

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA  
ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN  
– 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor(es):** Bachiller. Javier Pérez Oclocho  
Bachiller. Nilson Meier Silva Cotrina.

**Asesor(es):** Dr. Walter Linder Cabrera Torres.  
Mg. Rubén Eusebio Acosta Jacinto

**Línea de investigación:** Automatización y control

**JAÉN – PERÚ, ABRIL 2025**

# Javier Pérez Oclocho; Nilson M. Silva Cotrina

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO P...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::1:3226153714

120 Páginas

Fecha de entrega  
23 abr 2025, 10:14 a.m. GMT-5

20.461 Palabras

Fecha de descarga  
23 abr 2025, 10:19 a.m. GMT-5

121.655 Caracteres

Nombre de archivo  
A\_UNIVERSIDAD\_NACIONALL\_DE\_JAEN\_-2023\_-\_Javier\_P\_rez\_Oclocho.pdf

Tamaño de archivo  
3.8 MB



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN  
Dr. Alexander Huaman Mera  
Catedrático de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

# 3% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 15 words)

## Top Sources

- 2% Internet sources
- 0% Publications
- 2% Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags

### 1 Integrity Flag for Review

- Hidden Text**  
100 suspect characters on 10 pages  
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN  
  
**Dr. Alexander Huamán Mera**  
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



### FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el martes 29 de abril del 2025, siendo las 11:30 a.m., se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon  
Secretario : Mg. Mario Félix Olivera Aldana  
Vocal : Dra. Zadiith Nancy Garrido Campaña

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- ( ) Trabajo de Investigación  
( X ) Tesis  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN - 2023".

Presentado por los bachilleres: **Javier Pérez Oclocho** y **Nilson Meier Silva Cotrina**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- ( X ) Aprobar                      ( ) Desaprobar                      ( X ) Unanimidad                      ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

- |                |            |        |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente   | 18, 19 20  | ( )    |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )    |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( 15 ) |
| d) Regular     | 13         | ( )    |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )    |

Siendo las 12:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon  
Presidente Jurado Evaluador

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Mario Félix Olivera Aldana  
Secretario Jurado Evaluador

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Zadiith Nancy Garrido Campaña  
Vocal Jurado Evaluador

**“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA  
PERUANA”**

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO  
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Nilson Meier Silva Cotrina, Bachiller de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 72926339.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN – 2023”**

Asesorado por Dr. Walter Linder Cabrera Torres

Para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

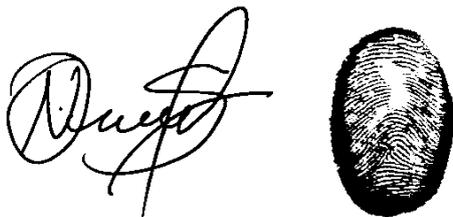
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 20 de junio del 2025

The image shows a handwritten signature in black ink on the left and a black ink fingerprint on the right. The signature is stylized and appears to be 'Nilson Meier Silva Cotrina'. The fingerprint is a clear, dark impression of a finger.

**“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA  
PERUANA”**

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO  
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Javier Pérez Oclocho, Bachiller de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 70039518.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN – 2023”**

Asesorado por Dr. Walter Linder Cabrera Torres

Para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 20 de junio del 2025

The image shows a handwritten signature in black ink on the left, followed by a black ink fingerprint on the right. The signature is stylized and appears to be 'J. Pérez Oclocho'. The fingerprint is a clear, dark impression of a finger.

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN</b> .....                                   | <b>8</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                  | <b>9</b>  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....                           | <b>10</b> |
| <b>1.1 Antecedentes de la investigación</b> .....      | <b>11</b> |
| <b>1.1.1. A nivel internacional.</b> .....             | 11        |
| <b>1.1.2. A nivel nacional.</b> .....                  | 12        |
| <b>1.1.3. A nivel local.</b> .....                     | 14        |
| <b>1.2 Planteamiento del Problema</b> .....            | <b>15</b> |
| Formulación del problema.....                          | 16        |
| <b>1.3 Justificación</b> .....                         | <b>17</b> |
| 1.3.1 Justificación Técnica: .....                     | 17        |
| 1.3.2 Justificación Ambiental: .....                   | 17        |
| 1.3.3 Justificación Económica: .....                   | 17        |
| 1.3.4 Justificación Social: .....                      | 18        |
| 1.3.5 Justificación práctica: .....                    | 18        |
| 1.3.6 Justificación metodológica: .....                | 18        |
| <b>1.4 Hipótesis.</b> .....                            | <b>19</b> |
| <b>1.5 Objetivos</b> .....                             | <b>19</b> |
| 1.5.1 Objetivo general .....                           | 19        |
| 1.5.2 Objetivos específicos .....                      | 19        |
| <b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                  | <b>20</b> |
| <b>2.1. Objeto de estudio:</b> .....                   | <b>20</b> |
| <b>Ubicación geográfica del área de estudio.</b> ..... | <b>20</b> |
| <b>Métodos</b> .....                                   | <b>21</b> |
| <b>Diseño del Estudio:</b> .....                       | <b>21</b> |
| <b>Población:</b> .....                                | <b>22</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Muestra:</b> .....  | <b>22</b>  |
| <b>Variables, operacionalización y definición conceptual y operacional</b> ..... | <b>22</b>  |
| <b>Procedimiento:</b> .....  | <b>23</b>  |
| <b>III. RESULTADOS</b> .....   | <b>80</b>  |
| <b>IV. DISCUSIÓN</b> .....   | <b>96</b>  |
| <b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....                                   | <b>98</b>  |
| <b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                      | <b>100</b> |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....  | <b>102</b> |
| <b>DEDICATORÍA</b> .....   | <b>103</b> |
| <b>ANEXOS</b> .....  | <b>104</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....   | 22 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Tipos de sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica y sus Características</i> ..... | 24 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Tipos de sensores para medir la radiación solar y sus características.</i> .....                | 25 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Tipos de controlador (Arduino) y sus Características</i> .....                                  | 27 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Tipos de pantallas OLED y sus características.</i> .....  | 29 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Tipo de módulos RTC y sus Características.</i> .....  | 31 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Características de diferentes módulos lector de memoria.</i> .....                              | 33 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Demanda de energía de los componentes del módulo electrónico</i> .....                          | 36 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Datos de radiación solar Hora Solar Pico (HSP).</i> .....                                       | 40 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Especificación del Controlador de Carga</i> .....  | 45 |
| <b>Tabla 11</b> <i>Costos Detallados de Componentes para el Prototipo de Estación Meteorológica</i> .....         | 71 |
| <b>Tabla 12</b> <i>Costos Estimados de Mano de Obra</i> .....   | 72 |
| <b>Tabla 13</b> <i>Ingresos Estimados para prototipo de estación meteorológica</i> .....                          | 74 |
| <b>Tabla 14</b> <i>Ingresos Estimados para prototipo de estación meteorológica</i> .....                          | 75 |
| <b>Tabla 15</b> <i>Costos Detallados del costo unitario de la estación meteorológica del MACCARD,</i> .....       | 76 |
| <b>Tabla 16</b> <i>Costos Estimados de Mano de Obra</i> .....   | 76 |
| <b>Tabla 17</b> <i>Ingresos Estimados para prototipo de estación meteorológica.</i> .....                         | 77 |
| <b>Tabla 18</b> <i>Ingresos Estimados para prototipo de la estación del MACCARD</i> .....                         | 78 |
| <b>Tabla 19</b> <i>Características de las componentes del Prototipo de Estación Meteorológica</i> .....           | 80 |
| <b>Tabla 20</b> <i>Selección de la Fuente de Energía Autónoma</i> .....   | 81 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 21</b> <i>Radiación UV registrados por el prototipo de la estación meteorológica y la estación MACCARD</i> .....        | 84 |
| <b>Tabla 22</b> <i>Temperatura registrada por el prototipo de estación meteorológica y la estación MACCARD</i> .....             | 87 |
| <b>Tabla 23</b> <i>Humedad relativa registrada por el prototipo de estación meteorológica y la estación MACCARD</i> .....        | 89 |
| <b>Tabla 24</b> <i>Presión atmosférica registrada por el prototipo de estación meteorológica y la estación MACCARD UNJ</i> ..... | 91 |
| <b>Tabla 25</b> <i>Evaluación de Factibilidad Económica para el Prototipo de Estación Meteorológica</i> .....                    | 94 |
| <b>Tabla 26</b> <i>Evaluación de Factibilidad Económica para la Estación Meteorológica del MACCARD</i> .....                     | 95 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Ubicación del Prototipo de la Estación Meteorológica</i> .....                  | 20 |
| <b>Figura 2</b> <i>Sensor BME 280 de Presión, Temperatura y Humedad</i> .....                      | 25 |
| <b>Figura 3</b> <i>Módulo sensor de luz ultravioleta (UV) ml8511</i> .....                         | 26 |
| <b>Figura 4</b> <i>Arduino Arduboard Mega 2560 R3</i> .....  | 28 |
| <b>Figura 5</b> <i>Pantalla OLED 1.3" I2C 128x64 SH1106</i> .....                                  | 31 |
| <b>Figura 6</b> <i>Modulo RTC DS3231 + EEPROM AT24C32 (I2C)</i> .....                              | 32 |
| <b>Figura 7</b> <i>Modulo lector de memoria micro SD Card 74LV125A.</i> .....                      | 34 |
| <b>Figura 8</b> <i>Cables dupont Hembra-Macho</i> .....  | 35 |
| <b>Figura 9</b> <i>Diseño del circuito electrónico</i> .....                                       | 38 |
| <b>Figura 10</b> <i>Montaje de Sensores</i> .....  | 39 |
| <b>Figura 11</b> <i>Panel Solar Monocristalino de 20W 12VDC de RenePV (Modelo RD20MC)</i><br>..... | 42 |
| <b>Figura 12</b> <i>Batería para almacenar energía eléctrica</i> .....                             | 43 |
| <b>Figura 13</b> <i>Controlador de carga</i> .....   | 46 |
| <b>Figura 14</b> <i>Impresión de la estructura en impresora 3d</i> .....                           | 47 |
| <b>Figura 15</b> <i>Ensamble del módulo de protección del módulo electrónico</i> .....             | 48 |
| <b>Figura 16</b> <i>Estructura de Soporte Metálica</i> .....                                       | 49 |
| <b>Figura 17</b> <i>Instalación de la caja metálica en la estructura metálica de soporte</i> ..... | 50 |
| <b>Figura 18</b> <i>Estructura metálica de soporte –acabado final</i> .....                        | 51 |
| <b>Figura 19</b> <i>Accesibilidad a los sensores</i> .....   | 52 |
| <b>Figura 20</b> <i>Primera prueba de funcionamiento</i> .....                                     | 53 |
| <b>Figura 21</b> <i>Código de programación para el prototipo</i> .....                             | 54 |
| <b>Figura 22</b> <i>Pruebas de funcionamiento para la recolección de datos</i> .....               | 55 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 23</b> <i>Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo</i> .....   | 57 |
| <b>Figura 24</b> <i>Grafica de bigotes para observar los datos atípicos obtenido de las dos estaciones meteorológicas para la posterior calibración</i> ..... | 58 |
| <b>Figura 25</b> <i>Dispersión lineal de la primera calibración</i> .....   | 58 |
| <b>Figura 26</b> <i>Dispersión lineal de la segunda calibración</i> .....   | 59 |
| <b>Figura 27</b> <i>Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo</i> .....   | 60 |
| <b>Figura 28</b> <i>Grafica de bigotes para observar los datos atípicos obtenido de las dos estaciones meteorológicas para la posterior calibración</i> ..... | 61 |
| <b>Figura 29</b> <i>Dispersión lineal de la primera calibración</i> .....   | 61 |
| <b>Figura 30</b> <i>Dispersión lineal de la segunda calibración</i> .....   | 62 |
| <b>Figura 31</b> <i>Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo</i> .....   | 63 |
| <b>Figura 32</b> <i>Grafica de bigotes para observar los datos atípicos obtenido de las dos estaciones meteorológicas para la posterior calibración</i> ..... | 64 |
| <b>Figura 33</b> <i>Dispersión lineal de la primera calibración</i> .....   | 64 |
| <b>Figura 34</b> <i>Dispersión lineal de la segunda calibración</i> .....   | 65 |
| <b>Figura 35</b> <i>Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo</i> .....   | 66 |
| <b>Figura 36</b> <i>Caja de bigotes de la radiación UV</i> .....  | 67 |
| <b>Figura 37</b> <i>Dispersión lineal de la primera calibración</i> .....   | 68 |
| <b>Figura 38</b> <i>Dispersión lineal de la segunda calibración</i> .....   | 68 |
| <b>Figura 39</b> <i>Estructura del prototipo de la estación meteorológica</i> .....   | 83 |
| <b>Figura 40</b> <i>Diagrama de caja de la radiación UV medida (<math>W/m^2</math>) y los registrados por la estación MACCARD</i> .....                       | 85 |
| <b>Figura 41</b> <i>Relación entre la radiación UV registrada por el prototipo y la estación MACCARD</i> .....  | 86 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 42</b> <i>Diagrama de caja de la temperatura registrada por el prototipo y la estación</i>         |    |
| <i>MACCARD</i> .....   | 87 |
| <b>Figura 43</b> <i>Relación entre la temperatura registrada por el prototipo y la estación</i>              |    |
| <i>MACCARD</i> .....   | 88 |
| <b>Figura 44</b> <i>Diagrama de caja de la humedad registrada por el prototipo y la estación</i>             |    |
| <i>MACCARD UNJ</i> .....   | 90 |
| <b>Figura 45</b> <i>Relación entre la humedad registrada por el prototipo y la estación</i>                  |    |
| <i>MACCARD UNJ</i> .....   | 90 |
| <b>Figura 46</b> <i>Diagrama de caja de la presión atmosférica registrada por el prototipo y la estación</i> |    |
| <i>MACCARD UNJ</i> .....   | 92 |
| <b>Figura 47</b> <i>Relación entre la presión atmosférica registrada por el prototipo y la estación</i>      |    |
| <i>MACCARD UNJ</i> .....   | 93 |

## **RESUMEN**

El control preciso de variables atmosféricas en entornos con limitado acceso a estaciones comerciales de alto costo motivó el diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica con tecnología Arduino para la Universidad Nacional de Jaén (2023). Se empleó un diseño experimental aplicado estructurado en cuatro fases: desarrollo del sistema electrónico con sensores BME280 (temperatura, humedad, presión atmosférica) y ML8511 (radiación UV), programación en C++ para Arduino Mega 2560 R3 con almacenamiento en microSD y visualización en pantalla OLED, implementación de autonomía energética mediante paneles solares de 20W y baterías de 12V/9Ah, y construcción de una estructura resistente con impresión 3D (PLA) y soporte metálico. Los resultados demostraron precisión comparable a estaciones comerciales (MACCARD), respaldada por un análisis financiero viable (VAN: S/ 7,391.00; TIR: 44.28%). Se concluye que el sistema es económico, escalable y adaptable a múltiples aplicaciones, recomendándose optimizar la protección de sensores contra condiciones climáticas extremas e implementar redundancia en el almacenamiento de datos mediante tecnologías IoT.

**Palabras Clave:** sensores meteorológicos, variables climáticas, energía renovable, Arduino, estación meteorológica de bajo costo, BME280.

## **ABSTRACT**

The precise control of atmospheric variables in environments with limited access to high-cost commercial stations motivated the design and implementation of an Arduino-based prototype weather station for the National University of Jaén (2023). An applied experimental design was structured into four phases: development of the electronic system with BME280 sensors (temperature, humidity, atmospheric pressure) and ML8511 (UV radiation), C++ programming for Arduino Mega 2560 R3 with microSD storage and OLED display, implementation of energy autonomy using 20W solar panels and 12V/9Ah batteries, and construction of a durable structure with 3D printing (PLA) and metal support. Results demonstrated accuracy comparable to commercial stations (e.g., MACCARD), supported by a viable financial analysis (NPV: S/ 7,391.00; IRR: 44.28%). The system is concluded to be cost-effective, scalable, and adaptable to multiple applications, with recommendations to optimize sensor protection against extreme weather conditions and implement data storage redundancy through IoT technologies.

**Keywords:** meteorological sensors, climatic variables, renewable energy, Arduino, low-cost weather station, BME280.

## I. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de variables atmosféricas fue fundamental en sectores como la agricultura, meteorología e investigación científica, ya que permitía optimizar el uso de recursos, prever fenómenos climáticos y evaluar el impacto del cambio climático en diversas regiones (Rosales y Ramírez, 2023; LACCEI, 2023). Sin embargo, las estaciones meteorológicas comerciales presentaban costos elevados, lo que limitaba su implementación en instituciones educativas y proyectos locales con presupuestos reducidos (Repositorio UCI, 2023; TEC Bolivia, 2023). Ante esta problemática, el desarrollo de prototipos accesibles basados en tecnología Arduino surgió como una alternativa eficiente, económica y escalable, tal como lo demostraron proyectos previos que integraron sensores de bajo costo y sistemas de energía renovable (Zaguan, 2022; Repositorio UNFV, 2023).

Este trabajo se centró en el diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica para la Universidad Nacional de Jaén, el cual midió variables como temperatura, humedad, presión atmosférica y radiación ultravioleta mediante sensores BME280 y ML8511, programados en C++ para Arduino Mega 2560 R3. La integración de un sistema de autonomía energética con paneles solares de 20W y baterías recargables representó una innovación frente a estudios anteriores, al priorizar la sostenibilidad y reducción de costos operativos (Thingspeak, 2023; LACCEI, 2023). Los resultados evidenciaron una precisión comparable a estaciones comerciales como las del proyecto MACCARD, con un análisis financiero viable (VAN: S/ 7,391.00; TIR: 44.28%), lo que consolidó su aplicabilidad en investigación y docencia.

La investigación se justificó por la necesidad de democratizar el acceso a tecnologías meteorológicas en entornos académicos, donde la falta de equipos especializados limita el análisis climático local (Repositorio Libertadores, 2023; Martínez et al., citado en LACCEI, 2023). Además, el uso de hardware libre y energías renovables alineó el proyecto con estándares globales de sostenibilidad tecnológica (Zaguan, 2022). El propósito de la tesis fue diseñar un prototipo de bajo costo que integrara mediciones precisas, autonomía energética y resistencia estructural, contribuyendo a la innovación en ingeniería aplicada.

## **1.1 Antecedentes de la investigación**

### **1.1.1. A nivel internacional.**

En Colombia, Gaviria (2018) desarrolló la investigación titulada "Implementación de una estación meteorológica con Arduino" con el objetivo de diseñar y construir un prototipo funcional de estación meteorológica portátil para medir temperatura, humedad y precipitaciones, a fin de prevenir inundaciones en Pereira. Su metodología incluyó el análisis de componentes, diseño del prototipo en frizing.org, desarrollo de conexiones entre Arduino y sensores, y pruebas piloto de implementación. Los resultados demostraron la viabilidad de estaciones meteorológicas móviles y económicas, subrayando la eficiencia del uso de Arduino en proyectos de bajo costo. Esta investigación guarda similitud con el presente estudio en el uso de Arduino como base tecnológica y en la implementación de sensores meteorológicos. Sin embargo, la diferencia principal radica en el propósito de aplicación: mientras Gaviria se enfocó en la prevención de inundaciones, el presente estudio está orientado al monitoreo climático dentro de la Universidad Nacional de Jaén.

En Ecuador, Estupiñán y Paz (2022) llevaron a cabo la investigación "Arquetipo de estación meteorológica de medición de parámetros atmosféricos utilizando un modelo SaaS", cuyo objetivo fue desarrollar un prototipo basado en un modelo SaaS, empleando una placa ESP32 y sensores DHT22, IP-65 y M18511. La plataforma Ubidots permitió la visualización de datos en tiempo real, con una transmisión efectiva entre 3 y 5 segundos. En comparación con el presente estudio, ambos proyectos utilizan tecnologías accesibles y de bajo costo para la recolección de datos meteorológicos, pero la diferencia clave radica en el enfoque de almacenamiento y acceso a la información: mientras que Estupiñán y Paz emplean un modelo SaaS para gestionar los datos en la nube, la presente investigación utiliza tecnología Arduino con almacenamiento y procesamiento local.

En México, Velasco et al. (2015) desarrollaron la investigación titulada "Prototipo de estación meteorológica automatizada ajustable para investigación agronómica". El objetivo fue construir un prototipo adaptable a

sensores y tiempos de muestreo, validándolo estadísticamente con datos de estaciones comerciales. Los resultados muestran que el prototipo mide variables meteorológicas con precisión comparable a estaciones comerciales y permite la personalización en función de intereses específicos. Las conclusiones destacaron la contribución del prototipo a la investigación agronómica, con énfasis en la reducción de costos. Este estudio resalta la importancia de la precisión y calibración de los datos meteorológicos, alineándose con el presente trabajo en términos de validación experimental. Sin embargo, la diferencia central es que Velasco et al. se enfocaron en aplicaciones agronómicas, mientras que la investigación actual busca su implementación en una universidad para fines académicos y científicos.

### **1.1.2. A nivel nacional.**

En Perú, Luján (2021) llevó a cabo una investigación titulada "Desarrollo y validación de un prototipo de estación meteorológica de bajo costo para el registro de mediciones meteorológicas en zonas de alta montaña" con el propósito de diseñar y validar un prototipo basado en código abierto mediante un microcontrolador. Para ello, se instaló el prototipo junto a una estación científica Campbell en Quilcayhuanca, Áncash, a 3800 msnm, comparando parámetros como presión atmosférica, temperatura, humedad relativa y radiación solar. Los resultados destacaron que los datos obtenidos del prototipo son similares a los de las estaciones comparadas, con diferencias promedio en temperatura de 0.193°C, en humedad de 1.3% HR, en presión atmosférica de 0.14 mbar y en radiación solar de 5.8%. Las conclusiones señalan que el costo-beneficio del prototipo es entre 5 y 18 veces menor. La similitud con la presente investigación radica en la validación experimental de los datos obtenidos y el uso de microcontroladores. Sin embargo, la diferencia fundamental radica en el entorno de aplicación: mientras Luján enfocó su estudio en zonas de alta montaña, el presente trabajo se orienta al monitoreo climático en un entorno universitario.

En Perú, Angulo y Rojas (2021) desarrollaron la investigación titulada "Estación Meteorológica Automática para la prevención de hongos en el

vivero de la Facultad de Agronomía de la UNPRG" con el propósito de diseñar y construir un prototipo automático para prevenir hongos en viveros. Para ello, se crearon tres subsistemas: Datalogger para la obtención y procesamiento de datos de sensores de temperatura, humedad relativa, punto de rocío y velocidad del viento; un subsistema telemétrico para la transmisión remota mediante un módulo GSM/GPRS; y un subsistema fotovoltaico para energización autónoma. Los resultados destacaron un correcto funcionamiento de los componentes electrónicos con valores promedio de temperatura de 25.22°C, humedad relativa de 76.01%, punto de rocío de 20.35°C y velocidad de viento de 1.4 m/s. Las conclusiones subrayaron la utilidad del prototipo como herramienta de prevención. La relación con la presente investigación se encuentra en la automatización y la recolección de datos en tiempo real. No obstante, la principal diferencia radica en su aplicación, ya que Angulo y Rojas centraron su investigación en la prevención de hongos en viveros agrícolas, mientras que el presente estudio se orienta al monitoreo climático en la Universidad Nacional de Jaén.

En Perú, Solano (2021) desarrolló la tesis titulada "Diseño e implementación de una estación meteorológica con acceso a internet para sitios remotos" con el propósito de diseñar un sistema para recopilar datos meteorológicos en zonas sin cobertura de internet. Se utilizó un microcontrolador Atmega1284 para la gestión de la información, un sistema inalámbrico XBee Pro para comunicación y un sistema de energía autónomo con batería y regulador de carga. Los resultados destacaron un diseño funcional y protocolos inalámbricos óptimos que aseguraron la transmisión de datos sin pérdida. Las conclusiones señalan que el sistema es eficaz para monitorear variables ambientales en sitios remotos. Este estudio comparte la visión de autonomía y transmisión de datos con la presente investigación. Sin embargo, Solano se enfocó en zonas sin cobertura de internet, mientras que el actual estudio busca implementar el monitoreo en una universidad con infraestructura de comunicación estable.

### **1.1.3. A nivel local.**

En Perú, Febre y Chanta (2022) realizaron un caso de investigación titulada "Desarrollo de un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar" con el propósito de diseñar un piranómetro de bajo costo que permitiera medir y comparar la radiación solar. Para ello, emplearon un conjunto de 48 termocuplas de cobre-constantán conectadas a un sistema basado en Arduino como hardware libre para registrar los datos en milivoltios (mV) y convertirlos a  $W/m^2$ . Analizaron la evaluación entre los datos obtenidos por el prototipo y un piranómetro comercial modelo CMP3 de la estación meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en Lambayeque. Los resultados destacaron una alta y significativa evaluación entre ambos equipos, y las conclusiones señalaron que el prototipo es una alternativa confiable y económica. La relación con el presente estudio radica en la utilización de Arduino como base tecnológica y en la comparación con equipos comerciales. Sin embargo, la diferencia fundamental es que Febre y Chanta se enfocaron exclusivamente en la medición de radiación solar, mientras que la presente investigación aborda múltiples variables meteorológicas.

En Perú, Jiménez (2020) llevó a cabo una investigación titulada "Diseño e implementación de un sistema automatizado con telemetría para medir, registrar y monitorear la radiación solar y la temperatura" con el propósito de reducir los altos costos operativos asociados con la recolección manual de datos meteorológicos. Para ello, se diseñó un sistema automatizado equipado con un sensor piranómetro MS-40 de clase C con un rango de medición de 0-2000  $W/m^2$  y un sensor de temperatura tipo termocupla PT100 con un transmisor RTD. El sistema operó con un registro continuo de datos cada minuto, los cuales se monitorearon remotamente mediante telemetría basada en red celular. Los resultados destacaron la eficacia del diseño para recopilar datos de manera automatizada, y las conclusiones señalaron que este sistema es una herramienta eficiente para monitorear variables climáticas en tiempo real. Este estudio se asemeja al presente en la automatización de la recopilación de datos y en la búsqueda de eficiencia en costos operativos. Sin embargo, mientras Jiménez se centró en la optimización del monitoreo de

radiación solar, el presente estudio abarca un espectro más amplio de variables atmosféricas, con un enfoque en la Universidad Nacional de Jaén.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

La medición y monitoreo de variables meteorológicas es crucial para comprender el comportamiento climático y tomar decisiones informadas en diversas áreas, como la planificación agrícola, diseño de infraestructuras y desarrollo de tecnologías renovables. Sin embargo, el acceso a equipos confiables y económicos para la obtención de datos climáticos sigue siendo un desafío, especialmente en países en desarrollo.

A nivel global, la importancia de contar con información precisa sobre las variables meteorológicas ha impulsado a muchas organizaciones a instalar estaciones meteorológicas comerciales para satisfacer necesidades específicas (Palaguachi Encalada, 2018). Sin embargo, estas estaciones suelen ser costosas y no siempre accesibles para todas las entidades, especialmente en regiones con recursos limitados. Por ello, es fundamental contar con estaciones meteorológicas económicas y accesibles que permitan la recopilación de datos en tiempo real para aplicaciones científicas, tecnológicas y educativas. En el caso del Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) proporciona datos climáticos restringidos y limitados debido a la insuficiencia de estaciones meteorológicas en el territorio nacional. Esta situación genera una brecha en la disponibilidad de datos, lo que afecta la capacidad de entidades académicas y empresariales para desarrollar proyectos basados en información climática precisa.

A nivel local, la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén se enfrenta a la ausencia de una estación meteorológica que permita la recolección de datos específicos sobre variables como temperatura, humedad, presión y radiación solar. Esto limita las oportunidades de investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con la climatización, el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos y otras aplicaciones energéticas. La necesidad de una estación meteorológica en la universidad es evidente, ya que su implementación facilitará el acceso a datos en tiempo real,

impulsando investigaciones en energías renovables, análisis de cambios climáticos y desarrollo de sistemas tecnológicos aplicados.

La principal causa de este problema es el alto costo de adquisición de estaciones meteorológicas comerciales, lo que dificulta su implementación en instituciones con recursos limitados. Además, la centralización de los datos meteorológicos en organismos como el SENAMHI y la cobertura limitada de sus estaciones agravan la falta de acceso a información local específica. La falta de acceso a datos meteorológicos precisos impacta negativamente en la capacidad de las instituciones educativas y empresas para diseñar y optimizar proyectos tecnológicos y productivos. Por ejemplo, sin datos confiables sobre radiación solar, es difícil dimensionar eficientemente sistemas fotovoltaicos, lo que podría limitar el desarrollo de energías renovables en regiones con acceso restringido a la electricidad.

De no abordarse este problema, se prevé que la brecha en la disponibilidad de datos meteorológicos continuará limitando el desarrollo de tecnologías sostenibles y la optimización de recursos energéticos en el ámbito local. Además, la dependencia de estaciones meteorológicas comerciales seguirá siendo una barrera económica para muchas instituciones.

La implementación de una estación meteorológica en el campus de la Universidad Nacional de Jaén no solo permitirá recopilar datos climáticos precisos y accesibles, sino que también contribuirá significativamente al conocimiento científico al proporcionar información de relevancia local para estudios meteorológicos, energéticos y ambientales. Esta iniciativa contribuirá a mejorar las capacidades de investigación, docencia y desarrollo tecnológico en la región, promoviendo soluciones sostenibles y accesibles a problemas energéticos y climáticos.

### **Formulación del problema**

¿Cómo diseñar e implementar un prototipo de estación meteorológica con tecnología Arduino en el campus de la Universidad Nacional de Jaén que permita obtener datos climáticos precisos y accesibles?

### **1.3 Justificación.**

#### **1.3.1 Justificación Técnica:**

El diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica portátil con tecnología Arduino para la Universidad Nacional de Jaén responde a la necesidad de contar con un sistema accesible, económico y preciso para la recolección de datos climáticos, facilitando la investigación y optimización de sistemas energéticos. Se investiga para desarrollar una alternativa viable y de bajo costo que permita la medición de variables clave como temperatura, humedad, presión y radiación solar. Esto permitirá generar conocimiento aplicable en proyectos académicos y científicos, optimizando recursos y fortaleciendo las capacidades tecnológicas de la universidad.

#### **1.3.2 Justificación Ambiental:**

La implementación de una estación meteorológica en el campus de la Universidad Nacional de Jaén contribuirá a un mejor entendimiento y monitoreo de las variables climáticas locales, lo cual es crucial para evaluar el impacto ambiental en diversas actividades productivas y académicas. Se investiga para proporcionar datos precisos y continuos que permitan una mejor gestión de los recursos naturales y energéticos. Estos datos contribuirán al desarrollo de estrategias sostenibles, como el diseño de sistemas de energía renovable (por ejemplo, sistemas fotovoltaicos) y el monitoreo del cambio climático, promoviendo un uso responsable de los recursos ambientales.

#### **1.3.3 Justificación Económica:**

El desarrollo de una estación meteorológica de bajo costo utilizando tecnología Arduino tiene un impacto directo en la reducción de costos en comparación con las estaciones comerciales, que son significativamente más caras. Se investiga para proporcionar una solución accesible que optimice los recursos financieros de la universidad y permita que más proyectos se beneficien de herramientas científicas sin generar una carga económica excesiva. Esto favorecerá la educación y la innovación, al permitir la asignación de fondos a otros proyectos de investigación y desarrollo tecnológico dentro de la universidad.

#### **1.3.4 Justificación Social:**

La creación de esta estación meteorológica tendrá un impacto positivo en la comunidad universitaria, proporcionando acceso a datos climáticos precisos y en tiempo real. Se investiga para fortalecer las capacidades de los estudiantes y docentes en la recolección y análisis de datos meteorológicos, promoviendo la integración de metodologías científicas en su formación. Esto fomentará el desarrollo de proyectos de investigación, como el diseño de sistemas de climatización, energías renovables y estudios sobre el cambio climático. Además, el acceso a información meteorológica permitirá que la comunidad universitaria participe activamente en la generación de conocimiento científico, beneficiando también a otras instituciones interesadas en replicar esta solución.

#### **1.3.5 Justificación práctica:**

La implementación de una estación meteorológica con tecnología Arduino en la Universidad Nacional de Jaén permitirá la aplicación directa de conocimientos teóricos en el ámbito experimental, facilitando el aprendizaje práctico en la medición y análisis de variables climáticas. Se investiga para desarrollar un sistema funcional y accesible que pueda ser utilizado en cursos de ingeniería, física y energías renovables, promoviendo el desarrollo de habilidades técnicas en los estudiantes. Esto permitirá la realización de estudios meteorológicos en tiempo real, mejorando la planificación de actividades académicas y proyectos de desarrollo tecnológico en la universidad.

#### **1.3.6 Justificación metodológica:**

El enfoque metodológico de este proyecto se basa en la integración de hardware y software de código abierto para el diseño y construcción de un sistema de medición de variables climáticas. Se investiga para establecer una metodología eficiente y replicable, que permita la implementación de estaciones meteorológicas económicas en diferentes entornos. La metodología empleada incluirá fases de diseño, implementación, pruebas y validación de los datos obtenidos, asegurando su precisión y fiabilidad. Esto permitirá la generación de información científica confiable, que pueda ser utilizada en estudios climáticos, desarrollo de energías renovables y planificación de infraestructuras.

#### **1.4 Hipótesis.**

El diseño e implementación del prototipo de estación meteorológica con tecnología Arduino en el campus de la Universidad Nacional de Jaén, obtiene datos climáticos precisos y accesibles.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un prototipo de estación meteorológica con tecnología Arduino para la Universidad Nacional de Jaén-2023.

##### **1.5.2 Objetivos específicos**

- ✓ Diseñar los módulos necesarios para el funcionamiento de la estación meteorológica
- ✓ Implementar la estación meteorológica en una estructura resistente a las condiciones climáticas y ambientales
- ✓ Realizar una evaluación económica del prototipo utilizando los indicadores financieros de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Objeto de estudio:

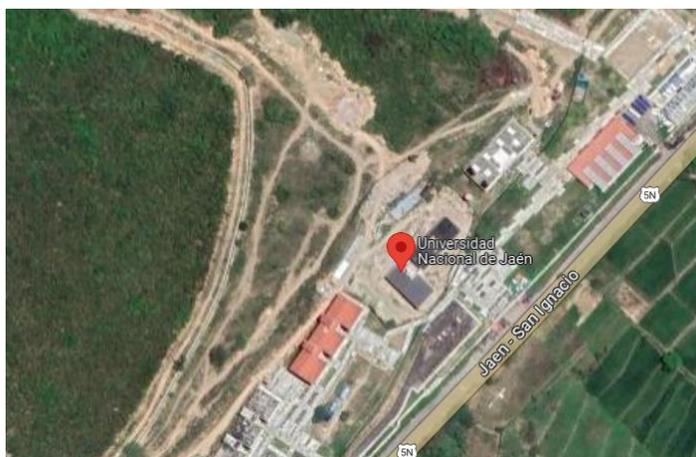
El objeto de estudio de esta investigación es el diseño, implementación y evaluación de un prototipo de estación meteorológica utilizando tecnología Arduino, con el objetivo de obtener datos precisos sobre las condiciones climáticas en el campus de la Universidad Nacional de Jaén. Este prototipo permitirá medir variables como la temperatura, la humedad, la presión atmosférica y la radiación solar, y se usará como herramienta para promover el monitoreo climático y el análisis ambiental en tiempo real dentro de la universidad.

#### **Ubicación geográfica del área de estudio.**

El prototipo de la estación meteorológica fue instalado en el campus universitario, ubicado en la carretera Jaén-San Ignacio Km 24, sector Yanuyacu-Jaén, Distrito Jaén, Provincia Jaén, Departamento de Cajamarca, Perú. La ubicación fue seleccionada considerando factores como la altitud, la incidencia solar y la velocidad del viento, los cuales influyeron en el diseño y selección del instrumental de la estación.

#### **Figura 1**

*Ubicación del Prototipo de la Estación Meteorológica*



*Nota.* La figura muestra donde se ubicó el prototipo de la estación meteorológica, en el campus de la Universidad Nacional de Jaén, Distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

## **Métodos**

Se empleó un método cuantitativo con un diseño experimental aplicado, definido por Hernández, Fernández y Baptista (2014) como la manipulación y control de variables para analizar sus efectos en un entorno específico, con el objetivo de generar resultados aplicables a contextos reales. El análisis de datos incluyó pruebas de normalidad y validación estadística para evaluar la confiabilidad del prototipo en la medición de variables climáticas.

El estudio se enfocó en el desarrollo y evaluación de un prototipo de estación meteorológica basado en tecnología Arduino. Se integraron sensores BME280 para medir temperatura, humedad y presión atmosférica, junto con un sensor UV para la radiación solar. La programación se realizó en lenguaje C++ en la plataforma Arduino Mega 2560 R3, incorporando módulos de almacenamiento y visualización en una pantalla OLED. La selección de estos sensores se basó en criterios de precisión, disponibilidad y compatibilidad con la plataforma Arduino. Además, se diseñó un sistema de autonomía energética con un panel solar y batería, y la estructura se fabricó con filamentos PLA y soporte metálico siguiendo protocolos de resistencia ambiental para garantizar su operatividad en condiciones climáticas adversas.

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante mediciones en campo con la estación meteorológica implementada. Se efectuó una evaluación técnica y económica basada en indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Finalmente, se diseñó una estrategia de validación del prototipo mediante pruebas comparativas con estaciones meteorológicas comerciales del proyecto MACCARD, analizando la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

### **Diseño del Estudio:**

El diseño del estudio fue experimental y descriptivo, orientado a la implementación de un prototipo de estación meteorológica en condiciones reales de campo. Se utilizó un diseño cuasi-experimental para evaluar la precisión y desempeño del prototipo en comparación con estaciones meteorológicas comerciales. Para el análisis de datos, se aplicaron pruebas estadísticas de correlación y validación de normalidad. Además, se evaluaron los costos asociados al prototipo para determinar su viabilidad económica.

**Población:**

La población del estudio estuvo conformada por todas las mediciones de variables meteorológicas en el campus universitario de la Universidad Nacional de Jaén. Estas variables incluyeron temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y radiación solar, las cuales fueron clave para el funcionamiento del prototipo.

**Muestra:**

La muestra estuvo compuesta por los datos de las mediciones tomadas durante un período específico de tiempo, con el fin de evaluar el comportamiento de las variables meteorológicas en el campus universitario. Se utilizó un muestreo sistemático con mediciones a intervalos regulares, asegurando que los resultados fueran representativos de las condiciones climáticas a lo largo del tiempo.

**Variables, operacionalización y definición conceptual y operacional****Variable independiente (VI).**

Prototipo de estación meteorológica

**Variable dependiente (VD).**

Variables meteorológicas

**Operacionalización de variables****Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| <b>Variab</b>                       | <b>Definición</b>  | <b>Definición operacional</b>   | <b>Indicadores</b> | <b>Instrumentos</b>                       |
|-------------------------------------|--|---|--------------------|---|
|                                     | <b>Conceptual</b>  |   |                    |   |
| Prototipo de estación Meteorológica | Una estación meteorológica es un conjunto de instrumentos que está destinada a medir y registrar | Sistema basado en un equipamiento de instrumentos destinados a captar, almacenar y mostrar magnitudes meteorológicas del campus de la UNJ, siendo | -Davis<br>-Estudio | -Fritzing<br>-SolidWorks<br>-Impresora 3d |

---

|                          |   |   |   |                       |
|--------------------------|---|---|---|-----------------------|
|                          | diversas variables meteorológicas.  | además el resultado del diseño de este estudio.   |   |                       |
|                          |   | Son las magnitudes meteorológicas registradas y almacenadas por las estaciones, dichos registros se comparan para evaluar la precisión del prototipo. | -Temperatura Ambiente.<br>-Humedad Relativa<br>-Presión Atmosférica<br>-Radiación Solar |                       |
| VARIABLES meteorológicas | Son parámetros que son medibles a partir de su comportamiento en la atmosfera |   |   | -Sensores<br>-Arduino |

---

Fuente: Elaboración Propia.

## Procedimiento:

### Diseño de los módulos necesarios para el funcionamiento de la estación meteorológica

#### A. Diseño del módulo electrónico

- **Identificación de Variables Meteorológicas:**

Con el objetivo de identificar las variables meteorológicas y contar con datos comparativos, se solicitó a través del Instituto de Ciencias de Datos la información a la encargada del proyecto financiado por la Unión Europea, denominado "Máster en Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible" (MACCARD), que se ejecutó en la Universidad Nacional de Jaén. Una vez obtenida la información, se procedió a buscar sensores capaces de medir las magnitudes registradas en el proyecto MACCARD. Tras realizar la búsqueda, se seleccionaron los sensores para medir las variables meteorológicas: temperatura, humedad, presión atmosférica y radiación solar (UV).

- **Selección de Sensores:**

La elección de sensores para medir las variables meteorológicas de temperatura, presión atmosférica y humedad, es un proceso crítico que requiere considerar varios factores, como el rango de medición, la precisión y el costo. A continuación, se presenta un análisis detallado que respalda la selección del sensor más adecuado.

**Tabla 2***Tipos de sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica y sus Características*

| <b>Tipo de Sensor</b> | <b>Características</b>  |
|-----------------------|---|
| Sensor BME680         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de alimentación: 3.3-5 VDC</li> <li>- Interfaz de comunicación: I2C o SPI (3.3V)</li> <li>- Rango de presión: 300-1100 hPa, precisión <math>\pm 0.12</math> hPa</li> <li>- Rango de temperatura: <math>-40^{\circ}\text{C}</math> a <math>85^{\circ}\text{C}</math>, precisión <math>\pm 1^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Rango de humedad relativa: 0-100% RH, precisión <math>\pm 3\%</math></li> <li>- Rango de altura medible: 0-9100 metros</li> <li>- Frecuencia de muestreo: 157 Hz (máx.)</li> <li>- Precio: S/ 130,00</li> </ul> |
| Sensor BME280         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de alimentación: 3.3-5 VDC</li> <li>- Interfaz de comunicación: I2C o SPI (3.3V)</li> <li>- Rango de presión: 300-1100 hPa, precisión <math>\pm 1</math> hPa</li> <li>- Rango de temperatura: <math>-40^{\circ}\text{C}</math> a <math>85^{\circ}\text{C}</math>, precisión <math>\pm 1^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Rango de humedad relativa: 0-100% RH, precisión <math>\pm 3\%</math></li> <li>- Frecuencia de muestreo: 157 Hz (máx.)</li> <li>- Precio: S/ 30,00</li> </ul>   |

Fuente: Elaboración propia, los precios se tomaron en referencia de acuerdo al mercado nacional.

Se ha seleccionado el sensor BME280 para la medición de presión, temperatura y humedad debido a su adecuado rango de precisión, que se ajusta perfectamente a las necesidades del proyecto, garantizando así datos precisos para las variables meteorológicas. Además, este sensor es de bajo consumo energético, lo que resulta crucial para aplicaciones donde la duración de la batería es importante. Su costo es significativamente menor en comparación con el sensor BME680, lo que permite mantener el presupuesto del proyecto sin sacrificar calidad. Por último, el BME280 es compatible con plataformas como Arduino, facilitando su integración y programación en el prototipo, tal como se muestra a continuación:

**Figura 2**

*Sensor BME 280 de Presión, Temperatura y Humedad*



Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2023)

- **Selección del sensor para medir la radiación solar.**

Se realizó considerando la necesidad de un dispositivo resistente, capaz de soportar condiciones ambientales adversas a largo plazo, y que además tenga un bajo consumo energético, todo ello sin comprometer el costo. Se presenta una tabla 3 comparativa de los módulos disponibles para medir la radiación solar, destacando sus características clave.

**Tabla 3**

*Tipos de sensores para medir la radiación solar y sus características.*

| <b>Tipo de Sensor</b>                       | <b>Características</b>  |
|---|---|
| Módulo Sensor de Luz Ultravioleta (UVM-30A) | - Voltaje de operación: 3-5V DC<br>- Corriente: 0.06-0.1mA<br>- Longitud de onda: 200-370nm<br>- Temperatura de trabajo: -20 ~ 85°C<br>- Salida: analógica lineal (de 1V a 3V)<br>- Dimensiones: 28/210mm<br>- Precio: S/ 80,00 |
| Módulo Sensor de Luz Ultravioleta (ML8511)  | - Voltaje de operación: 3.3V-5V DC<br>- Corriente: No especificada<br>- Longitud de onda: 280-390nm<br>- Temperatura de trabajo: -40°C a 85°C<br>- Salida: 0 a VCC<br>- Dimensiones: 12*12 mm                                   |

---

|               |  |
|---------------|--|
|               | - Precio: S/ 160,00                    |
| Sensor de Luz | - Voltaje de operación: 3V – 5V        |
| TEMT6000      | - Corriente: No especificada           |
|               | - Longitud de onda: 570 nm             |
|               | - Temperatura de trabajo: -40°C a 85°C |
|               | - Salida: analógica                    |
|               | - Dimensiones: 14x8mm                  |
|               | - Precio: S/ 10,00                     |

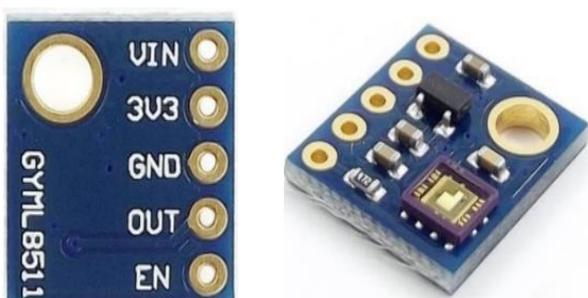
---

Fuente: Elaboración Propia, los precios se tomaron en referencia de acuerdo al mercado nacional.

Se ha seleccionado el módulo sensor ML8511, ya que ofrece una precisión confiable en la detección de niveles de radiación UV, lo cual es crucial para proporcionar advertencias y datos útiles relacionados con la exposición al sol y la protección solar. Este sensor no solo es fácil de integrar con Arduino, sino que también proporciona datos salidos analógicas y digitales, lo que facilita su uso en el proyecto. Además, su bajo costo lo hace altamente compatible con el presupuesto destinado para el desarrollo de la estación meteorológica, el cual se muestra en la figura 3.

### Figura 3

*Módulo sensor de luz ultravioleta (UV) ml8511*



Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2023)

- **Selección de controlador (Arduino).**

La comparación de diferentes placas Arduino es fundamental para seleccionar la más adecuada para un proyecto específico, ya que cada modelo presenta características y capacidades únicas que se adaptan a diversas necesidades. Al evaluar las opciones, se

deben considerar factores como la potencia de procesamiento, la cantidad de pines de entrada/salida (E/S), la memoria disponible, las opciones de conectividad y el costo, ver Tabla 4.

**Tabla 4**  
*Tipos de controlador (Arduino) y sus Características*

| <b>Tipo de Controlador</b><br><b>(Arduino)</b> | <b>Características</b>  |
|--|---|
| Arduino Uno R3                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Microcontrolador: ATmega328P (8-bit)</li> <li>- Voltaje de operación: 5V DC</li> <li>- Pines digitales I/O: 14 (6 salidas PWM)</li> <li>- Entradas analógicas: 6 (ADC 10-bit)</li> <li>- Memoria Flash: 32KB (2KB usados por el bootloader)</li> <li>- Memoria SRAM: 2KB</li> <li>- Memoria EEPROM: 1KB</li> <li>- Frecuencia de reloj: 16MHz</li> <li>- Precio: S/ 65,00</li> </ul> |
| Arduino Mega 2560 R3                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Microcontrolador: ATmega2560 (8-bit)</li> <li>- Voltaje de operación: 5V DC</li> <li>- Pines digitales I/O: 54 (15 salidas PWM)</li> <li>- Entradas analógicas: 16 (ADC 10-bit)</li> <li>- Memoria Flash: 256KB</li> <li>- Memoria SRAM: 8KB</li> <li>- Memoria EEPROM: 4KB</li> <li>- Frecuencia de reloj: 16MHz</li> <li>- Precio: S/ 120,00</li> </ul>                            |
| Arduino Mega 2560 Pro                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Microcontrolador: ATmega2560 (8-bit)</li> <li>- Voltaje de operación: 5V DC</li> <li>- Pines digitales I/O: 54 (15 salidas PWM)</li> <li>- Entradas analógicas: 16 (ADC 10-bit)</li> <li>- Memoria Flash: 256KB</li> <li>- Memoria SRAM: 8KB</li> <li>- Memoria EEPROM: 4KB</li> </ul>   |

---

|                   |  |
|-------------------|--|
|                   | - Frecuencia de reloj: 16MHz                         |
|                   | - Precio: S/ 140,00                                  |
| Arduino Pro Micro | - Microcontrolador: ATmega32U4 (8-bit)               |
|                   | - Voltaje de operación: 5V DC (nivel lógico)         |
|                   | - Pines digitales I/O: 12 (5 PWM)                    |
|                   | - Entradas analógicas: 4 (ADC 10-bit)                |
|                   | - Memoria Flash: 32KB (2KB usados por el bootloader) |
|                   | - Memoria SRAM: 2.5KB                                |
|                   | - Memoria EEPROM: 1KB                                |
|                   | - Frecuencia de reloj: 16MHz                         |
|                   | - Precio: S/ 55,00                                   |

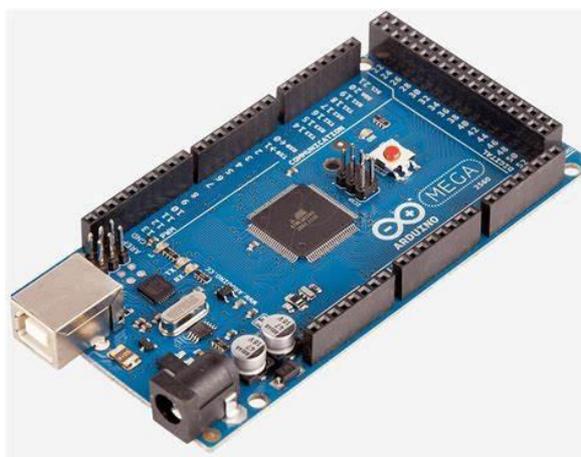
---

Fuente: Elaboración propia, los precios se tomaron en referencia de acuerdo al mercado nacional.

Se ha seleccionado el controlador Arduino Mega 2560 R3 (ver Figura 4), considerando las características presentadas en la tabla 5. Este modelo destaca por su amplia cantidad de pines de entrada/salida, su potente capacidad de procesamiento y su generosa memoria, lo que permite la integración de múltiples sensores y la expansión de funciones en el futuro. Además, su costo lo convierte en una opción viable para este prototipo. Su compatibilidad con una variedad de módulos y sensores también lo hace una elección versátil para el proyecto.

**Figura 4**

*Arduino Arduboard Mega 2560 R3*



Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2023)

- **Selección de pantalla OLED.**

Para el prototipo de la estación meteorológica, se ha considerado una pantalla OLED como interfaz de visualización de datos. Esta elección se basa en varios criterios, tales como la calidad de imagen y contraste, el bajo consumo energético, así como la flexibilidad y diseño delgado que ofrece. Se presenta la tabla 5 comparativa con las características de diferentes pantallas OLED disponibles en el mercado.

**Tabla 5**

*Tipos de pantallas OLED y sus características.*

| <b>Tipo de Pantalla</b>                       | <b>Características</b>  |
|---|---|
| <b>OLED</b>                                   |   |
| Display OLED<br>0.91" I2C 128x32<br>(SSD1306) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de operación: 3V – 5.5V DC</li> <li>- Driver: SSD1306</li> <li>- Interfaz: I2C</li> <li>- Resolución: 128x32 píxeles</li> <li>- Monocromo: Píxeles blancos sobre fondo negro</li> <li>- Ángulo de visión: 160°</li> <li>- Consumo de energía: Ultra bajo (0.04W cuando todos los píxeles están encendidos)</li> <li>- Dimensiones: 38x12x2.6 mm</li> <li>- Precio: S/ 20,00</li> </ul> |
| Display OLED<br>1.3" SPI 128x64<br>(SH1106)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de operación: 3V – 5.5V DC</li> <li>- Driver: SH1106</li> <li>- Interfaz: SPI</li> <li>- Resolución: 128x64 píxeles</li> <li>- Monocromo: Píxeles blancos sobre fondo negro</li> <li>- Ángulo de visión: 160°</li> <li>- Consumo de energía: Ultra bajo (0.04W cuando todos los píxeles están encendidos)</li> <li>- Dimensiones: 35x33x4 mm</li> <li>- Precio: S/ 30,00</li> </ul>    |
| Display OLED<br>1.3" I2C 128x64<br>(SH1106)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de operación: 3V – 5.5V DC</li> <li>- Driver: SH1106</li> <li>- Interfaz: I2C (dirección I2C: 0x3C)</li> </ul>   |

---

|                  |  |
|------------------|--|
|                  | - Resolución: 128x64 píxeles   |
|                  | - Monocromo: Píxeles blancos sobre fondo negro                                     |
|                  | - Ángulo de visión: 160°   |
|                  | - Consumo de energía: Ultra bajo (0.04W cuando todos los píxeles están encendidos) |
|                  | - Dimensiones: 35x33x4 mm  |
|                  | - Precio: S/ 35,00   |
| Display OLED     | - Voltaje de operación: 3V – 5.5V DC   |
| 0.96" I2C 128x64 | - Driver: SSD1306  |
| (SSD1306)        | - Interfaz: I2C  |
|                  | - Resolución: 128x64 píxeles   |
|                  | - Monocromo: Píxeles blancos sobre fondo negro                                     |
|                  | - Ángulo de visión: 160°   |
|                  | - Consumo de energía: Bajo (0.08W cuando todos los píxeles están encendidos)       |
|                  | - Dimensiones: 27x27x4.1 mm  |
|                  | - Precio: S/ 25,00   |

---

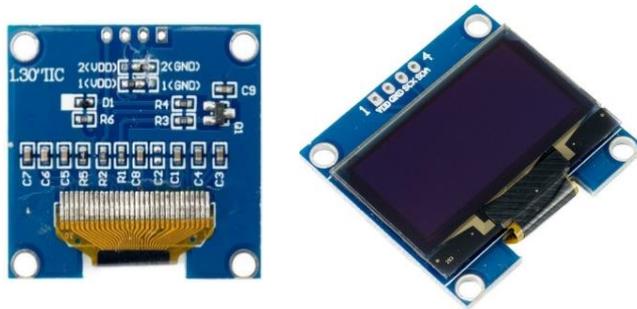
Fuente: Elaboración Propia, los precios se tomaron en referencia de acuerdo al mercado nacional.

Con base en las especificaciones detalladas en la tabla anterior, se ha optado por incorporar la pantalla OLED de 1.3" I2C con resolución de 128x64 píxeles SH1106 en el prototipo de la estación meteorológica. Esta elección se fundamenta en su capacidad para visualizar eficazmente datos cruciales, ya que su resolución permite un amplio espacio que garantiza una presentación legible y clara de la información meteorológica.

La pantalla seleccionada no solo proporciona una excelente calidad de imagen y contraste, sino que también es altamente compatible con la placa Arduino, lo que facilita una integración fluida y eficiente entre los componentes del sistema. Esto asegura una interacción efectiva y un flujo de datos continuo, lo cual es esencial para el correcto funcionamiento del prototipo.

**Figura 5**

*Pantalla OLED 1.3" I2C 128x64 SH1106*



**Fuente:** (Naylamp Mechatronics, 2023).

- **Selección de módulo RTC**

La selección de un módulo RTC (reloj en tiempo real) es fundamental para el prototipo de la estación meteorológica, ya que garantiza la precisión y sincronización adecuada de los datos recolectados. Se presenta la tabla 6 comparativa con las características de diferentes módulos RTC, centrandó la atención en aquellos que ofrecen mejor precisión para el prototipo.

**Tabla 6**

*Tipo de módulos RTC y sus Características.*

| <b>Tipo de Módulo</b> | <b>Características</b>   |
|-----------------------|--|
| <b>RTC</b>            |  |
| Módulo RTC            | - Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC  |
| DS3231 + EEPROM       | - Exactitud: Alta precisión con oscilador interno  |
| AT24C32 (I2C)         | - Interfaz de comunicación: I2C<br>- Dirección I2C: Read (11010001), Write (11010000)<br>- Memoria EEPROM: AT24C32 (4KB)<br>- Salida de onda cuadrada: Programable<br>- Dimensiones: 38x22 mm<br>- Duración de la batería: Hasta 10 años |
| Módulo RTC            | - Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC  |
| DS1307 + EEPROM       | - Exactitud: Menos precisa que DS3231  |
| AT24C32 (I2C)         | - Interfaz de comunicación: I2C  |

- 
- Dirección I2C: Read (11010001), Write (11010000)
  - Memoria EEPROM: AT24C32 (4KB)
  - Salida de onda cuadrada: Programable
  - Dimensiones: 28x27 mm
  - Duración de la batería: Hasta 10 años
- 

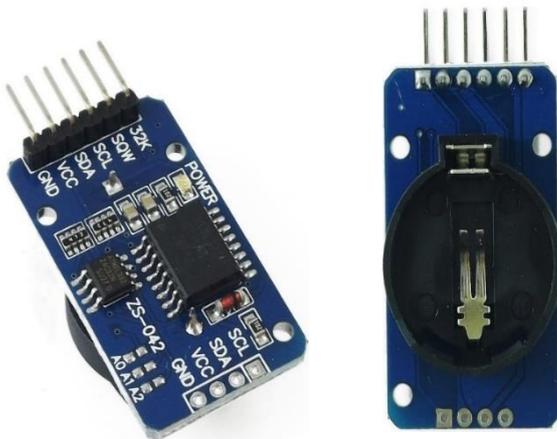
Fuente: Elaboración Propia, los precios se tomaron en referencia de acuerdo al mercado nacional.

Se ha seleccionado el módulo RTC DS3231 junto con la EEPROM AT24C32 (I2C) para el diseño del prototipo de la estación meteorológica debido a su alta precisión en la medición del tiempo y su capacidad para registrar de manera exacta la fecha y la hora, incluso ante cambios de temperatura. Esta característica es crucial para asegurar que las mediciones meteorológicas estén correctamente marcadas temporalmente, lo que garantiza que los datos obtenidos sean fiables y consistentes.

Además, el módulo DS3231 incluye una alarma programable que facilita la ejecución de eventos en horarios predeterminados, lo cual es especialmente útil para programar la recolección de datos en intervalos regulares. Esta funcionalidad mejora la eficiencia del sistema y permite una gestión más efectiva de los datos meteorológicos.

### **Figura 6**

*Modulo RTC DS3231 + EEPROM AT24C32 (I2C)*



Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2023)

- **Selección del módulo lector de memoria**

La selección del módulo de memoria adecuado para el prototipo de la estación meteorológica es un aspecto crucial, ya que afecta directamente la capacidad de almacenamiento y la fiabilidad del sistema. Para esta elección, se consideraron factores como la capacidad de almacenamiento, la velocidad de acceso, la resistencia a condiciones ambientales y la fiabilidad general del módulo. Se presenta la tabla 7 comparativa con las características específicas de dos tipos de módulos lectores de memoria.

**Tabla 7**

*Características de diferentes módulos lector de memoria.*

| <b>Tipo de Módulo</b>                              | <b>Características</b>   |
|--|--|
| <b>Lector de Memoria</b>                           |  |
| Módulo Lector de Memoria Micro SD Card (74LVC125A) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de operación: 3.3V - 5V DC</li> <li>- Interfaz: SPI</li> <li>- Pines SPI: Incluye pines MOSI, MISO, SCK, CS</li> <li>- Chip conversor lógico: MC74VHCT125A/74LVC125A</li> <li>- Dimensiones: 42x24 mm</li> <li>- Compatibilidad: Soporta tarjetas micro SD (hasta 16 GB)</li> <li>- Uso: Adecuado para almacenamiento de datos meteorológicos y acceso rápido a información.</li> </ul> |
| Módulo Lector de Memoria SD Card                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de operación: 3.3V - 5V DC</li> <li>- Interfaz: SPI</li> <li>- Pines SPI: Incluye pines MOSI, MISO, SCK, CS</li> <li>- Chip conversor lógico: No especificado</li> <li>- Dimensiones: No especificadas</li> <li>- Compatibilidad: Soporta tarjetas SD estándar</li> <li>- Uso: Ideal para almacenamiento de datos en proyectos que requieren mayor capacidad.</li> </ul>                |

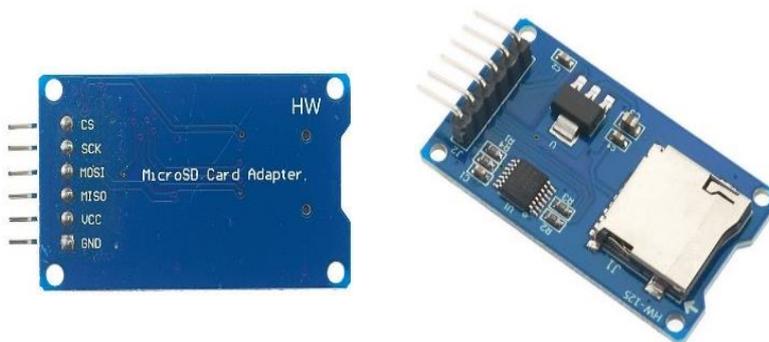
Fuente: Elaboración Propia, los precios se tomaron en referencia de acuerdo al mercado nacional.

Se ha optado por emplear el módulo lector de memoria Micro SD Card 74LVC125A, que destaca por su tamaño compacto y su alta compatibilidad. Este diseño es especialmente ventajoso en aplicaciones donde existen restricciones de espacio, lo cual es común en muchos proyectos tecnológicos. Además, este módulo es compatible con tarjetas micro SD y se ha considerado una capacidad de 16 GB para almacenar datos meteorológicos.

La elección del módulo lector de memoria no solo garantiza un almacenamiento adecuado para los datos recolectados por la estación meteorológica, sino que también asegura un acceso rápido y eficiente a la información almacenada, lo que es esencial para el procesamiento y análisis posterior.

### **Figura 7**

*Modulo lector de memoria micro SD Card 74LV125A.*



Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2023)

- **Selección de cable dupont hembra a macho 20cm**

Los cables Dupont hembra a macho de 20 cm son componentes esenciales para la conexión e integración de dispositivos en circuitos y sistemas electrónicos. Estas características los convierten en una opción ideal para su uso en el prototipo de la estación meteorológica.

#### **Características:**

**Conexión Versátil:** Los cables Dupont permiten una conexión rápida y segura entre distintos componentes electrónicos, facilitando la integración de sensores, módulos y otros dispositivos en el sistema.

**Longitud Adecuada:** Con una longitud de 20 cm, estos cables ofrecen la flexibilidad necesaria para organizar y ubicar los componentes en la estación meteorológica sin generar un exceso de cableado, lo que contribuye a un diseño más limpio y ordenado.

**Compatibilidad Universal:** Los conectores hembra y macho tipo Dupont son ampliamente utilizados en la comunidad de electrónica, garantizando su compatibilidad con una variedad de placas y módulos, incluido Arduino. Esto simplifica la conexión de los componentes y reduce el tiempo de montaje.

**Evita Errores de Conexión:** La clara distinción entre los conectores hembra y macho disminuye la probabilidad de realizar conexiones incorrectas en el circuito. Esta característica es especialmente crucial en proyectos complejos, donde una conexión errónea podría provocar fallos o daños en el sistema.

**Eficiencia en la Prototipación:** Durante la etapa de diseño y desarrollo del prototipo, los cables Dupont permiten realizar conexiones temporales y modificaciones rápidas sin necesidad de soldar. Esto acelera el proceso de prototipado y facilita la prueba y validación de diversos ajustes.

### **Figura 8**

*Cables dupont Hembra-Macho*



Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2023)

La elección de los cables Dupont hembra a macho de 20 cm es fundamental para asegurar la correcta interconexión entre los diferentes componentes del prototipo, optimizando así su funcionamiento y facilitando futuras modificaciones o ampliaciones del sistema.

- **Consumo Energético diario del Módulo Electrónico**

El consumo energético del módulo electrónico es un aspecto crucial para garantizar su funcionamiento continuo y eficiente. A continuación, se presentan los detalles sobre el consumo de los componentes electrónicos utilizados en este proyecto.

**Tabla 8**

*Demanda de energía de los componentes del módulo electrónico*

| <b>Componentes Electrónicos</b>                 | <b>Voltaje de Alimentación (v)</b> | <b>Corriente De consumo (A)</b> | <b>Potencia Nominal (W)</b> | <b>Tiempo De Operación (H)</b> | <b>Energía diaria consumida (W.H)</b> |
|---|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Sensor de presión, temperatura y Humedad BME280 | 3.5                                | 0.014                           | 0.049                       | 24                             | 1.176                                 |
| Ml 8511 Sensor de Luz UV                        | 3.5                                | 0.03                            | 0.105                       | 24                             | 2.52                                  |
| Arduino Mega 2560 R3                            | 5.5                                | 0.1                             | 0.55                        | 24                             | 13.2                                  |
| Display o led 1.3" I2C 128*64 SH1106            | 5.5                                | 0.05                            | 0.275                       | 24                             | 6.6                                   |
| Modulo RTC DS3231 +EEPROM AT24C32 I2C           | 3.5                                | 0.05                            | 0.175                       | 24                             | 4.2                                   |
| Modulo lector de memoria Micro SD Card          | 3.5                                | 0.03                            | 0.105                       | 24                             | 2.52                                  |
| <b>Total</b>                                    |                                    |                                 |                             |                                | <b>30.216</b>                         |

Fuente: Elaboración Propia, las potencias fueron calculados de acuerdo a los datos del datasheet, y el tiempo es de acuerdo a las horas que estarán prendidos los componentes electrónicos.

El consumo total diario calculado es aproximadamente 30.216, lo cual indica que el sistema requiere una fuente energética capaz de suministrar al menos esta cantidad diariamente para asegurar su funcionamiento continuo durante todo el día.

- **Cálculo de energía real necesaria para el funcionamiento del Módulo Electrónico**

Para calcular la energía real necesaria para el sistema, se utilizó una ecuación que considera tanto el consumo diario como los márgenes de seguridad requeridos.

$$L = \frac{ETCD_{CC}}{n(bat)} + \frac{ETCD_{CA}}{n(bat) * n(inv)} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

L: Energía Real Necesaria

$ETCD_{CC}$ : Energía total consumido diario corriente continua = 30.216 W.h

$ETCD_{CA}$ : Energía total consumido diario corriente alterna = 0 W.h

$n(bat)$ : Eficiencia de la Batería = 0.9

$n(inv)$ : Eficiencia del inversor = 0.9

Al aplicar los valores en la ecuación (1), se obtuvo un valor de:

$$L = 33.57W. h/d$$

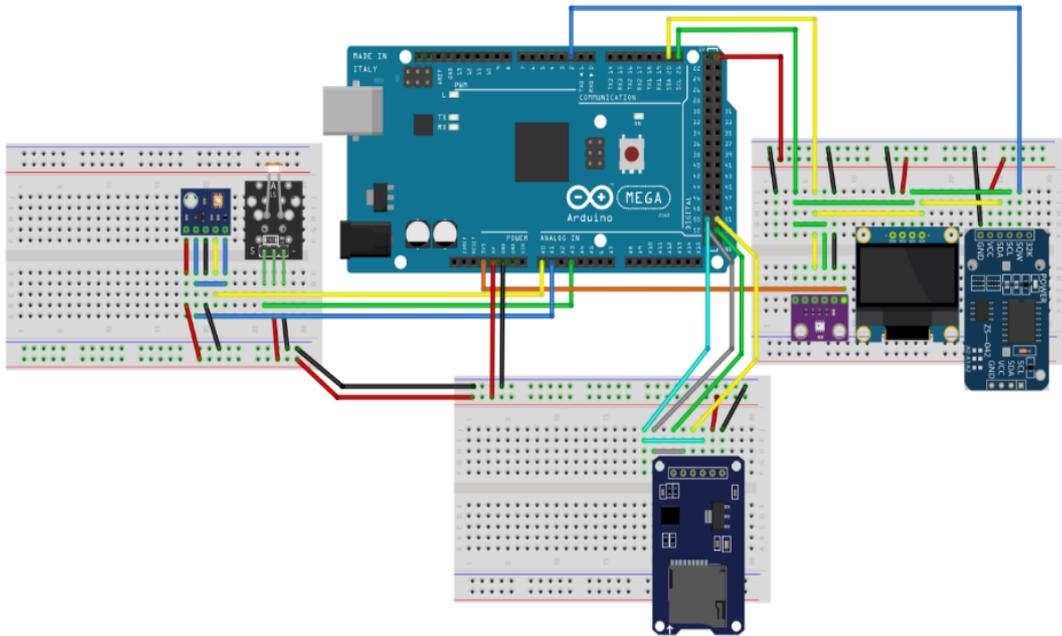
Esta cifra representa la energía real necesaria para garantizar el funcionamiento óptimo módulo electrónico, considerando tanto el consumo diario como los márgenes de seguridad requeridos para asegurar un rendimiento adecuado del sistema solar autónomo. La implementación de este sistema permitirá que la estación meteorológica opere eficientemente en condiciones remotas, aprovechando la energía solar como fuente principal y asegurando así su sostenibilidad a largo plazo.

- **Diseño del Circuito:**

El diseño del circuito es una etapa fundamental en el desarrollo del prototipo de la estación meteorológica, ya que asegura la correcta integración y funcionamiento de todos los componentes electrónicos. En la Figura 19 se presenta el diagrama de conexiones del circuito electrónico diseñado para este prototipo. Este esquema muestra la interconexión de los sensores, el microcontrolador y los sistemas auxiliares, destacando la robustez y precisión del diseño.

**Figura 9**

*Diseño del circuito electrónico*



Fuente: Elaboración Propia

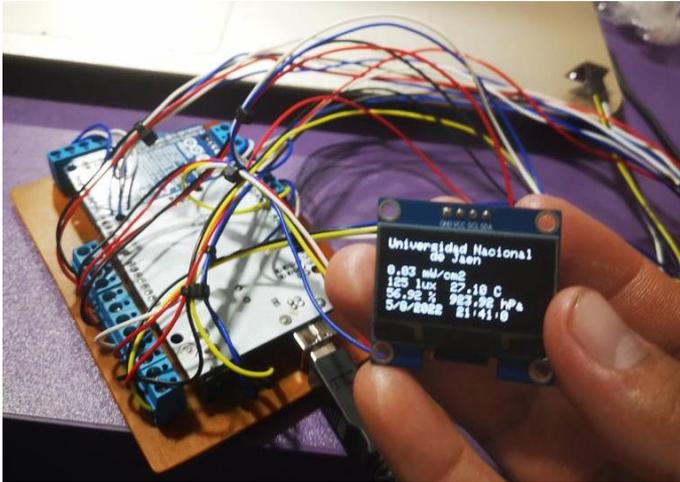
El diseño electrónico logrado asegura un funcionamiento confiable del prototipo, optimizando su capacidad para recolectar y procesar datos meteorológicos. Este desarrollo es clave para generar información relevante y contribuir al monitoreo ambiental en diversas aplicaciones prácticas.

- **Montaje de Sensores:**

El montaje de los sensores se realizó siguiendo criterios técnicos para garantizar su funcionalidad en condiciones adversas. Esto incluyó la selección de materiales y un diseño estructural que aseguran resistencia a la intemperie y a los cambios climáticos. A continuación, se detallan los aspectos principales de la construcción, el diseño y las pruebas realizadas.

## Figura 10

### Montaje de Sensores



Fuente: Elaboración Propia

- **Selección de la fuente autónoma**

Para satisfacer la demanda energética del prototipo de la estación meteorológica y asegurar un funcionamiento sostenible a largo plazo, se ha optado por un sistema solar autónomo como fuente principal. Este sistema incluye paneles solares adecuados junto con baterías recargables capaces de almacenar excedentes generados durante el día e incluso cubrir períodos prolongados sin luz solar directa dependiendo las condiciones locales previstas.

- **Datos Horas Solares Pico (HSP)**

Antes de seleccionar el panel solar adecuado, fue crucial determinar las Horas Solares Pico (HSP) en la ubicación específica donde se instaló la estación meteorológica. Las HSP son una medida que indica cuántas horas al día equivalen a una hora completa bajo condiciones ideales (1000 W/m<sup>2</sup>).

**Tabla 9***Datos de radiación solar Hora Solar Pico (HSP).*

|            | HSP  |
|------------|------|
| Enero      | 4.72 |
| Febrero    | 3.62 |
| Marzo      | 4.35 |
| Abril      | 3.82 |
| Mayo       | 3.76 |
| Junio      | 4.20 |
| Julio      | 3.97 |
| Agosto     | 4.41 |
| Septiembre | 5.04 |
| Octubre    | 5.17 |
| Noviembre  | 5.08 |
| Diciembre  | 4.97 |

Fuente: Elaboración propia, información recopilada de la página de la Nasa Power Larc (Stackhouse, 2024).

El promedio anual calculado para las Horas Solares Pico fue aproximadamente 4.43 horas al día, lo cual resultó crucial para dimensionar adecuadamente el sistema solar autónomo y asegurar que pudiera cubrir las necesidades energéticas del prototipo durante todo el año, considerando variaciones estacionales en la radiación solar disponible

- **Cálculo de potencia del panel solar.**

Para el prototipo de la estación meteorológica, se calculó la potencia necesaria del panel solar considerando la energía real requerida para el funcionamiento de los componentes. La potencia nominal del panel solar ( $P_n$ ) se determinó utilizando la ecuación (2):

$$P_n = \frac{L}{N_{\text{paneles}} \cdot HSP \cdot \frac{V_{reg}}{V_{pn}}} \quad (2)$$

$P_n$ : Potencia Nominal de panel

$L$ : Energía Real Necesaria = 33.57 Wh.

$N$  paneles: Numero de paneles = 1.

$HSP$ : Hora solar pico

$V_{reg}$ : Voltaje de regulador de carga = 12 V

$V_{pn}$ : Voltaje de potencia nominal del panel. 13.5V

Para realizar el cálculo de la potencia necesaria del panel solar para el prototipo de la estación meteorológica, se seleccionó un valor promedio de la Hora Solar Pico (HSP). El promedio de HSP, calculado a partir de los datos recopilados, es 4.43 horas. Utilizando este valor en la ecuación (2), se tiene:

$$P_n = \frac{33.57 \text{ W}}{(1)(4.43) \left( \frac{12}{13.5} \right)}$$

Calculando

$$P_n = \frac{33.57 \text{ W}}{(1)(4.43)(0.88)}$$
$$P_n = 8.52 \text{ W}$$

Este resultado indica que se necesitaría un panel solar con una potencia nominal mínima de aproximadamente 8.52 W para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema bajo las condiciones especificadas.

### **Selección del panel solar**

Después de determinar que se necesitaba una potencia nominal mínima de aproximadamente 8.52 W, se seleccionó un Panel Solar Monocristalino de 20W 12VDC de RenePV (Modelo RD20MC). Esta elección se fundamenta en su idoneidad para sistemas de consumo básico y su probada eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad (Ver anexo). El diseño compacto del panel facilita su integración en diversas aplicaciones, desde pequeñas instalaciones residenciales hasta sistemas de energía portátil.

## Figura 11

Panel Solar Monocristalino de 20W 12VDC de RenePV (Modelo RD20MC)



Fuente: <https://inmotica Peru.com/producto/panel-solar-monocristalino-20w-12vdc-renepv/>

- **Cálculo de la capacidad de la batería.**

Para garantizar el funcionamiento óptimo del prototipo de la estación meteorológica, se realizó un análisis exhaustivo para determinar la capacidad de la batería necesaria para satisfacer las necesidades energéticas del sistema. Este análisis consideró el consumo energético diario, los días de autonomía requeridos y las características técnicas de las baterías disponibles.

### **Determinación de la Capacidad Requerida de la batería.**

Consumo Energético Diario (CED): 33.57 W

Días de Autonomía Deseados (D). Se consideraron dos días para la ciudad de Jaén, debido a la posibilidad de días nublados.

Eficiencia de la Batería ( $n_{bat}$ ): 0.9 (90%)

Voltaje Nominal de la Batería ( $V_{bat}$ ): 12 V (Selección de una batería estándar).

Profundidad de Descarga (DOD): 70% o 0.7 (Para prolongar la vida útil de la batería).

El valor de días de autonomía deseados para un determinado lugar, va a depender de los días nublados que se presenten en un determinado lugar.

La capacidad de la batería necesaria se calculó utilizando la ecuación (3), que considera todos los factores relevantes:

$$C_{batería} = \frac{CED \times D}{V_{bat} \times DOD \times n_{bat}} \quad (3)$$

Sustituyendo los valores:

$$C_{batería} = \frac{33.57 \times 2}{12(0.7)(0.9)}$$

$$C_{batería} = \frac{33.57 \times 3}{12(0.7)(0.9)}$$

$$C_{batería} = 8.88 \text{ Ah}$$

Este cálculo sugirió una capacidad teórica mínima de 9Ah para cumplir con los requisitos de autonomía.

### Selección de la Batería

Después de determinar que se necesitaba una capacidad mínima de 8.88 Ah, se optó por seleccionar una batería AGM con una capacidad nominal de 9 Ah tal como se muestra en la figura.

**Figura 12**

*Batería para almacenar energía eléctrica*



Fuente: <https://autosolar.pe/baterias-agm-12v/bateria-agm-12v-9ah-tensite>

- **Cálculo del controlador de carga.**

El controlador de carga es un componente esencial en sistemas de energía solar, ya que regula la carga y descarga de la batería, protegiéndola contra sobrecargas y descargas excesivas. Para el prototipo de la estación meteorológica, es fundamental seleccionar un controlador de carga que satisfaga las características específicas del sistema y garantice un funcionamiento eficiente y seguro.

Para dimensionar adecuadamente el controlador de carga, es necesario tener en cuenta el voltaje del sistema (12V), la capacidad de la batería (9Ah), la potencia nominal del panel solar (20W), el número de paneles (1) y la eficiencia del controlador de carga. Si bien la eficiencia del controlador de carga puede variar, para este caso se considera un controlador PWM, cuya eficiencia es alta, asumiendo el 90%.

### **Cálculo de la Corriente de Carga**

Para calcular la corriente de carga, es necesario considerar la corriente máxima ( $I_{mp}$ ) que el panel solar puede generar. Esta información se encuentra en la ficha técnica del panel. Teniendo en cuenta la corriente máxima ( $I_{mp}$ ) del panel solar de 20W es de 1.10A, se debe aplicar un factor de seguridad para asegurar que el controlador pueda manejar picos de corriente. Para asegurar un margen de seguridad y evitar sobrecargar el controlador, se aplica un factor de seguridad del 25% a esta corriente.

$$I_{Controlador} > I_{sc} \times 1.25 \quad (4)$$

Sustituyendo los valores:

$$I_{Controlador} > 1.10A \times 1.25 = 1.375 A$$

Este cálculo indica que el controlador de carga debe ser capaz de manejar al menos 1.375A para cargar la batería de manera eficiente y segura

### **Cálculo de la Corriente de Descarga**

La corriente de descarga se refiere a la corriente que fluye desde la batería hacia la carga (los componentes de la estación meteorológica). Dado que el consumo energético diario es de 33.57Wh a 12V, la corriente de descarga promedio se calcula como:

$$I_{descarga} = \frac{Potencia}{Voltaje}$$

$$I_{descarga} = \frac{33.57 Wh}{12V \times 24h}$$

$$I_{descarga} = 0.116 A$$

Esta corriente es relativamente baja, pero el controlador de carga también debe ser capaz de interrumpir la descarga en caso de bajo voltaje para proteger la batería de descargas profundas.

### Selección del Controlador de Carga

Con base en los cálculos anteriores, el controlador de carga debe cumplir con las siguientes especificaciones de la Tabla 10:

**Tabla 10**  
*Especificación del Controlador de Carga*

| Especificación del Controlador de Carga |        | Descripción   |
|---|--------|---|
| Voltaje nominal                         |        | 12V   |
| Corriente                               | máxima | Mínimo 2A (considerando el margen de seguridad soportada sobre la corriente de carga calculada) |
| Eficiencia                              |        | 90% (típico para controladores PWM)   |
| Protecciones integradas                 |        | Protección contra sobrecarga, sobredescarga, cortocircuito y polaridad inversa                  |

La implementación adecuada del controlador de carga permitirá una gestión efectiva del sistema energético, asegurando un suministro constante y fiable para todos los componentes del prototipo, incluso en condiciones remotas donde se espera operar. Además, al utilizar reguladores solares PWM, la corriente de salida del generador fotovoltaico es igual a la corriente de carga de la batería.

**Figura 13**

*Controlador de carga*



Fuente: <https://energiarenovable.cat/es/blog/regulador-de-carga-solar/>

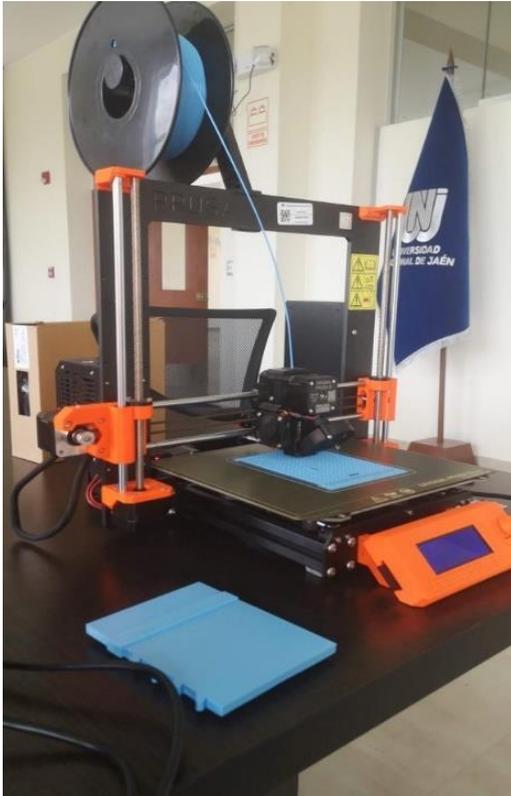
## **B. Diseño del módulo de protección y estructura**

### **Diseño e impresión del módulo de protección del módulo electrónico**

Para el diseño del módulo de protección del módulo electrónico, se utilizó el software SOLIDWORKS, que permitió modelar la carcasa destinada a albergar los sensores, considerando las dimensiones de los componentes electrónicos y las conexiones necesarias (Ver anexo). Una vez completado el diseño y modelado del módulo de protección, se exportó el archivo en formato STL y se configuró para su impresión en una impresora 3D Prusa. Los parámetros de impresión establecidos incluyeron una temperatura de cama de 60 °C y una temperatura de boquilla de 206 °C. Se imprimieron un total de seis piezas, cada una con un tiempo promedio de impresión de 20 horas.

## **Figura 14**

*Impresión de la estructura en impresora 3d*



### **Ensamble del módulo de protección del módulo electrónico**

Una vez finalizada la impresión de las seis piezas, se procedió al ensamble del módulo de protección. Las piezas impresas fueron unidas meticulosamente utilizando adhesivo de silicona, seleccionado por su capacidad para garantizar una unión resistente a las filtraciones y a las condiciones climáticas adversas. Este adhesivo se aplicó de manera uniforme en las superficies de contacto, asegurando un sellado hermético que protege los componentes electrónicos internos contra la humedad y otros elementos ambientales. El proceso de ensamble se realizó con precisión para alinear correctamente las piezas, garantizando la integridad estructural del módulo y su funcionalidad operativa. La disposición final del módulo ensamblado se muestra en la figura 15.

## Figura 15

*Ensamble del módulo de protección del módulo electrónico*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Diseño y Construcción de la Estructura Metálica de Soporte**

#### **Materiales utilizados:**

Para la construcción de la estructura de soporte del módulo de protección, se optó por materiales de alta resistencia y durabilidad, garantizando así la estabilidad y longevidad del sistema. Los materiales seleccionados incluyeron:

- **Perfil angular de 90° de 1 pulgada:** Este perfil se utilizó para proporcionar rigidez y soporte estructural, permitiendo una adecuada distribución de las cargas.
- **Tubo galvanizado de 2 pulgadas:** Se empleó este tubo para la fabricación de la estructura principal, aprovechando su resistencia a la corrosión y su capacidad para soportar condiciones climáticas adversas.

#### **Proceso de Construcción de la Estructura Metálica de Soporte:**

##### **Corte y preparación:**

Los perfiles angulares se cortaron según las medidas definidas en el diseño tridimensional. Este proceso se llevó a cabo con precisión para asegurar que cada pieza encajara adecuadamente en el ensamblaje final. Asimismo, los tubos galvanizados se cortaron a la longitud necesaria para alcanzar la altura especificada en el plano, garantizando así la estabilidad y resistencia de la estructura.

### **Montaje de la base:**

Se construyó una base rectangular utilizando los perfiles angulares, asegurando precisión en los ángulos mediante soldadura eléctrica, ver Figura 16. Este método de unión proporcionó una base sólida y estable para el resto de la estructura. Los tubos galvanizados se ensamblaron verticalmente en puntos estratégicos de la base para formar la estructura principal, lo que permitió distribuir adecuadamente las cargas y asegurar la integridad del sistema.

**Figura 16**

*Estructura de Soporte Metálica*



### **Implementación de la estación meteorológica en una estructura resistente a las condiciones climáticas y ambientales**

#### **Ubicación de la estación:**

El prototipo de la estación meteorológica fue ubicado en el área del campus universitario en la carretera Jaén-San Ignacio Km 24, sector Yanuyacu-Jaén, Distrito Jaén, Provincia Jaén, Departamento de Cajamarca, Perú, específicamente al costado del proyecto financiado por la Unión Europea, denominado "Máster en Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible" (MACCARD). Esta ubicación se seleccionó estratégicamente debido a su accesibilidad y relevancia para los estudios sobre cambio climático. Además, la proximidad a instituciones académicas y de investigación facilita la colaboración y el intercambio de información entre los investigadores y estudiantes involucrados en el programa MACCARD, potenciando así el impacto del prototipo en el ámbito académico y científico.

### **Montaje y anclaje:**

Una vez seleccionada la ubicación óptima para la estación meteorológica, se procedió con la preparación y montaje de la estructura de soporte. Posteriormente, se llevó a cabo la instalación del panel solar, asegurándolo firmemente a la estructura mediante pernos y tuercas de alta resistencia, garantizando así su estabilidad y correcta orientación para la captación de energía solar. La disposición de los componentes montados se ilustra en la figura 17.

### **Figura 17**

*Instalación de la caja metálica en la estructura metálica de soporte*



### **Protección de los sensores:**

Para garantizar la protección de los sensores frente a las condiciones climáticas adversas, se implementaron diversas medidas que aseguran su correcto funcionamiento y durabilidad. La estructura de Soporte Metálica, que sostiene tanto el módulo de protección como los sensores, fue sometida a un proceso de pintado con pintura acrílica y sellador. Esta capa protectora no solo mejoró su resistencia a la corrosión, sino que también incrementó su durabilidad frente a las condiciones exteriores, como la exposición prolongada al sol, la lluvia y el viento.

La combinación del módulo de protección hermético y la estructura metálica tratada asegura que los sensores permanezcan resguardados y operativos en entornos exigentes. La disposición final del módulo ensamblado y la estructura metálica se presenta en la figura 18.

### **Figura 18**

*Estructura metálica de soporte –acabado final*



Fuente: Elaboración propia

### **Accesibilidad y mantenimiento:**

Con el objetivo de facilitar las tareas de mantenimiento periódico y garantizar el acceso a los componentes de la estación meteorológica, se diseñó la estructura de soporte considerando la accesibilidad como un factor primordial. La ubicación de la estación, al costado del proyecto financiado por la Unión Europea (MACCARD) dentro del campus universitario, permite un fácil acceso al personal investigador, lo que agiliza las labores de inspección, limpieza y calibración de los sensores, así como el reemplazo de baterías y otros componentes de ser necesario.

La estructura se diseñó de forma que los elementos clave, como el módulo de protección de los sensores y el panel solar, sean fácilmente alcanzables sin necesidad de herramientas especiales o equipos de elevación, tal como se muestra en la figura 19.

## Figura 19

### *Accesibilidad a los sensores*



Fuente: Elaboración propia

### **Pruebas de funcionamiento**

Para asegurar el correcto desempeño y la fiabilidad de los datos recolectados por el prototipo de estación meteorológica, se llevaron a cabo una serie de pruebas exhaustivas que abarcaron diversos aspectos de su funcionamiento, desde el consumo de corriente hasta la precisión de los sensores.

### **Consumo de Corriente**

Se evaluó el consumo eléctrico del circuito utilizando una batería recargable de 12V-20AH y un multímetro digital. Las mediciones obtenidas fueron las siguientes:

Prueba 1: 0.96 mA

Prueba 2: 0.95 mA

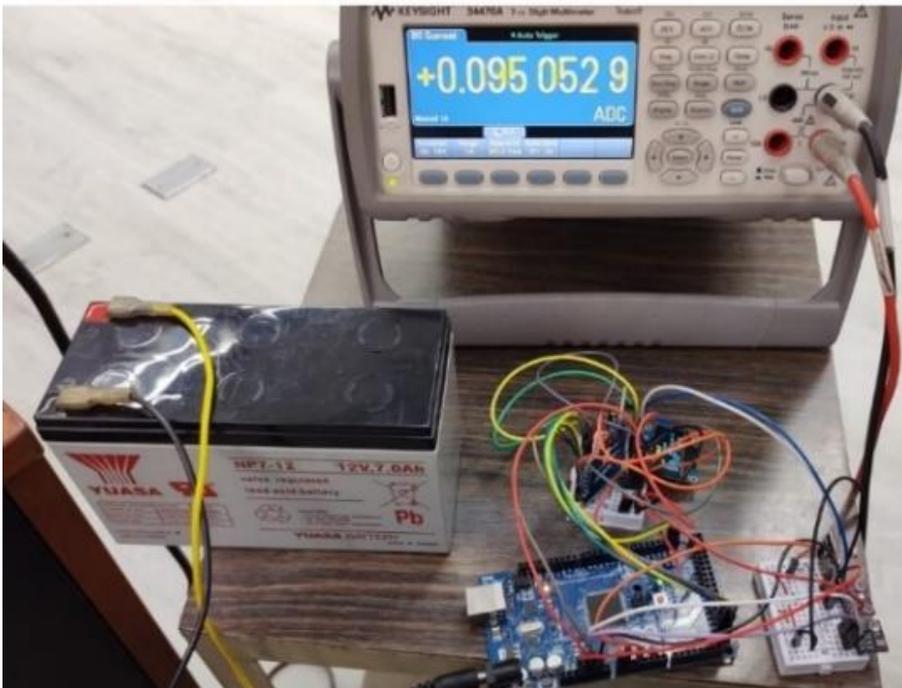
Estas mediciones permitieron verificar que el consumo de corriente del prototipo se encuentra dentro de los parámetros esperados, lo cual es crucial para garantizar una operación prolongada y eficiente con la energía suministrada por el panel solar y la batería.

## Almacenamiento de Datos

Se verificó el correcto funcionamiento del sistema de registro de datos, utilizando el método `setAlarm1()` de la librería `RTCLib` para almacenar información cada 2 minutos. Este proceso aseguró que los datos fueran registrados de manera consistente y regular, cumpliendo con los requisitos de frecuencia de muestreo establecidos para el proyecto.

### Figura 20

*Primera prueba de funcionamiento*



Fuente: Elaboración propia

## Programación del Sistema

La programación del prototipo se realizó utilizando librerías específicas para cada componente, lo que garantizó una correcta integración y funcionalidad del sistema. Se implementaron ajustes a las configuraciones iniciales, particularmente en los intervalos de recolección de datos y en la optimización del uso de librerías para mejorar la eficiencia del sistema.

A continuación, se presenta el código desarrollado para el control y funcionamiento del prototipo:

## Figura 21

### Código de programación para el prototipo

```
ArduinoMegaRTC-SDCARD-OLED-SSD1306-1-UV-LDR1-BME280-2 Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

ArduinMegaRTC-SDCARD-OLED-SSD1306-1-UV-LDR1-BME280-2 §
//-----DECLARACIONES VARIABLES Y OBJETOS-----
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h> //Controlador OLED 0.96" de 128x 64 pixels
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <RTClib.h>

#define OLED_RESET 4
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1018.00)//La costa de la ciudad |
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

int SSpin= 53;
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
Adafruit_BME280 bme;
File archivo;
RTC_DS3231 rtc;

//===== Variables de Radiación=====
int UVOUT = A0;
int REF_3V3 = A1;
int SENSOR = A3;
int VALOR;
int lux_ldr;

//===== Variables de Alarma=====
const int alarmapin=2;
volatile int stalarm=0;
int Cntmin=1;
int NumMinute=2; //La variable NumMinute puede ser configurada a un número determinado de minutos; 2,3,4,5..10,.....etc
```

Fuente: Elaboración propia

### El enfoque de programación incluyó:

#### ➤ Selección de Librerías Adecuadas:

Adafruit\_BME280 para el sensor BME280.

Adafruit\_GFX y Adafruit\_SSD1306 para el control del display OLED.

RTClib para la gestión del tiempo mediante el módulo RTC DS3231.

Librerías específicas para el sensor de luz ultravioleta ML8511.

#### ➤ Ajustes en los Intervalos de Recolección de Datos:

Se ajustó la frecuencia de muestreo para optimizar el consumo energético, estableciendo intervalos de recolección de datos cada 2 minutos mediante el método setAlarm1() de la librería RTClib.

#### ➤ Estructura del Código:

Inicialización: Configuración de los pines y comunicación entre los dispositivos mediante el protocolo I2C.

Lectura de Sensores: Adquisición de datos ambientales como temperatura, humedad, presión y radiación ultravioleta.

Almacenamiento y Visualización: Registro de los datos en la memoria y su visualización en tiempo real en el display OLED.

Gestión de Energía: Configuración del panel solar y la batería para asegurar un suministro continuo de energía.

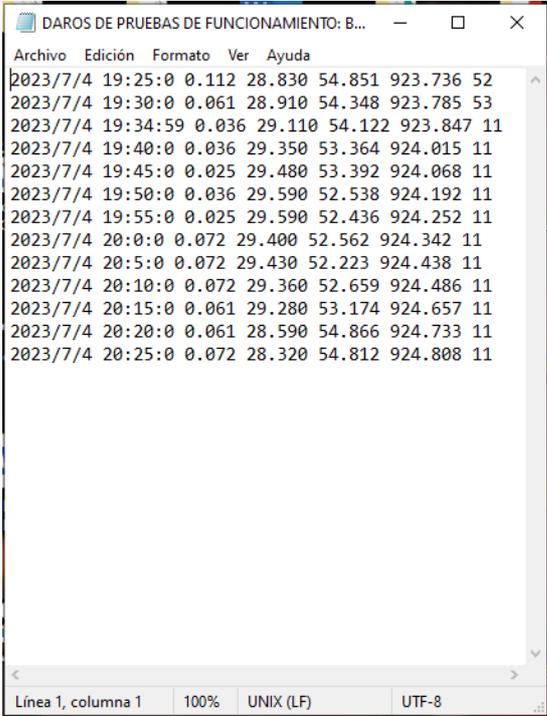
El código fue depurado y probado exhaustivamente para garantizar su estabilidad y funcionamiento bajo diversas condiciones.

### Pruebas de Funcionamiento del Prototipo

Antes de la instalación definitiva, se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo, incluyendo la extracción de la tarjeta SD del módulo para verificar la correcta recolección de datos, asegurando que los registros se realizaran en los tiempos y horarios especificados.

#### Figura 22

*Pruebas de funcionamiento para la recolección de datos*



The image shows a screenshot of a text editor window titled "DAROS DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO: B...". The window contains a list of data entries, each representing a timestamp and several numerical values. The data is as follows:

| Timestamp         | Value 1 | Value 2 | Value 3 | Value 4 | Value 5 | Value 6 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2023/7/4 19:25:0  | 0.112   | 28.830  | 54.851  | 923.736 | 52      |         |
| 2023/7/4 19:30:0  | 0.061   | 28.910  | 54.348  | 923.785 | 53      |         |
| 2023/7/4 19:34:59 | 0.036   | 29.110  | 54.122  | 923.847 | 11      |         |
| 2023/7/4 19:40:0  | 0.036   | 29.350  | 53.364  | 924.015 | 11      |         |
| 2023/7/4 19:45:0  | 0.025   | 29.480  | 53.392  | 924.068 | 11      |         |
| 2023/7/4 19:50:0  | 0.036   | 29.590  | 52.538  | 924.192 | 11      |         |
| 2023/7/4 19:55:0  | 0.025   | 29.590  | 52.436  | 924.252 | 11      |         |
| 2023/7/4 20:0:0   | 0.072   | 29.400  | 52.562  | 924.342 | 11      |         |
| 2023/7/4 20:5:0   | 0.072   | 29.430  | 52.223  | 924.438 | 11      |         |
| 2023/7/4 20:10:0  | 0.072   | 29.360  | 52.659  | 924.486 | 11      |         |
| 2023/7/4 20:15:0  | 0.061   | 29.280  | 53.174  | 924.657 | 11      |         |
| 2023/7/4 20:20:0  | 0.061   | 28.590  | 54.866  | 924.733 | 11      |         |
| 2023/7/4 20:25:0  | 0.072   | 28.320  | 54.812  | 924.808 | 11      |         |

Fuente: Elaboración propia

## **Recolección de Datos del Prototipo y Calibración de Sensores**

Para garantizar la precisión de los sensores del prototipo, se compararon sus lecturas con las obtenidas por una estación meteorológica comercial instalada en la Universidad Nacional de Jaén. La calibración de los sensores se realizó mediante un análisis de regresión lineal utilizando Google Colab y el lenguaje Python. Los resultados incluyen gráficos y ecuaciones de calibración específicas para cada sensor, lo que permitió ajustar las lecturas del prototipo.

### **Calibración del Sensor de Humedad (BME280)**

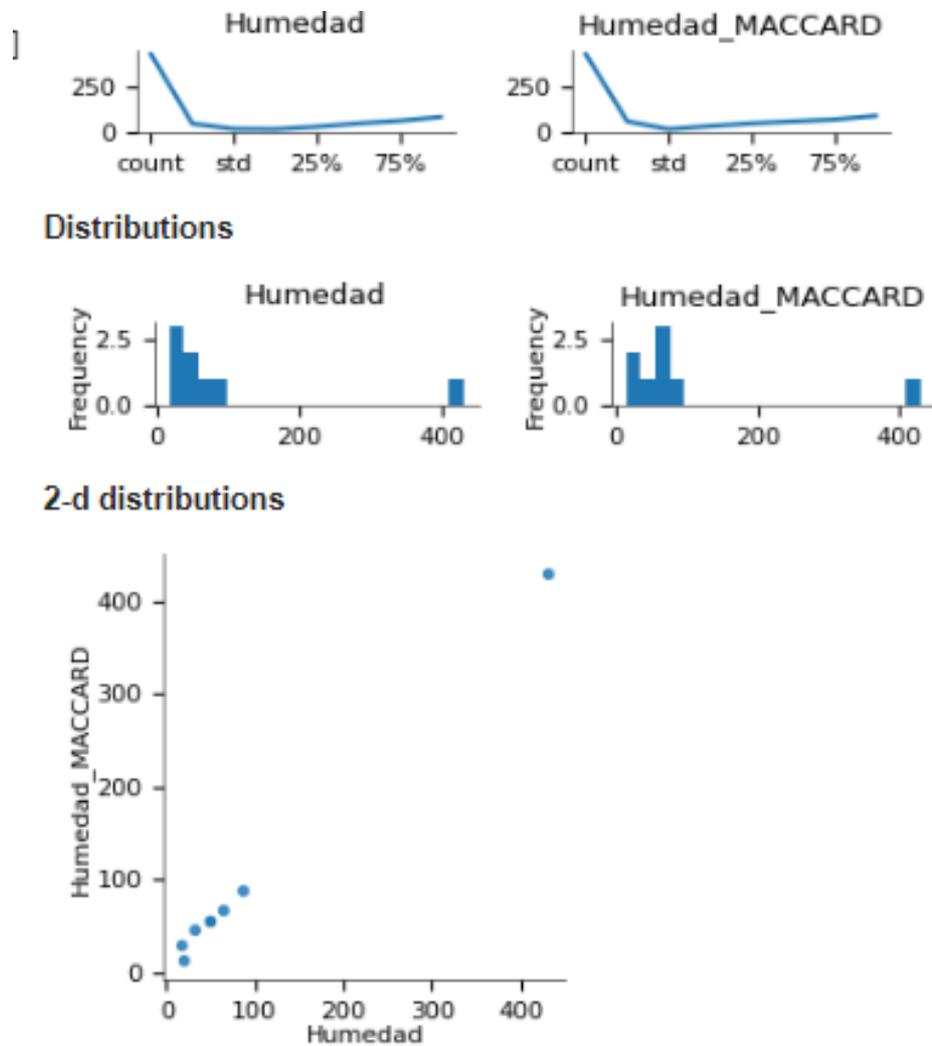
El proceso de calibración del sensor de humedad BME280 evidencia una variación positiva entre las mediciones obtenidas con el prototipo y aquellas registradas por la estación meteorológica comercial de referencia. Para corregir esta discrepancia, se implementarán ajustes adicionales a través de una ecuación de calibración, determinada empíricamente como:

$$y = 0.5805x + 29.306$$

Dicha ecuación permitió mejorar la alineación de las mediciones del prototipo con las de la estación comercial, reduciendo la discrepancia observada en los valores iniciales. La figura 23 presenta la superposición de los datos obtenidos con el sensor BME280 en el prototipo y los valores registrados por la estación comercial. Se observa una diferencia sistemática entre ambas mediciones, lo que motivó la necesidad de una calibración.

**Figura 23**

*Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo*

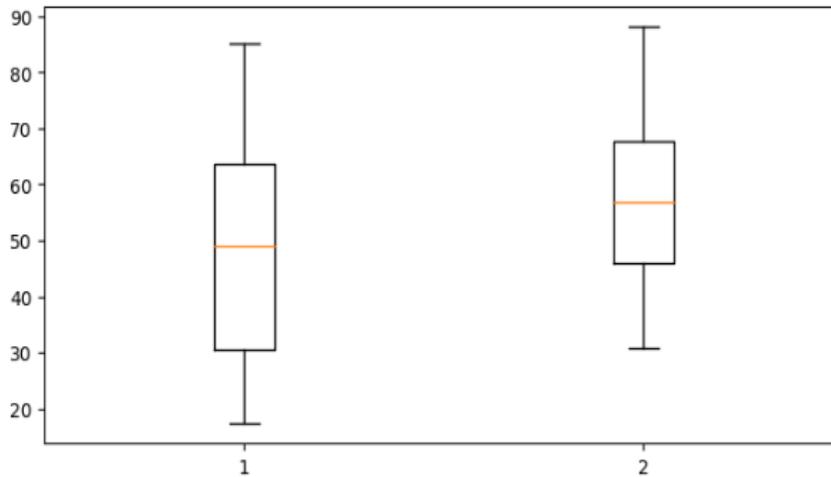


Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 se muestran las distribuciones de los valores de humedad relativa registrados por ambas estaciones meteorológicas. A través del análisis de la gráfica de bigotes, se identifican posibles valores atípicos que podrían afectar la calibración del sensor. Estos datos atípicos fueron analizados y considerados en la aplicación del modelo de ajuste.

### Figura 24

*Grafica de bigotes para observar los datos atípicos obtenido de las dos estaciones meteorológicas para la posterior calibración*

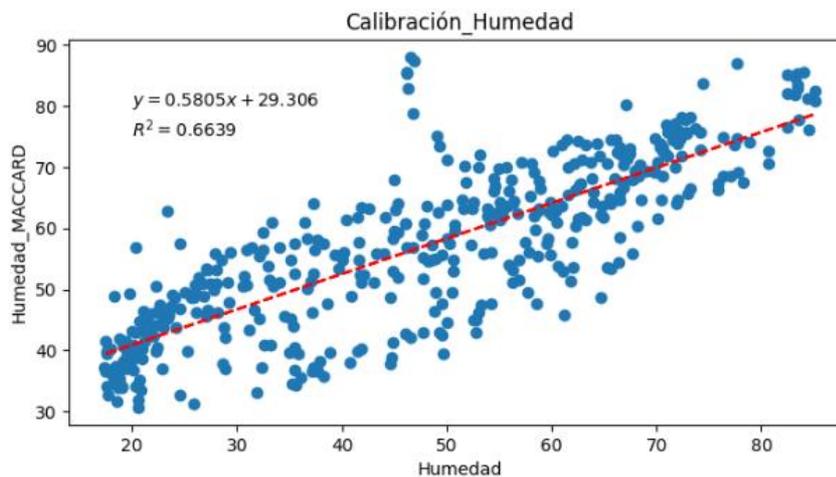


Fuente: Elaboración propia

Las figuras 25 y 26 presentan la relación entre las mediciones obtenidas en las distintas fases del proceso de calibración. En la primera calibración, se observará una compensación lineal con una dispersión significativa en algunos puntos. Después de aplicar la ecuación de calibración, se realizó una segunda calibración, donde se evidencia una mejora en la alineación de los valores registrados con el prototipo respecto a la estación de referencia.

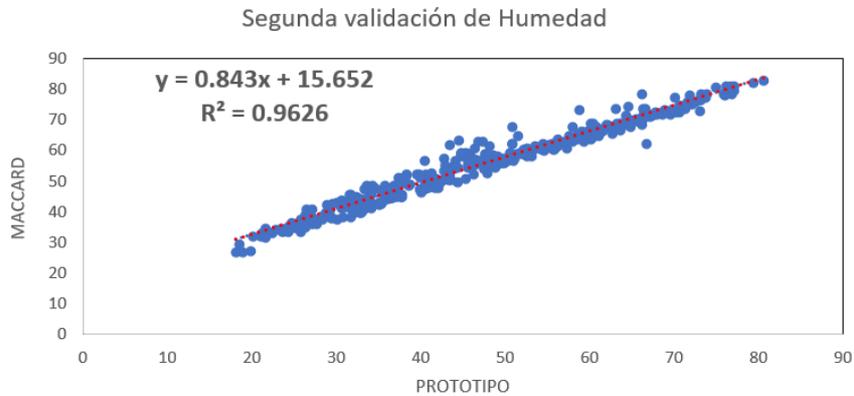
### Figura 25

*Dispersión lineal de la primera calibración*



**Figura 26**

*Dispersión lineal de la segunda calibración*



Fuente: Elaboración propia

El análisis comparativo y la calibración del sensor BME280 permitieron reducir la discrepancia entre el prototipo y la estación comercial, logrando mediciones más precisas y confiables. La ecuación de calibración ajustada demostró ser efectiva para mejorar la precisión del sensor en la estimación de la humedad relativa.

### **Calibración del Sensor de Presión Atmosférica (BME280)**

El proceso de calibración del sensor de presión atmosférica BME280 evidencia una relación lineal entre las mediciones del prototipo y las registradas por la estación meteorológica comercial de referencia. Tras la aplicación del modelo de calibración, se observará una mejora significativa en la precisión de las mediciones. La ecuación de regresión obtenida para el ajuste de los valores.

$$y = 0,6761 x + 30$$

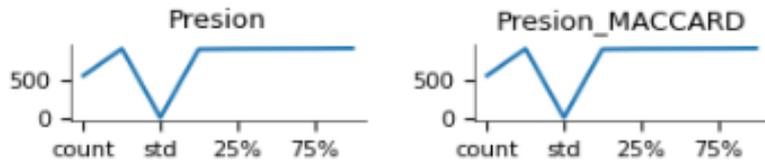
Este modelo permitió corregir la diferencia sistemática entre los datos del prototipo y la estación comercial, alineando con mayor precisión los valores iniciales.

La figura 27 se presentan las mediciones de presión atmosférica registradas por el sensor BME280 en el prototipo y la estación meteorológica comercial. Se puede observar una diferencia inicial entre ambas series de datos, lo que justificó la necesidad de un proceso de calibración.

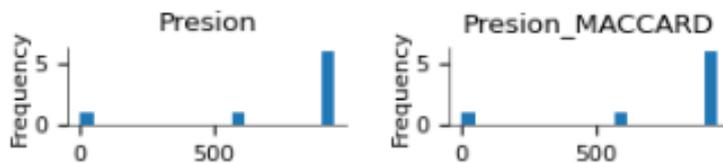
**Figura 27**

*Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo*

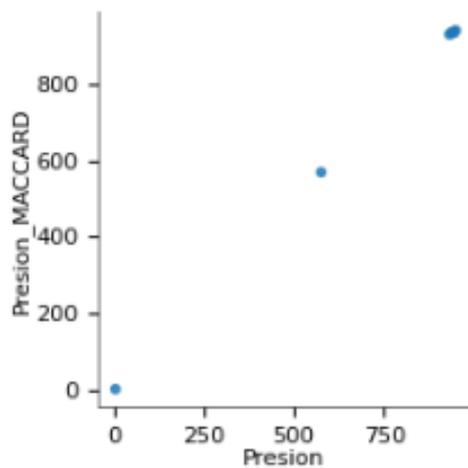
**Values**



**Distributions**



**2-d distributions**

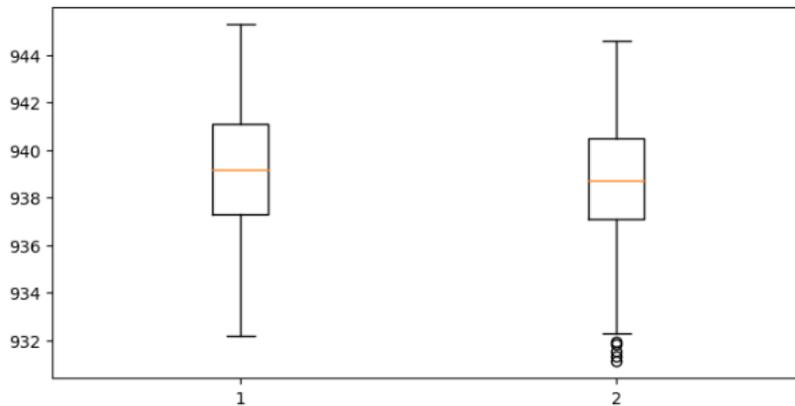


Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 se muestra la distribución de los valores de presión atmosférica obtenidos por ambas estaciones meteorológicas. La gráfica de bigotes permitió detectar valores atípicos que podrían afectar la calibración del sensor. Dichos valores fueron analizados y considerados en la aplicación del modelo de ajuste.

### Figura 28

*Grafica de bigotes para observar los datos atípicos obtenido de las dos estaciones meteorológicas para la posterior calibración*

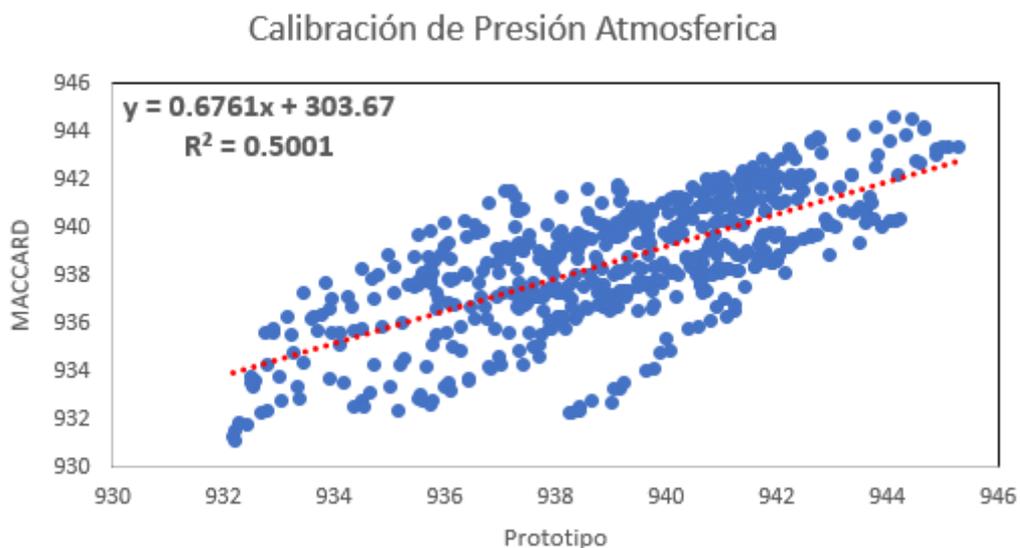


Fuente: Elaboración propia

Las figuras 29 y 30 ilustran la relación entre las mediciones del prototipo y las de la estación comercial en dos etapas del proceso de calibración. En la primera calibración, la dispersión de los datos reflejaba una diferencia notable entre ambos dispositivos. Tras aplicar la ecuación de calibración, se evidencia una mejora en la alineación de las mediciones, reduciendo significativamente el error sistemático.

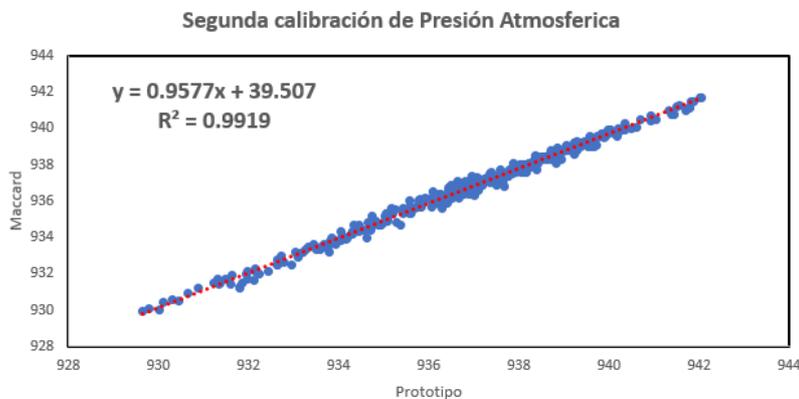
### Figura 29

*Dispersión lineal de la primera calibración*



**Figura 30**

*Dispersión lineal de la segunda calibración*



Fuente: Elaboración propia

El análisis comparativo de las mediciones y la aplicación de la ecuación de calibración permitieron mejorar la precisión del sensor BME280 para la medición de la presión atmosférica. La tendencia lineal observada tras la calibración indicó una compensación más estrecha con los valores de la estación de referencia, lo que sugiere la eficacia del modelo aplicado.

### **Calibración del Sensor de Temperatura (BME280)**

El proceso de calibración del sensor de temperatura BME280 mostró una correspondencia positiva entre las mediciones obtenidas con el prototipo y aquellas registradas por la estación meteorológica comercial de referencia. Sin embargo, se observará una ligera dispersión inicial en los valores, lo que justificó la necesidad de aplicar un ajuste. Para corregir estas variaciones, se implementó un modelo de calibración basado en la ecuación de regresión:

$$y = 0,8322 x + 4.6442$$

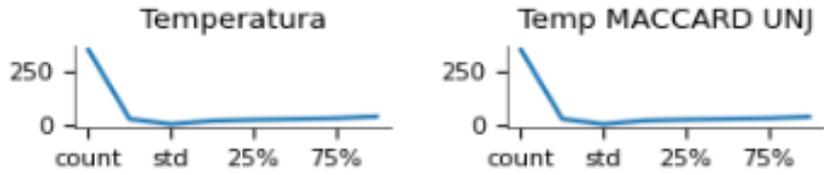
Esta ecuación permitió reducir la discrepancia entre ambas mediciones, mejorando la precisión del sensor en la estimación de la temperatura ambiente.

La figura 31 presenta la relación entre las mediciones de temperatura registradas por el sensor BME280 en el prototipo y los valores obtenidos por la estación comercial. Se evidencia una diferencia inicial en los datos, lo que motivó la aplicación de un modelo de calibración para mejorar la precisión del sensor.

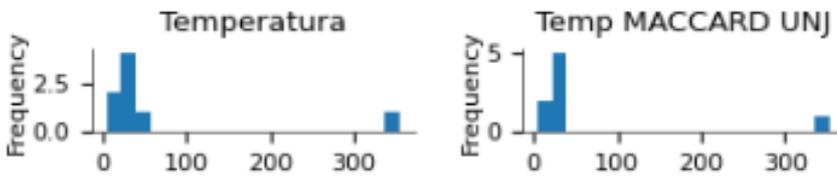
**Figura 31**

*Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo*

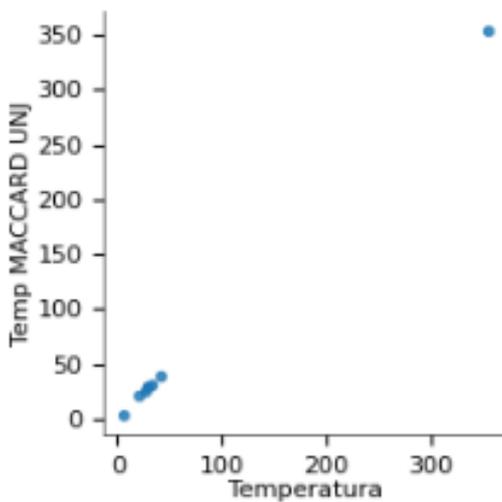
**Values**



**Distributions**



**2-d distributions**

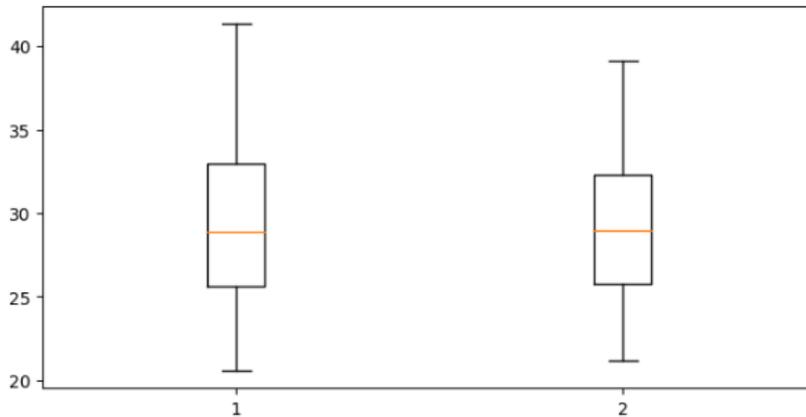


Fuente: Elaboración propia

La figura 32 muestra la distribución de los valores de temperatura obtenidos por ambas estaciones meteorológicas. Mediante el análisis de la gráfica de bigotes, se identifican posibles valores atípicos que podrían influir en la calibración del sensor. Dichos valores fueron analizados y considerados en el proceso de ajuste.

### Figura 32

*Grafica de bigotes para observar los datos atípicos obtenido de las dos estaciones meteorológicas para la posterior calibración*

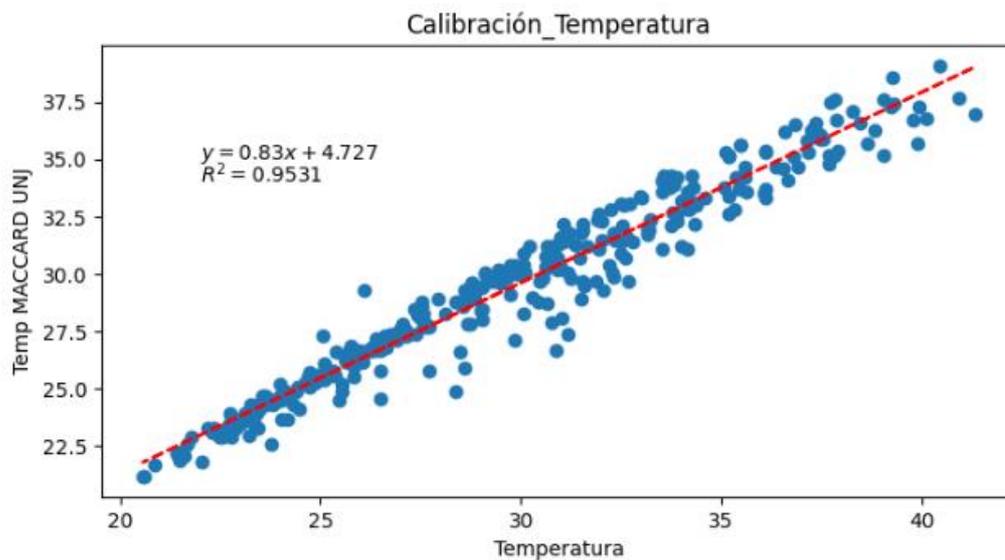


Fuente: Elaboración propia

Las figuras 33 y 34 ilustran la relación entre las mediciones obtenidas en las distintas etapas de la calibración. En la primera calibración, se evidencia una dispersión moderada en los datos, indicando la presencia de un error sistemático. Tras la aplicación de la ecuación de calibración, la segunda calibración mostró una mejora en la alineación de las mediciones, con una mayor correspondencia entre el prototipo y la estación de referencia.

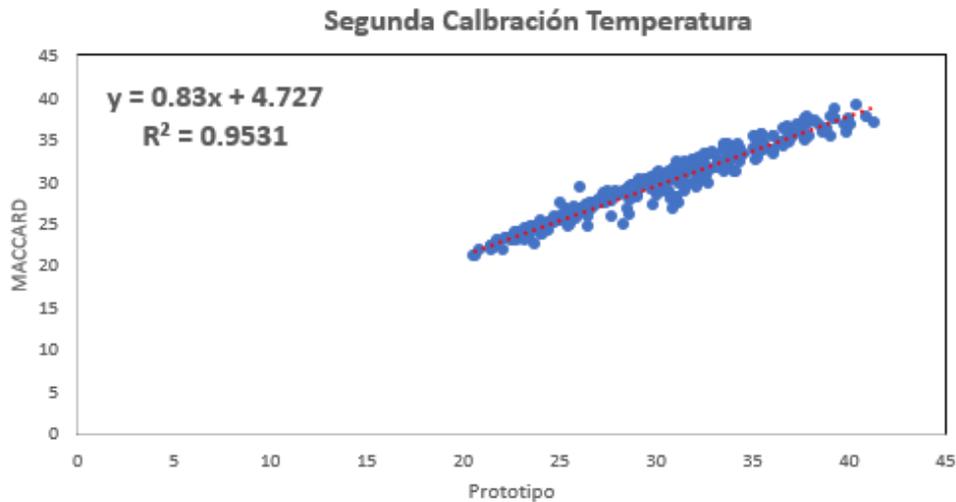
### Figura 33

*Dispersión lineal de la primera calibración*



**Figura 34**

*Dispersión lineal de la segunda calibración*



Fuente: Elaboración propia

El análisis de las mediciones y la posterior calibración del sensor BME280 permitieron mejorar la precisión en la medición de la temperatura. La aplicación de la ecuación de ajuste redujo significativamente la dispersión inicial y alineó las mediciones del prototipo con las de la estación comercial.

#### **Calibración del Sensor de Radiación UV (ML8511)**

El proceso de calibración del sensor de radiación UV ML8511 evidencia discrepancias iniciales entre las mediciones del prototipo y las registradas por la estación meteorológica comercial de referencia. La presencia de valores atípicos destacó la necesidad de ajustes en el modelo de medición. Para corregir estas variaciones, se implementaron modelos de regresión robusta y se reprogramó el sensor en la interfaz Arduino, aplicando la ecuación de regresión lineal:

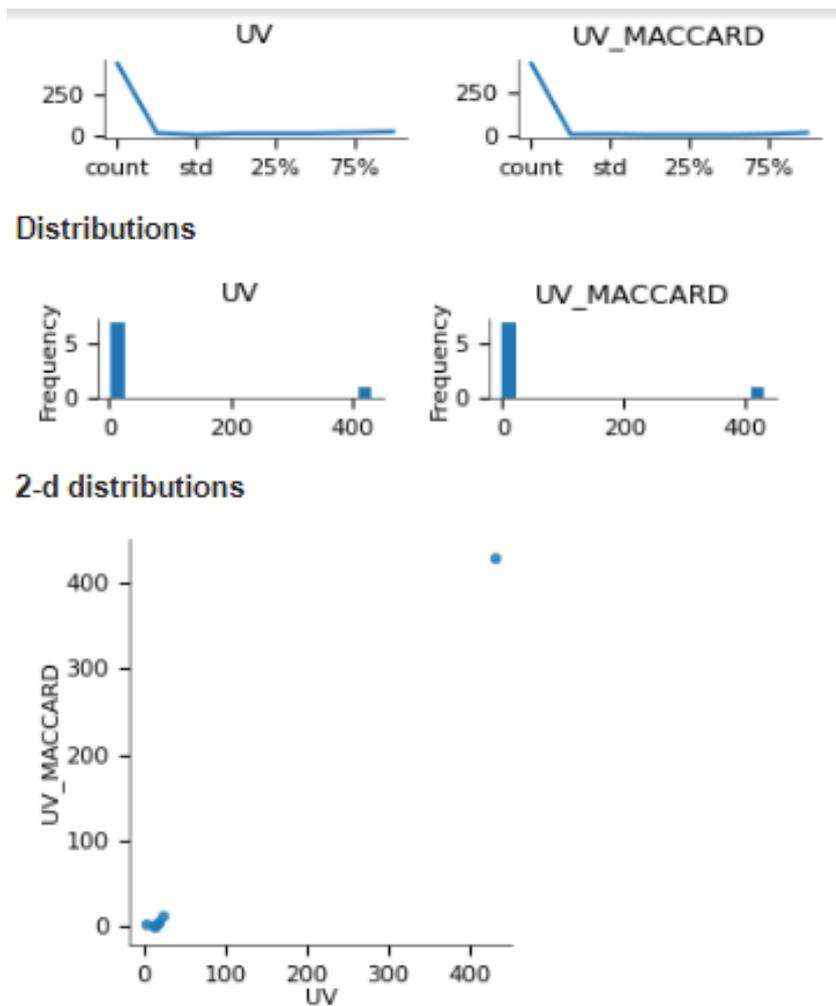
$$y = 0,9373 x - 11.375$$

Este ajuste permitió mejorar la precisión del sensor, reduciendo la desviación sistemática y optimizando la alineación con los valores de referencia.

La figura 35 presenta las mediciones de radiación UV obtenidas tanto por el sensor ML8511 en el prototipo como por la estación meteorológica comercial. Se observa una diferencia inicial en los valores, lo que motivó la aplicación de una calibración para mejorar la precisión del sensor.

**Figura 35**

*Graficas comparativas de la estación comercial y el prototipo*

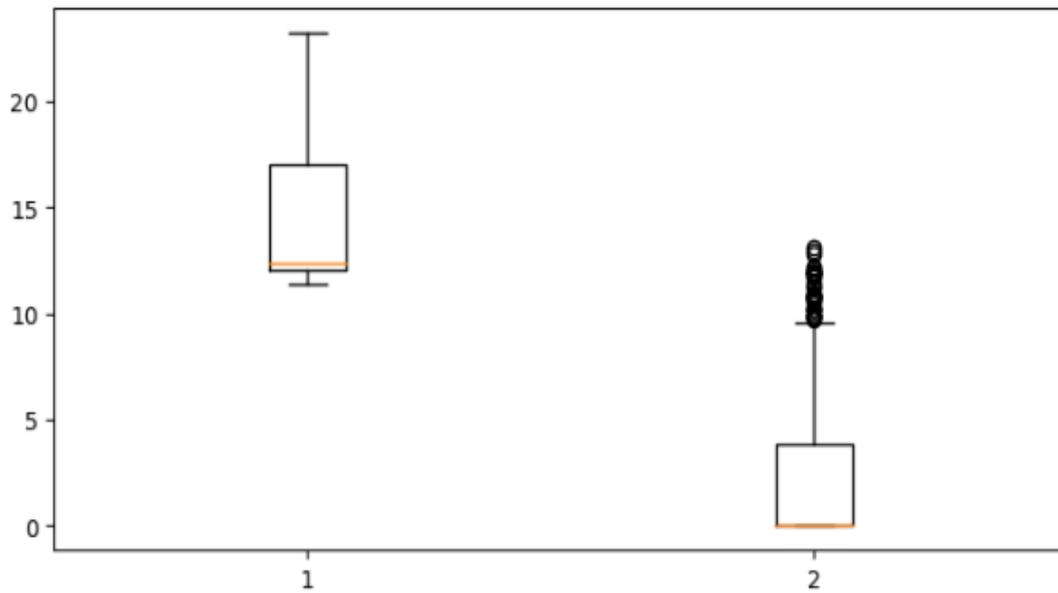


Fuente: Elaboración propia

La figura 36 muestra la distribución estadística de los valores de radiación UV obtenidos por ambas estaciones meteorológicas. A través de la caja de bigotes, se identifican valores atípicos que podrían afectar la calibración del sensor. Estos valores fueron analizados y considerados en el proceso de ajuste.

**Figura 36**

*Caja de bigotes de la radiación UV*

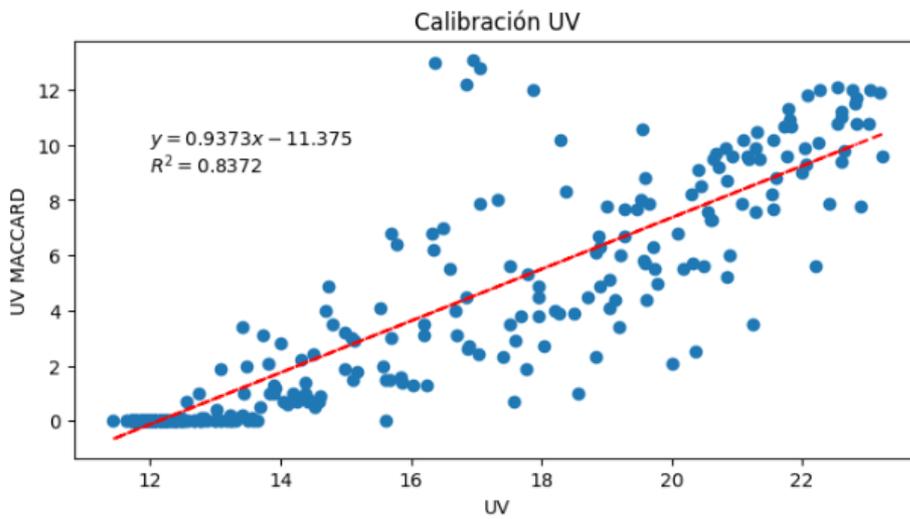


Fuente: Elaboración propia

Las figuras 37 y 38 ilustran la relación entre las mediciones del prototipo y las de la estación comercial en dos etapas del proceso de calibración. En la primera calibración, la dispersión de los datos reflejaba una diferencia notable entre ambos dispositivos. Después de la implementación de la ecuación de calibración y la reprogramación del sensor, la segunda calibración mostró una alineación más precisa de las mediciones, reduciendo significativamente la diferencia con los valores de referencia.

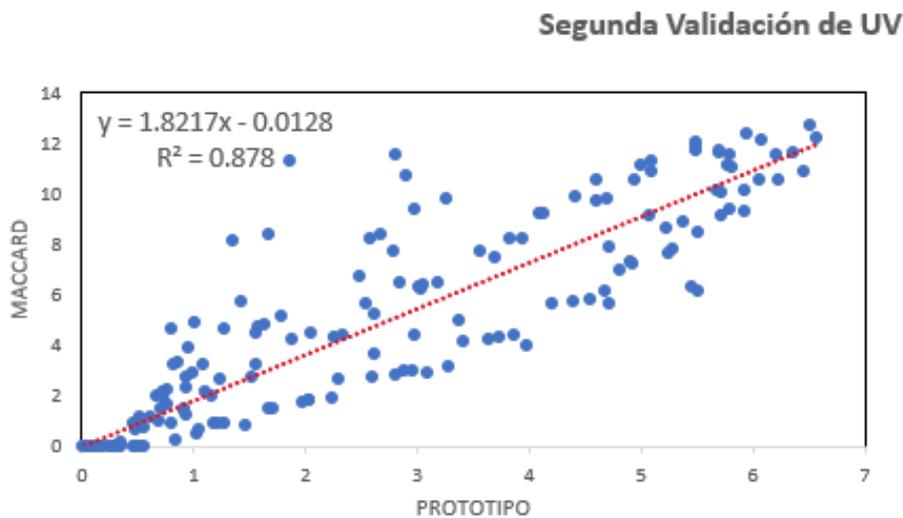
**Figura 37**

*Dispersión lineal de la primera calibración*



**Figura 38**

*Dispersión lineal de la segunda calibración*



Fuente: Elaboración propia.

El análisis comparativo de las mediciones y la aplicación del modelo de calibración permitieron mejorar la precisión del sensor ML8511 en la medición de la radiación UV. La regresión lineal aplicada redujo la variabilidad inicial, alineando los valores del prototipo con los de la estación comercial.

## **Realizar una evaluación económica del prototipo utilizando los indicadores financieros de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).**

En este apartado se presenta la evaluación económica del prototipo de estación meteorológica, un elemento clave para determinar su viabilidad y sostenibilidad. Tras detallar los aspectos técnicos y de diseño, este análisis se enfoca en cuantificar costos y beneficios, aplicando el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para evaluar la rentabilidad del proyecto. El objetivo es determinar si el prototipo representa una inversión económicamente justificada, basándose en supuestos realistas sobre costos, beneficios y vida útil. Se reconocen factores no económicos, como beneficios sociales y ambientales, pero esta evaluación proporciona una base sólida para analizar el potencial impacto del prototipo en meteorología y de ser el caso en la agricultura.

### **Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)**

El Valor Actual Neto (VAN) se determina aplicando la fórmula financiera estándar, que consiste en descontar los flujos de caja futuros a una tasa de descuento del 5% y restar la inversión inicial. El flujo de caja neto anual se calcula como la diferencia entre los ingresos anuales y los costos de operación. La ecuación para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum \left( \frac{\text{Flujo de caja neto anual}}{(1 + r)^t} \right) - \text{Inversión inicial}$$

Donde:

- $r$  es la tasa de descuento (en %)
- $t$  es el año (desde 1 hasta  $n$  años)

### **Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que iguala el Valor Actual Neto (VAN) a cero. Es decir, representa la tasa a la cual los ingresos futuros descontados son equivalentes a los costos iniciales del proyecto. La fórmula para calcular la TIR se expresa de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \left( \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right) = 0$$

Donde:

$VAN$  es el Valor Actual Neto

$FC_t$  es el flujo de caja en el año  $t$

$TIR$  es la Tasa Interna de Retorno

$TIR$  es el año

$n$  es el número total de años

### **Análisis financiero para el prototipo de estación meteorológica**

Para evaluar la viabilidad económica del prototipo de estación meteorológica, se llevó a cabo un análisis financiero basado en el Valor Actual Neto ( $VAN$ ) y la Tasa Interna de Retorno ( $TIR$ ). Este estudio considera los costos de desarrollo, implementación y operación, así como los beneficios proyectados, permitiendo determinar la rentabilidad del proyecto.

La estructura de costos se divide en cuatro categorías principales. Los costos de inversión inicial incluyen la adquisición de sensores de temperatura y humedad (DHT22, SHT31), presión atmosférica (BMP280, BME680), velocidad y dirección del viento (anemómetro, veleta), pluviómetro y sensor de radiación solar (opcional). Además, contempla módulos de conectividad (WiFi, LoRa, GSM), controladores (Arduino, ESP32, Raspberry Pi) y el sistema de alimentación (panel solar o fuente de poder). También se consideran los costos de infraestructura, que abarcan el montaje, soportes, cajas de protección, cables y conectores, así como el desarrollo de software, que incluye la interfaz, base de datos y algoritmos de adquisición y procesamiento de datos.

Los costos operativos y de mantenimiento comprenden la revisión, calibración y limpieza de sensores, el reemplazo de componentes, el consumo energético según la fuente de alimentación y los servicios de conectividad y almacenamiento en la nube. Los costos de personal incluyen el desarrollo y configuración del software, la instalación del sistema y la supervisión y mantenimiento de la estación. Finalmente, los costos indirectos engloban transporte, instalación, capacitación para el uso del sistema y gastos administrativos.

Este análisis financiero proporciona una visión clara de los recursos necesarios y su impacto en la rentabilidad del proyecto, asegurando una toma de decisiones fundamentada en criterios económicos sólidos.

## Costo Unitario de Componentes

A continuación, se presenta el desglose del costo unitario de los componentes principales utilizados en la construcción del prototipo de estación meteorológica, detallando la descripción, unidad de medida, cantidad utilizada, precio unitario y valor total para cada ítem, ver el anexo C. Este desglose proporciona una visión clara y detallada de la inversión en materiales y componentes necesaria para la replicación o escalabilidad del prototipo.

**Tabla 11**

*Costos Detallados de Componentes para el Prototipo de Estación Meteorológica*

| N°                                  | Descripción                                   | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (S/) | Precio Total (S/) |
|-------------------------------------|---|--------|----------|----------------------|-------------------|
| <b>1 Sensores</b>                   |   |        |          |                      |                   |
| 1.1                                 | BME280 (Presión, Temperatura y Humedad)       | Unidad | 1        | 30                   | 30                |
| 1.2                                 | ML8511 (Sensor de Luz Ultravioleta)           | Unidad | 1        | 160                  | 160               |
| <b>2 Microcontrolador</b>           |   |        |          |                      |                   |
| 2.1                                 | Arduino Mega 2560 R3                          | Unidad | 1        | 120                  | 120               |
| <b>3 Pantalla</b>                   |   |        |          |                      |                   |
| 3.1                                 | OLED 1.3" I2C 128x64 (SH1106)                 | Unidad | 1        | 35                   | 35                |
| <b>4 Reloj de Tiempo Real (RTC)</b> |   |        |          |                      |                   |
| 4.1                                 | RTC DS3231 + EEPROM AT24C32 (I2C)             | Unidad | 1        | 16                   | 16                |
| <b>5 Memoria</b>                    |   |        |          |                      |                   |
| 5.1                                 | Módulo Lector de Tarjeta Micro SD (74LVC125A) | Unidad | 1        | 12                   | 12                |
| <b>6 Conectividad</b>               |   |        |          |                      |                   |
| 6.1                                 | Cables Dupont (Hembra a Macho, 20cm)          | Juego  | 1        | 5                    | 5                 |
| <b>7 Alimentación</b>               |   |        |          |                      |                   |
| 7.1                                 | Panel Solar                                   | Unidad | 1        | 120                  | 120               |

|                                   |                                    |        |   |       |                |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------|---|-------|----------------|
| 7.2                               | Batería AGM 12V 9Ah<br>Tensite     | Unidad | 1 | 75    | 75             |
| 7.3                               | Regulador de Carga Solar           | Unidad | 1 | 75    | 75             |
| <b>8 Estructura y Carcasa</b>     |                                    |        |   |       |                |
| 8.1                               | Perfil Angular (90°, 1<br>pulgada) | Metro  | 6 | 13    | 78             |
| 8.2                               | Tubo Galvanizado (2<br>pulgadas)   | Metro  | 3 | 35    | 105            |
| 8.3                               | Caja Metálica (30x30x10<br>cm)     | Unidad | 1 | 80    | 80             |
| <b>9 Fijación y Acabado</b>       |                                    |        |   |       |                |
| 9.1                               | Juego de Tornillos y Tuercas       | Juego  | 1 | 26    | 26             |
| 9.2                               | Pintura Acrílica y Sellador        | Galón  | 1 | 40    | 40             |
| 9.3                               | Adhesivo de Silicona               | Unidad | 1 | 10    | 10             |
| <b>10 Material de Prototipado</b> |                                    |        |   |       |                |
| 10                                | Filamento PLA                      | Kg     | 1 | 47.92 | 50             |
| PRESUPUESTO TOTAL                 |                                    |        |   |       | S/<br>1,034.92 |

### **Costo Unitario de Mano de Obra para Instalación, Puesta en Marcha y Mantenimiento**

La Tabla 12 detalla el costo unitario estimado de la mano de obra necesaria para la instalación inicial, la puesta en marcha del prototipo de estación meteorológica y el mantenimiento periódico requerido para asegurar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.

**Tabla 12**  
*Costos Estimados de Mano de Obra*

| <b>Descripción</b>               | <b>Unidad<br/>de<br/>Medida</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Costo<br/>Unitario<br/>(S/)</b> | <b>Costo<br/>Total<br/>(S/)</b> |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Instalación Inicial</b>       |                                 |                 |                                    |                                 |
| Traslado y Preparación del Sitio | Hora                            | 2               | 30                                 | 60                              |

|   |        |    |    |                |
|---|--------|----|----|----------------|
| Montaje e Instalación de la Estructura          | Hora   | 1  | 35 | 35             |
| <b>Puesta en Marcha</b>                         |        |    |    | 0              |
| Configuración del Software y Ajustes Finales    | Hora   | 2  | 45 | 90             |
| Verificación y Validación de Datos              | Hora   | 1  | 45 | 45             |
| <b>Mantenimiento Periódico (Anual)</b>          |        |    |    | 0              |
| Inspección y Limpieza de Sensores               | Visita | 12 | 50 | 600            |
| Calibración Avanzada y Ajustes Finos            | Visita | 3  | 60 | 180            |
| Revisión y Reemplazo de Componentes Desgastados | Visita | 2  | 40 | 80             |
| Costo Total Estimado (Anual)                    |        |    |    | S/<br>1,090.00 |

### **Proyección de Ingresos Anuales Estimados para prototipo de estación meteorológica.**

La Tabla 13 presenta la proyección de ingresos anuales estimados para el prototipo de estación meteorológica, considerando diversas fuentes de ingresos potenciales. Estas estimaciones, basadas en el potencial del proyecto, no constituyen ingresos garantizados, pero proporcionan un marco de referencia para su viabilidad económica. Los ingresos se derivan de la venta del equipo a entidades académicas, gubernamentales, agrícolas e industriales, así como de un servicio de monitoreo basado en suscripción para el acceso a datos en tiempo real. Adicionalmente, se contemplan ingresos por consultoría y personalización del sistema según necesidades específicas, junto con alianzas estratégicas con universidades y organismos meteorológicos para su uso en investigación y educación. La estimación considera una demanda creciente, precios competitivos definidos según el mercado y costos de producción, ingresos recurrentes por mantenimiento y reemplazo de componentes, y una tasa de adopción tecnológica en aumento conforme se valide la confiabilidad del sistema. Asimismo, se analizan factores

macroeconómicos como inflación, tipo de cambio y acceso a financiamiento, los cuales pueden influir en la comercialización y adopción del producto.

**Tabla 13**

*Ingresos Estimados para prototipo de estación meteorológica*

| <b>Concepto</b>                    | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio</b>   | <b>Ingreso</b>    |
|------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|                                    |               | <b>Anual</b>    | <b>Unitario</b> | <b>Anual (S/)</b> |
|                                    |               |                 | <b>(S/)</b>     |                   |
| Venta de datos meteorológicos      | Contrato      | 1               | 250             | 250               |
| Reducción de costos en agricultura | Beneficio     | 1               | 250             | 250               |
| Financiamiento para investigación  | Proyecto      | 1               | 500             | 500               |
| Comercialización del diseño        | Licencia      | 2               | 250             | 500               |
| <b>INGRESOS ANUALES</b>            |               |                 |                 | <b>1,500</b>      |
| <b>TOTALES (S/)</b>                |               |                 |                 |                   |

La Tabla 13 muestra una proyección de ingresos anuales totales de S/ 1,500, distribuidos en cuatro fuentes principales. La fuente de ingresos por la venta de datos meteorológicos, reducción de costos en agricultura, financiamiento para investigación y comercialización del diseño contribuyen con un 17%, 17%, 33% y un 33% respectivamente. Estas proyecciones sugieren que la estación meteorológica tiene el potencial de generar ingresos sustanciales, lo que podría justificar la inversión realizada en su desarrollo e implementación. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que estas cifras son estimaciones y que los ingresos reales pueden variar dependiendo de diversos factores, como la demanda del mercado, la disponibilidad de financiamiento para investigación y el éxito en la comercialización del diseño.

#### **Flujo de Caja Económico Proyectado para el Prototipo de Estación Meteorológica**

La Tabla 14 presenta un flujo de caja, detallando los ingresos anuales, los costos de instalación iniciales, los costos de operación y mantenimiento recurrentes, y el flujo de caja económico resultante en cada período. Se ha aplicado una tasa de descuento del 5% para reflejar el valor del dinero en el tiempo. Es importante destacar que no se considera el IGV ya que se trata de una universidad y no de una empresa comercial.

**Tabla 14***Ingresos Estimados para prototipo de estación meteorológica*

| <b>Año</b> | <b>Ingresos</b> | <b>Costos de<br/>instalación:</b> | <b>Costos de<br/>operación y<br/>mantenimiento</b> | <b>IGV<br/>18%</b> | <b>Egresos</b> | <b>Flujo de<br/>caja<br/>económico</b> | <b>tasa de<br/>descuento</b> |
|------------|-----------------|-----------------------------------|--|--------------------|----------------|--|------------------------------|
|            | 0.00            | 1034.92                           | 0.00   | 0.00               | 1034.92        | -1034.92                               | 5.00%                        |
| 1          | 1500.00         | 0.00                              | 1090.00  | 0.00               | 1090.00        | 410.00                                 | 5.00%                        |
| 2          | 1575.00         | 0.00                              | 1144.50  | 0.00               | 1144.50        | 430.50                                 | 5.00%                        |
| 3          | 1653.75         | 0.00                              | 1201.73  | 0.00               | 1201.73        | 452.03                                 | 5.00%                        |
| 4          | 1736.44         | 0.00                              | 1261.81  | 0.00               | 1261.81        | 474.63                                 | 5.00%                        |
| 5          | 1823.26         | 0.00                              | 1324.90  | 0.00               | 1324.90        | 498.36                                 | 5.00%                        |
| 6          | 1914.42         | 0.00                              | 1391.15  | 0.00               | 1391.15        | 523.28                                 | 5.00%                        |
| 7          | 2010.14         | 0.00                              | 1460.70  | 0.00               | 1460.70        | 549.44                                 | 5.00%                        |
| 8          | 2110.65         | 0.00                              | 1533.74  | 0.00               | 1533.74        | 576.91                                 | 5.00%                        |
| 9          | 2216.18         | 0.00                              | 1610.43  | 0.00               | 1610.43        | 605.76                                 | 5.00%                        |
| 10         | 2326.99         | 0.00                              | 1690.95  | 0.00               | 1690.95        | 636.04                                 | 5.00%                        |
| 11         | 2443.34         | 0.00                              | 1775.50  | 0.00               | 1775.50        | 667.85                                 | 5.00%                        |
| 12         | 2565.51         | 0.00                              | 1864.27  | 0.00               | 1864.27        | 701.24                                 | 5.00%                        |
| 13         | 2693.78         | 0.00                              | 1957.48  | 0.00               | 1957.48        | 736.30                                 | 5.00%                        |
| 14         | 2828.47         | 0.00                              | 2055.36  | 0.00               | 2055.36        | 773.12                                 | 5.00%                        |
| 15         | 2969.90         | 0.00                              | 2158.13  | 0.00               | 2158.13        | 811.77                                 | 5.00%                        |

El flujo de caja económico proyectado muestra un panorama favorable para el prototipo de estación meteorológica. A pesar de la inversión inicial de S/ 1034.92, los ingresos anuales superan significativamente los costos de operación y mantenimiento, generando flujos de caja positivos a partir del primer año. Se observa un crecimiento constante en los ingresos a lo largo del tiempo, lo que refleja el potencial del prototipo para generar valor económico a largo plazo. Este flujo de caja positivo sugiere que el prototipo podría ser una inversión rentable, aunque es importante considerar otros factores, como el riesgo y la incertidumbre asociados a las proyecciones.

#### **Análisis financiero para la estación Meteorológica del MACCARD**

El presente análisis financiero evalúa la viabilidad económica de la estación meteorológica del proyecto MACCARD, considerando los costos de adquisición, instalación, operación y mantenimiento, así como los ingresos potenciales que podría generar. Los datos presentados a continuación proporcionan una base para determinar la

rentabilidad y el retorno de la inversión de la estación meteorológica a lo largo de su vida útil.

### Costo Unitario

A continuación, se presenta el desglose del costo unitario de la estación del MACCARD, detallando los componentes principales y su precio de adquisición.

**Tabla 15**

*Costos Detallados del costo unitario de la estación meteorológica del MACCARD,*

| N° | Descripción                                  | Unidad | Cantidad | Precio   | Precio   |
|----|--|--------|----------|----------|----------|
|    |  |        |          | Unitario | Total    |
|    |  |        |          | (S/)     | (S/)     |
| 1  | <b>Marca Davis, Modelo Vangate pro2 Plus</b> | Unidad | 1        | 5,500.00 | 5,500.00 |

### Costo la de Mano de Obra para Instalación, Puesta en Marcha y Mantenimiento de la estación del MACCARD

Se presenta una estimación de los costos asociados a la mano de obra necesaria para la instalación inicial, la puesta en marcha y el mantenimiento periódico de la estación meteorológica del MACCARD, ver tabla 16.

**Tabla 16**

*Costos Estimados de Mano de Obra*

| Descripción                            | Unidad de Medida | Cantidad | Costo Unitario | Costo Total |
|--|------------------|----------|----------------|-------------|
|  |                  |          |                | (S/)        |
| <b>Instalación Inicial</b>             |                  |          |                |             |
| Traslado y Preparación del Sitio       | Hora             | 2        | 30             | 60          |
| Montaje e Instalación de la Estructura | Hora             | 1        | 35             | 35          |
| <b>Puesta en Marcha</b>                |                  |          |                | 0           |
| Configuración del Software y Ajustes   | Hora             | 2        | 45             | 90          |
| <b>Finales</b>                         |                  |          |                |             |
| Verificación y Validación de Datos     | Hora             | 1        | 45             | 45          |
| <b>Mantenimiento Periódico (Anual)</b> |                  |          |                | 0           |
| Inspección y Limpieza de Sensores      | Visita           | 12       | 50             | 600         |

|  |        |   |    |                |
|--|--------|---|----|----------------|
| Calibración Avanzada y Ajustes Finos               | Visita | 3 | 60 | 180            |
| Revisión y Reemplazo de Componentes<br>Desgastados | Visita | 2 | 40 | 80             |
| Costo Total Estimado (Anual)                       |        |   |    | S/<br>1,090.00 |

### **Proyección de Ingresos Anuales Estimados para la estación del MACCARD**

Se presenta una proyección de los ingresos anuales estimados que podría generar la estación meteorológica del MACCARD, considerando diversas fuentes potenciales, ver tabla 17

**Tabla 17**

*Ingresos Estimados para prototipo de estación meteorológica.*

| Concepto                           | Unidad    | Cantidad | Precio           | Ingreso    |
|------------------------------------|-----------|----------|------------------|------------|
|                                    |           | Anual    | Unitario<br>(S/) | Anual (S/) |
| Venta de datos meteorológicos      | Contrato  | 3        | 250              | 750        |
| Reducción de costos en agricultura | Beneficio | 3        | 250              | 750        |
| Financiamiento para investigación  | Proyecto  | 3        | 500              | 1,500      |
| Comercialización del diseño        | Licencia  | 6        | 250              | 1,500      |
| INGRESOS ANUALES TOTALES<br>(S/)   |           |          |                  | 4,500      |

### **Flujo de Caja Económico Proyectado para la estación del MACCARD**

Se presenta en la tabla 18 el flujo de caja económico proyectado para la estación del MACCARD, considerando los costos y los ingresos estimados a lo largo de un período de 15 años.

**Tabla 18***Ingresos Estimados para prototipo de la estación del MACCARD*

| <b>Año</b> | <b>Ingresos</b> | <b>Costos de<br/>instalación:</b> | <b>Costos de<br/>operación y<br/>mantenimiento</b> | <b>IGV<br/>18%</b> | <b>Egresos</b> | <b>Flujo de<br/>caja<br/>económico</b> | <b>tasa de<br/>descuento</b> |
|------------|-----------------|-----------------------------------|--|--------------------|----------------|--|------------------------------|
| 0          | 0.00            | 4500.00                           | 0.00   | 0.00               | 4500.00        | -4500.00                               | 5.00%                        |
| 1          | 1500.00         | 0.00                              | 1090.00  | 0.00               | 1090.00        | 410.00                                 | 5.00%                        |
| 2          | 1575.00         | 0.00                              | 1144.50  | 0.00               | 1144.50        | 430.50                                 | 5.00%                        |
| 3          | 1653.75         | 0.00                              | 1201.73  | 0.00               | 1201.73        | 452.03                                 | 5.00%                        |
| 4          | 1736.44         | 0.00                              | 1261.81  | 0.00               | 1261.81        | 474.63                                 | 5.00%                        |
| 5          | 1823.26         | 0.00                              | 1324.90  | 0.00               | 1324.90        | 498.36                                 | 5.00%                        |
| 6          | 1914.42         | 0.00                              | 1391.15  | 0.00               | 1391.15        | 523.28                                 | 5.00%                        |
| 7          | 2010.14         | 0.00                              | 1460.70  | 0.00               | 1460.70        | 549.44                                 | 5.00%                        |
| 8          | 2110.65         | 0.00                              | 1533.74  | 0.00               | 1533.74        | 576.91                                 | 5.00%                        |
| 9          | 2216.18         | 0.00                              | 1610.43  | 0.00               | 1610.43        | 605.76                                 | 5.00%                        |
| 10         | 2326.99         | 0.00                              | 1690.95  | 0.00               | 1690.95        | 636.04                                 | 5.00%                        |
| 11         | 2443.34         | 0.00                              | 1775.50  | 0.00               | 1775.50        | 667.85                                 | 5.00%                        |
| 12         | 2565.51         | 0.00                              | 1864.27  | 0.00               | 1864.27        | 701.24                                 | 5.00%                        |
| 13         | 2693.78         | 0.00                              | 1957.48  | 0.00               | 1957.48        | 736.30                                 | 5.00%                        |
| 14         | 2828.47         | 0.00                              | 2055.36  | 0.00               | 2055.36        | 773.12                                 | 5.00%                        |
| 15         | 2969.90         | 0.00                              | 2158.13  | 0.00               | 2158.13        | 811.77                                 | 5.00%                        |

El flujo de caja económico proyectado para la estación meteorológica del MACCARD muestra que, dadas las proyecciones de ingresos y costos, la inversión resulta financieramente viable en el horizonte de 15 años analizado. Se observa que, si bien existen ingresos anuales, estos son suficientes para cubrir los costos de operación y mantenimiento, generando un flujo de caja positivo en cada período. La inversión inicial de S/ 5,500.00 se recupera durante el período analizado, lo que indica que el proyecto genera valor económico bajo las condiciones planteadas.

### **Instrumentos**

Se emplearon herramientas y dispositivos especializados, como sensores calibrados, software de análisis de datos y cuestionarios estructurados, para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Recolección de Datos:**

El proceso de recolección de datos se llevó a cabo mediante la implementación de protocolos establecidos, asegurando un registro sistemático y estandarizado de la información relevante. Las mediciones se realizaron bajo condiciones controladas para minimizar errores y sesgos.

**Análisis de Datos:**

Se realizaron cálculos mediante técnicas estadísticas avanzadas y el uso de software especializado, lo que permitió procesar e interpretar los datos de manera rigurosa. Los resultados fueron evaluados en función de su consistencia y significancia.

**Consideraciones Éticas:**

Se respetaron los principios éticos fundamentales, incluyendo el consentimiento informado de los participantes, la confidencialidad de los datos recopilados y el cumplimiento de las normativas éticas y legales aplicables.

**Limitaciones del Estudio:**

El estudio presentó limitaciones como la representatividad de la muestra, la dependencia de instrumentos específicos y las restricciones de tiempo, lo cual podría influir en la generalización de los hallazgos. Además, la precisión de los resultados estuvo condicionada por las características técnicas de los instrumentos empleados.

### III. RESULTADOS

#### Diseño de los módulos necesarios para el funcionamiento de la estación meteorológica

Para documentar de manera clara y concisa las características clave de cada módulo del prototipo de estación meteorológica, se presenta la Tabla 19 a continuación. Esta tabla resume los componentes principales, los rangos de medición, la precisión y las consideraciones de diseño más relevantes para cada componente.

**Tabla 19**

*Características de las componentes del Prototipo de Estación Meteorológica*

| Módulo                                   | Componente Principal                   | Rango de Medición  | Precisión  | Consideraciones de Diseño  |
|--|--|--|--|--|
| Sensor de Temperatura, Humedad y Presión | BME280                                 | Temperatura: -40°C a 85°C<br>Humedad: 0% a 100%<br>Presión: 300 hPa a 1100 hPa | Temperatura: $\pm 1^\circ\text{C}$<br>Humedad: $\pm 3\%$<br>Presión: $\pm 1$ hPa | Bajo consumo energético, compatibilidad con Arduino  |
| Sensor de Radiación Solar                | ML8511                                 | Longitud de onda: 280nm a 390nm  | No especificada  | Detección de radiación UV, datos útiles relacionados con la exposición al sol, fácil integración con Arduino |
| Control y Procesamiento                  | Arduino Mega 2560 R3                   | N/A  | N/A  | Integración de múltiples sensores, capacidad de procesamiento, almacenamiento de datos                       |
| Visualización                            | Pantalla OLED 1.3" I2C 128x64 (SH1106) | Resolución: 128x64 píxeles   | N/A  | Visualización clara de datos en tiempo real, bajo consumo de energía, fácil integración con Arduino          |
| Almacenamiento de Datos                  | Módulo Micro SD Card 74LVC125A         | Capacidad: Hasta 16 GB   | N/A  | Almacenamiento adecuado de datos meteorológicos  |

|                   |   |     |                   |   |
|-------------------|---|-----|-------------------|---|
| Tiempo Real (RTC) | Módulo<br>RTC<br>DS3231 +<br>EEPROM<br>AT24C32<br>(I2C) | N/A | Alta<br>precisión | Medición precisa del tiempo, marca temporal precisa de las mediciones meteorológicas, fácil integración con Arduino |
|-------------------|---|-----|-------------------|---|

La Tabla 19 proporciona una visión general de los módulos y componentes clave utilizados en el prototipo de estación meteorológica. Se destaca que la selección de cada componente se basó en criterios específicos relacionados con la precisión, el rango de medición, el consumo de energía y la compatibilidad con la plataforma Arduino. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad del diseño modular, que permite la integración de diferentes sensores y componentes para la medición de variables meteorológicas clave.

### Selección de la Fuente de Energía Autónoma

Para asegurar la independencia energética del prototipo de estación meteorológica y su funcionamiento continuo en diversas condiciones ambientales, se ha diseñado un sistema de alimentación autónomo. La Tabla 20 detalla los componentes seleccionados para este sistema, destacando sus características y la justificación de su elección en función de la sostenibilidad y confiabilidad del prototipo.

**Tabla 20**

*Selección de la Fuente de Energía Autónoma*

| Componente         | Descripción general   | Especificaciones técnicas   |
|--------------------|---|---|
| <b>Panel Solar</b> | Panel Solar Monocristalino de 20W 12VDC, modelo RD20MC de la marca RenePV. Alta eficiencia en conversión de energía, diseño compacto y robusto.           | Potencia: 20W; Voltaje nominal: 12VDC; Corriente máxima (Imp): 1.10 A |
| <b>Batería AGM</b> | Batería sellada de tipo AGM (Absorbent Glass Mat), de 12V y 9Ah de capacidad nominal. Libre de mantenimiento, adecuada para ciclos de descarga profundos. | Voltaje nominal: 12V; Capacidad: 9Ah; Tipo: AGM; DOD: 70%             |

|                                 |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>Regulador de Carga Solar</b> | Controlador PWM de 12V con protecciones múltiples. Regula la carga y descarga, protegiendo la batería y asegurando un funcionamiento eficiente del sistema. | Voltaje nominal: 12V; Corriente máxima soportada: 2A; Eficiencia: 90%; Protecciones: sobrecarga, sobredescarga, cortocircuito, polaridad inversa |
|---------------------------------|---|--|

La selección de los componentes para la fuente autónoma de energía se basó en la necesidad de garantizar un funcionamiento continuo y sostenible de la estación meteorológica, reduciendo la dependencia de fuentes de energía externas y prolongando la vida útil de la batería. La combinación del panel solar de 20 Watt, la batería 12V 9AH AGM y el regulador de carga solar proporciona una solución confiable y eficiente para alimentar la estación meteorológica en diversas condiciones climáticas. El panel es sustentable, la batería ayuda en momentos de baja radiación y el regulador prolonga la vida útil de la batería.

### **Implementación de la estación meteorológica en una estructura resistente a las condiciones climáticas y ambientales**

#### **Implementación del prototipo de la estación meteorológica**

Una vez diseñado el sistema de la estación meteorológica, tal como se muestra en el Anexo A, se procedió a su implementación física y posterior instalación en una estructura resistente ubicada en el campus universitario, como se observa en la Figura 39.

### **Figura 39**

*Estructura del prototipo de la estación meteorológica*



En la Figura 39, se muestra la configuración final del prototipo de estación meteorológica, el cual fue ensamblado sobre una base metálica resistente a la intemperie, considerando la exposición prolongada al sol, la lluvia y el polvo. Esta estructura no solo protege los componentes electrónicos, sino que también garantiza una correcta captación de datos sin interferencias mecánicas o ambientales.

La ubicación seleccionada para la instalación fue estratégicamente elegida para evitar obstrucciones y asegurar una correcta exposición a las variables meteorológicas, como la radiación solar, temperatura, humedad y velocidad del viento. Además, la estructura permite un fácil acceso para tareas de mantenimiento, monitoreo y calibración de los sensores.

La estación quedó completamente operativa luego de una fase de pruebas que verificó el correcto funcionamiento del sistema de alimentación solar, la estabilidad de la comunicación de datos y la integridad estructural del soporte. Esta implementación representa un paso importante hacia el monitoreo ambiental en tiempo real y de manera sostenible dentro del campus universitario.

### **Análisis de datos de radiación UV**

Con el propósito de evaluar la precisión de las mediciones de radiación ultravioleta (UV) realizadas por el prototipo de estación meteorológica, y compararlas con los valores reportados por la estación de referencia MACCARD, se llevó a cabo un análisis de datos utilizando datos obtenidos bajo condiciones experimentales similares. En la Tabla 21 se presentan los primeros registros representativos de un total de 354 observaciones realizadas durante las pruebas de validación del sistema.

**Tabla 21**

*Radiación UV registrados por el prototipo de la estación meteorológica y la estación MACCARD*

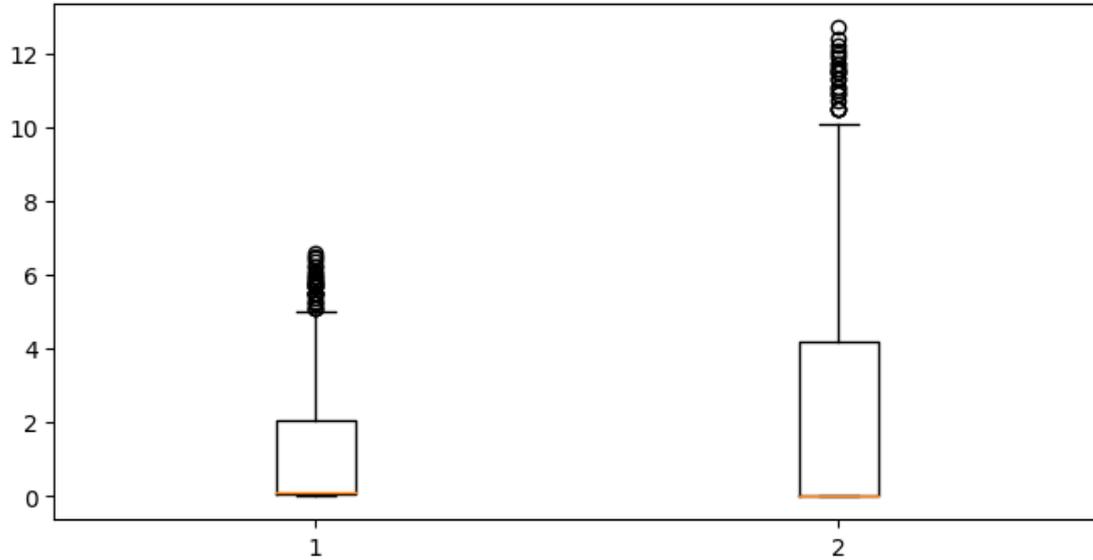
| N.º | UV (W/m <sup>2</sup> ) | UV MACCARD |
|-----|------------------------|------------|
| 1   | 0.773                  | 1.6        |
| 2   | 0.519                  | 0.8        |
| 3   | 0.349                  | 0.0        |
| 4   | 0.131                  | 0.0        |
| 5   | 0.069                  | 0.0        |
| 6   | 0.033                  | 0.0        |
| 7   | 0.044                  | 0.0        |

**Nota.** Se muestran los primeros valores de un total de 354 observaciones registradas

Para examinar la dispersión de las mediciones de radiación UV, se utilizó un diagrama de caja (boxplot), representado en la Figura 40. Esta herramienta gráfica facilita la identificación de la mediana, la dispersión y la presencia de valores atípicos en los datos registrados por ambos dispositivos.

**Figura 40**

*Diagrama de caja de la radiación UV medida ( $W/m^2$ ) y los registrados por la estación MACCARD*

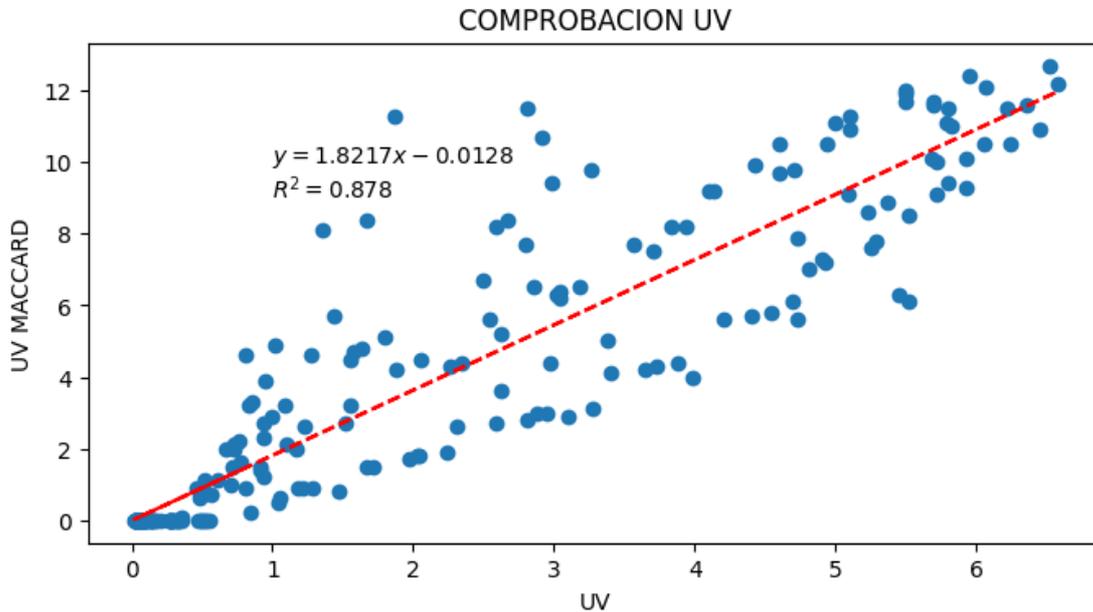


El diagrama de caja evidencia que la dispersión de los valores medidos por el prototipo es comparable con los valores registrados por la estación MACCARD. No se identifican valores atípicos relevantes, lo cual sugiere una buena consistencia entre ambas mediciones. No obstante, se observa una diferencia sistemática en los niveles de radiación UV registrados por los sistemas, por lo que se procedió a cuantificar esta diferencia mediante una regresión lineal simple.

En ese sentido, se elaboró una gráfica de dispersión entre las variables de interés (radiación UV registrada por el prototipo vs. radiación UV MACCARD) y se ajustó una recta de regresión lineal, como se muestra en la Figura 41.

**Figura 41**

*Relación entre la radiación UV registrada por el prototipo y la estación MACCARD*



La gráfica de dispersión indica una correlación alta entre ambas variables, respaldada por un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.878$ . Esto implica que el 87.8% de la variabilidad observada en los datos de la estación MACCARD puede ser explicada por las mediciones del prototipo

Este resultado sugiere que el prototipo de estación meteorológica tiene un desempeño aceptable en la medición de la radiación UV. No obstante, se recomienda aplicar un proceso de calibración adicional para ajustar sus lecturas a los valores de referencia, especialmente en contextos donde se requiere una mayor precisión para la evaluación del índice UV y su impacto en la salud humana o en estudios climáticos.

### **Análisis de los datos de la temperatura**

Con el objetivo de evaluar la precisión de las mediciones de temperatura ambiental realizadas por el prototipo de estación meteorológica y compararlas con los valores reportados por la estación MACCARD, se realizó un análisis utilizando un conjunto de datos recolectados en condiciones experimentales similares. En la Tabla 22 se muestran los primeros valores representativos de un total de 354 observaciones registradas.

**Tabla 22**

*Temperatura registrada por el prototipo de estación meteorológica y la estación MACCARD*

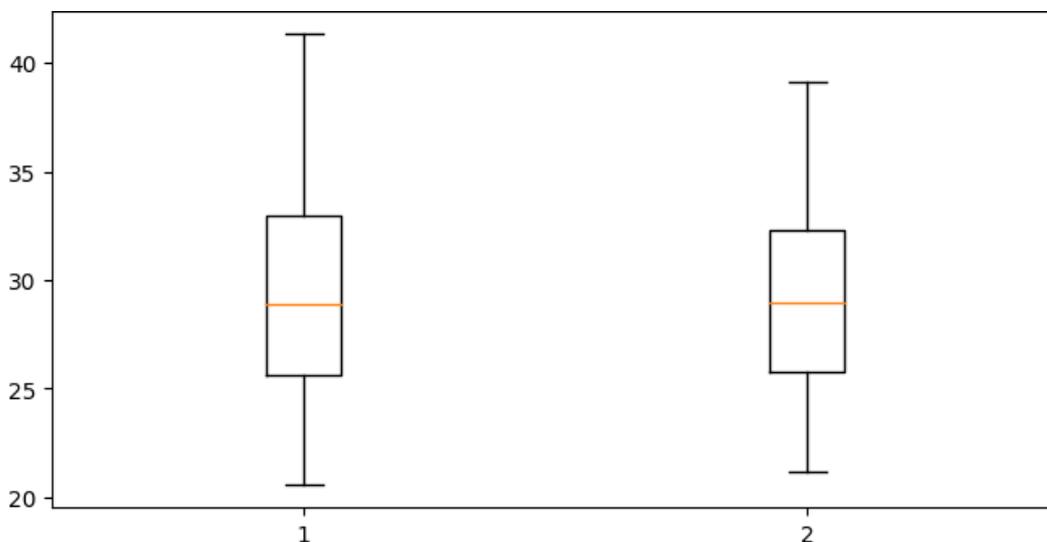
| N.º | Temperatura (°C) | Temp. MACCARD (°C) |
|-----|------------------|--------------------|
| 1   | 33.89            | 34.2               |
| 2   | 33.71            | 33.8               |
| 3   | 32.58            | 33.0               |
| 4   | 32.02            | 32.3               |
| 5   | 31.52            | 31.9               |
| 6   | 28.37            | 28.8               |
| 7   | 27.02            | 27.4               |

**Nota.** Se presentan los primeros valores de un total de 354 observaciones registradas durante las pruebas de validación del prototipo.

Para visualizar la variabilidad de ambas mediciones de temperatura, se utilizó un diagrama de caja (boxplot), el cual se muestra en la Figura 42. Esta representación gráfica permite identificar la dispersión, la mediana y la presencia de posibles valores atípicos en las mediciones.

**Figura 42**

*Diagrama de caja de la temperatura registrada por el prototipo y la estación MACCARD*

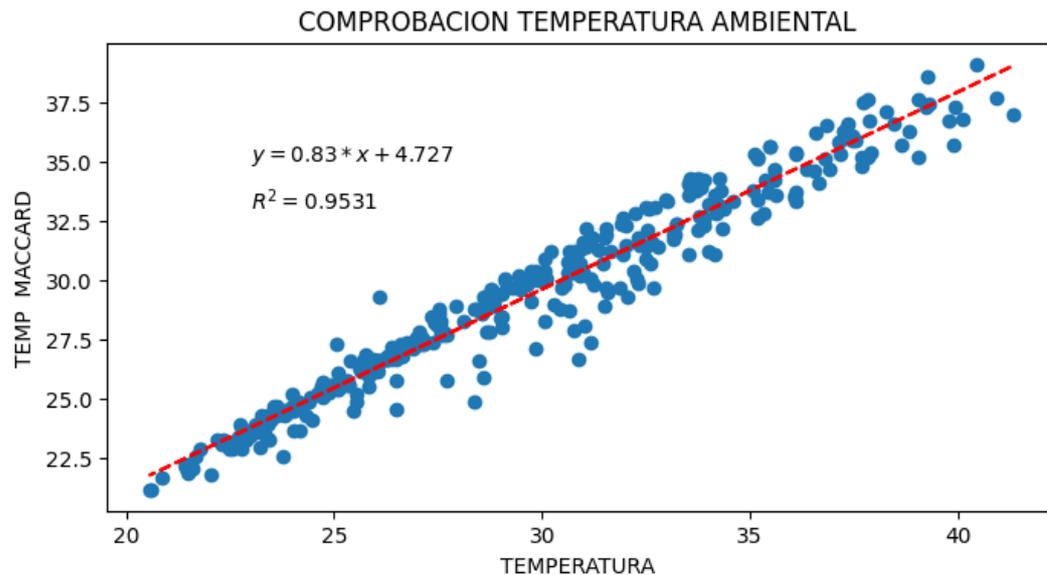


El diagrama de caja muestra que los valores de temperatura registrados por el prototipo de la estación meteorológica presentan una dispersión similar a la de la estación MACCARD, sin presencia de valores atípicos significativos. Esto indica un buen nivel de consistencia en las mediciones realizadas por ambos sistemas. Sin embargo, se observa una ligera desviación sistemática, que es cuantificada y modelada mediante una regresión lineal simple.

Para ello, se construyó una gráfica de dispersión entre ambas variables (temperatura del prototipo vs. temperatura MACCARD) y se ajustó una recta de regresión, como se presenta en la Figura 43.

**Figura 43**

*Relación entre la temperatura registrada por el prototipo y la estación MACCARD*



La gráfica de dispersión muestra una alta correlación entre ambas variables, evidenciada por un coeficiente de determinación  $R^2=0.9531$ , lo cual indica que el 95.31% de la variabilidad en las lecturas de la estación MACCARD puede ser explicada por las lecturas del prototipo. Este resultado confirma que el prototipo de estación meteorológica presenta un buen desempeño al medir la temperatura ambiental, y que, con una calibración adecuada, puede ser utilizado como una herramienta confiable en aplicaciones reales.

### **Análisis de los datos de la humedad ambiental**

Con el objetivo de evaluar la precisión de las mediciones de humedad relativa realizadas por el prototipo de estación meteorológica y compararlas con los valores reportados por la estación MACCARD instalada en la Universidad Nacional de Jaén, se realizó un análisis utilizando un conjunto de datos recolectados en condiciones experimentales similares. En la Tabla 23 se presentan los primeros valores representativos de un total de 354 observaciones registradas durante el período de evaluación.

**Tabla 23**

*Humedad relativa registrada por el prototipo de estación meteorológica y la estación MACCARD*

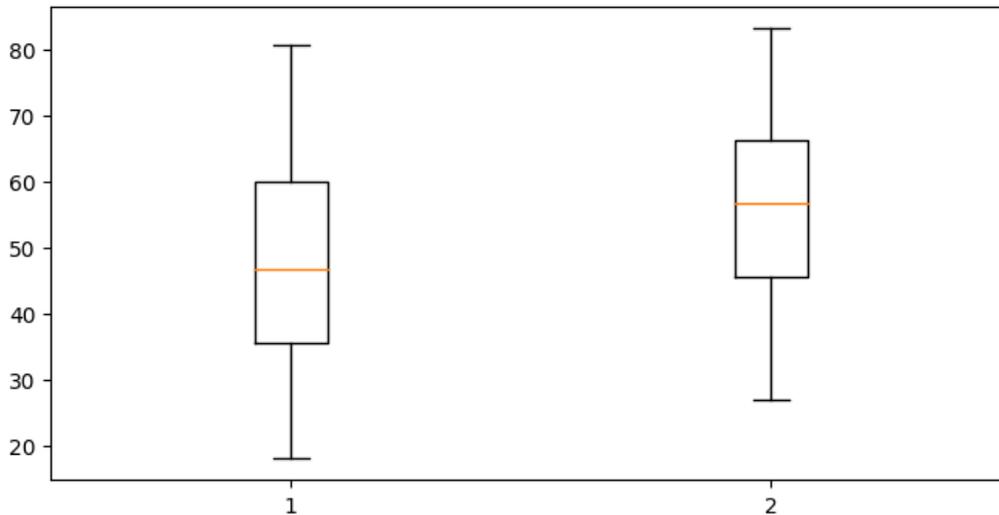
| <b>N.º</b> | <b>Humedad (%)</b> | <b>Humedad MACCARD UNJ (%)</b> |
|------------|--------------------|--------------------------------|
| 1          | 33.303             | 41.3                           |
| 2          | 33.732             | 42.6                           |
| 3          | 36.408             | 44.9                           |
| 4          | 36.911             | 45.6                           |
| 5          | 37.355             | 45.8                           |
| 6          | 55.920             | 62.6                           |
| 7          | 63.576             | 68.9                           |

**Nota.** Se presentan los primeros valores de un total de 354 observaciones registradas durante las pruebas de validación del prototipo.

Para visualizar la variabilidad y dispersión de ambas series de datos, se utilizó un diagrama de caja (boxplot), el cual se muestra en la Figura 44. Esta herramienta gráfica permite identificar la mediana, los cuartiles y la presencia de valores atípicos en los registros de humedad relativa.

**Figura 44**

*Diagrama de caja de la humedad registrada por el prototipo y la estación MACCARD UNJ*

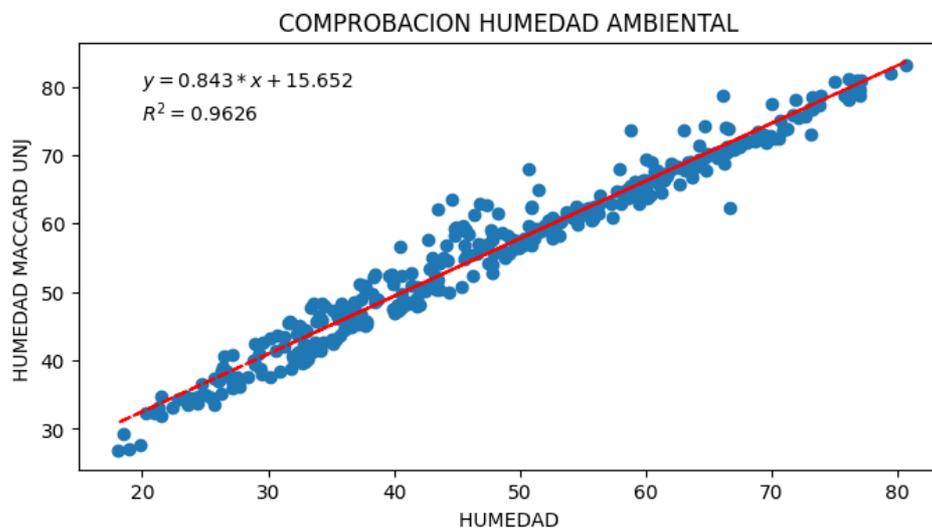


El diagrama de caja revela que las mediciones de humedad realizadas por el prototipo presentan una distribución más concentrada en comparación con los datos registrados por la estación MACCARD UNJ, que muestran una mayor dispersión. A pesar de estas diferencias, no se observan valores atípicos significativos, lo que evidencia una buena estabilidad en ambos conjuntos de datos.

Para profundizar en la relación entre las dos variables, se construyó una gráfica de dispersión entre los valores de humedad registrados por el prototipo y los de la estación MACCARD, ajustando una recta de regresión lineal, como se muestra en la Figura 45.

**Figura 45**

*Relación entre la humedad registrada por el prototipo y la estación MACCARD UNJ*



La gráfica de dispersión evidencia una fuerte correlación entre los datos registrados por el prototipo y los obtenidos de la estación MACCARD UNJ. El coeficiente de determinación  $R^2=0.9626$  indica que el 96.26% de la variabilidad en las mediciones de humedad de la estación MACCARD puede ser explicada por los datos del prototipo. Este resultado sugiere que el prototipo presenta un excelente desempeño en la medición de la humedad ambiental, por lo que, con una adecuada calibración, puede ser utilizado como una alternativa confiable y accesible para estudios meteorológicos y aplicaciones en tiempo real.

### **Análisis de los datos de la presión atmosférica**

Con el propósito de evaluar la precisión de las mediciones de presión atmosférica obtenidas por el prototipo de estación meteorológica y compararlas con los valores reportados por la estación MACCARD UNJ, se llevó a cabo un análisis utilizando un conjunto de datos recolectados en condiciones experimentales equivalentes. En la Tabla 24 se presentan los primeros valores representativos de un total de 354 observaciones registradas durante el periodo de validación del prototipo.

**Tabla 24**

*Presión atmosférica registrada por el prototipo de estación meteorológica y la estación MACCARD UNJ*

| <b>N.º</b> | <b>Presión (hPa)</b> | <b>Presión MACCARD UNJ<br/>(hPa)</b> |
|------------|----------------------|--------------------------------------|
| 1          | 931.600              | 931.4                                |
| 2          | 932.229              | 932.0                                |
| 3          | 932.637              | 932.5                                |
| 4          | 933.263              | 933.3                                |
| 5          | 933.901              | 933.8                                |
| 6          | 935.050              | 935.3                                |
| 7          | 935.262              | 935.5                                |

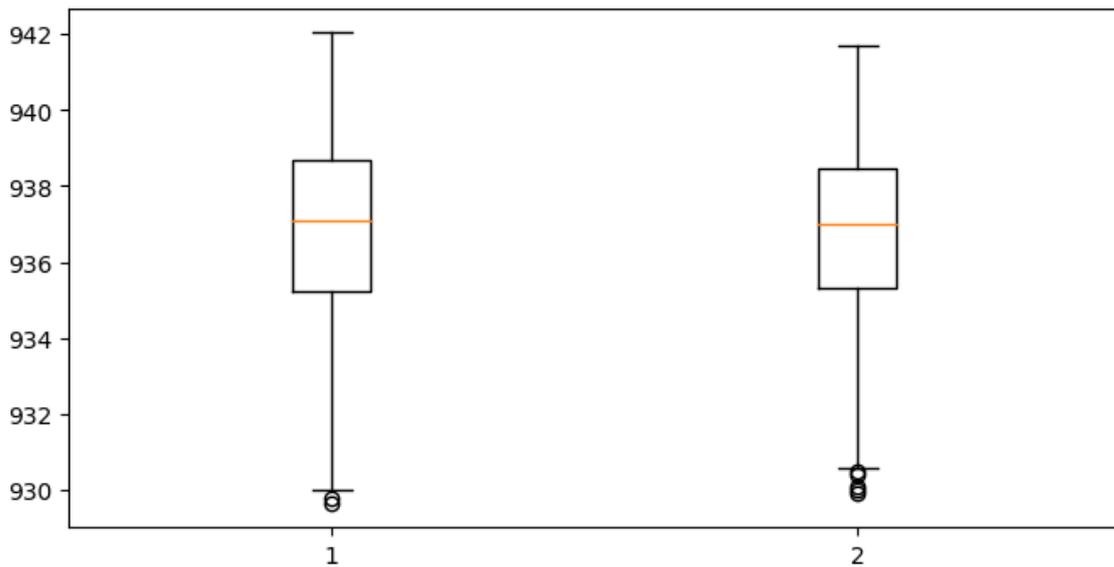
**Nota.** Se presentan los primeros valores de un total de 354 observaciones registradas durante las pruebas de validación del prototipo.

Para observar la variabilidad de las mediciones de presión realizadas por ambos sistemas, se utilizó un diagrama de caja (boxplot), mostrado en la Figura 46. Esta representación gráfica permite visualizar la dispersión de los datos, la mediana y la posible presencia de valores atípicos.

**Figura**

**46**

*Diagrama de caja de la presión atmosférica registrada por el prototipo y la estación MACCARD UNJ*

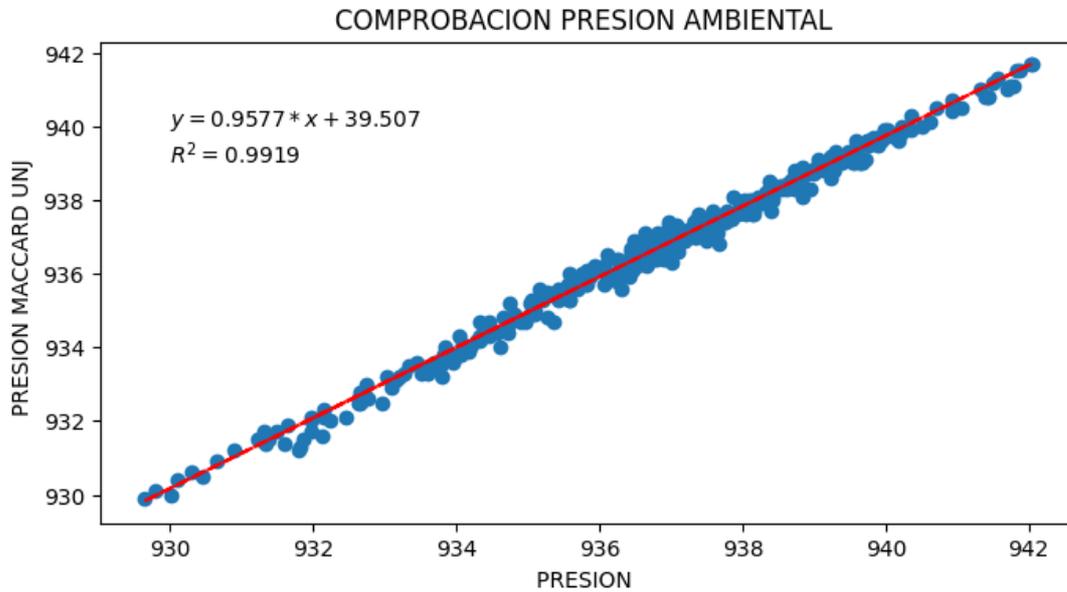


El diagrama de caja revela que las mediciones de presión atmosférica del prototipo presentan una dispersión comparable con las de la estación MACCARD UNJ, sin valores atípicos significativos. Esto sugiere una consistencia aceptable en las mediciones de ambos dispositivos. No obstante, se aprecia una ligera desviación sistemática que fue cuantificada mediante un análisis de regresión lineal simple.

Con este fin, se elaboró una gráfica de dispersión entre ambas variables (presión registrada por el prototipo vs. presión reportada por MACCARD UNJ) y se ajustó una recta de regresión, como se muestra en la Figura 47.

**Figura 47**

*Relación entre la presión atmosférica registrada por el prototipo y la estación MACCARD UNJ*



La gráfica de dispersión muestra una correlación significativa entre ambas series de datos, lo cual se evidencia en el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9919$ . Este valor indica que el 99.19% de la variabilidad en las lecturas de presión de la estación MACCARD UNJ puede explicarse a partir de las mediciones realizadas por el prototipo. Estos resultados respaldan la fiabilidad del prototipo de estación meteorológica para medir la presión atmosférica, destacando su potencial de aplicación en escenarios reales, siempre que se lleve a cabo una adecuada calibración previa.

## **Evaluación económica del prototipo utilizando los indicadores financieros de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).**

### **Análisis Financiero para el Prototipo de Estación Meteorológica**

La Tabla 25 resume los resultados clave del análisis financiero para el prototipo de estación meteorológica, considerando los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, así como los ingresos anuales proyectados.

**Tabla 25**

*Evaluación de Factibilidad Económica para el Prototipo de Estación Meteorológica*

| Concepto                                    | Valor       |
|---|-------------|
| Inversión Inicial                           | S/ 1,034.92 |
| Ingresos Anuales                            | S/ 1,500    |
| Costos de Operación y Mantenimiento Anuales | s/ 1,090.00 |
| Flujo de Caja Neto Anual                    | S/ 410      |
| Tasa de Descuento                           | 5 %         |
| Valor Actual Neto (VAN)                     | S/ 7,391.00 |
| Tasa Interna de Retorno (TIR)               | 44.28%      |

El análisis financiero demuestra que el prototipo de la estación meteorológica es altamente rentable, ya que presenta un VAN positivo de S/ 7,391.00 , lo que indica que la inversión genera beneficios a lo largo del tiempo. Además, la TIR del 44.28% supera ampliamente la tasa de descuento del 5%, lo que confirma la viabilidad económica del proyecto y su atractivo financiero.

### **Análisis Financiero para la Estación Meteorológica del MACCARD**

La Tabla 26 presenta el análisis financiero para la estación meteorológica del MACCARD, considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento, y los ingresos estimados.

**Tabla 26***Evaluación de Factibilidad Económica para la Estación Meteorológica del MACCARD*

| Concepto                                    | Valor       |
|---|-------------|
| Inversión Inicial                           | S/ 5,500.00 |
| Ingresos Anuales                            | S/ 1,500    |
| Costos de Operación y Mantenimiento Anuales | s/ 1,090.00 |
| Flujo de Caja Neto Anual                    | S/ 410.00   |
| Tasa de Descuento                           | 5 %         |
| Valor Actual Neto (VAN)                     | S/ 3,925.92 |
| Tasa Interna de Retorno (TIR)               | 8.67%       |

El análisis financiero demuestra que la estación meteorológica del MACCARD es financieramente viable, aunque presenta una rentabilidad menor en comparación con el prototipo. Con un VAN positivo de S/ 3,925.92 , se confirma que la inversión genera valor a lo largo del tiempo. La TIR de 8.67% es superior a la tasa de descuento del 5%, lo que indica que el proyecto es atractivo, aunque con una recuperación de inversión más prolongada en comparación con el prototipo.

#### **IV. DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en este estudio sobre el diseño e implementación de una estación meteorológica de bajo costo basada en Arduino han demostrado una precisión comparable a la de estaciones comerciales (MACCARD), con desviaciones estándar aceptables en las mediciones de temperatura, humedad y radiación solar. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han explorado soluciones tecnológicas accesibles para el monitoreo climático, permitiendo establecer comparaciones relevantes con investigaciones previas a nivel internacional, nacional y local.

En Colombia, la investigación de Gaviria (2018) sobre la implementación de una estación meteorológica portátil basada en Arduino resaltó la factibilidad de estos sistemas para la prevención de inundaciones. A diferencia de nuestro estudio, que se enfoca en la precisión de mediciones en entornos diversos, Gaviria priorizó la aplicación en la gestión de riesgos ambientales. Sin embargo, ambos estudios coinciden en que el uso de Arduino permite el desarrollo de estaciones meteorológicas económicas y funcionales. Por otro lado, la investigación de Estupiñán y Paz (2022) en Ecuador implementó un modelo SaaS para la transmisión rápida de datos atmosféricos utilizando sensores DHT22 e IP-65. Aunque nuestro estudio no empleó un modelo SaaS, se comparte la premisa de que las tecnologías accesibles pueden facilitar el monitoreo preventivo. No obstante, mientras que su enfoque estuvo en la transmisión eficiente de datos, nuestro estudio priorizó la implementación física de una estación completa con almacenamiento local de información. En México, Velasco et al. (2015) diseñaron una estación meteorológica ajustable para la investigación agronómica, validada estadísticamente con datos de estaciones comerciales. Nuestro estudio comparte la metodología de validación y también resalta la viabilidad de soluciones de bajo costo para el monitoreo ambiental. Sin embargo, mientras Velasco et al. enfocaron su estudio en la personalización de sensores para investigación agrícola, nuestra investigación se centra en la confiabilidad y accesibilidad del prototipo.

A nivel nacional, el estudio de Luján (2021) validó un prototipo en condiciones extremas de alta montaña, obteniendo diferencias mínimas en comparación con estaciones profesionales. Nuestros hallazgos refuerzan estos resultados, ya que también evidencian la confiabilidad de estaciones meteorológicas económicas. No

obstante, mientras Luján enfatizó el uso de su prototipo en zonas de altura, nuestro estudio propone un diseño adaptable a distintos entornos. Por su parte, la investigación de Angulo y Rojas (2021) en Perú desarrolló una estación automática con telemetría para la prevención de hongos en viveros, destacando la utilidad de la automatización para el monitoreo agrícola. Aunque nuestra estación no estuvo diseñada específicamente para la agricultura, ambos estudios resaltan el impacto de la tecnología en la optimización del monitoreo ambiental y la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

A nivel local, la investigación de Febre y Chanta (2022) desarrolló un piranómetro de bajo costo para medir radiación solar, validando sus mediciones con equipos comerciales. Nuestro estudio coincide en la importancia de desarrollar tecnologías asequibles para la investigación climática, aunque nuestra investigación aborda un conjunto más amplio de variables meteorológicas. Finalmente, el trabajo de Jiménez (2020) implementó un sistema automatizado de telemetría para medir radiación solar y temperatura, demostrando la eficacia de la recolección automatizada de datos. En comparación, nuestra investigación se centró en la viabilidad de estaciones meteorológicas económicas y su capacidad para proporcionar datos confiables sin requerir una infraestructura avanzada de telemetría.

Las implicaciones de estos hallazgos son significativas. La implementación del prototipo no solo ofrece una alternativa accesible para la recolección de datos climáticos, sino que también contribuye a la democratización del acceso a información meteorológica. Desde un enfoque práctico, el desarrollo de estaciones meteorológicas de bajo costo facilita la investigación en sectores como la agricultura, la gestión de riesgos y el cambio climático. Teóricamente, refuerza la idea de que las tecnologías innovadoras pueden reducir la brecha tecnológica en el monitoreo ambiental.

A pesar de los resultados positivos, se reconocen algunas limitaciones. En primer lugar, la adaptabilidad del prototipo a diferentes condiciones climáticas y geográficas podría requerir ajustes en su diseño. Además, la dependencia de ciertos componentes podría afectar la replicabilidad del estudio. Para futuras investigaciones, se sugiere la integración de sensores adicionales, el análisis de su desempeño en diversas condiciones ambientales y la exploración de modelos de transmisión de datos que optimicen su aplicabilidad en zonas remotas.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El diseño de los módulos de la estación meteorológica permitió desarrollar un sistema eficiente y adaptable para la medición de variables ambientales clave. La selección de sensores y componentes electrónicos se basó en criterios de precisión, consumo energético y compatibilidad con la plataforma Arduino, asegurando un rendimiento óptimo. Además, la modularidad del diseño facilita la integración de nuevas funcionalidades y la escalabilidad del sistema para diversas aplicaciones.
  
- La implementación de la estación meteorológica en una estructura resistente garantizó su operatividad en condiciones climáticas adversas. La elección del sitio, el diseño estructural y la disposición estratégica de los sensores optimizaron la precisión de las mediciones y minimizaron interferencias externas, asegurando la confiabilidad de los datos obtenidos.
  
- El análisis financiero del prototipo confirmó su viabilidad económica, evidenciando un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior a la tasa de descuento establecida. La comparación con la estación meteorológica del MACCARD reflejó diferencias en rentabilidad y tiempos de recuperación de la inversión, destacando la eficiencia del diseño en términos de costos y beneficios. Estos resultados respaldan la implementación del sistema como una alternativa viable para la Universidad Nacional de Jaén.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a futuros tesisistas o investigadores realizar pruebas de validación en distintas condiciones ambientales antes de la implementación definitiva del sistema, asegurando su adaptabilidad y eficiencia. Además, se sugiere emplear sensores con menor consumo energético y mayor precisión, así como mejorar los protocolos de comunicación para optimizar la transmisión de datos en tiempo real.
- Para aumentar la durabilidad y operatividad de la estación meteorológica en entornos adversos, se recomienda a la institución o investigador que quiera replicar el diseño el uso de materiales resistentes a la corrosión y una estructura reforzada. Asimismo, se deben establecer programas de mantenimiento preventivo e inspecciones periódicas para garantizar la continuidad y confiabilidad del sistema.
- Se recomienda a los proyectistas o investigadores actualizar periódicamente la evaluación financiera del prototipo, considerando costos de mantenimiento, reemplazo de componentes y avances tecnológicos. Además, se sugiere incluir un análisis de impacto ambiental y social para fortalecer la justificación del proyecto y promover su implementación en otros sectores con necesidades similares.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, J. M., y Rojas, P. J. (2021). *Estación meteorológica automática para prevención de hongos en el vivero de la Facultad de Agronomía de la UNPRG*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Estupiñán, J. O., y Paz, J. L. (2022). *Arquetipo de estación meteorológica de medición de parámetros atmosféricos utilizando un modelo SaaS para monitoreo y toma de decisiones de carácter preventivo en el recinto Los Monos del Cantón Milagro*. Universidad de Guayaquil.
- Febre, C. P., y Chanta, E. (2022). *Desarrollo de un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar*. Universidad Nacional de Jaén.
- Gaviria, V. R. (2018). *Prototipo funcional estación meteorológica portátil con dispositivos de bajo costo (Arduino)*. Universidad Libre Seccional Pereira.
- Gutiérrez, J., López, M., y Ramírez, P. (2021). *Impacto del monitoreo climático en la gestión ambiental*. *Revista Internacional de Climatología Aplicada*, 37(2), 45-62.
- Hernández, O. (2021). *Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen*. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstractypid=S0864-21252021000300002ylnq=esynrm=isoytlnq=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstractypid=S0864-21252021000300002ylnq=esynrm=isoytlnq=es)
- Jiménez, C. F. (2020). *Diseño e implementación de un sistema automatizado con telemetría para medir, registrar y monitorear radiación solar y temperatura en la ciudad de Jaén, Perú*. Universidad Nacional de Jaén.
- LACCEI. (2023). *Prototype of mini-weather station with cloud service through Arduino, PHP and MySQL*. Recuperado de [https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution\\_179\\_a.pdf](https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_179_a.pdf)
- Luján, J. J. (2021). *Desarrollo y validación de un prototipo de estación meteorológica de bajo costo para el registro de mediciones meteorológicas en zonas de alta montaña*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Martínez, R., Pérez, L., y Sánchez, J. (2022). *Energía renovable y monitoreo ambiental: Aplicaciones de estaciones meteorológicas autónomas*. *Revista de Energías Sustentables*, 14(1), 98-115.
- Pérez, D., y Sánchez, L. (2020). *Accesibilidad y costos de estaciones meteorológicas en educación e investigación científica*. *Revista Latinoamericana de Innovación Tecnológica*, 8(4), 34-51.

- Repositorio Libertadores. (2023). *Prototipo de estación meteorológica basada en Arduino y web*. Recuperado de <https://repository.libertadores.edu.co/bitstreams/a2863ce4-6cff-408c-971b-4115a631dc8b/download>
- Repositorio UCI. (2023). *Estación meteorológica de bajo costo sobre plataforma Arduino*. Recuperado de <https://repositorio.uci.cu/handle/123456789/10659>
- Repositorio UNFV. (2023). *Desarrollo y validación de prototipo de estación meteorológica de bajo costo*. Recuperado de <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5934>
- Rosales Fernández, R., y Ramírez Rodríguez, Y. (2023). *Estación meteorológica de bajo costo sobre plataforma Arduino*. Universidad de las Ciencias Informáticas.
- Solano, G. (2021). *Diseño e implementación de una estación meteorológica con acceso a internet para lugares remotos*. Universidad de Ingeniería y Tecnología.
- TEC Bolivia. (2023). *Estación meteorológica inalámbrica usando módulos ASK de bajo costo y Arduino*. Recuperado de <https://www.tecbolivia.com/index.php/articulos-y-tutoriales-microcontroladores/97-estacion-meteorologica-inalambrica-usando-modulos-ask-de-bajo-costoy-arduino>
- Thingspeak. (2023). *Estación meteorológica de bajo costo basada en Arduino*. Recuperado de <https://thingspeak.mathworks.com/channels/1582031>
- Universidad de Zaragoza. (2022). *Diseño de una estación meteorológica de bajo coste orientada al análisis climático*. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/120399/files/TAZ-TFG-2022-4517.pdf>
- Velasco, M. V., Flores, G., González, C. G., Flores, M., y Moreno, C. H. (2015). *Desarrollo y validación de una estación meteorológica automatizada de bajo costo dirigida a la agricultura*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

## **AGRADECIMIENTO**

### **Javier Pérez Oclocho**

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a mis padres, Tereza de Jesús Oclocho Villanueva y José Norbil Pérez Vargas, por ser el pilar fundamental de mi vida. Su amor incondicional, su guía firme y sus innumerables sacrificios han sido el impulso constante que me ha permitido avanzar y alcanzar este importante logro académico.

A mis hermanos, les agradezco por su permanente compañía, por sus palabras de aliento en los momentos de dificultad y por confiar en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Su apoyo incondicional ha sido una fuente invaluable de fortaleza a lo largo de este proceso.

Este logro no es únicamente mío; pertenece también a ustedes, quienes me acompañaron con paciencia, fe y amor en cada paso de este camino.

Con todo mi aprecio y gratitud.

### **Nilson Meier Silva Cotrina**

Expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a mis padres, Nely Cotrina Suárez y Rafael Silva Huanca, por su incondicional apoyo y amor durante toda mi trayectoria académica. Su dedicación y sacrificio han sido fundamentales para poder avanzar con mi formación académica y hoy pueda presentar este importante logro académico.

Cada Palabra de aliento, aunque no siempre les haya tenido presentes junto conmigo, esa confianza que me han brindado me ha motivado a seguir adelante y por eso siempre estaré agradecidos de ustedes. Y decirles que este logro también es de ustedes que siempre me acompañaron en mi trayectoria académica.

## **DEDICATORÍA**

### **Javier Pérez Oclocho**

A la memoria de mi madre,  
Tereza de Jesús Oclocho Villanueva

Con todo mi amor y eterna gratitud, dedico este trabajo a ti. Aunque tu presencia física ya no me acompaña, sigues viva en cada uno de mis logros y decisiones. Fuiste mi guía, mi fortaleza y la inspiración más grande en mi vida.

Gracias por tu amor incondicional, por tus enseñanzas llenas de humildad y por mostrarme que la perseverancia y la fe son claves para alcanzar cualquier meta. Este logro es también tuyo, porque tu legado vive en cada paso que doy.

Siempre estarás presente en mi corazón.

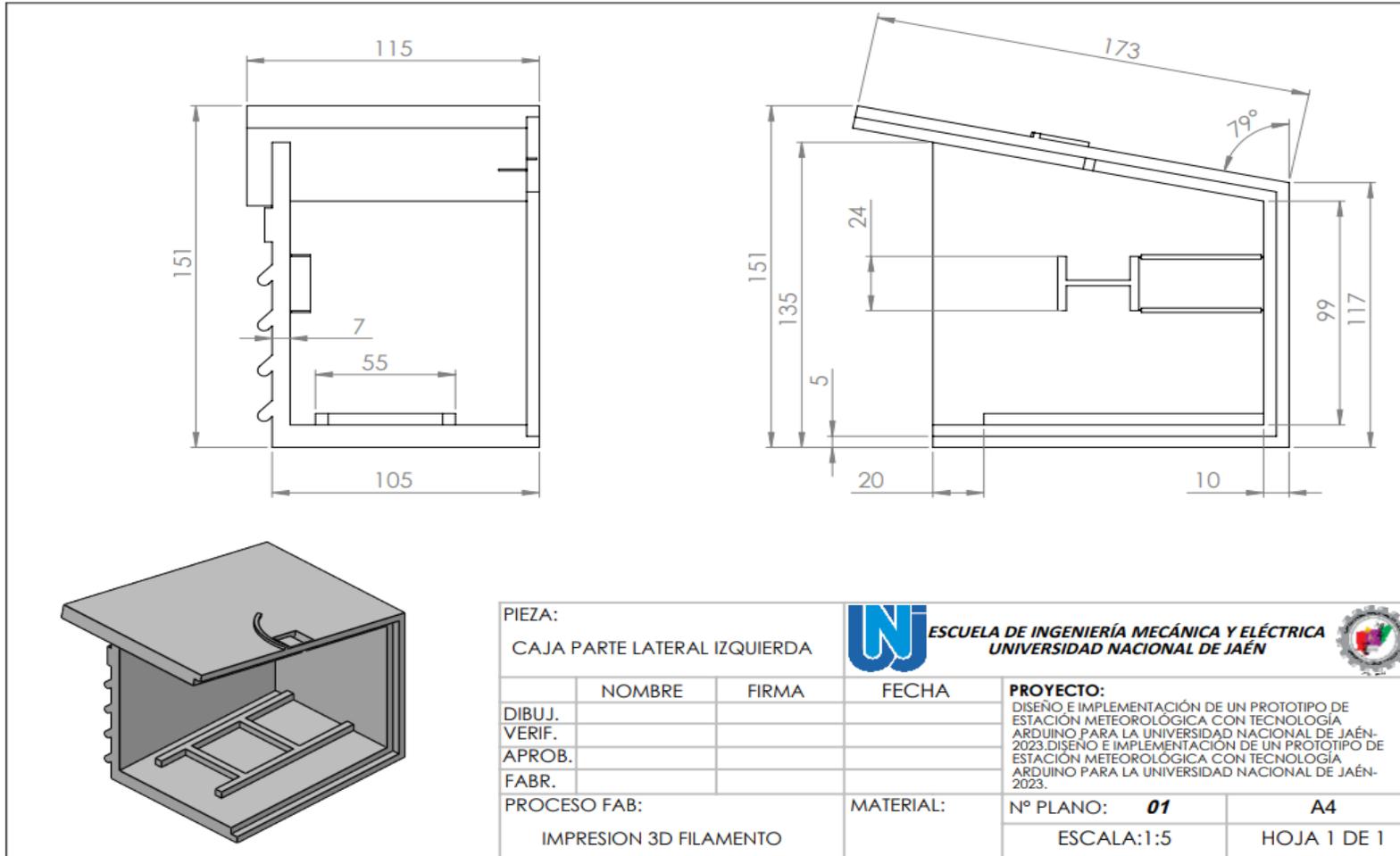
### **Nilson Meier Silva Cotrina**

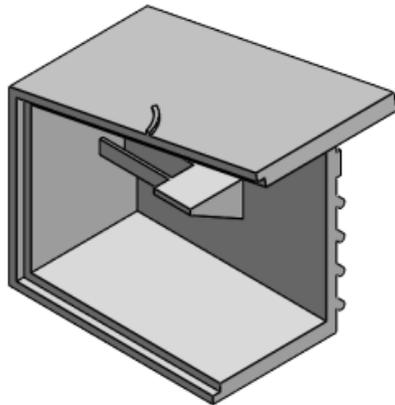
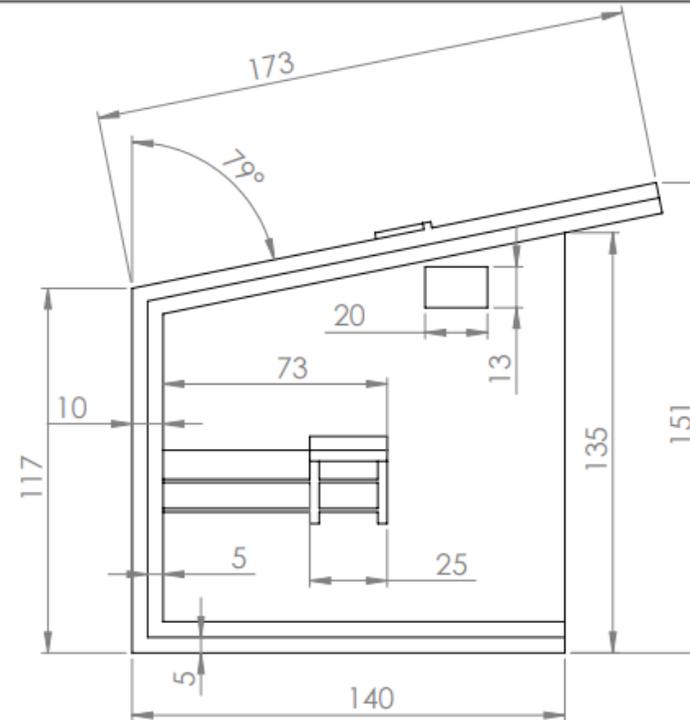
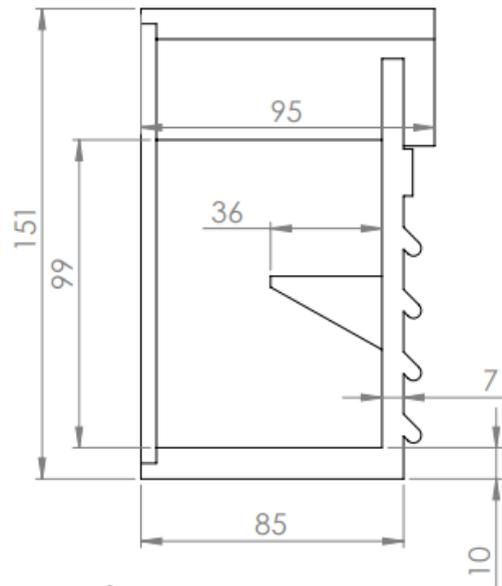
A mis Padres Nely y Rafael

Dedico este trabajo a mis queridos padres con todo mi amor y mi eterna gratitud, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración. Ustedes, que han compartido conmigo tanto los momentos de alegría como los de desafío, les agradezco por su amor inquebrantable y su apoyo constante que nunca desistieron y estuvieron paso a paso conmigo. Esta Tesis es un reflejo de todo lo que he aprendido de ustedes y del esfuerzo compartido en cada paso de este camino.

# **ANEXOS**

**Anexo A:** Planos del diseño e implementación de un Prototipo de estación meteorológica.





PIEZA:

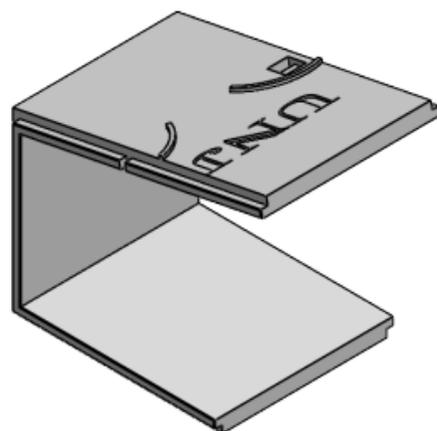
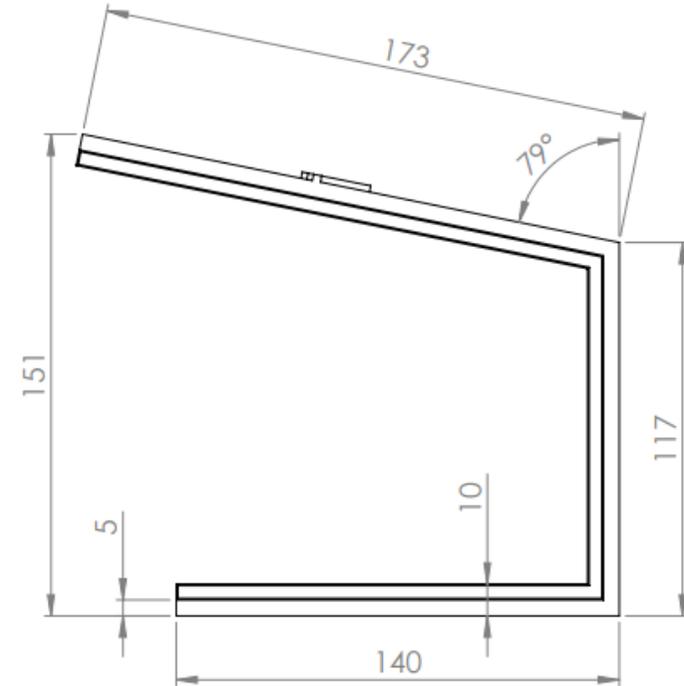
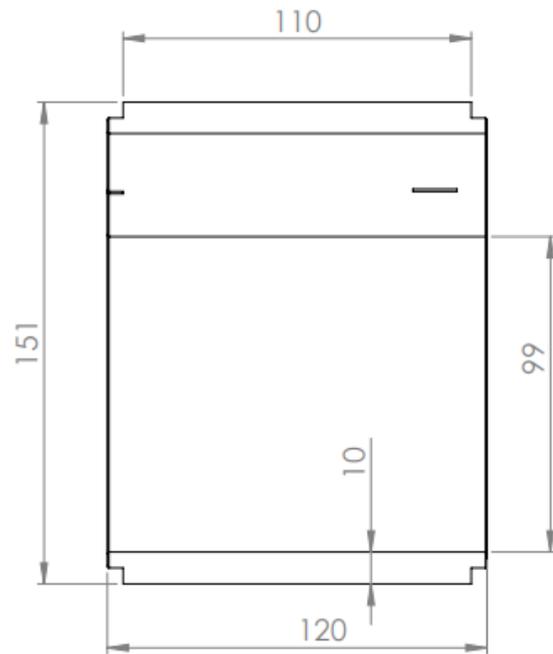
CAJA PARTE LATERAL DERECHO



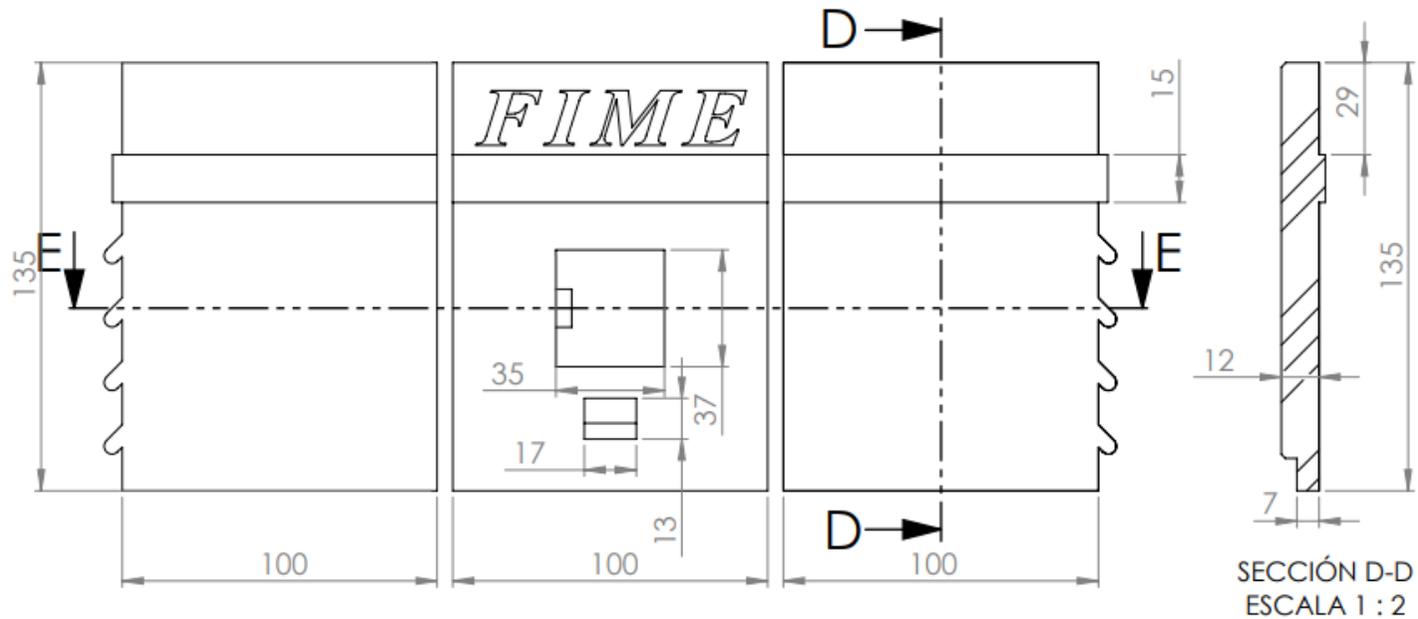
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



|                        | NOMBRE | FIRMA | FECHA     | PROYECTO:   |             |
|------------------------|--------|-------|-----------|---|-------------|
| DIBUJ.                 |        |       |           | DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. |             |
| VERIF.                 |        |       |           |   |             |
| APROB.                 |        |       |           |   |             |
| FABR.                  |        |       |           |   |             |
| PROCESO FAB:           |        |       | MATERIAL: | Nº PLANO: <b>02</b>   | A4          |
| IMPRESION 3D FILAMENTO |        |       |           | ESCALA:1:2  | HOJA 1 DE 2 |



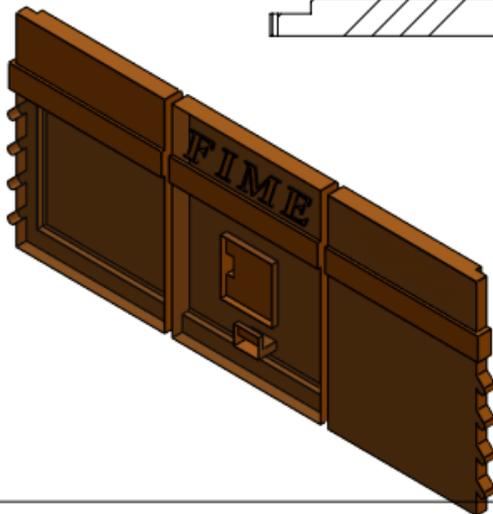
|                        |        |                    |       |  |   |
|------------------------|--------|--------------------|-------|--|---|
| PIEZA:                 |        | CAJA PARTE CELTRAL |       |  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA</b><br><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</b> |  |
| DIBUJ.                 | NOMBRE | FIRMA              | FECHA |  |   |
| VERIF.                 |        |                    |       |  |   |
| APROB.                 |        |                    |       |  |   |
| FABR.                  |        |                    |       |  |   |
| PROCESO FAB:           |        | MATERIAL:          |       | Nº PLANO: <b>03</b>  | <b>A4</b>   |
| IMPRESION 3D FILAMENTO |        |                    |       | ESCALA:1:2   | HOJA 1 DE 3   |



SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN E-E  
ESCALA 1 : 2



PIEZA:

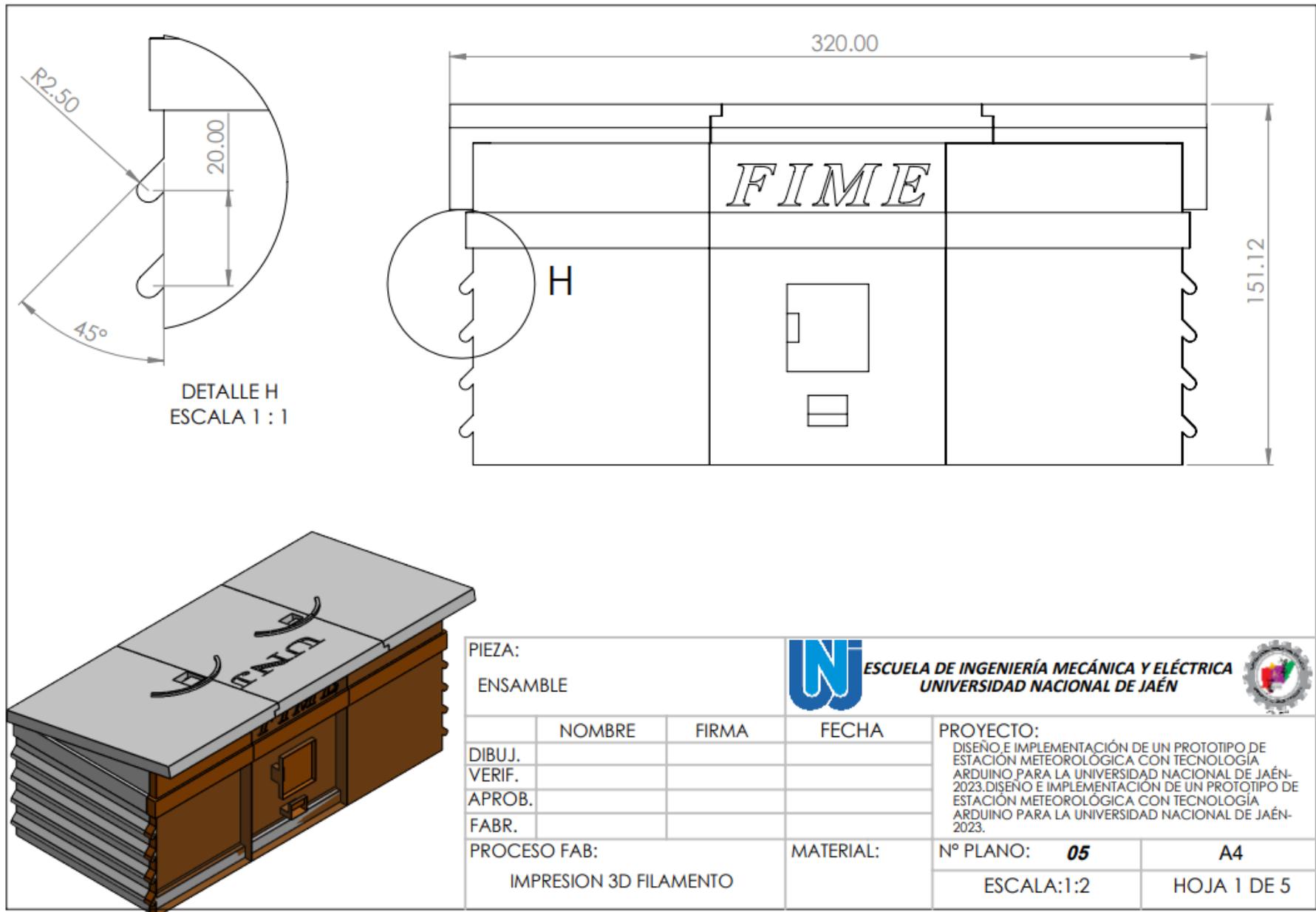
TAPA PARTE 1, 2 Y 3

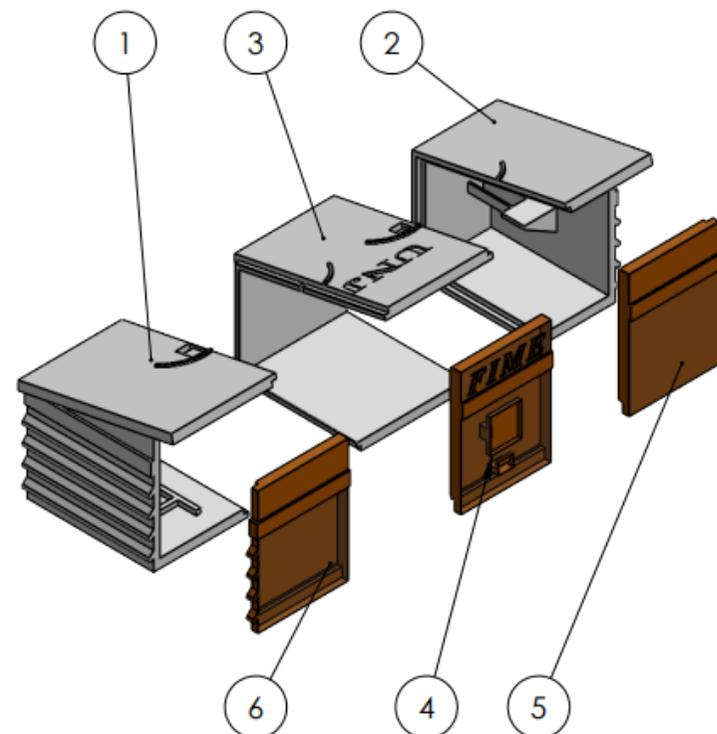
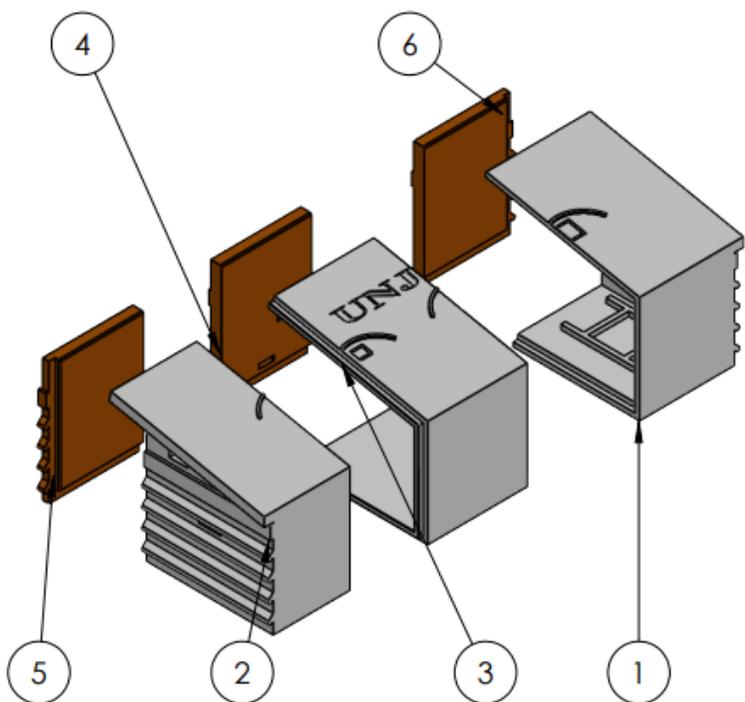


ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



|                        | NOMBRE | FIRMA | FECHA     | PROYECTO:   |             |
|------------------------|--------|-------|-----------|---|-------------|
| DIBUJ.                 |        |       |           | DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. |             |
| VERIF.                 |        |       |           |   |             |
| APROB.                 |        |       |           |   |             |
| FABR.                  |        |       |           |   |             |
| PROCESO FAB:           |        |       | MATERIAL: | Nº PLANO: <b>04</b>   | A4          |
| IMPRESION 3D FILAMENTO |        |       |           | ESCALA:1:2  | HOJA 1 DE 4 |





| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | CANTIDAD |
|-----------------|--------------|----------|
| 1               | pieza 1      | 1        |
| 2               | pieza 2      | 1        |
| 3               | pieza 3      | 1        |
| 4               | TAPA 02      | 1        |
| 5               | TAPA 03      | 1        |
| 6               | TAPA 01      | 1        |

PIEZA:  
ENSAMBLE EXPLOSION DE  
IQUITOS



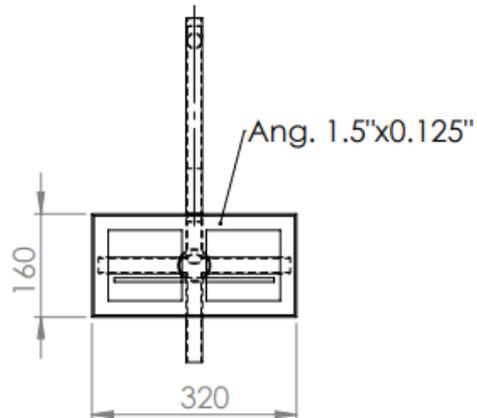
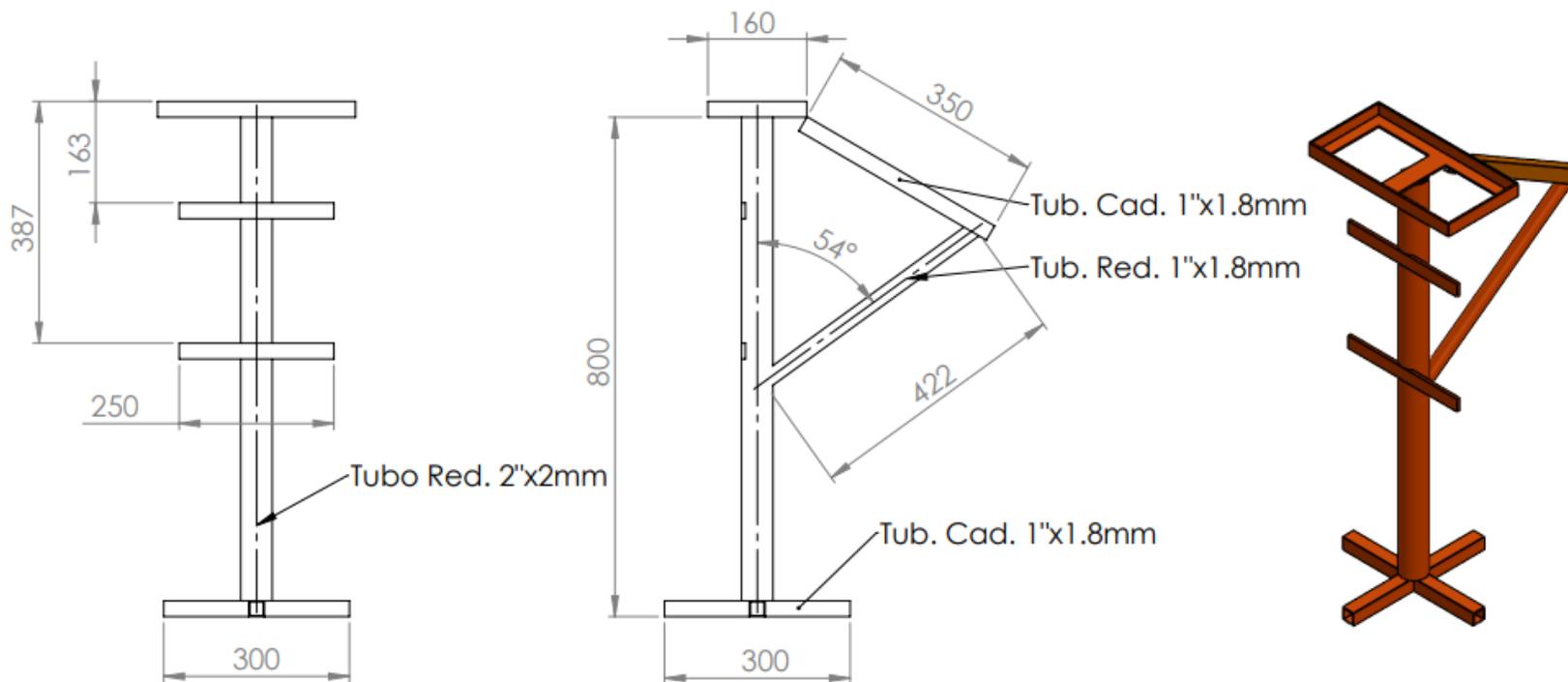
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



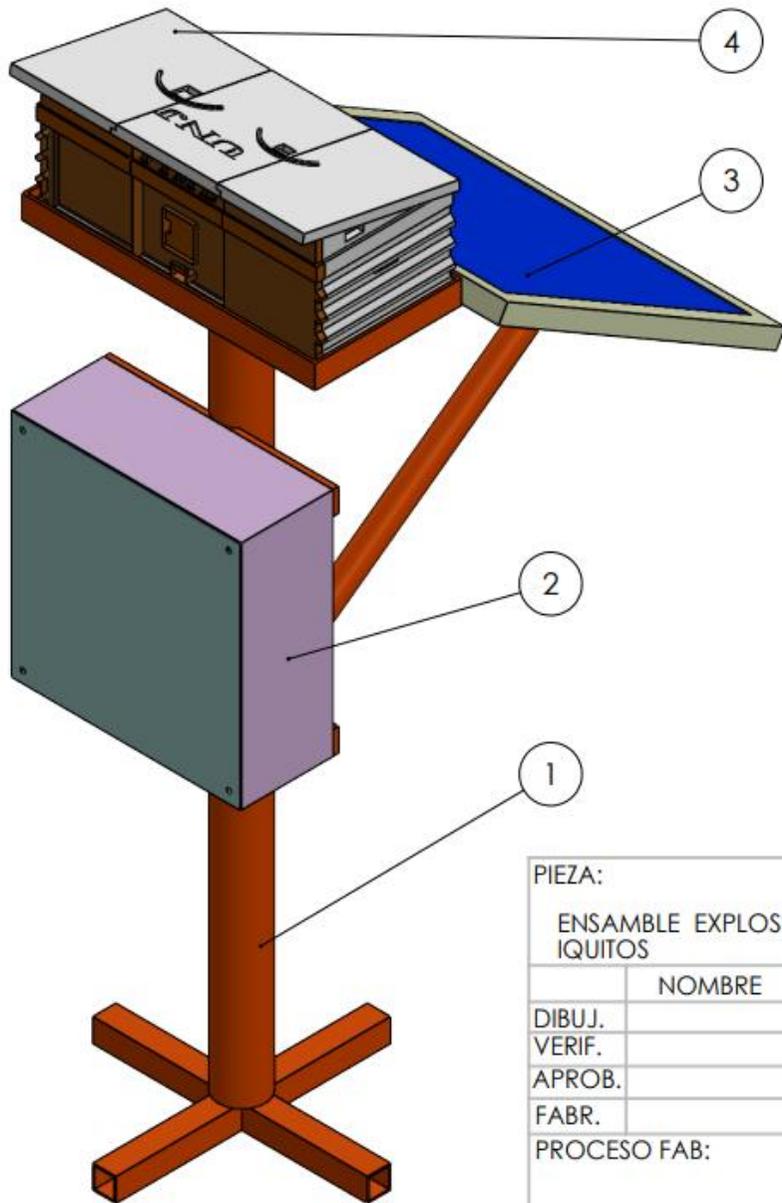
|        | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|--------|-------|-------|
| DIBUJ. |        |       |       |
| VERIF. |        |       |       |
| APROB. |        |       |       |
| FABR.  |        |       |       |

PROYECTO:  
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023.

|  |           |                     |             |
|--|-----------|---------------------|-------------|
| PROCESO FAB:<br>IMPRESION 3D FILAMENTO | MATERIAL: | Nº PLANO: <b>06</b> | <b>A4</b>   |
|  |           | ESCALA: 1:2         | HOJA 1 DE 7 |



|              |        |  |       |   |             |
|--------------|--------|--|-------|---|-------------|
| PIEZA:       |        |  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA</b><br><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</b> |       |    |             |
| ENSAMBLE     |        |  |       |   |             |
|              | NOMBRE | FIRMA  | FECHA | <b>PROYECTO:</b><br>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. |             |
| DIBUJ.       |        |  |       |   |             |
| VERIF.       |        |  |       |   |             |
| APROB.       |        |  |       |   |             |
| FABR.        |        |  |       |   |             |
| PROCESO FAB: |        | MATERIAL:  |       | Nº PLANO: <b>07</b>   | <b>A4</b>   |
| SOLDADURA    |        |  |       | ESCALA: 1:10  | HOJA 1 DE 7 |



| N.º DE ELEMENTO | PIEZA                  | CANTIDAD |
|-----------------|------------------------|----------|
| 1               | BASE                   | 1        |
| 2               | CAJA 25X25             | 1        |
| 3               | PANEL SOLAR            | 1        |
| 4               | CAJA PORTA ELECTRONICA | 1        |

PIEZA:  
ENSAMBLE EXPLOSION DE  
IQUITOS



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



|        | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|--------|-------|-------|
| DIBUJ. |        |       |       |
| VERIF. |        |       |       |
| APROB. |        |       |       |
| FABR.  |        |       |       |

PROYECTO:

DISÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023. DISÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN-2023.

PROCESO FAB:

MATERIAL:

Nº PLANO: **08**

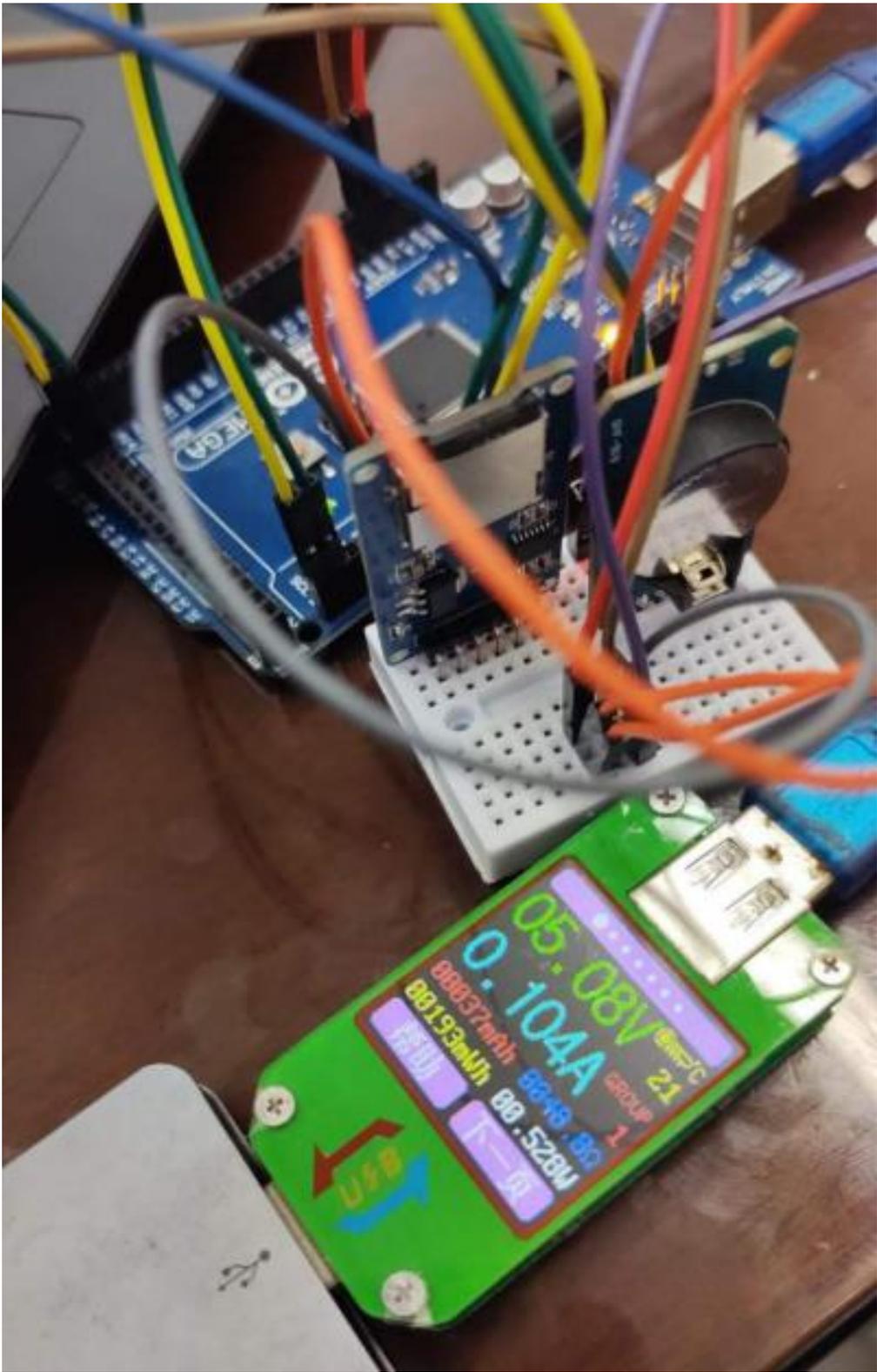
A4

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 8

*Anexo B: Panel de fotos en la implementación del Prototipo de estación meteorológica*







*Anexo C: Panel de fotos en el lugar de la instalando del Prototipo de estación meteorológica*





Anexo D: Cotizaciones de los componentes electrónicos para diseño

|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <b>NAYLAMP MECHATRONICS S.A.C.</b><br>RUC: 20601252610<br><a href="http://www.naylampmechatronics.com">www.naylampmechatronics.com</a> | <b>COTIZACIÓN</b><br><br><b>2023-0378</b> |
|---|--|---|

|                               |                 |                               |
|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| <b>CONTACTO:</b> Nilson Silva | <b>ID:</b> 0000 | <b>FECHA:</b> 05/08/2023      |
| <b>RAZÓN SOCIAL:</b>          |                 | <b>VALIDEZ:</b> 15 DÍAS       |
| <b>RUC:</b>                   |                 | <b>COND. PAGO:</b> AL CONTADO |
| <b>CEL:</b> 953190295         | <b>CORREO:</b>  | <b>MONEDA:</b> SOLES          |
| <b>DIR:</b> JAEN              |                 | <b>TOTAL:</b> 378.00          |

| ITEM | SKU      | DESCRIPCIÓN                                      | CANT. | P. UNID. | P. TOTAL |
|------|----------|--|-------|----------|----------|
| 1    | [000357] | Sensor BME280 Presión, Temperatura y Humedad     | 1     | 30.00    | 30.00    |
| 2    | [000169] | Módulo Sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511    | 1     | 160.00   | 160.00   |
| 3    | [000009] | Arduboard Mega 2560 R3                           | 1     | 120.00   | 120.00   |
| 4    | [000638] | Display Oled 1.3" I2C 128*64 SH1106              | 1     | 35.00    | 35.00    |
| 5    | [000107] | Módulo RTC DS3231 + EEPROM AT24C32 (I2C)         | 1     | 16.00    | 16.00    |
| 6    | [000104] | Módulo Lector de memoria Micro SD Card 74LVC125A | 1     | 12.00    | 12.00    |
| 7    | [000081] | Cable Jumper Dupont hembra a macho 20cm / 20Und  | 1     | 5.00     | 5.00     |
| 8    |          | Envío  | 1     | 0.00     | 0.00     |
| 9    |          |  |       |          | 0.00     |
| 10   |          |  |       |          | 0.00     |

|                    |               |
|--------------------|---------------|
| SUBTOTAL (S/.)     | 320.34        |
| IGV(18%)           | 57.66         |
| <b>TOTAL (S/.)</b> | <b>378.00</b> |

| CONDICIONES COMERCIALES |   |
|-------------------------|---|
| -                       | Los precios por unidad incluyen IGV.  |
| -                       | Al confirmar el pago el cliente acepta los: <a href="#">Terminos y condiciones de Naylamp Mechatronics SAC.</a> |
| -                       | Disponibilidad: Items en stock  |
| -                       | Tiempo de entrega: 1-3 días hábiles luego de realizado el pago  |
| -                       | Envío: a JAEN(agenzia) por EMTRAFESA/SHALOM   |
| -                       | Días de envíos: Lunes/Miércoles/Viernes. Cierre de pedidos del día: 4pm.  |

| INFORMACIÓN DE CONTACTO |  |
|-------------------------|--|
| <b>RAZÓN SOCIAL:</b>    | NAYLAMP MECHATRONICS S.A.C.  |
| <b>RUC:</b>             | 20601252610  |
| <b>DIRECCIÓN:</b>       | URB. INGENIERÍA MZ.E LT.31 INT.01, TRUJILLO                        |
| <b>CORREO:</b>          | naylamp.mechatronics@gmail.com<br>contacto@naylampmechatronics.com |
| <b>CEL/WSP:</b>         | 997646858  |
| <b>AUTORIZADO POR:</b>  | Ernesto Choquehuanca Z.  |

| MEDIOS DE PAGO - CUENTAS BANCARIAS   |   |
|--|---|
| <b>1. BCP - CUENTA CORRIENTE SOLES</b><br>Solo Transferencia Web/App. NO agente/depositos.<br><b>TITULAR:</b> NAYLAMP MECHATRONICS SAC.<br><b>BCP:</b> 5702339633030<br><b>CCI:</b> 00257000233963303002       | <b>3. YAPE / PLIN:</b><br><b>TITULAR:</b> NAYLAMP MECHATRONICS SAC.<br> |
| <b>2. INTERBANK - CUENTA CORRIENTE SOLES</b><br>Solo Transferencia Web/App. NO agente/depositos.<br><b>TITULAR:</b> NAYLAMP MECHATRONICS SAC.<br><b>IBK:</b> 6003002717597<br><b>CCI:</b> 00360000300271759742 |   |



"D & L TECNOLOGÍA Y AUDIO S.R.L."  
Ruc: 20538995364  
Av. Pakamuros N. 385 Sector Morro Solar  
Teléfono: +51 921 674 811  
tecnologiady@gmail.com

RUC 20538995364  
**COTIZACIÓN**  
C001-00024595

|  |                            |
|--|----------------------------|
| F.EMISIÓN : 05/08/2023                                 | FECHA VALIDEZ : 05/08/2023 |
| CLIENTE : JAMIS JOYCEN MEGO ESTELA                     | MONEDA : PEN               |
| RUC :  | CONDICIÓN : CONTADO        |
| ATENCIÓN :   | PAGO :                     |
| DIRECCIÓN : -- PERÚ / LAMBAYEQUE / CHICLAYO / CHICLAYO | PLAZO ENTREGA : INMEDIATO  |
|  | OBSERVACIÓN :              |

| # | CÓDIGO | CANT. | U.M. | DESCRIPCION  | P.UNIT | DSCTO | P.UNIT. NETO | IMPORTE |
|---|--------|-------|------|--|--------|-------|--------------|---------|
| 1 | 002241 | 1.00  | UND  | PANEL SOLAR 20W KAZO - KAZO  | 120.00 | 0.0%  | 120.00       | 120.00  |
| 2 | 4365   | 1.00  | UND  | YS-597 BATERIA SECA RECARGABLE 12V 9AH<br>SAKO - SAKO                    | 75.00  | 0.0%  | 75.00        | 75.00   |
| 3 | 000195 | 1.00  | UND  | CONTROLADOR DE PANEL SOLAR LCD 10<br>AMPEC-2412-10AR EUROCELL - EUROCELL | 75.00  | 0.0%  | 75.00        | 75.00   |

SON: DOSCIENTOS SETENTA CON 00/100 Soles

|               |                  |
|---------------|------------------|
| OP. GRAVADA   | S/ 0.00          |
| OP. EXONERADA | S/ 270.00        |
| IGV           | S/ 0.00          |
| <b>TOTAL</b>  | <b>S/ 270.00</b> |

| Cuentas corrientes empresas     |                  |                            |
|---------------------------------|------------------|----------------------------|
| Cuenta Corriente                | N° Cuenta        | CCI Interbancario          |
| Banco de Credito del Perú (BCP) | 395-9285076-0-42 | 002-395-00-9285076-0-42-29 |
| CMAC Piura (Caja Piura)         | 110-01-25-81110  | 80-1006-110-01-25-81110-86 |

Atentamente,

JESUS ALBERTO CAMPOS HUAMANTA  
Cel.:  
Email: