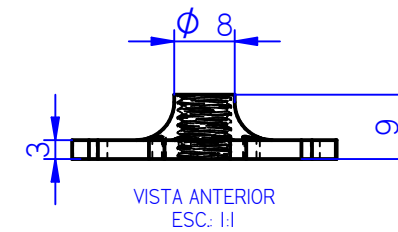


CORTE G-G

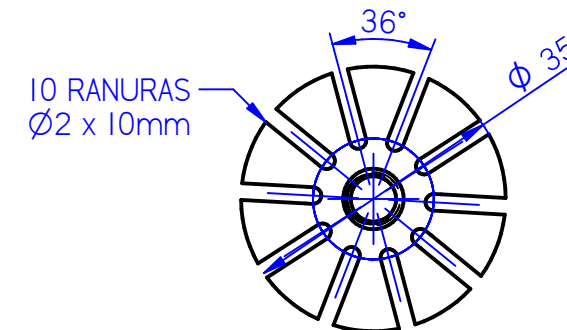


VISTA ISOMETRICA
ESC: 1:1,5

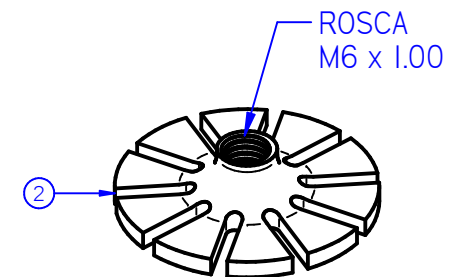
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
1*	COPOLA	PLA (Ácido Poliláctico)	0,035 kg



VISTA ANTERIOR
ESC: 1:1

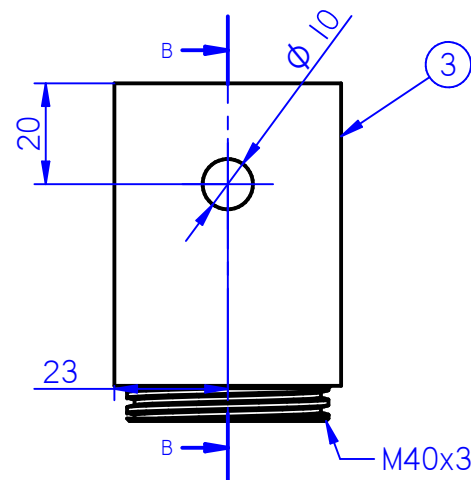


VISTA SUPERIOR
ESC: 1:1

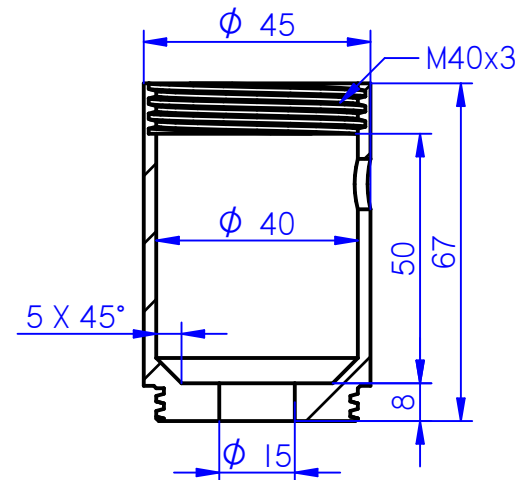


VISTA ISOMETRICA
ESC: 1:1

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
2	RUEDA	PLA (Ácido Poliláctico)	0,003 kg

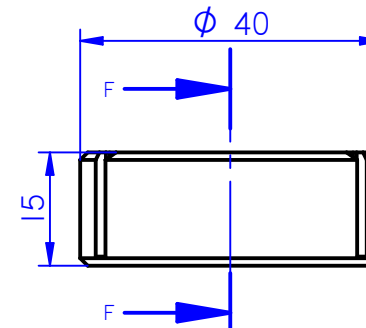


VISTA ANTERIOR
ESC: 1:1,5

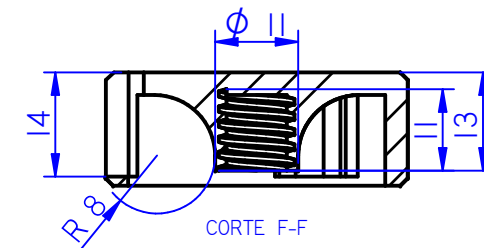


CORTE B-B

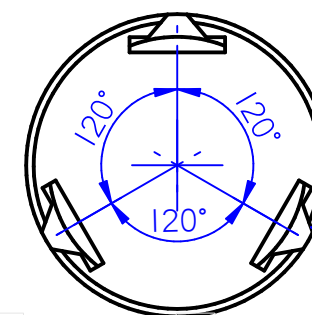
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
3	BASE ANEMOMETRO	PLA (Ácido Poliláctico)	0,035 kg



VISTA
ESC: 1:1

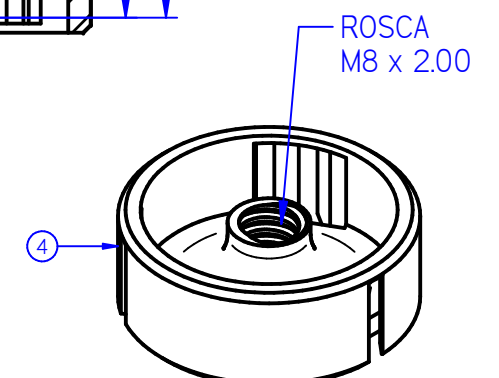


CORTE F-F



VISTA
ESC: 1:1

ENCASTRE
POKA-YOKE
DE COPOLA



VISTA
ESC: 1:1

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
4	SOPORTE COPOLAS NUEVO	PLA (Ácido Poliláctico)	0,010 kg



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

ANEMOMETRO

MODULO DE VIENTO - ENSAMBLE Y DESPIECE

PLANOS
MECÁNICOS

R: 00

H: 2 de 3

ESCALA

CAMBIOS

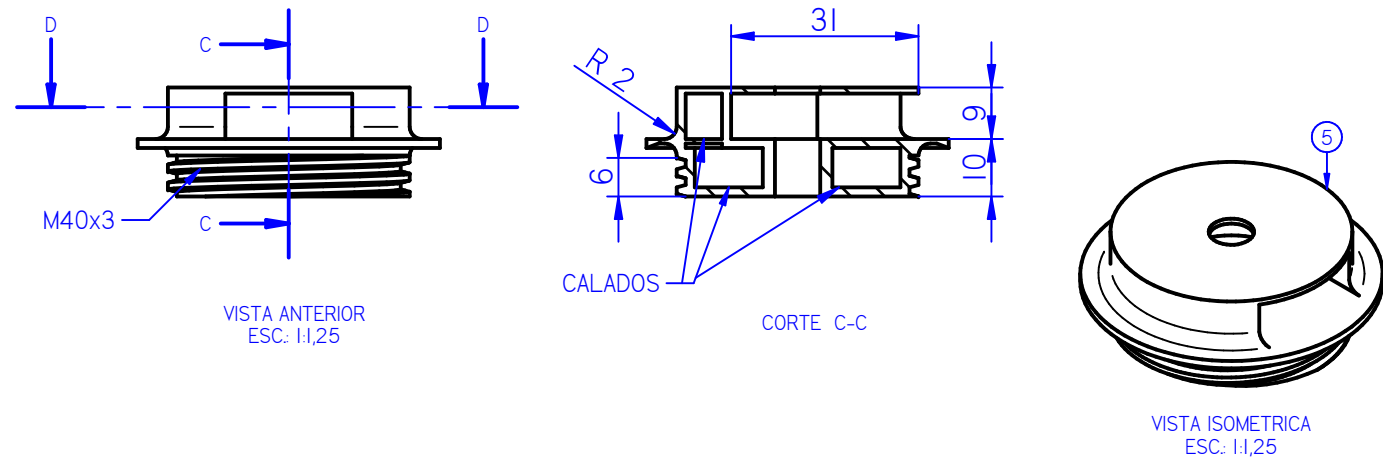
DISEÑO: F.G.D

FECHA: 27/9/2025

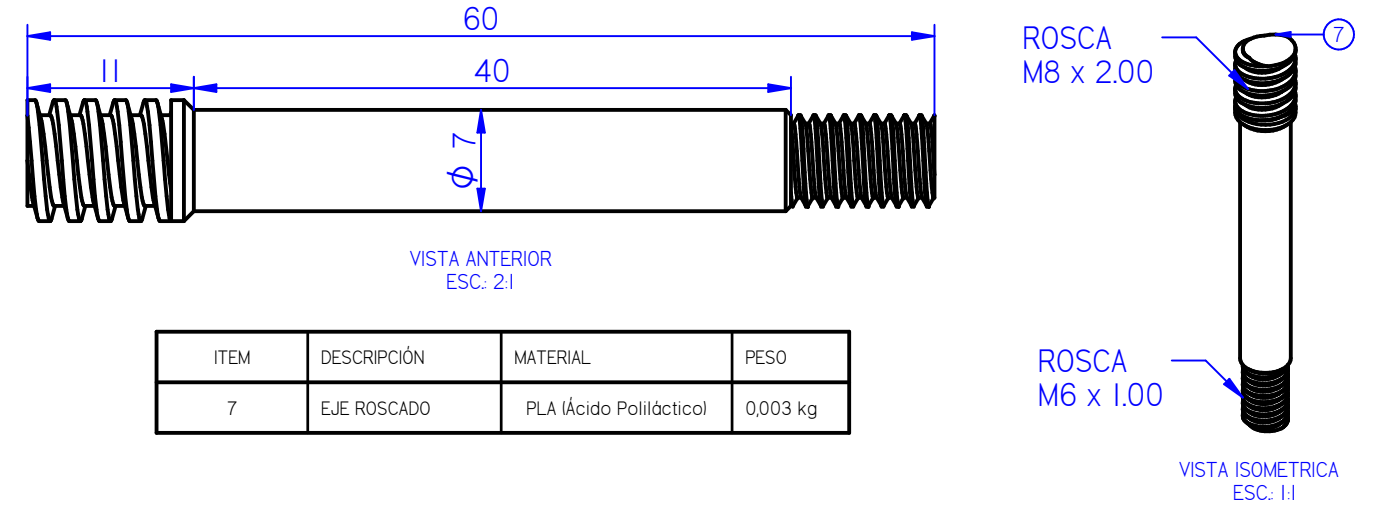
FRANCO DESARROLLO
TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Diseño e implementación de una estación meteorológica modular
y económica para monitoreo en tiempo real

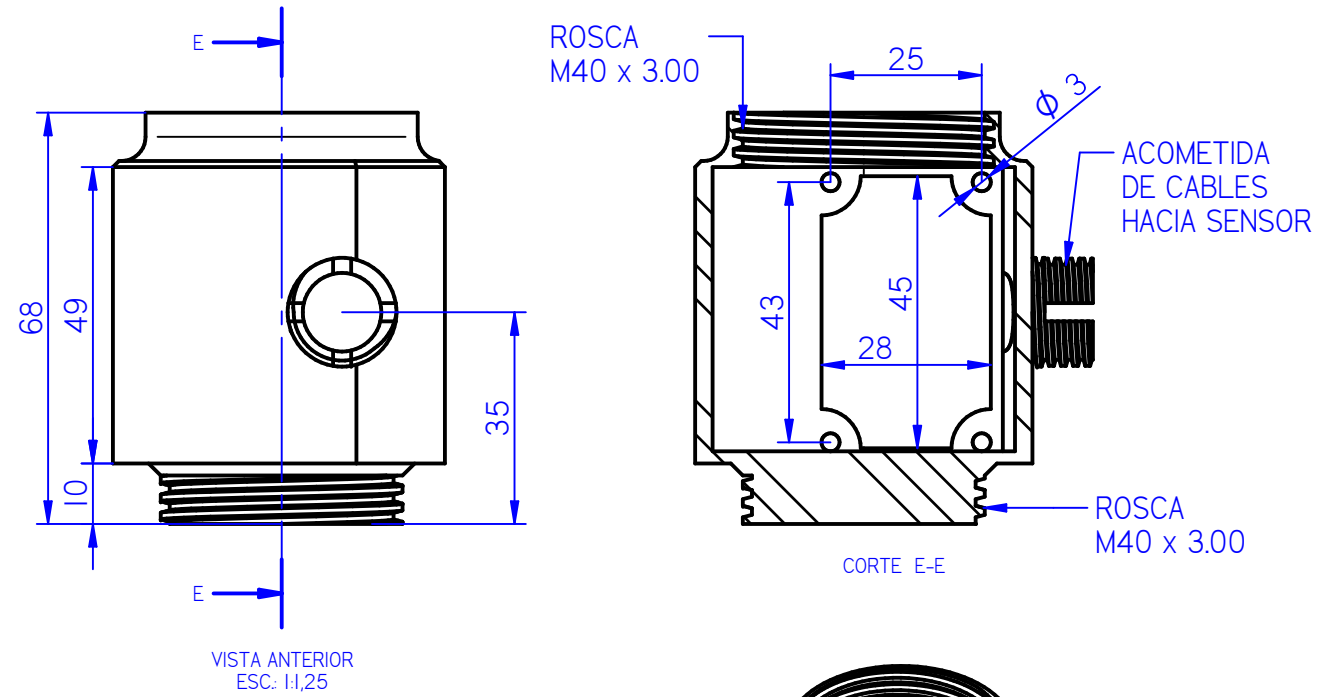
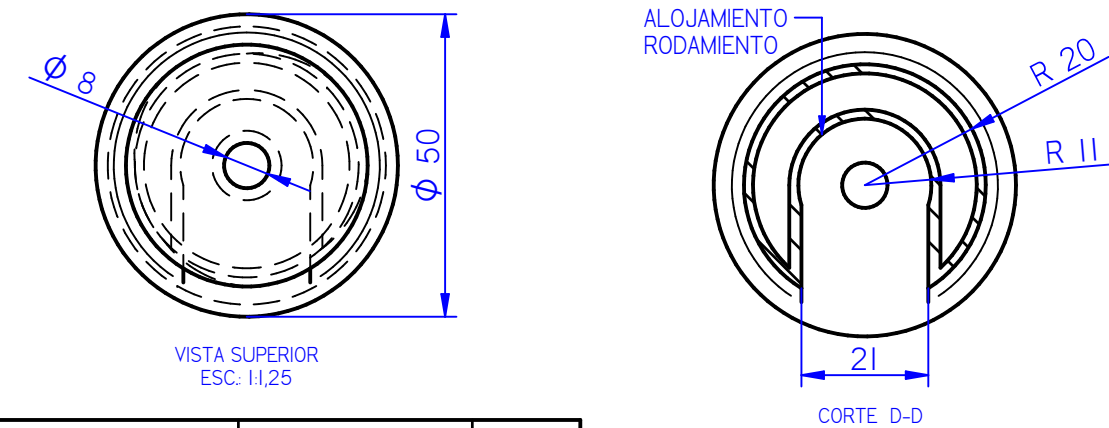
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión actualizada.



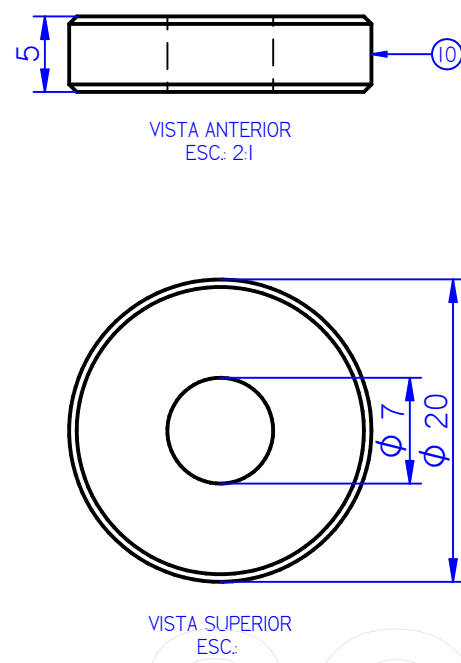
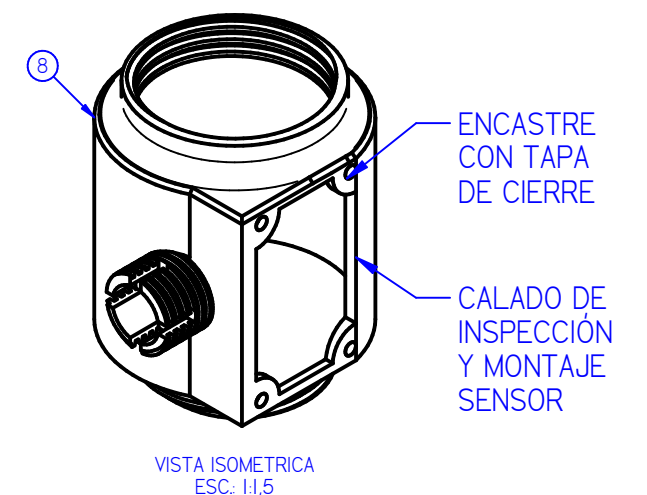
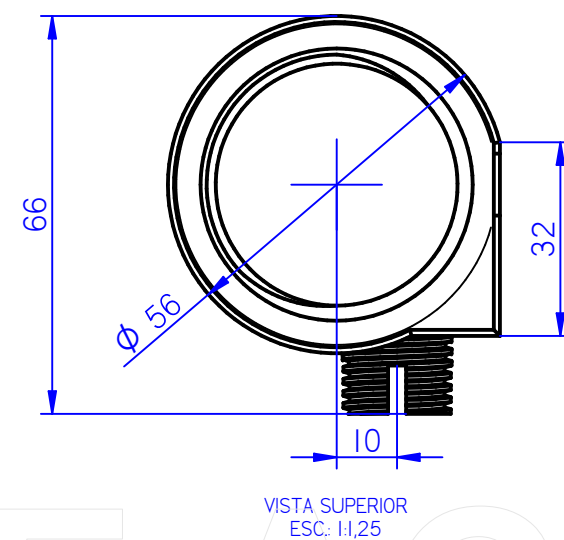
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
5*	BASE RODAMIENTO nuevo	PLA (Ácido Poliláctico)	0,012 kg



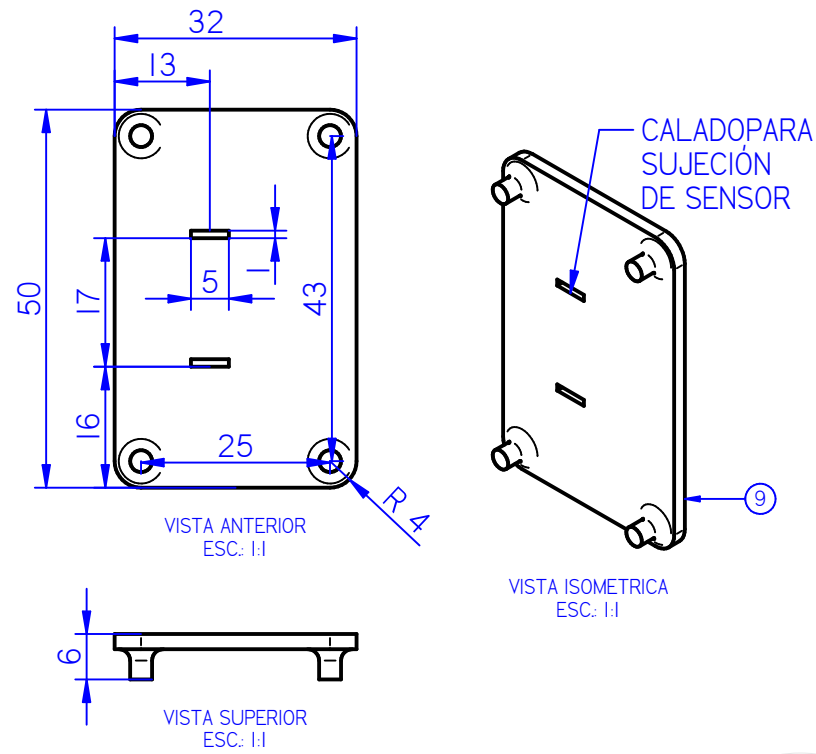
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
7	EJE ROSCADO	PLA (Ácido Poliláctico)	0,003 kg



ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
8*	BASE V3	PLA (Ácido Poliláctico)	0,051 kg



ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
10	RODAMIENTO	Acero	0,025 kg



ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
9	TAPA DE INSPECCION	PLA (Ácido Poliláctico)	0,004 kg



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

ANEMOMETRO

MODULO DE VIENTO - ENSAMBLE Y DESPIECE

PLANOS MECÁNICOS

R: 00

H: 3 de 3

ESCALA

CAMBIOS

DISEÑO: F.G.D

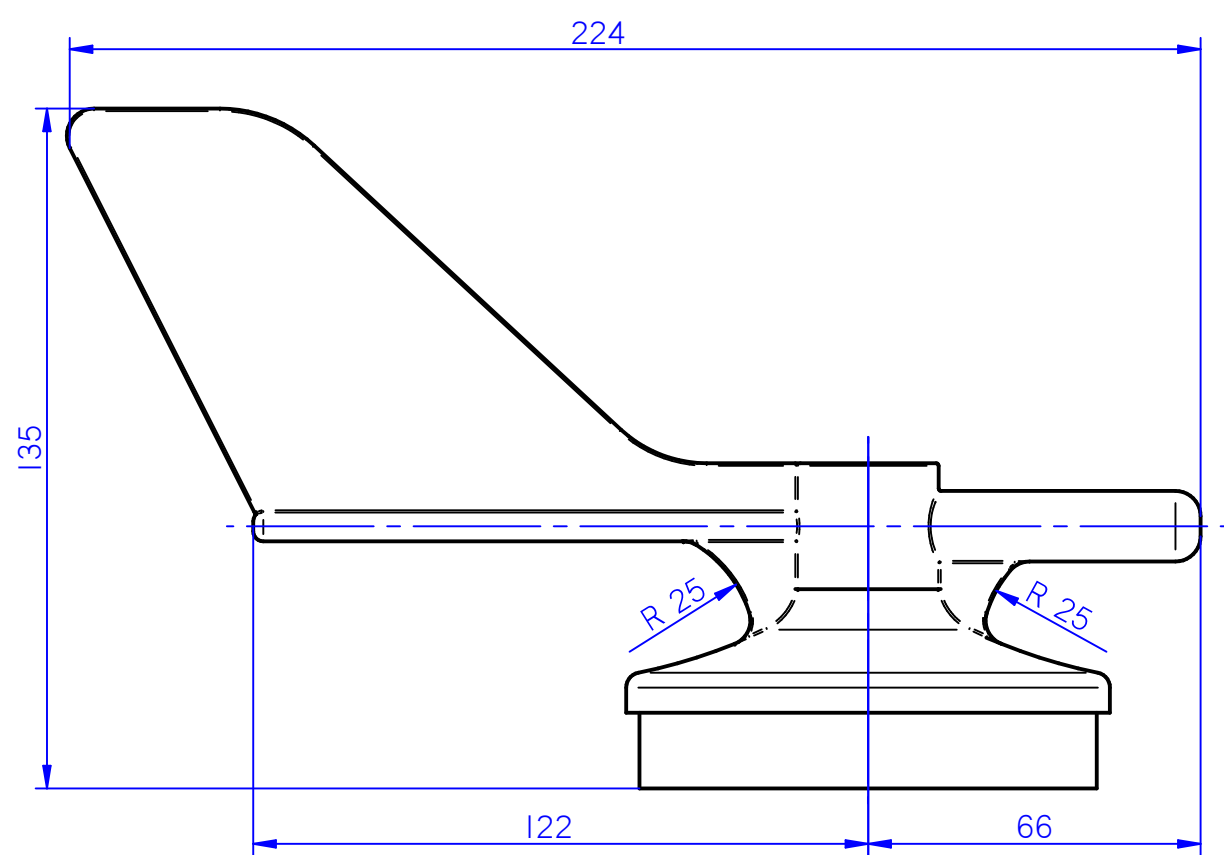
FECHA: 27/9/2025

FRANCO DESORTOLI

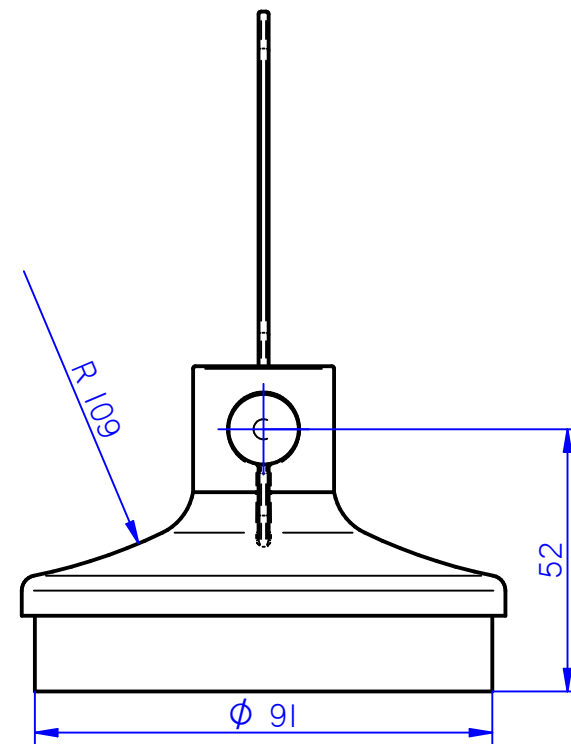
TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Diseño e implementación de una estación meteorológica modular y económica para monitoreo en tiempo real

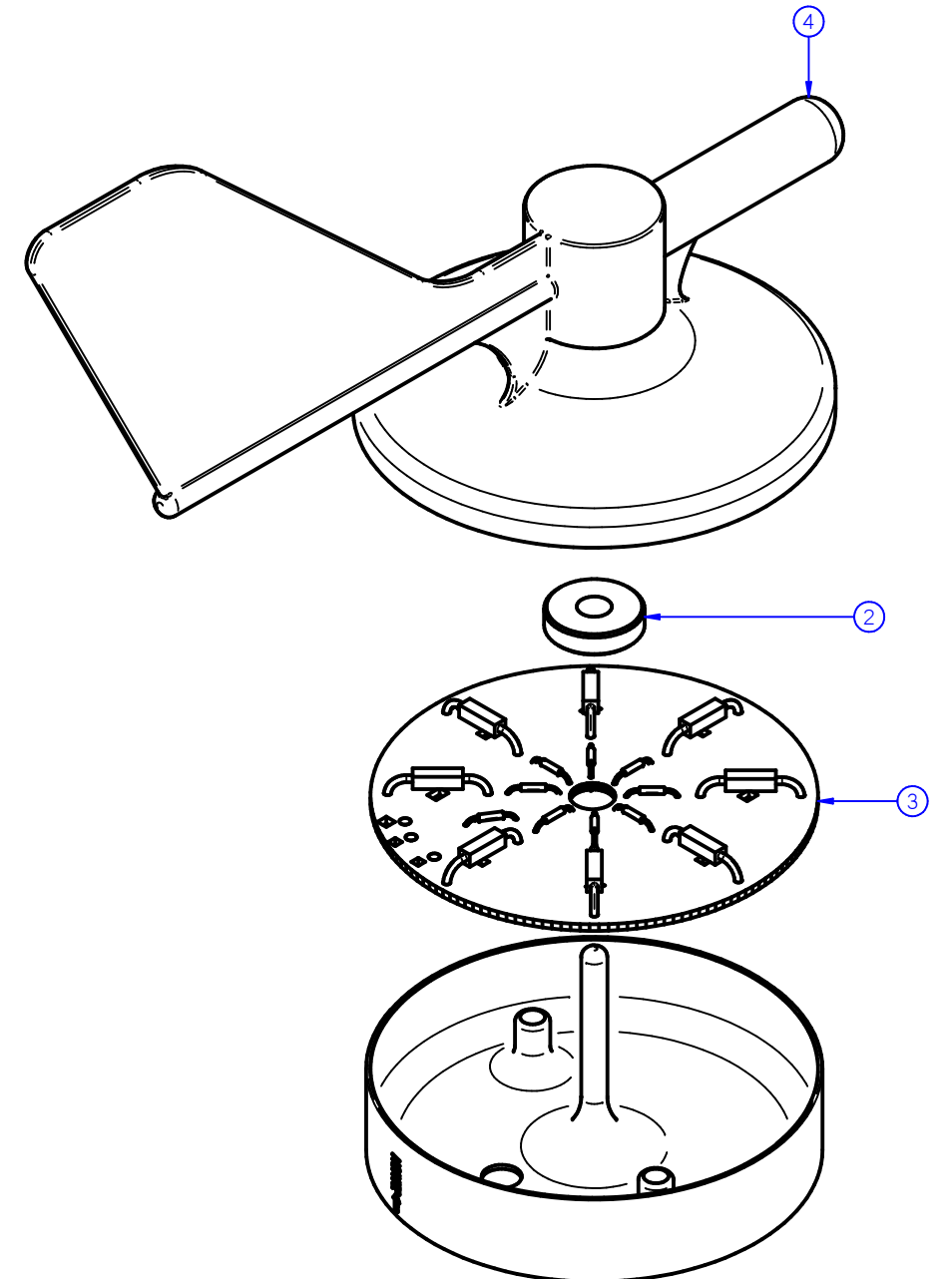
El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión actualizada.



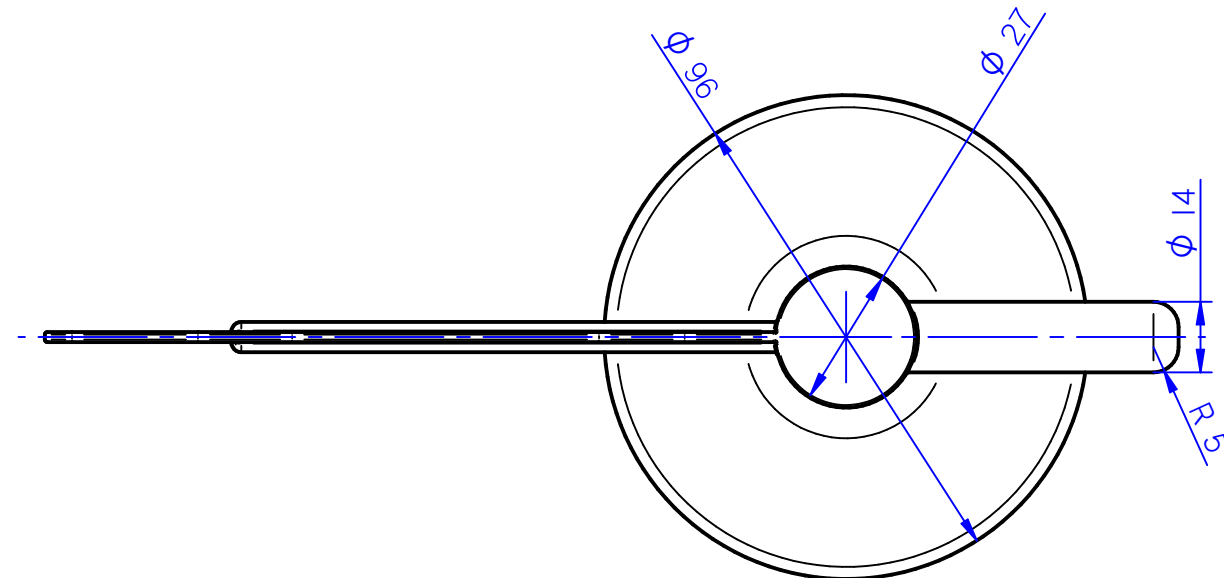
VISTA ANTERIOR
ESC: 1:1,5



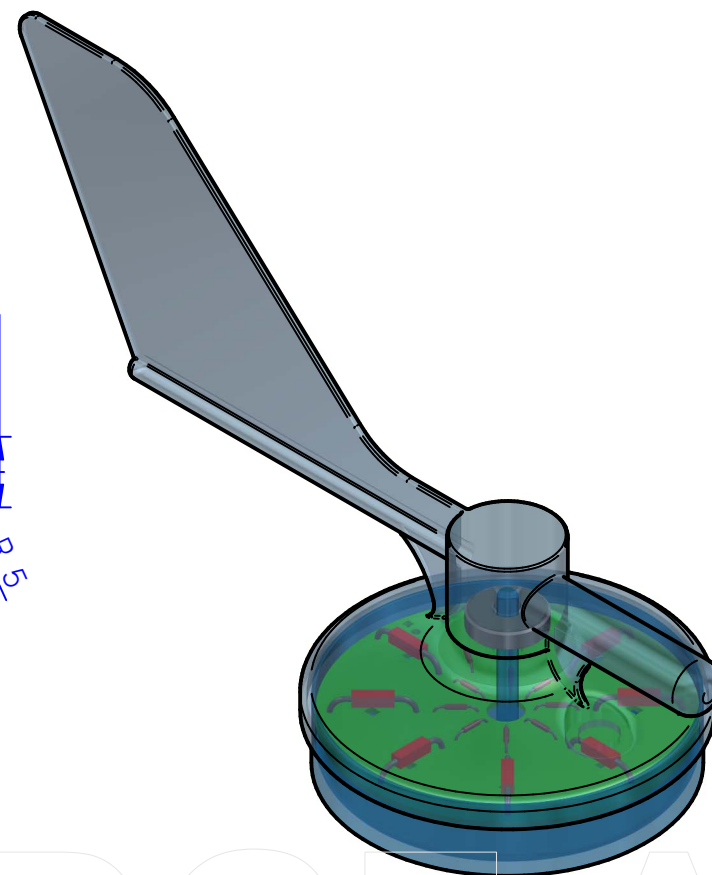
VISTA LATERAL
ESC: 1:1,5



VISTA EXPLOSIONADA
ESC: 1:1,5



VISTA SUPERIOR
ESC: 1:1,5

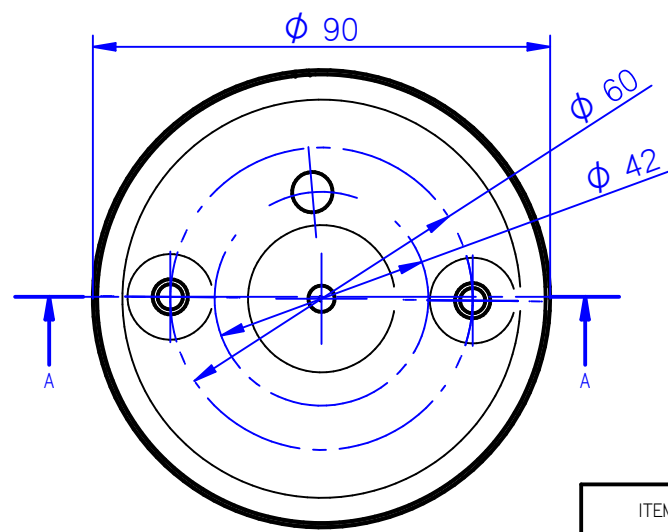
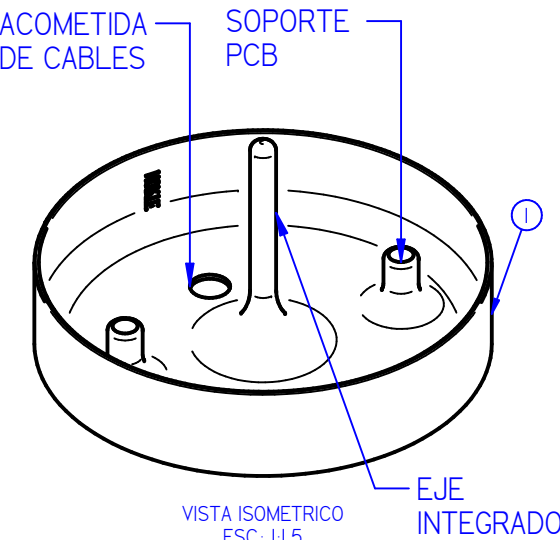
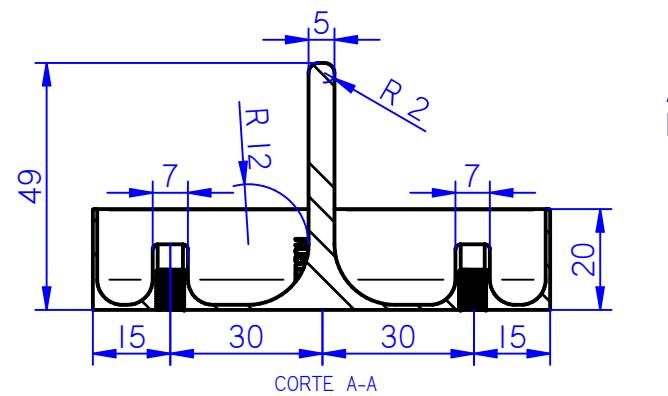


VISTA ISOMETRICA
ESC: 1:1,75

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	PESO
1	BASE VELETA	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,019 kg
2	RODAMIENTO	1	Acero	0,011 kg
3	PCB ELECTRONICA	1	-	0,025 kg
4	VELETA	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,067 kg
5	REED SWITCH	8	-	0,040 kg
6	IMAN	1	ACERO	0,010 KG

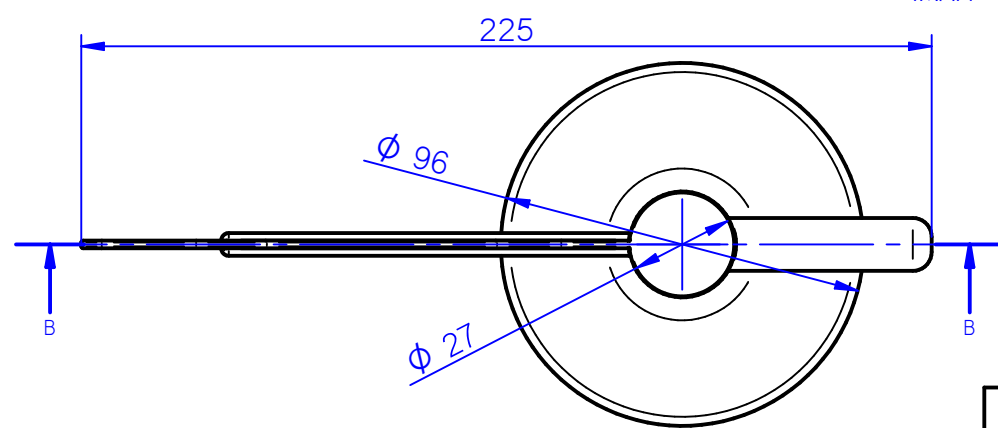
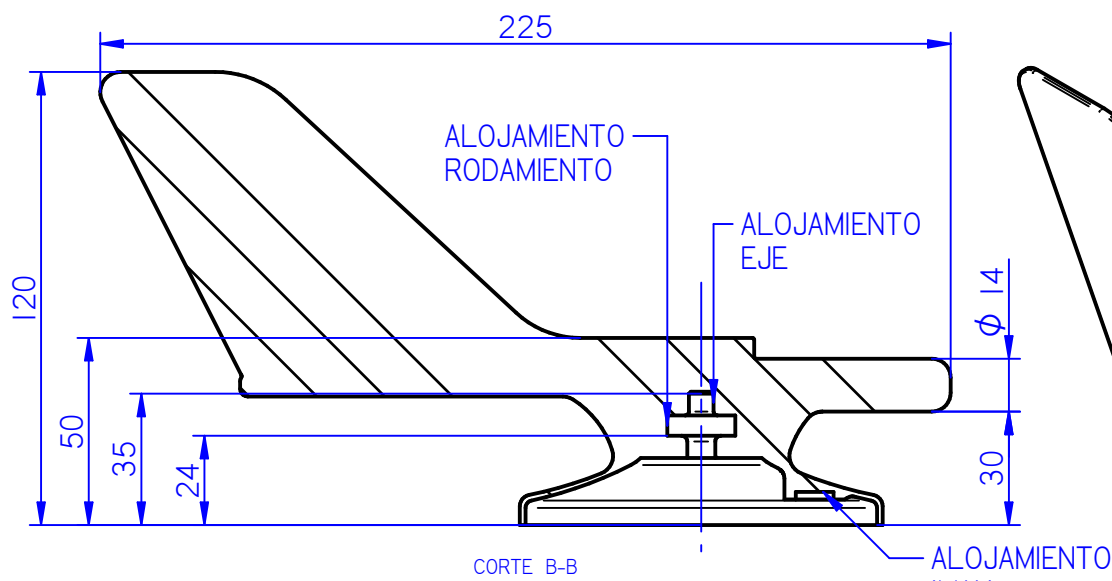
TABLA DE MATERIALES

Universidad Nacional de San Luis		VELETA DE VIENTO			
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias		MODULO DE VIENTO- ENSAMBLE Y DESPIECE			
FICA		PLANOS MECANICOS		R: 00	
H: 1 de 2		CAMBIOS		FECHA: 27/9/2025	



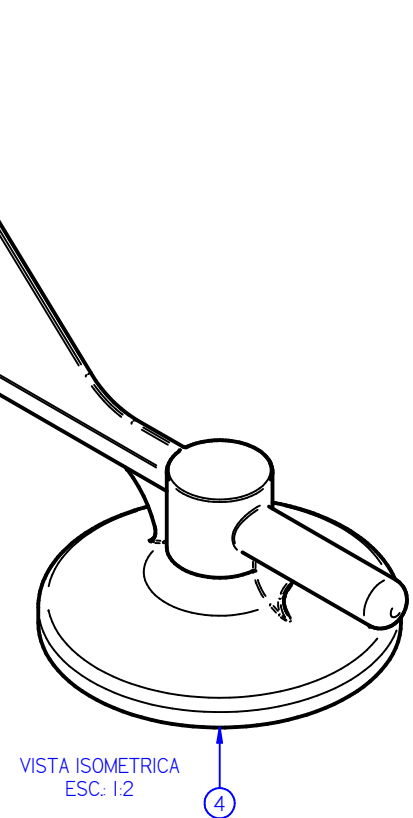
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
I	BASE VELETA	PLA (Ácido Poliláctico)	0,019 kg

VISTA SUPERIOR
ESC: 1:1,5

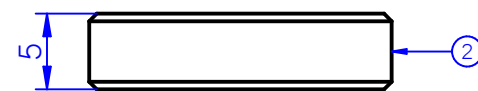


ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
4	VELETA	PLA (Ácido Poliláctico)	0,067 kg

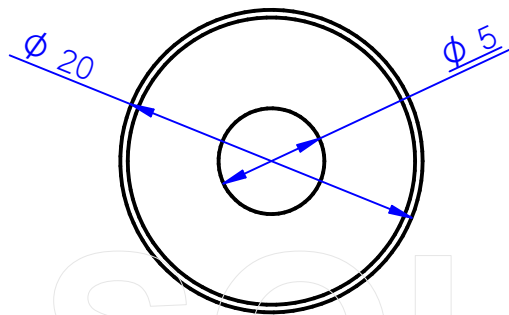
VISTA SUPERIOR
ESC: 1:2



VISTA ISOMETRICA
ESC: 1:2

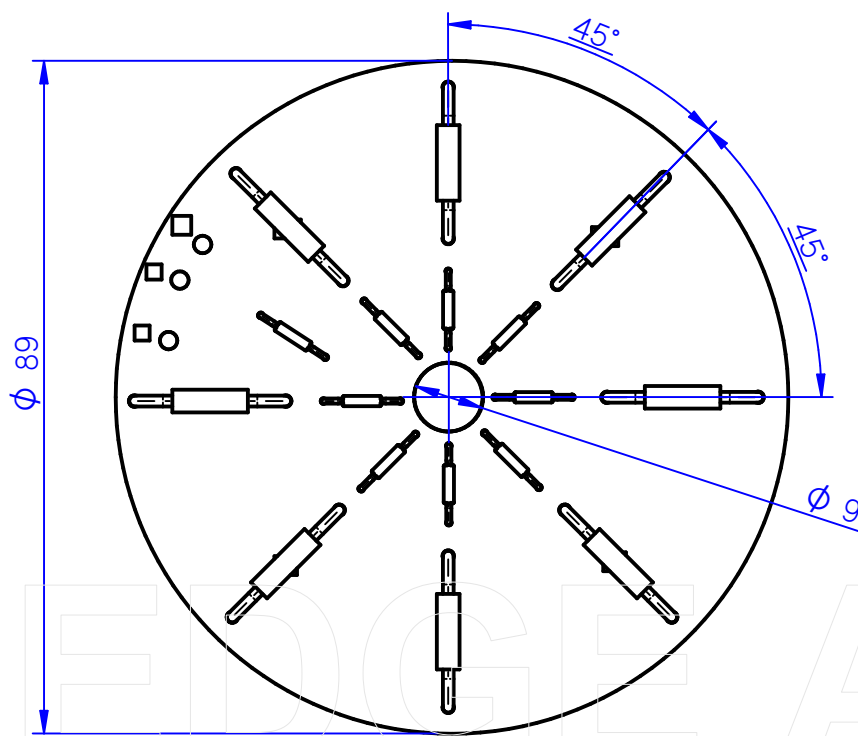


VISTA ANTERIOR
ESC: 2:1

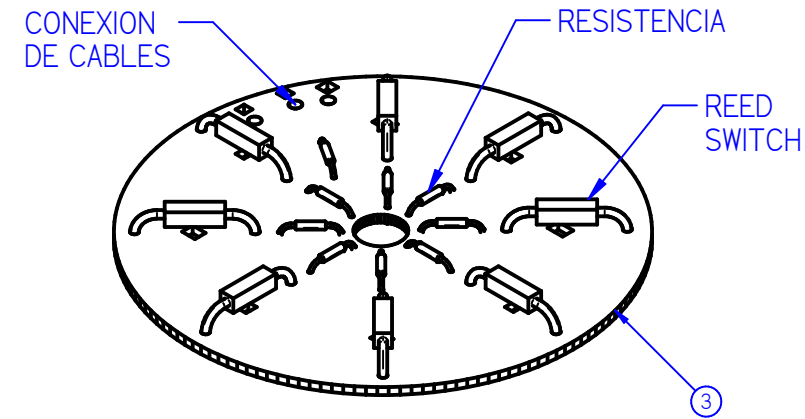


VISTA SUPERIOR
ESC: 2:1

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
2	RODAMIENTO	Acero	0,011 kg



VISTA ANTERIOR
ESC: 1:1



VISTA ISOMETRICA
ESC: 1:1,25

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO
3	PCB ELECTRONICA	-	0,025 kg



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

PLANOS
MECÁNICOS

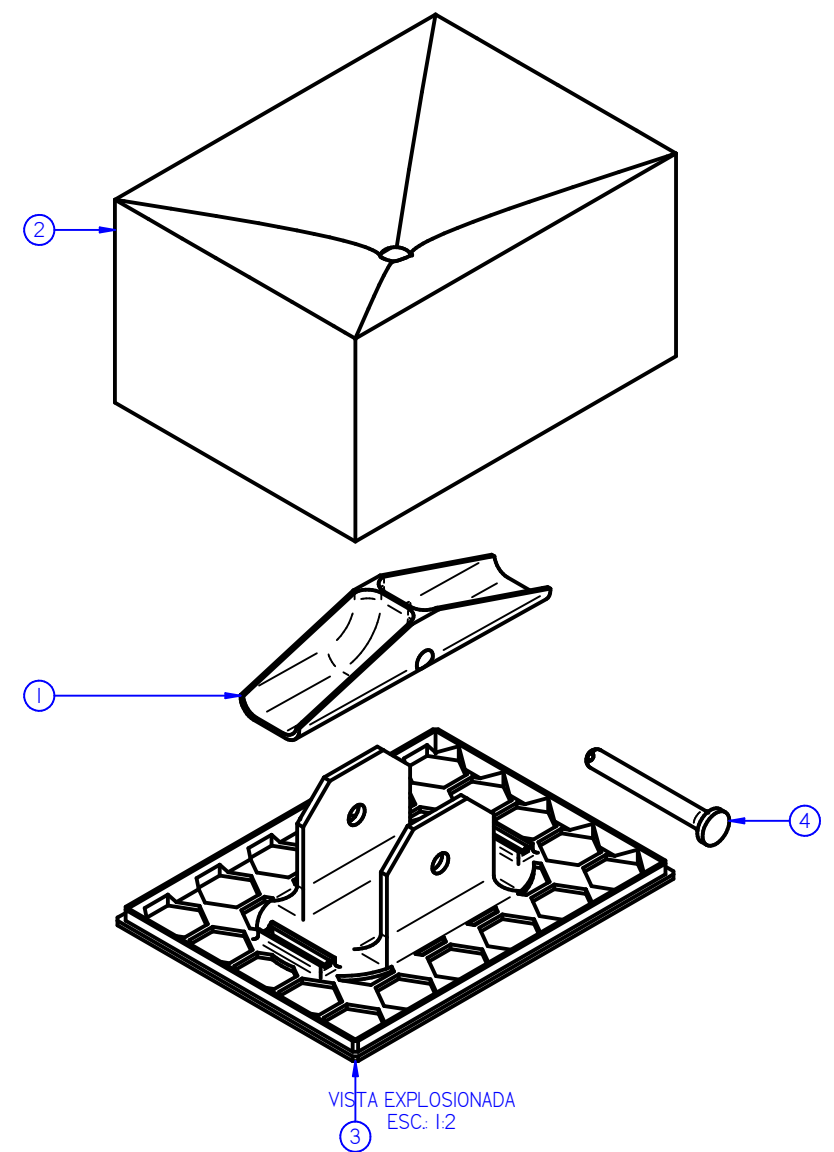
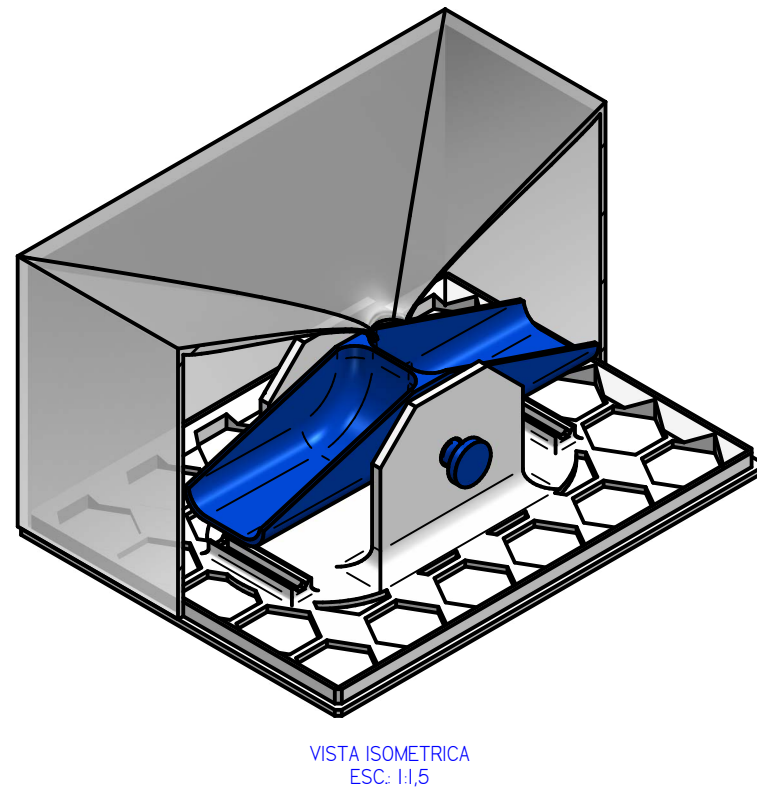
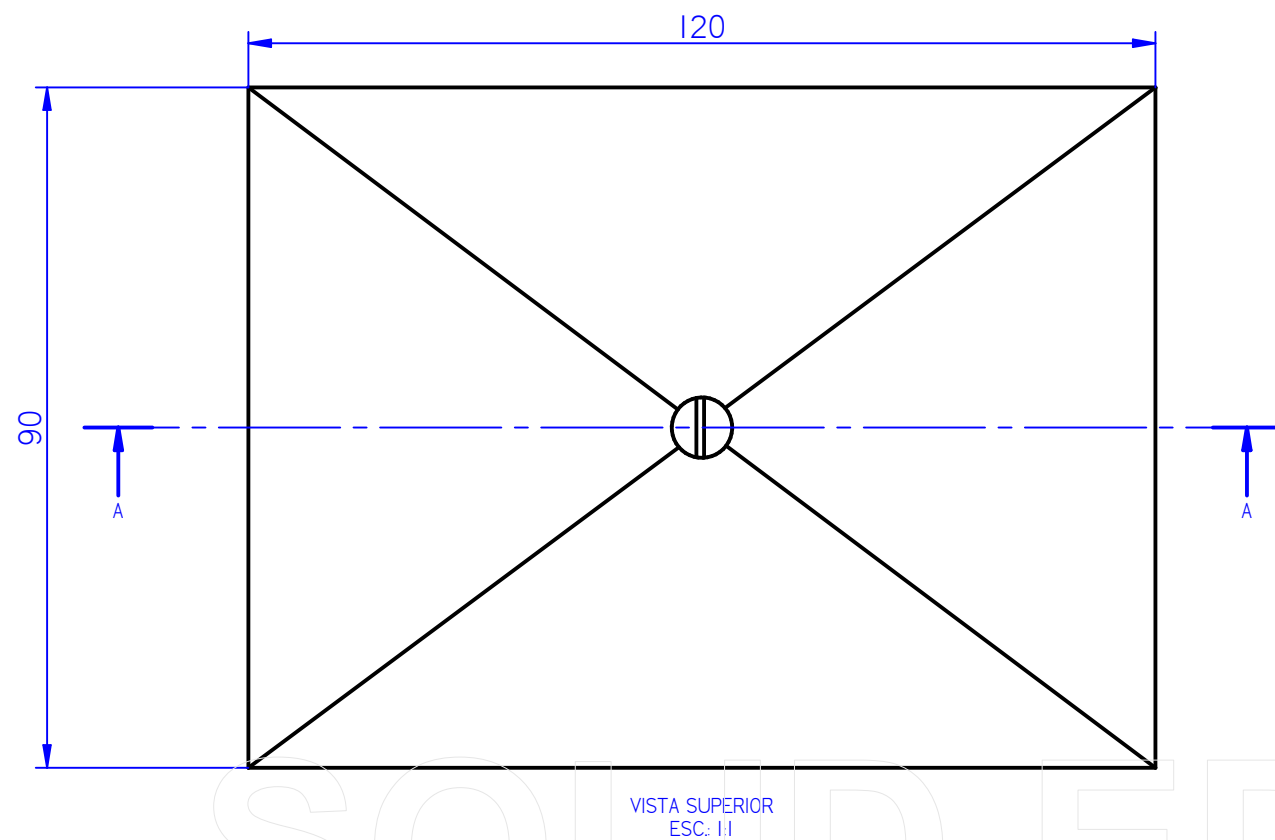
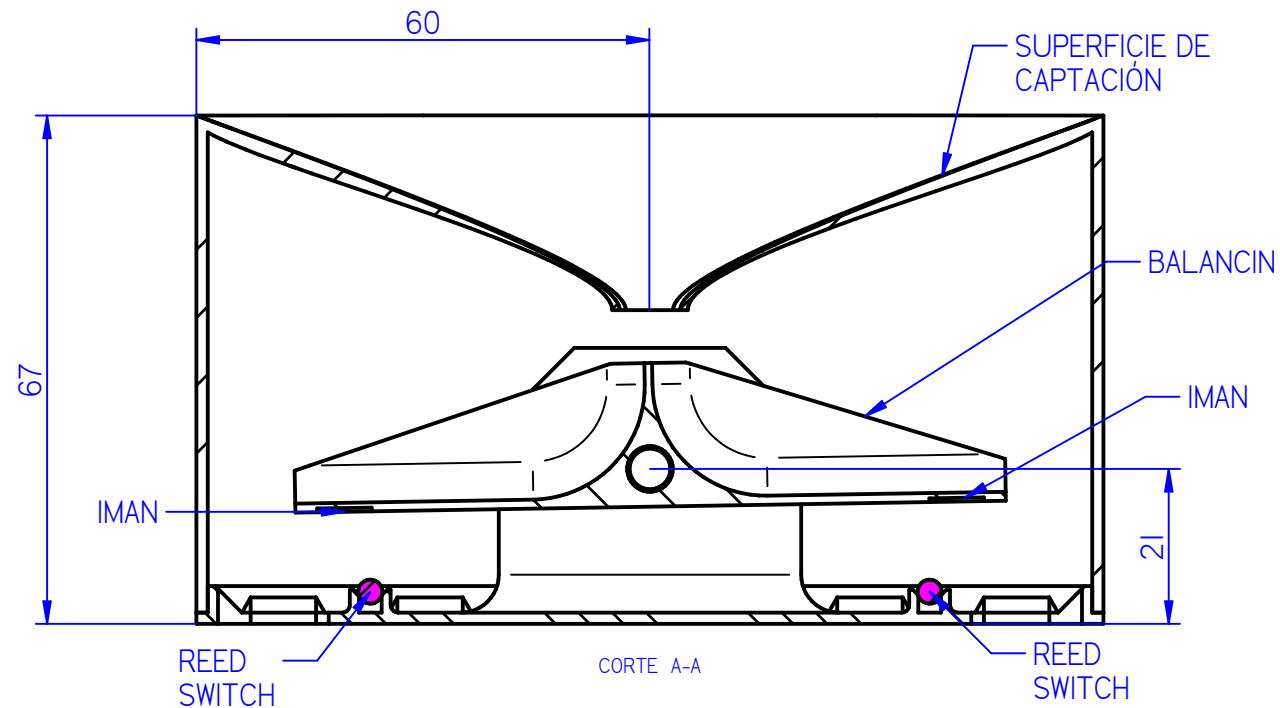
R: 00
H: 2 de 2

ESCALA
CAMBIOS

FRANCO DESARROLLO
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular
y económica para monitoreo en tiempo real
DISEÑO F.G.D.
FECHA: 27/9/2025

VELETA DE VIENTO
MÓDULO DE VIENTO- ENSAMBLE Y DESPIECE

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión actualizable.



ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	PESO
1	BALANCIN CALIBRADO	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,008 kg
2	RECOLECTOR-TOBERA	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,071 kg
3	BASE PLUVIOMETRO	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,026 kg
4	EJE	1	PLA (Ácido Poliláctico)	0,001 kg
5	REED SWITCH	2	-	0,001 kg
6	IMAN	2	ACERO	0,001 kg

TABLA DE MATERIALES



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

PLANOS
MECÁNICOS

R: 00
H: 1 de 2



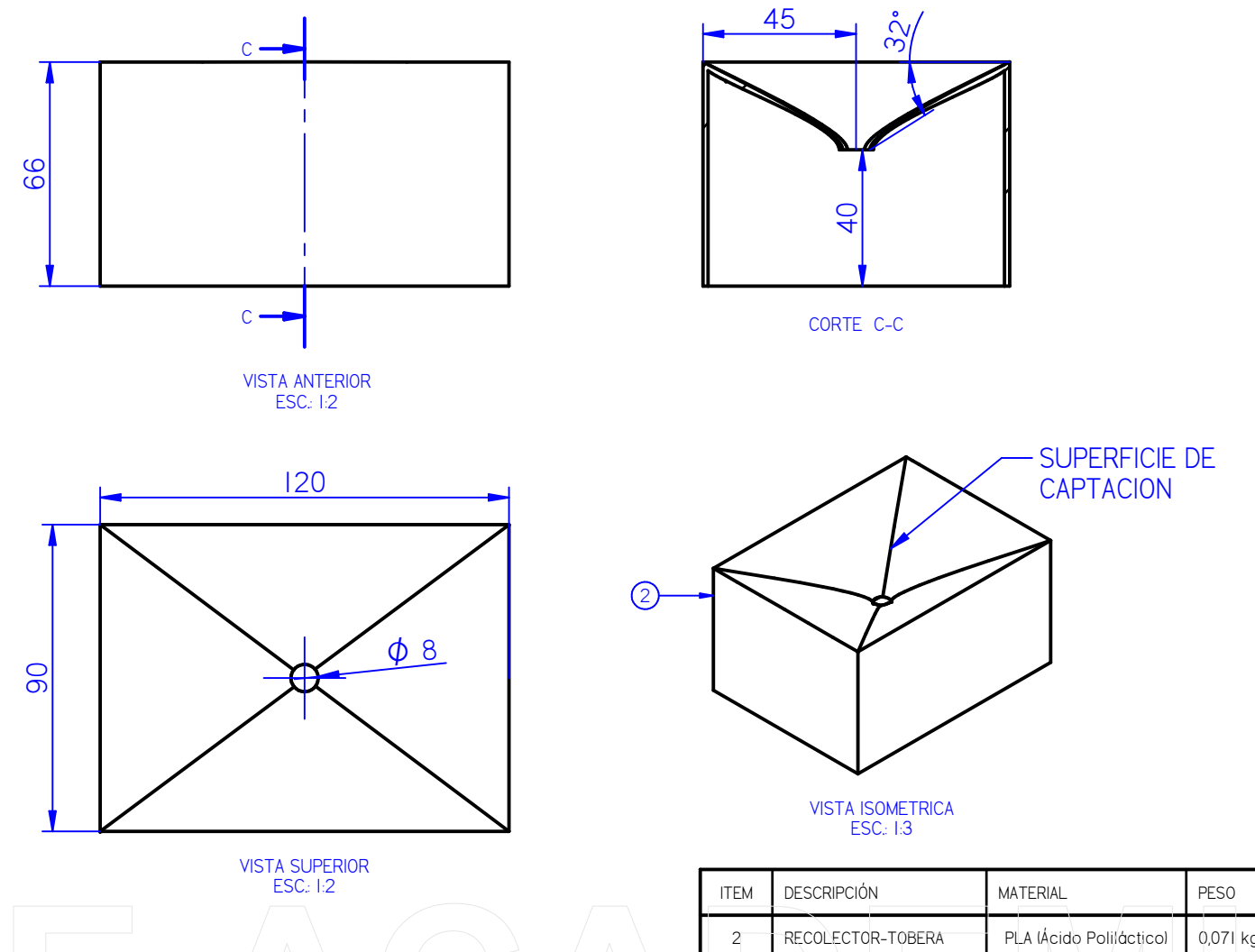
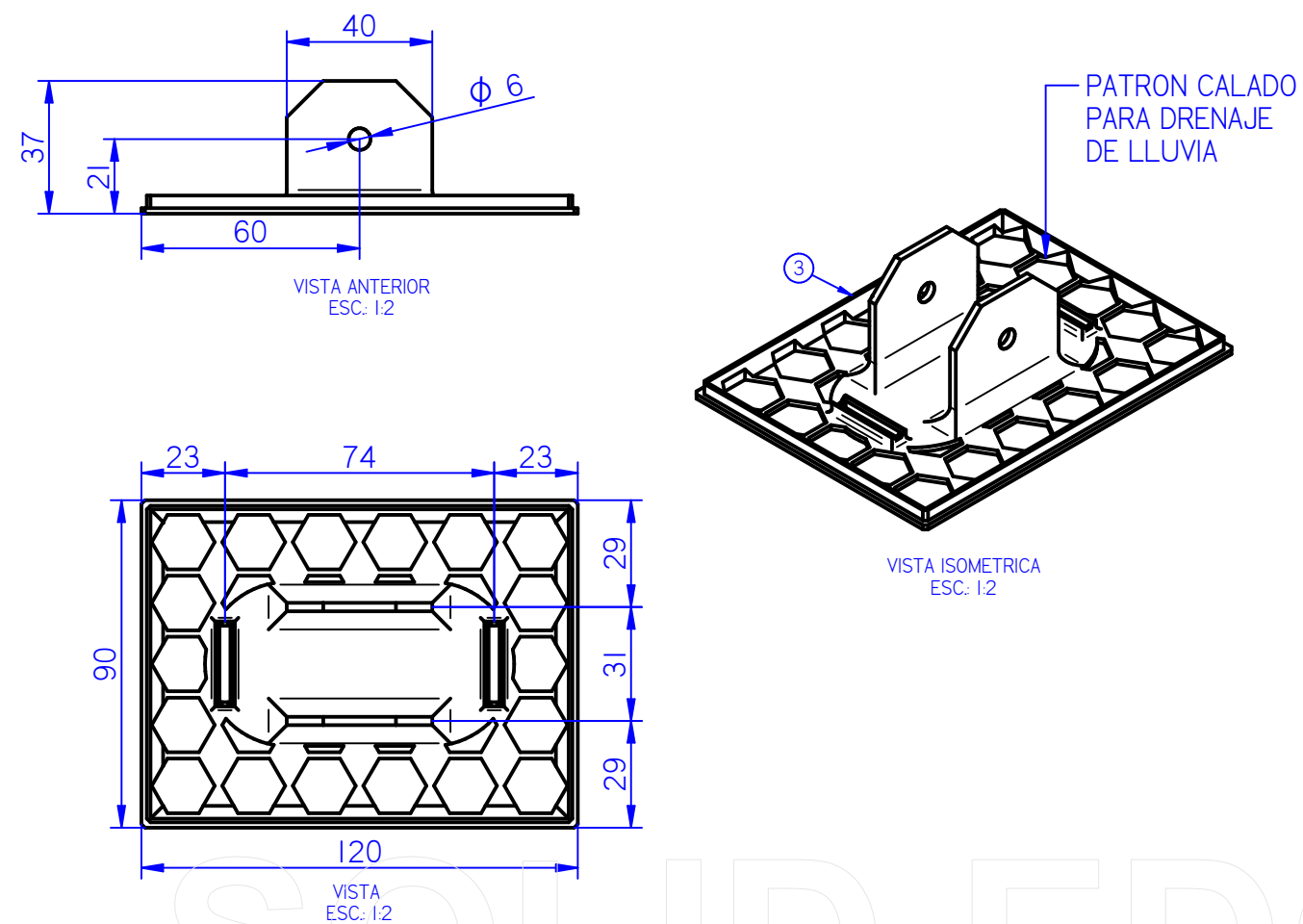
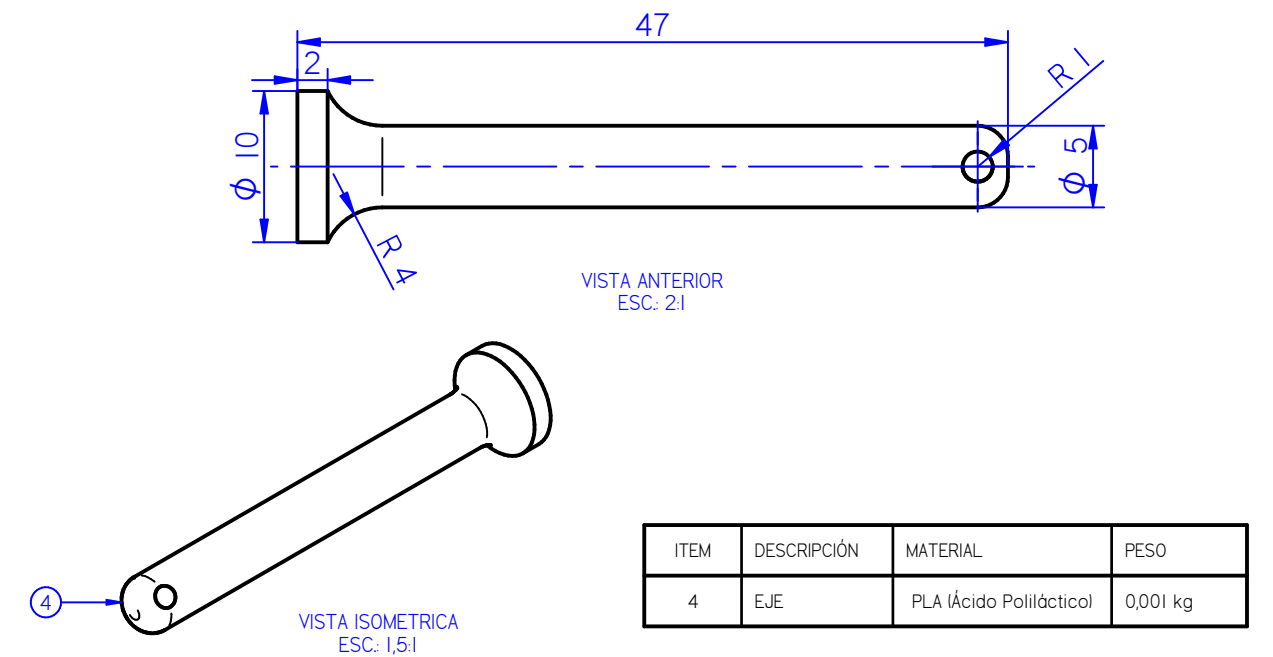
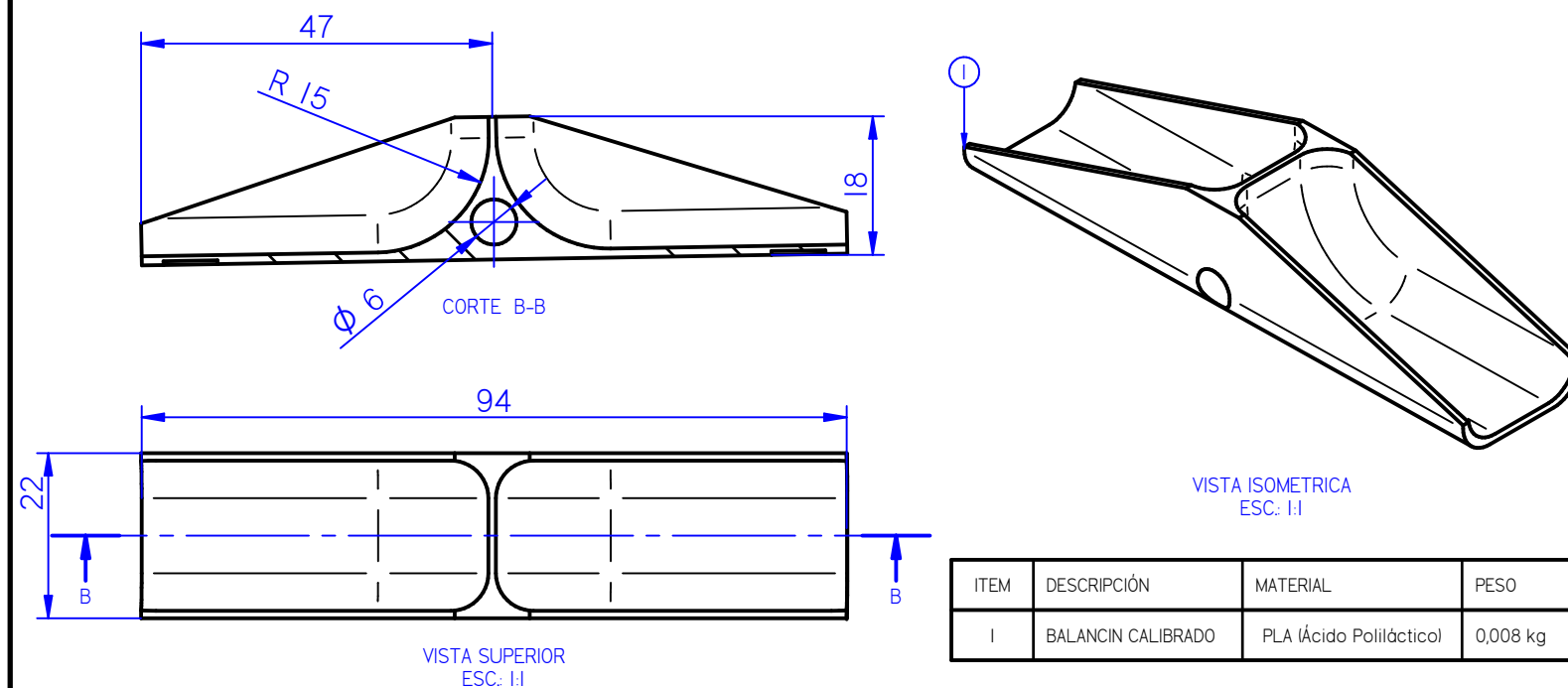
ESCALA
CAMBIOS

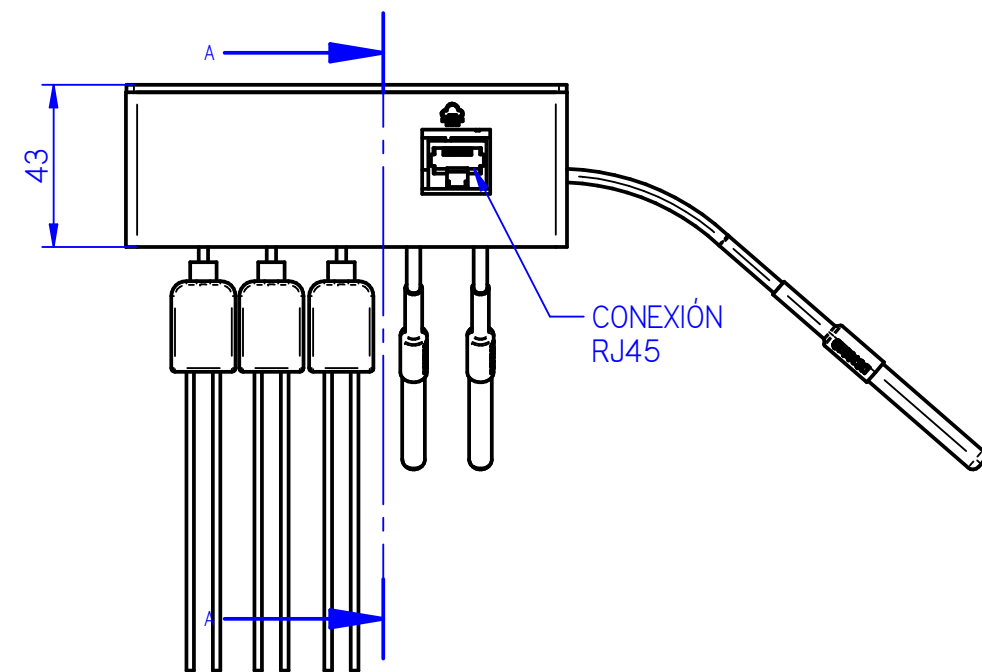


FECHA: 27/9/2025

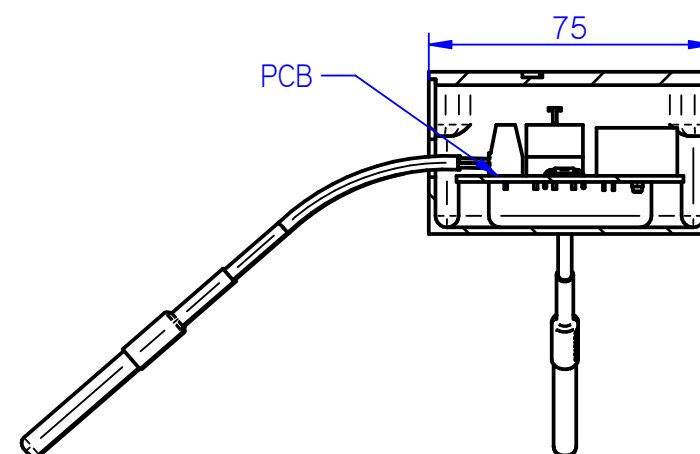
PLUVIOMETRO
MÓDULO DE LLUVIA- ENSAMBLE Y DESPIECE

FRANCO DESARROLLO
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular
y económica para monitoreo en tiempo real

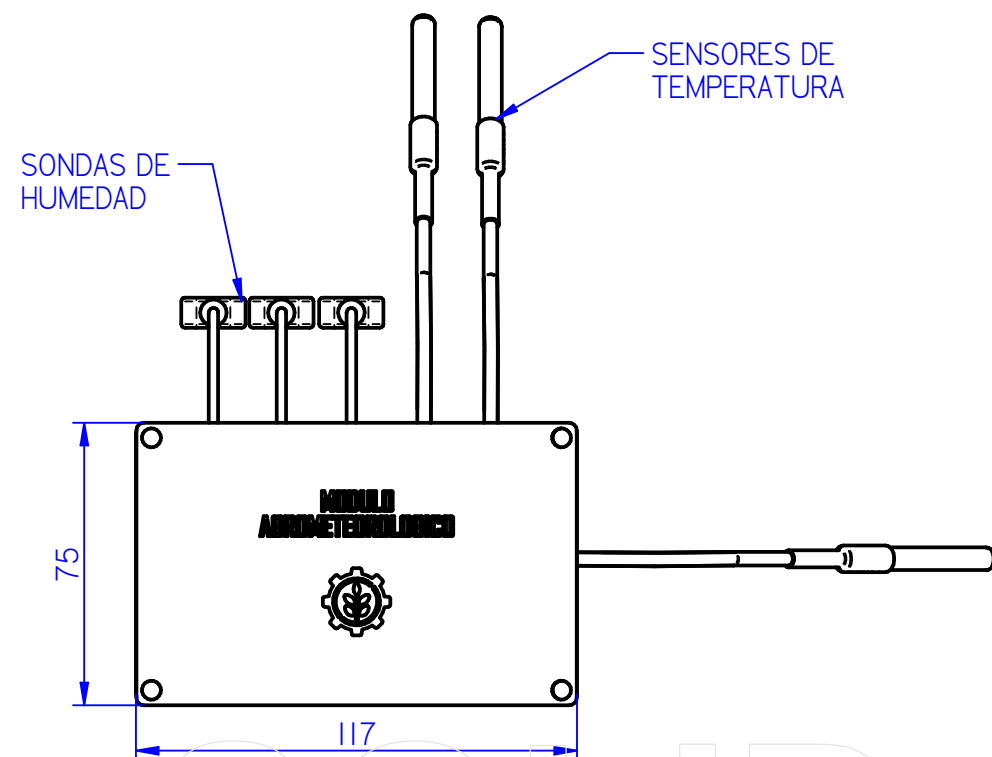
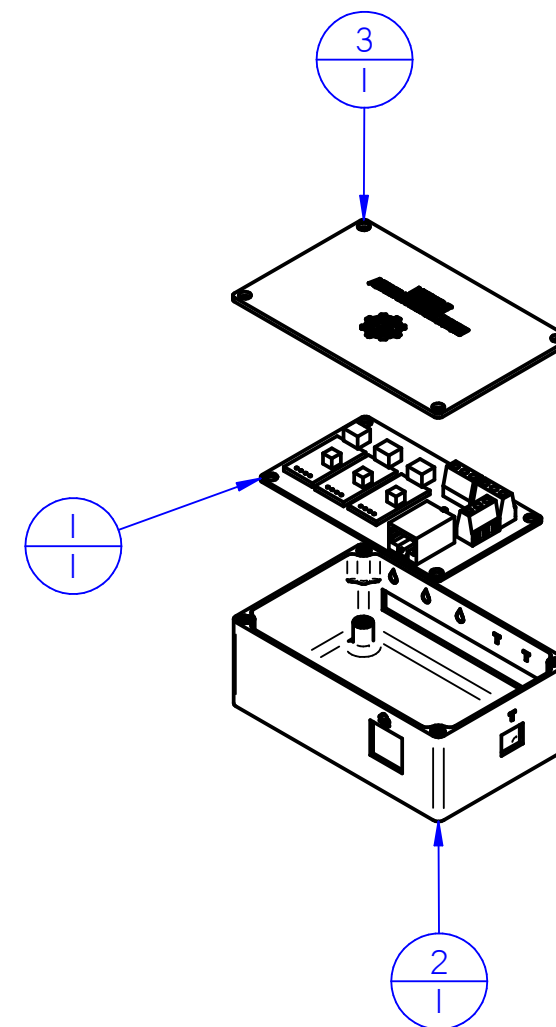




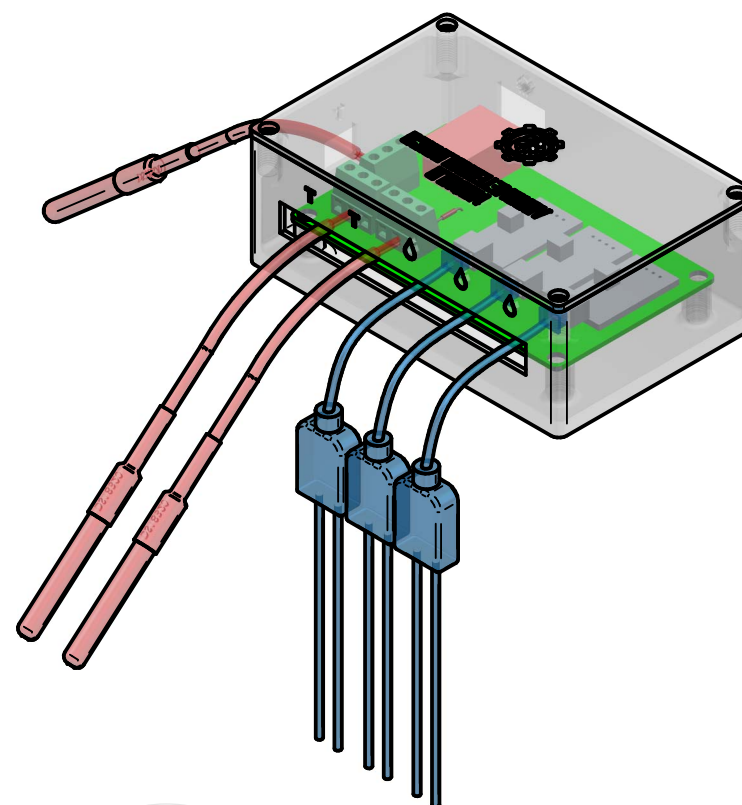
VISTA ANTERIOR
ESC: 1:2



CORTE A-A



VISTA SUPERIOR
ESC: 1:2



Número de elemento	Descripción	Cantidad
1	PLACA 3D	1
2	CAJA	1
3	TAPA	1



Universidad
Nacional de
San Luis



Facultad de
Ingeniería y Ciencias
Agropecuarias

PLANOS
MECÁNICOS

R: 00
H: 1 de 2

ESCALA
CAMBIO

FRANCO DESORTOLI
TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Diseño e implementación de una estación meteorológica modular
y económica para monitoreo en tiempo real

MODULO AGROMETEOROLOGICO
ENSAMBLE Y DESPIECE

FECHA: 27/9/2025

El autor se reserva el derecho a modificar total o parcialmente este documento. Los interesados deberán asegurarse de tener la versión aplicable.

