



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA
“CUJAE”**

FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMÁTICA Y BIOMÉDICA

Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Biomédico.
**“Programación de estación meteorológica VORTICE para
distribución de información meteorológica al sector
agrícola”**

Autor

Lázaro Andrés O’Farrill Nuñez

ID <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Tutores

Dra. Ivón Oristela Benítez

Ing. Orestes Chavez Linares

La Habana, 2023

Declaración de autoría

Declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma. Para que así conste, firmo la presente a en La Habana, 20 de diciembre de 2022.

Firma del autor

Firma del tutor

Firma del tutor

Dedicatoria

A mis padres por todo su esfuerzo y dedicación y por haberme soportado todos estos años.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres Gladys y Lázaro por haber dedicado todos estos años de su vida a mi formación.

También agradecer a mis hermanas Gladys y Leyssy, a mis tíos y tíos, mis primos.

A mis amistades de la Lenin, especialmente al C1 que me ha dado los mejores amigos que podría desear.

A Alex y Orestes, que me acompañan en la difícil tarea de sacar adelante una empresa contando solo con nuestra voluntad y talento.

A la gente de biomédica, especialmente al Colo que siempre trae la jama y nos lleva pa Varadero, al Capi que siempre tiene el clave de las fiestas y al Simba que me enseñó a escuchar buena música (eso dice él).

A mi tutora Ivón por haberme dado la oportunidad de desarrollarme en el grupo de robótica y siempre creer en mí.

Resumen

El cambio climático afecta a distintos sectores de la economía, especialmente al sector agrícola. Esto conlleva a realizar un análisis preciso del estado y comportamiento de las variables meteorológicas que caracterizan al clima. Analizar el estado de las mismas y realizar estudios en cuanto a estas, es de gran importancia en la optimización de procesos agrícolas y un componente fundamental en el desarrollo de una agricultura sostenible. Las estaciones meteorológicas son la principal herramienta para llevar a cabo las mediciones de las variables meteorológicas. Debido a su elevado costo son, en muchas ocasiones, imposibles de adquirir para la gran mayoría de las empresas agrícolas en Cuba. En este trabajo se tiene como objetivo principal desarrollar el software de la estación VORTICE para su puesta en marcha y control de sus parámetros técnicos; lo que permitirá ofrecer una estación con prestaciones similares a otras estaciones meteorológicas profesionales existentes en el mercado internacional, pero a un costo inferior. El software desarrollado permite el control total del hardware de la estación VORTICE; además permite realizar la lectura de 8 variables meteorológicas y el almacenamiento y la transmisión de la información meteorológica a un teléfono móvil, a través de una aplicación.

Abstract

Climate change affects several sectors of economy, specially agriculture. This leads to perform an accurate analysis of the state and behaviour of climatological variables that characterize the weather. Analyzing the state of these and performing studies towards them is of utmost importance in the optimization of agricultural processes and a key component in the development of a sustainable agriculture. Weather stations are the main tool to carry out measurements of meteorological variables. Due to their high prices, they often are unobtainable for the vast majority of farming companies in Cuba. The main objective of this project is to develop the software for the station VORTICE in order to enable it and control its technical parameters; which will allow to offer a station with a similar feature set to other weather stations in the global market, but at a lower cost. The developed software allows the total control of the hardware of the station VORTICE; while also allowing to read 8 meteorological variables and to store and transmit the weather data to a mobile cellphone by means of an app.

Índice

Declaración de autoría	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Resumen	V
Abstract	VI
Introducción	1
Panorama de las estaciones meteorológicas	2
Situación problema	2
Problema científico	3
Hipótesis	3
Objeto de estudio	3
Campo de investigación	3
Sistema de objetivos	3
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Métodos de investigación	4
Teóricos	4
Empíricos	4
Estadísticos	5
Alcance de investigación	5
Estructuración del contenido	5
Capítulo I. Revisión Bibliográfica	7
1.1 Agricultura inteligente	7
1.1.1 Tecnologías agrícolas inteligentes	7
1.1.2 Beneficios de la agricultura inteligente	8
1.1.3 La agricultura inteligente como alternativa al futuro de la agricultura	9

1.2	Estaciones Meteorológicas	9
1.2.1	Adquisición de datos	9
1.2.2	Posicionamiento	10
1.2.3	Transmisión de datos	12
1.2.4	Procesamiento de datos	15
1.2.5	Tipos de estaciones meteorológicas	17
1.3	Desarrollo Web	18
1.3.1	Desarrollo de front-end	18
1.3.2	Desarrollo de back-end	19
1.3.3	Frameworks reactivos	19
1.4	Desarrollo Móvil	21
1.4.1	Desarrollo nativo	23
1.4.2	Frameworks multiplataforma	24
1.4.3	Aplicación web móvil	26
1.5	Diseño de interfaces de usuario (UI)	27
1.5.1	Sketch	27
1.5.2	Adobe XD	28
1.5.3	Origami Studio	29
1.5.4	Figma	30
1.5.5	Penpot	30
1.6	Conclusiones parciales del capítulo I	31
Capítulo II. Materiales y Métodos.	32
2.1	Metodología	32
2.2	Consideraciones	32
2.2.1	Consideraciones Físicas	32
2.2.2	Consideraciones de Programación	32
2.3	Descripción del microcontrolador ESP32	34
2.4	Definición de Sensores a Utilizar	35
2.4.1	Temperatura y Humedad	35
2.4.2	Sensor de velocidad del viento (Anemómetro)	36

2.4.3	Sensor de dirección del viento (Vela)	37
2.4.4	Sensor de lluvia (Pluviómetro)	37
2.4.5	Sensor de iluminación	39
2.4.6	Sensor de detección de rayos	41
2.4.7	Sensor de presión atmosférica	41
2.5	Conexión de periféricos	42
2.6	Rutinas principales del dispositivo	42
2.7	Definición del software libre a utilizar	46
2.7.1	PlatformIO	46
2.8	Envío de datos	47
2.8.1	Servidor Web	47
2.8.2	WebSocket	47
2.9	Actualización (OTA)	47
2.10	Desarrollo de la aplicación móvil	49
2.10.1	Quasar V1	49
2.10.2	Capacitor	49
2.10.3	Diseño de la interfaz	49
2.11	Conclusiones parciales del capítulo II	50
Capítulo III. Análisis y resultados		51
3.1	Resultado de las pruebas de sensores	51
3.1.1	Temperatura	51
3.1.2	Humedad Relativa	51
3.1.3	Presión atmosférica	51
3.1.4	Anemómetro	51
3.1.5	Correcciones:	52
3.2	Resultados de aplicación móvil	52
3.3	Análisis Económico	53
3.3.1	Aseguramiento de material	53
3.3.2	Recursos humanos	53
3.3.3	Recursos materiales	54

3.3.4 Recursos financieros complementarios	54
3.4 Conclusiones parciales del capítulo III	55
Conclusiones	56
Recomendaciones	57
Referencias	58
Appendices	65
Capítulo A. Certificados de calibración del sensor de temperatura.	65
Capítulo B. Certificados de calibración del sensor de humedad	69
Capítulo C. Certificados de calibración del sensor de presión	74
Capítulo D. Certificados de calibración del anemómetro	78

Índice de Figuras

2.1	Distribución de pines de un sensor DHT11. De izquierda a derecha: alimentación, datos, sin función, tierra.	36
2.2	Componentes del anemómetro. Hélice (azul), imán (marrón), sensor de efecto Hall (verde).	38
2.3	Esquema representativo de la distribución de los sensores de la veleta cuando se encuentra en la posición norte.	39
2.4	Diseño del pluviómetro. El mecanismo volteá y vacía la cubeta cada vez que uno de los lados se llena.	40
2.5	Sensor de presión BMP180.	41
2.6	Diagrama de conexión de los periféricos de la estación.	43
2.7	Diagrama de flujo de las rutinas principales de la estación atendidas en paralelo (proceso principal y adquisición de datos).	44
2.8	Diagrama de flujo de las rutinas principales de la estación atendidas en paralelo [servidor web(izquierda) y rutina OTA(derecha)].	45
3.1	Aplicación desplegada en dispositivo Android mostrando las lecturas de la estación en tiempo real.	52

Índice de Tablas

1.1	Clasificaciones de las estaciones meteorológicas	17
2.1	Variables meteorológicas que mide la estación.	33
2.2	Conversión de lectura de la veleta a dirección.	40
2.3	Listado de periféricos y sus funciones	42
2.4	Rutas disponibles en el servidor web.	48
3.1	Gastos por concepto salarial y de seguridad social.	53
3.2	Gastos por materiales directos	54
3.3	Gastos Totales	55

Notación y Acrónimos

UI User Interface (Interfaz de Usuario). VIII, 27

OTA Over the Air (Por aire). IX, 47

MIPYME Micro Pequeña y Mediana Empresa. 3

IoT Internet of Things (Internet de las Cosas). 7, 14

GPS Global Positioning System (Sistem de Posicionamiento Global). 7, 10, 11, 12

TI Tecnologías de la Información. 7

UAV Unmanned Aereal Vehicles (Vehículos Aereos no Tripulados). 9

MIMO Multiple-input and multiple-output (Entrada y salida múltiples). 9

DGC Días de grado de crecimiento. 10, 16

SIG Sistemas de información geográfica. 10, 11

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). 12, 13, 14

WECA Wireless Ethernet Compatibility Alliance (Allianza de Compatibilidad de Ethernet Inalámbrica). 12, 13

LAN Local area network (Red de area local). 13

LoRaWan Long Range wide area network (Red de area amplia de largo alcance). 13, 14

LR-WPAN Low-Rate Wireless Personal Area Network (Red inalámbrica de area personal de baja frecuencia). 14, 15

INSTMET Instituto de Meteorología de Cuba. 17, 32, 51

HTML HyperText Markup Language (Lenguaje de Marcaje de Hipertexto). 18, 20, 21, 25

CSS Cascading Style Sheets (Hoja de Estilos en Cascada). 18, 19, 21

MVC Model View Controller (Modelo Vista Controlador). 20

DOM Document Object Model. 20

SPA Single Page Application (Aplicación de una sola página). 21

SSR Server Side Rendering (Renderizado del lado del servidor). 21

SSG Static Site Generation (Generación de sitio estático). 21

GIF Graphic Interchange Format (Formato de Intercambio Gráfico). 30

SVG Scalable Vector Graphics (Graficos Escalables de Vectoriales). 30, 31

IDE Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado). 32, 46

API Application Programming Interface (Interfaz de programación de aplicaciones). 33, 47, 49

REST REpresentational State Transfer (Transferencia de Estado Representacional). 33, 47

MCU Microcontroller unit (Unidad de microcontrolador). 34, 46

RF Radiofrecuencia. 34

PCB Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso). 34

SPI Serial Peripheral Interface (Interfaz serial de periférico). 34, 42

SDIO Secure Digital Input Output (Entrada Salida Digital Segura). 34

I2C Inter-Integrated Circuit (Circuito inter-integrado). 34, 39, 41, 42

UART Universal asynchronous receiver-transmitter. 34

CI Circuito Integrado. 42

JWT JSON Web Token (Token Web JSON). 47

OTA Comma Separated Values (Valores Separados por Coma). 55

Glosario

framework En programación un framework es un conjunto de bibliotecas diseñadas para resolver una tarea específica. xv, 32

big data El término se refiere a información que es tan masiva, rápida o compleja que es imposible de procesar usando métodos tradicionales. 7

lenguaje de scripting Un lenguaje de scripting es un lenguaje de programación que no requiere ser procesado antes de ejecutarse. 18

frameworks reactivos Un framework reactivo es un Framework capaz de regenerar la presentación de forma automática a partir de cambios en su estado interno. 19

sistema operativo Un sistema operativo es un conjunto de aplicaciones y bibliotecas capaz de funcionar de manera autónoma. 21

firmware El firmware es programa o conjunto de programas pensados para trabajar en una plataforma específica. 32

endpoint Punto de entrada de un recurso web. 47

token de portador Token cifrado que contiene toda la información necesaria para identificar un usuario. 47

WebSocket Protocolo de comunicación bidireccional. 47

Introducción

El cambio climático afecta a diferentes sectores de la economía, siendo el sector agrícola uno de los más afectados cada año. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y pestes. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial [1-5]. Por estos motivos es necesario realizar estudios estadísticos y analizar las variables meteorológicas.

En la época moderna la invención del telégrafo permitió llevar la predicción del clima a una velocidad nunca antes vista. A medida que se expandió el telégrafo a través de los Estados Unidos fue creada una red de vigilancia meteorológica sobre su infraestructura [6].

No fue hasta el siglo XX que los avances en la física atmosférica llevaron a fundar los sistemas de predicción meteorológica numéricos. En su libro, "Weather prediction by numerical process" [7], Lewis Fry Richardson señala como pequeñas diferencias en los fluidos atmosféricos pueden ser ignorados.

Durante la intervención de Estados Unidos en Cuba el Buró de Tiempo de Washington fabrica en la loma de Casablanca una estación meteorológica auxiliar. En 1904 el presidente cubano Tomás Estrada Palma decreta fundar un observatorio cubano. Por oposición la plaza de subdirector del observatorio es ocupada por el Ingeniero Civil, Arquitecto, Dr. en Ciencias Físicas, Dr. en Ciencias Naturales y Dr. en Ciencias Marítimas José Carlos Millas Hernández. Una vez ocupada esta posición creó una red de observadores basada en el telégrafo.

Este fue el estado de la meteorología hasta 1944, año en que el control del sistema meteorológico pasa a la marina. En este período se crean varias nuevas estaciones y con operarios capacitados a lo largo de Cuba [8].

Recientemente la necesidad de información meteorológica se ha incrementado en las

áreas locales para mejorar la productividad y reducir los costos de trabajo [9].

Una estación meteorológica, es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

La recopilación de datos emitidos por el instrumental meteorológico y su posterior análisis y estudio permitirán la caracterización espacial y temporal de los fenómenos atmosféricos, así como la realización de un diagnóstico de la situación atmosférica en un momento dado. En función a la estación meteorológica se definen tres parámetros fundamentales: humedad, presión atmosférica y temperatura, además de un conjunto de otras variables meteorológicas que interactúan entre sí. El siguiente trabajo tiene como objetivo desarrollar el software de la primera estación meteorológica de origen cubano VORTICE, con el fin de analizar los efectos del cambio climático en la industria agrícola [10].

Panorama de las estaciones meteorológicas

Hay un gran número de compañías desarrollando estaciones meteorológicas. Sin embargo, estas tienen a menudo un elevado costo, o solo son capaces de medir un número muy limitado de variables. Los fabricantes de estaciones más populares como Vantage Pro y Libelium tienen unidades básicas con un costo superior a los siete mil dólares (\$7,000) [11].

También hay iniciativas dedicadas a hacer disponibles estaciones automatizadas de bajo costo y código abierto. Entre estos proyectos es común encontrar como motivación la necesidad de un equipo mejor adecuado a las necesidades específicas de una región o individuos determinados [12, 13].

La relativamente alta popularidad de la que gozan estos equipos recientemente se debe en gran medida a la amenaza cada vez más real del cambio climático [5, 14-16]. A lo largo de todo el mundo las impredecibles variaciones climatológicas amenazan con provocar una crisis alimentaria nunca antes vista [2, 17].

Situación problema

En muchos de los procesos agrícolas, conocer las variables meteorológicas es de vital importancia para lograr una mayor efectividad en los procesos, por lo que es necesario contar con un dispositivo que permita comprobar dichas variables.

Debido al alto costo que conlleva la adquisición de tecnología de punta en el desarrollo de dispositivos, en búsqueda de la soberanía tecnológica y con el objetivo de poder dotar al país con tecnologías propias, en el área de la industria agrícola, la MIPYME ESPOLETA Tecnologías S.R.L. se suma a estas labores y lleva a cabo el diseño y desarrollo de la primera estación meteorológica del país.

Problema científico

La estación VORTICE no cuenta con un software desarrollado para llevar a cabo sus funciones de medición, registro y transferencia de datos.

Hipótesis

Si se desarrolla un software para la puesta en marcha y el control de la calidad de la estación meteorológica, permitirá la comprobación de los parámetros técnicos del equipo y contribuirá al análisis de los efectos del cambio climático sobre los procesos agrícolas.

Objeto de estudio

Estación meteorológica VORTICE.

Campo de investigación

Estaciones meteorológicas automatizadas.

Sistema de objetivos

Objetivo general

Desarrollar el software de la estación VORTICE para su puesta en marcha y utilización como instrumento de adquisición, almacenamiento y transmisión de datos meteorológicos.

Objetivos específicos

Para dar cumplimiento al objetivo general, es necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Revisar la bibliografía perteneciente al ámbito de la agricultura inteligente y las estaciones meteorológicas.
- Analizar el diseño electrónico del equipo y desarrollar el firmware del equipo para su puesta en marcha utilizando el framework PlatformIO.
- Desarrollar la aplicación móvil utilizando tecnologías web para la recepción, visualización y descarga de las mediciones meteorológicas.

Métodos de investigación

Teóricos

- Hipotético-Deductivo: Elaboración de la hipótesis de trabajo a partir de los conocimientos teóricos y experimentales.
- Histórico-Lógico: Estudio del comportamiento de aplicaciones de adquisición y análisis de datos para el control de la calidad en la producción de dispositivos.
- Analítico-Sintético: Descomposición del problema de investigación en subproblemas de menor complejidad para ser individualmente analizados y solucionados; integrándose, posteriormente a la solución propuesta.
- Inductivo-Deductivo: Fundamentación del uso de un sistema automatizado de análisis combinado para el control de la calidad.

Empíricos

- Observación: Observar directamente el equipo para apreciar su estado físico y evaluar los recursos informáticos a la disposición del personal que trabaja en el proyecto.
- Experimentación: Desarrollo y análisis de resultados experimentales, utilizando esquemas convencionales y el nuevo sistema propuesto.

Estadísticos

- Para confirmar las estimaciones realizadas en el análisis de los estimadores de exactitud y precisión y comparar el sistema propuesto con los sistemas consultados en las referencias analizadas.

Alcance de investigación

Científico-técnico El trabajo de investigación abordará el diseño, desarrollo e implementación de la primera estación meteorológica automática desarrollada en Cuba.

Económico El costo del proyecto es mucho menor que los encontrados actualmente en la industria meteorológica, la cual se caracteriza por sus prohibitivos precios. Su desarrollo contribuirá a tener una mayor independencia tecnológica para el sector agrícola.

Social La disponibilidad de una estación meteorológica en el mercado nacional a un precio económico viable para su uso extensivo en la agricultura promete facilitar la labor de los agricultores, resultando consecuentemente en un aumento de la productividad y una mejor utilización de los recursos utilizados en la industria agrícola.

Estructuración del contenido

En el Capítulo I se hace una revisión de la bibliografía referente al tema de las estaciones meteorológicas. El Capítulo II describe en detalle la programación del software de la estación meteorológica.

En el Capítulo III se hace un análisis de los resultados obtenidos con el trabajo, así como un estudio del costo de la implementación.

Capítulo I. Revisión Bibliográfica

1.1. Agricultura inteligente

La agricultura inteligente es un concepto de gestión centrado en proporcionar a la industria agrícola la infraestructura para aprovechar la tecnología avanzada, incluido el Big data, la nube y el Internet de las cosas (IoT), para rastrear, monitorear, automatizar y analizar las operaciones. También conocida como agricultura de precisión, la agricultura inteligente se gestiona por software y se supervisa con sensores. Esta está creciendo en importancia debido a la combinación de un continuo aumento de distintos factores como la población mundial, la demanda de un mayor rendimiento de los cultivos, la necesidad de utilizar los recursos naturales de manera eficiente, el uso y sofisticación de las tecnologías de la información y las comunicaciones y la creciente necesidad de una agricultura climáticamente inteligente [18].

1.1.1. Tecnologías agrícolas inteligentes

La granja inteligente incluye el uso de tecnologías como: [19, 20]

- Sensores para el escaneo del suelo y el manejo del agua, la luz, la humedad y la temperatura.
- Tecnologías de telecomunicaciones como redes avanzadas y GPS.
- Hardware y software para aplicaciones especializadas y para habilitar soluciones basadas en IoT, robótica y automatización.
- Herramientas de análisis de datos para la toma de decisiones y la predicción. La compilación de datos es una parte importante de la agricultura inteligente, ya que la cantidad de datos disponibles de rendimientos de cultivos, mapeo del suelo, cambio climático, aplicaciones de fertilizantes, datos meteorológicos, maquinaria y salud animal continúa aumentando.
- Satélites y drones para recopilar datos las 24 horas del día para todo un campo.

Esta información se envía a los sistemas de TI para su seguimiento y análisis para dar un “ojo en el campo” o un “ojo en el granero” que hace posible el monitoreo remoto.

Estos datos alimentan un sistema de apoyo para la toma de decisiones para que los agricultores puedan ver lo que está sucediendo a un nivel más granular que en el pasado. Por ejemplo, al medir con precisión las variaciones dentro de un campo y adaptar la estrategia en consecuencia, los agricultores pueden aumentar en gran medida la eficacia de los pesticidas y fertilizantes y usarlos con más juicio. Del mismo modo, las técnicas de agricultura inteligentes ayudan a los agricultores a controlar mejor las necesidades de los animales individuales y ajustar su nutrición para prevenir enfermedades y mejorar la salud del rebaño [21].

1.1.2. Beneficios de la agricultura inteligente

Al hacer que la agricultura sea más conectada e inteligente, la agricultura de precisión ayuda a reducir los costos generales y mejorar la calidad y cantidad de los productos, la sostenibilidad de la agricultura y la experiencia para el consumidor. El aumento del control sobre la producción conduce a una mejor gestión de costos y reducción de residuos. La capacidad de rastrear anomalías en el crecimiento de los cultivos o la salud del ganado, por ejemplo, ayuda a eliminar el riesgo de perder rendimientos. Además, la automatización aumenta la eficiencia. Con los dispositivos inteligentes, se pueden activar múltiples procesos al mismo tiempo, y los servicios automatizados mejoran la calidad y el volumen del producto al controlar mejor los procesos de producción.

Los sistemas agrícolas inteligentes también permiten una gestión cuidadosa del pronóstico de la demanda y la entrega de mercancías al mercado justo a tiempo para reducir el desperdicio. La agricultura de precisión se centra en gestionar el suministro de tierra y, en función de su condición, concentrarse en los parámetros de crecimiento correctos, por ejemplo, la humedad, los fertilizantes o el contenido de materiales, para proporcionar la producción para el cultivo adecuado que está en demanda. Los tipos de sistemas de agricultura de precisión implementados dependen del uso de software para la gestión del negocio. Los sistemas de control gestionan la entrada del sensor, proporcionando información remota para el suministro y el apoyo a la toma de decisiones, además de la automatización de máquinas y equipos para responder a problemas emergentes y soporte de producción [21].

1.1.3. La agricultura inteligente como alternativa al futuro de la agricultura

La agricultura inteligente y la agricultura impulsada por IoT están sentando las bases para una “tercera revolución verde”, que se refiere a la aplicación combinada de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Esto incluye dispositivos como equipos de precisión, sensores y actuadores de IoT, sistemas de geoposicionamiento, vehículos aéreos no tripulados (UAV) y robots.

La tecnología IoT ayuda a controlar mejor los procesos agrícolas para reducir los riesgos de producción y mejora la capacidad de prever los resultados de producción, lo que ayuda a los agricultores a planificar y distribuir mejor los productos. Los datos sobre los lotes exactos de cultivos y la cantidad de cultivos para cosechar pueden ayudar a los agricultores a reducir la mano de obra y los residuos, por ejemplo.

Además, en varios sectores, incluida la agricultura, los proveedores de servicios y los operadores móviles están modernizando su infraestructura de red, llevando los recursos de red al límite e integrando distancias lejanas a través de tecnologías como las células pequeñas y la MIMO masiva para prepararse para el despliegue del 5G [21].

1.2. Estaciones Meteorológicas

1.2.1. Adquisición de datos

El desarrollo de la agricultura siempre ha estado estrechamente vinculado a la interpretación y predicción del clima. El primer pluviómetro estándar se desarrolló en 1441 [22] y, desde entonces, los humanos han estado tratando de predecir mejor el clima utilizando herramientas cada vez más avanzadas para proteger sus cultivos.

No importa cuántas innovaciones tecnológicas ocurran en la industria agrícola, el cultivo de alimentos siempre dependerá del clima en el que se cultiven. El clima es la variable más importante en la salud de los cultivos y poder controlarlo de cerca es extremadamente valioso a la hora de determinar los tiempos de siembra, los planes de tratamiento, los horarios de riego y más.

En general, la información sobre los eventos meteorológicos que ocurren en su área proviene de fuentes centralizadas, con meteorólogos interpretando datos para grandes

áreas geográficas. El clima real en tierra puede variar mucho, incluso a lo largo de unos pocos kilómetros. Y, por supuesto, incluso unos pocos grados de diferencia de temperatura o milímetros de lluvia pueden tener enormes efectos en una granja. Aquí es donde la estación meteorológica de la granja es útil.

Por ejemplo, las mediciones de temperatura se utilizan a menudo para determinar los días de grado de crecimiento (DGC) [23, 24]. Esta medición se puede utilizar para predecir las etapas de crecimiento en función de cuándo se plantó y el clima desde la plantación. Las temperaturas más frías significan menos DGC. El uso de información de temperatura más precisa en los campos en lugar de las temperaturas tomadas a millas de distancia puede hacer grandes diferencias en el cálculo de las etapas de crecimiento usando DGC. Muchos agricultores han empleado estaciones meteorológicas durante años utilizando instrumentos analógicos y recopilación de datos como pluviómetros, barómetros y termómetros. Los sensores y estaciones meteorológicas de hoy en día son en gran medida digitales y pueden transmitir información a un ordenador o dispositivo móvil al instante [24].

1.2.2. Posicionamiento

El desarrollo y la implementación de la agricultura de precisión o la agricultura específica del sitio se ha hecho posible combinando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y los sistemas de información geográfica (SIG). Estas tecnologías permiten el acoplamiento de la recopilación de datos en tiempo real con información de posición precisa, lo que conduce a la manipulación y análisis eficientes de grandes cantidades de datos geoespaciales. Las aplicaciones basadas en GPS en la agricultura de precisión se están utilizando para la planificación agrícola, el mapeo de campo, el muestreo del suelo, la guía de tractores, la exploración de cultivos, las aplicaciones de tasa variable y el mapeo de rendimiento. El GPS permite a los agricultores trabajar durante condiciones de campo de baja visibilidad, como lluvia, polvo, niebla y oscuridad.

La agricultura de precisión ahora está cambiando la forma en que los agricultores y los agronegocios ven la tierra de la que obtienen sus beneficios. La agricultura de precisión se trata de recopilar información geoespacial oportuna sobre los requisitos de suelo-

planta-animales y prescribir y aplicar tratamientos específicos del sitio para aumentar la producción agrícola y proteger el medio ambiente. Donde los agricultores pueden haber tratado sus campos de manera uniforme, ahora están viendo los beneficios de la microgestión de sus campos. La agricultura de precisión está ganando popularidad en gran parte debido a la introducción de herramientas de alta tecnología en la comunidad agrícola que son más precisas, rentables y fáciles de usar. Muchas de las nuevas innovaciones se basan en la integración de ordenadores integrados, sensores de recopilación de datos y sistemas de referencia de tiempo y posición GPS.

Muchos creen que los beneficios de la agricultura de precisión solo se pueden realizar en grandes granjas con grandes inversiones de capital y experiencia en tecnologías de la información. Ese no es el caso. Hay métodos y técnicas baratos y fáciles de usar que pueden ser desarrollados para su uso por todos los agricultores. Mediante el uso de GPS, SIG y teledetección, se puede recopilar la información necesaria para mejorar el uso de la tierra y el agua. Los agricultores pueden lograr beneficios adicionales combinando una mejor utilización de fertilizantes y otras enmiendas del suelo, determinando el umbral económico para el tratamiento de las infestaciones de plagas y malas hierbas, y protegiendo los recursos naturales para su uso futuro.

Los fabricantes de equipos GPS han desarrollado varias herramientas para ayudar a los agricultores y a los agronegocios a ser más productivos y eficientes en sus actividades de agricultura de precisión. Hoy en día, muchos agricultores utilizan productos derivados del GPS para mejorar las operaciones en sus negocios agrícolas. Los receptores GPS recopilan información de ubicación para mapear los límites de los campos, las carreteras, los sistemas de riego y las áreas problemáticas en cultivos como las malas hierbas o las enfermedades. La precisión del GPS permite a los agricultores crear mapas agrícolas con una superficie precisa para áreas de campo, ubicaciones de carreteras y distancias entre puntos de interés. El GPS permite a los agricultores navegar con precisión a lugares específicos en el campo, año tras año, para recoger muestras de suelo o monitorear las condiciones de los cultivos.

Los asesores de cultivos utilizan dispositivos de recopilación de datos robustos con GPS para un posicionamiento preciso para mapear las infestaciones de plagas, insectos y ma-

las hierbas en el campo. Las áreas problemáticas por las plagas en los cultivos se pueden identificar y mapear para futuras decisiones de gestión y recomendaciones de información. Los mismos datos de campo también pueden ser utilizados por los pulverizadores de aeronaves, lo que permite un recorrido preciso de los campos sin el uso de “banderas” humanos para guiarlos. Los plumeros de cultivos equipados con GPS son capaces de volar franjas precisas sobre el campo, aplicando productos químicos solo cuando sea necesario, minimizando la deriva química, reduciendo la cantidad de productos químicos necesarios, beneficiando así al medio ambiente. El GPS también permite a los pilotos proporcionar a los agricultores mapas precisos.

Los agricultores y los proveedores de servicios agrícolas pueden esperar mejoras aún más a medida que el GPS continúe modernizándose [24].

1.2.3. Transmisión de datos

Las tecnologías más utilizadas en IoT y en la agricultura de precisión son LoRaWan, ZigBee y Wi-Fi [25].

Wi-Fi Wi-Fi es una tecnología de red que utiliza ondas de radio para permitir la transferencia de datos de alta velocidad a corta distancia.

La tecnología Wi-Fi tiene sus orígenes en una decisión de 1985 de los Estados Unidos. Comisión Federal de Comunicaciones que lanzó las bandas del espectro radioeléctrico a 900 megahercios (MHz), 2,4 gigahercios (GHz) y 5,8 GHz para uso sin licencia por cualquier persona. Las empresas de tecnología comenzaron a construir redes y dispositivos inalámbricos para aprovechar el nuevo espectro de radio disponible, pero sin un estándar inalámbrico común, el movimiento permaneció fragmentado, ya que los dispositivos de diferentes fabricantes rara vez eran compatibles. Finalmente, un comité de líderes de la industria llegó a un estándar común, llamado 802.11, que fue aprobado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) en 1997. Dos años más tarde, un grupo de grandes empresas formó la Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA, ahora Wi-Fi Alliance), una organización global sin fines de lucro creada para promover el nuevo estándar inalámbrico. WECA llamó a la nueva tecnología Wi-Fi. (Wi-Fi no es una abre-

viatura de “fidelidad inalámbrica”; el nombre fue creado por una empresa de marketing contratada por WECA y elegido por su agradable sonido y similitud con “hi-fi” [alta fidelidad].) Se han introducido estándares IEEE posteriores para Wi-Fi para permitir un mayor ancho de banda. El estándar 802.11 original permitía una velocidad máxima de transmisión de datos de solo 2 megabits por segundo (Mbps); 802.11ax, apodado Wi-Fi 6 por la Wi-Fi Alliance e introducido en 2019, tiene una velocidad teórica máxima de 9,6 gigabits por segundo (Gbps).

Según los estándares de Wi-Fi de IEEE, las bandas de frecuencia disponibles se dividen en varios canales separados. Estos canales se superponen en frecuencia y, por lo tanto, el Wi-Fi utiliza canales que están muy separados. Dentro de cada uno de estos canales, el Wi-Fi utiliza una técnica de “propagación de frecuencias” en la que una señal se rompe en pedazos y se transmite a través de múltiples frecuencias.

La popularidad del Wi-Fi ha crecido constantemente. El Wi-Fi permite que las redes locales (LAN) funcionen sin cables ni cableado, lo que lo convierte en una opción popular para las redes domésticas y de negocios. Los dispositivos habilitados para Wi-Fi pueden conectarse a Internet cuando están cerca de áreas que tienen acceso Wi-Fi, llamadas “puntos calientes”. Los puntos de acceso se han vuelto comunes, ya que muchos lugares públicos, como aeropuertos, hoteles, librerías y cafeterías, ofrecen acceso Wi-Fi. Algunas ciudades han construido redes Wi-Fi gratuitas en toda la ciudad. Una versión de Wi-Fi llamada Wi-Fi Direct permite la conectividad entre dispositivos sin LAN [26].

LoRaWan LoRaWan (Long Range Wide Area Network) es una tecnología que se puede utilizar para controlar los activos agrícolas y las condiciones de los cultivos y ganados. Esta tecnología es un ejemplo del Internet de las cosas (IoT) o agricultura inteligente para la agricultura.

Los productores agrícolas y las empresas pueden utilizar los datos recopilados a través del IoT para tomar decisiones de gestión. Esta tecnología permite a los agricultores instalar pequeños dispositivos de sensores en sus campos de cultivo para monitorear condiciones como la lluvia, la humedad del suelo y la temperatura. Los ganaderos podrían usar la tecnología LoRaWan para controlar el nivel del agua en los tanques de

almacenamiento en pastos remotos. Pueden ver los datos en sus teléfonos móviles o monitores de ordenador.

LoRaWan utiliza una red inalámbrica de largo alcance y de menor potencia para comunicarse entre las puertas de enlace de LoRaWan y los nodos remotos. LoRaWan utiliza una frecuencia de radio libre de licencia que permite transmisiones de largo alcance (hasta cinco millas en zonas rurales) con bajo consumo de energía. Los protocolos de LoRaWan son definidos y mantenidos por la Alianza LoRa, una asociación sin fines de lucro de empresas miembros comprometidas a permitir el despliegue a gran escala de LoRaWan IoT a través del desarrollo y la promoción de estándares abiertos.

Los nodos pueden ser pequeños dispositivos de sensores que funcionan con batería, e instalarse en ubicaciones remotas. Las puertas de enlace LoRaWan se comunican con los nodos, recibiendo los datos de los dispositivos de sensores y transmitiendo señales a los dispositivos de sensores para que puedan gestionarse de forma remota.

Después de que los datos se transfieran a Internet, es necesario gestionarlos para que estén disponibles para su visualización en los sitios web. Hay varias opciones para lograr esto.

ZigBee ZigBee es un estándar global, creado y mantenido por ZigBee Alliance que especifica cómo los dispositivos en una red inalámbrica LR-WPAN, basada en el estándar IEEE 802.15.4 deben comunicarse de forma segura y fiable. Está dirigido al desarrollo de aplicaciones de detección y control en automatización industrial, médica y residencial. Hay tres tipos de dispositivos ZigBee (Coordinador, Enrutador y Dispositivo Final) y hay tres topologías diferentes proporcionadas por las redes ZigBee (Star, Cluster Tree y Mesh). Una red ZigBee (LR-WPAN) consiste en un coordinador y uno o más routers y dispositivos finales. La red se crea cuando un coordinador selecciona un canal y una dirección de red disponible. Una vez que el coordinador inicializa la red LR-WPAN, es posible que los enrutadores y los dispositivos finales se unan a esta red. Cuando un enrutador o dispositivo final se une a una red LR-WPAN, reciben una dirección de red de 16 bits que permite la transmisión o recepción de otros dispositivos desde la misma dirección de red. Los enrutadores y coordinadores pueden permitir que otros dispositi-

vos se unan a la red LR-WPAN y pueden ayudar a enviar datos a través de la red para garantizar que los datos se envíen correctamente al destinatario. Cuando un enrutador o coordinador permite que un dispositivo final se una a la red LR-WPAN, el dispositivo final se convierte en un “hijo” del enrutador o coordinador que le permitió unirse. Sin embargo, los dispositivos finales pueden transmitir o recibir datos, pero no pueden enrutar datos de un nodo a otro, ni pueden permitir que los dispositivos se unan a la red LR-WPAN. Los dispositivos finales siempre deben comunicarse directamente con el “padre” al que se han unido. El enrutador o coordinador “padre” puede enrutar los datos en nombre de un “hijo” del dispositivo final para asegurarse de que llegue al destino correcto. Los dispositivos finales están diseñados para ser alimentados por batería y pueden admitir modos de bajo consumo [27, 28].

1.2.4. Procesamiento de datos

La información recopilada de estos diversos sensores se puede utilizar en muchas áreas de producción, incluyendo la siembra, la cosecha, la pulverización, el riego y la protección.

Plantación La temperatura y la humedad del suelo son factores clave que afectan a la germinación de las semillas, y plantar demasiado pronto puede tener graves consecuencias en caso de una helada a finales de primavera. Los sensores atmosféricos y de temperatura del suelo son útiles para determinar el momento adecuado para plantar y dar a los cultivos la mejor oportunidad. Una estación meteorológica digital puede enviar las condiciones actuales de temperatura en tiempo real para que posibilitar plantar en el mejor momento posible.

Los sensores de humedad del suelo pueden indicarle dónde el suelo está demasiado húmedo o seco para plantarlo. Los niveles de humedad del suelo pueden variar mucho, incluso dentro de un solo campo, por lo que poder probar en varios lugares puede darle una imagen mucho más precisa de dónde está demasiado húmedo o demasiado seco para plantar.

Pulverización La velocidad y la dirección del viento son dos factores obvios que afectan a la pulverización de pesticidas o productos químicos. La “deriva de aerosol” o “deriva de herbicidas” puede ocurrir de dos maneras, la deriva de partículas y la deriva de vapor. En general, las velocidades de viento de 3 a 7 millas por hora son las condiciones preferibles para la pulverización, pero siempre es necesario seguir las instrucciones de pulverización en la etiqueta química antes de aplicar cualquier producto químico a un campo.

El papel de la humedad en el control de enfermedades es un aspecto a menudo pasado por alto de la agricultura de precisión. Las enfermedades fúngicas de las plantas prosperan en ambientes húmedos y pueden tener un gran impacto en el rendimiento. La información de humedad de los sensores meteorológicos se puede utilizar en combinación con la información sobre la temperatura y el viento para tomar decisiones más informadas sobre dónde y cuándo rociar.

Irrigación Las estaciones meteorológicas en la granja pueden contribuir al ahorro de agua, para el medio ambiente y para su billetera. Las estaciones meteorológicas de alta calidad con medidores de lluvia, sensores de humedad del suelo y sensores que pueden medir la evapotranspiración se pueden utilizar para evaluar las necesidades de riego y riego de sus cultivos, y para ayudarle a evitar el exceso de uso de agua.

Protección de cultivos Los productores de cultivos sensibles al viento son muy conscientes de los efectos perjudiciales que los vientos fuertes y el mal tiempo pueden tener en el rendimiento. Una intensa tormenta de viento o granizo puede causar pérdidas masivas o totales de algunos cultivos. Monitorear la velocidad del viento y los cambios de presión atmosférica en su área significa que es más fácil tomar precauciones como cubrir o remendar los cultivos en caso de una tormenta próxima.

Cosecha El tiempo de su cosecha es un aspecto crítico de la agricultura de precisión. El mal tiempo puede conducir a enormes pérdidas en el momento de la cosecha, y calcular sus DGC basado en información meteorológica precisa e hiperlocal le permitirá predecir con mayor precisión la madurez de sus plantas y tomar las mejores decisiones sobre cuándo cosechar. La advertencia avanzada que una estación meteorológica per-

sonal puede proporcionar en caso de condiciones desfavorables se puede utilizar para planificar su cosecha, ya sea que necesite ser adelantada para evitar pérdidas en una tormenta, o que los cultivos necesiten más tiempo antes de ser cosechados [29].

1.2.5. Tipos de estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas se clasifican en distintos grupos [30]. Estos aparecen representados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1

Clasificaciones de las estaciones meteorológicas

Grupo	Clasificaciones
Sinóptica	Climatológica Agrícolas Especiales Aeronáuticas Satélites
Magnitud de las observaciones	Principales Ordinarias Auxiliares
Por el nivel de observación	Superficie Altitud
Por el nivel de observación	Terrestre Aéreas Marítimas
Mercado Objetivo	Doméstica Semiprofesionales Profesionales

A día de hoy la red de estaciones del Instituto de Meteorología de Cuba (INSTMET) cuenta con 68 estaciones profesionales a lo largo del país; el número más alto de la región de América Central y del Caribe [31].

De acuerdo a lo comentado por el instituto este número es aún insuficiente para proveer la cobertura deseada a lo largo de todo el país. También está la realidad del elevado costo de obtención de estos equipos; haciéndolos poco viables para el uso doméstico o sectores de menor poder adquisitivo como lo son los pequeños campesinos. La compra de equipos de altas prestaciones, si bien es de gran necesidad para el sector agrícola con el objetivo de maximizar la utilización de recursos y prever condiciones climatológicas adversas como ciclones, huracanes, sequías e inundaciones, tiene un costo demasiado prohibitivo para implementarlo a la escala necesaria para el sector [3].

1.3. Desarrollo Web

El desarrollo web se refiere a la creación, construcción y mantenimiento de sitios web. Incluye aspectos como el diseño web, la publicación web, la programación web y la gestión de bases de datos. Es la creación de una aplicación que funciona a través de Internet, es decir, sitios web [32].

El desarrollo web se puede clasificar de dos maneras:

- Desarrollo de front-end
- Desarrollo de back-end

1.3.1. Desarrollo de front-end

La parte de un sitio web en la que el usuario interactúa directamente se denomina front-end. También se le conoce como el “lado del cliente” de la aplicación.

Entre las tecnologías comúnmente utilizadas en el desarrollo front-end se encuentran:

- HTML: HTML significa HyperText Markup Language. Se utiliza para diseñar la parte frontal de las páginas web utilizando el lenguaje de marcado. Actúa como un esqueleto para un sitio web, ya que se utiliza para hacer la estructura de un sitio web.
- CSS: Cascading Style Sheets es un lenguaje de diseño simple destinado a simplificar el proceso de hacer que las páginas web sean presentables.
- JavaScript: JavaScript es un Lenguaje de scripting utilizado para proporcionar un comportamiento dinámico a un sitio web.

- Bootstrap: Bootstrap es una colección de herramientas gratuitas y de código abierto para crear sitios web y aplicaciones web receptivas. Es el framework CSS más popular para el desarrollo de sitios web receptivos y móviles. Hoy en día, los sitios web son perfectos para todos los navegadores (IE, Firefox y Chrome) y para todos los tamaños de pantallas (escritorio, tabletas, phablets y teléfonos).

Frameworks y bibliotecas de front-end

- AngularJS
- React
- VueJS
- jQuery
- Bootstrap
- Interfaz de usuario de materiales
- Tailwind CSS
- Interfaz de usuario de jQuery
- Algunas otras bibliotecas y frameworks son: Handlebar.js Backbone.js, Ember.js, etc.

1.3.2. Desarrollo de back-end

El back-end es el lado del servidor de un sitio web. Es la parte del sitio web que los usuarios no pueden ver. Es la parte del software que no entra en contacto directo con los usuarios. Se utiliza para almacenar y organizar datos.

1.3.3. Frameworks reactivos

Actualmente tres Frameworks reactivos dominan el desarrollo front-end.

Angular Angular es un framework de JavaScript de código abierto escrito en TypeScript. Google lo mantiene, y su objetivo principal es desarrollar aplicaciones de una sola página. Como framework, Angular proporciona una estructura estándar con la que los desarrolladores pueden trabajar. Permite a los usuarios crear grandes aplicaciones de una manera que se pueda mantener [33].

React React es una biblioteca de JavaScript declarativa, eficiente y flexible para crear interfaces de usuario. React es la “V” en MVC. React es una biblioteca front-end de código abierto basada en componentes responsable solo de la capa de vista de la aplicación. Es mantenido por Facebook.

React utiliza un paradigma declarativo que hace que sea más fácil razonar sobre su aplicación y tiene como objetivo ser eficiente y flexible. Diseña vistas simples para cada estado de su aplicación, y React actualizará y renderizará de manera eficiente el componente correcto cuando sus datos cambien. La vista declarativa hace que su código sea más predecible y fácil depurar [34].

Características de React [34]

- Usa JSX: es más rápido que JavaScript normal, ya que realiza optimizaciones mientras se traduce a JavaScript normal. Nos facilita la creación de plantillas.
- DOM virtual: Existe un DOM virtual que es como una copia ligera del DOM real. Así que para cada objeto que existe en el DOM original, hay un objeto para eso en React Virtual DOM. Es exactamente lo mismo, pero no tiene el poder de cambiar directamente el diseño del documento. Manipular DOM es lento, pero manipular Virtual DOM es rápido, ya que no se dibuja nada en la pantalla.
- Vinculación de datos unidireccional: esta función le da un mejor control sobre su aplicación.
- Componente: Un componente es uno de los componentes básicos de React. En otras palabras, podemos decir que cada aplicación que desarrolles en React estará hecha de piezas llamadas componentes. Los componentes facilitan mucho la tarea de crear interfaces de usuario. Puede ver una interfaz de usuario desglosada en múltiples piezas individuales llamadas componentes y trabajar en ellas de forma independiente y fusionarlas todas en un componente principal que será su interfaz de usuario final.
- Rendimiento: React usa JSX, que es más rápido en comparación con JavaScript y HTML normales. El DOM virtual es un procedimiento que tarda menos en actualizar el contenido de las páginas web.

Vue.js Vue (pronunciado /vju:/, como view) es un framework JavaScript para crear interfaces de usuario. Se basa en HTML, CSS y JavaScript estándar y proporciona un modelo de programación declarativo y basado en componentes que le ayuda a desarrollar de manera eficiente interfaces de usuario, ya sean simples o complejas [35].

Características principales de Vue.js [35]

- Representación declarativa: Vue extiende el HTML estándar con una sintaxis de plantilla que nos permite describir declarativamente la salida HTML basada en el estado de JavaScript.
- Reactividad: Vue realiza un seguimiento automático de los cambios de estado de JavaScript y actualiza eficientemente el DOM cuando se producen cambios.

Un framework progresivo Vue es un framework y ecosistema que cubre la mayoría de las características comunes necesarias en el desarrollo de front-end. Pero la web es extremadamente diversa: las cosas que construimos en la web pueden variar drásticamente en forma y escala. Con eso en mente, Vue está diseñado para ser flexible y gradualmente adoptable [35]. Dependiendo de su caso de uso, Vue se puede usar de diferentes maneras [35]:

- Mejorar el HTML estático sin un paso de compilación
- Inserción como componentes web en cualquier página
- Solicitud de una sola página (SPA)
- Fullstack / renderizado del lado del servidor (SSR)
- Jamstack / Generación de sitios estáticos (SSG)
- Dirigido al escritorio, móvil, WebGL e incluso al terminal

1.4. Desarrollo Móvil

Las plataformas de desarrollo móvil son, básicamente, un Sistema operativo diseñado para crear, probar e implementar aplicaciones móviles. Aunque históricamente ha habido varias plataformas de desarrollo móvil viables, actualmente son dos grandes competidores los que se reparten la mayor parte de la cuota de mercado: Android e iOS [36].

Android Android es la plataforma de desarrollo móvil más grande; representa aproximadamente el 80 % de la cuota de mercado. Esto se debe a que Android es un sistema operativo de código abierto que permite que muchos tipos de dispositivos de distintos fabricantes ejecuten diferentes versiones del sistema operativo Android. Con el respaldo de Google y basado en Linux, Android ofrece la posibilidad generalizada de crear hardware compatible con su sistema operativo. Lo mismo ocurre con el desarrollo de aplicaciones de Android; los desarrolladores tienen plena autonomía para crear aplicaciones para dispositivos Android, lo que supone una mayor flexibilidad para la aplicación y una barrera de entrada extremadamente baja.

Google proporciona herramientas nativas para el desarrollo de aplicaciones móviles Android, incluido Android Studio. Además, la naturaleza de código abierto del sistema operativo significa que los proveedores externos también pueden (y de hecho lo hacen) crear sus propias herramientas de desarrollo de Android. Las amplias directrices para desarrolladores de Google ayudan a garantizar que la aplicación final tenga un buen funcionamiento en muchos tipos diferentes de hardware. Sin embargo, dado que el número potencial de dispositivos Android es prácticamente ilimitado, no hay ninguna forma de asegurarse de que las nuevas aplicaciones funcionarán de manera eficaz en todos los tipos de hardware y en todas las situaciones posibles [36].

iOS Aunque iOS solo representa alrededor del 18 % de la cuota de mercado, de las dos plataformas líderes, posiblemente sea la dominante. iOS es propiedad de Apple, empresa conocida principalmente por generalizar la informática móvil con la llegada de las tecnologías de iPhone y iPad.

La razón por la que iOS no se extiende a tantos dispositivos como Android es que no es de código abierto; iOS funciona exclusivamente en productos Apple. Asimismo, para crear aplicaciones para iOS, los desarrolladores deben utilizar un equipo Mac que ejecute OS X (el sistema operativo estándar para Mac).

Apple también proporciona herramientas y bibliotecas nativas para el desarrollo móvil, y recomienda a los desarrolladores utilizar el lenguaje de programación Swift de Apple.

Debido a que Apple mantiene un control muy estricto sobre los aspectos de hardware

y software del desarrollo de iOS, el rendimiento de iOS suele tener gran capacidad de respuesta y es estable y fácil de usar. La fragmentación de dispositivos también es una preocupación menos importante, ya que Apple solo permite que sus aplicaciones se ejecuten en su propio hardware patentado. Por otro lado, al tener directrices más estrictas, es más difícil crear aplicaciones completamente personalizadas. Por otro lado, cualquier aplicación nueva de iOS debe enviarse a App Store con antelación para su revisión y aprobación [36].

Otras plataformas El resto de las plataformas de desarrollo móvil comparten el 2 % de la cuota de mercado restante. Entre ellas, se incluyen las plataformas de desarrollo de Windows y Blackberry, pero casi todos los desarrolladores móviles dedican sus esfuerzos a las plataformas de Android, iOS o una combinación de ambas [36].

1.4.1. Desarrollo nativo

Probablemente, el método de desarrollo móvil más directo y obvio consiste en utilizar las herramientas y plataformas proporcionadas por el proveedor del sistema operativo. Estas herramientas están diseñadas con la intención de ser fáciles de utilizar, y proporcionan ejemplos, herramientas, frameworks y otros recursos para garantizar una depuración más rápida y una funcionalidad óptima en el sistema operativo móvil para el que se está desarrollando.

Sin embargo, las herramientas de desarrollo nativas tienen sus desventajas. Debido a que están diseñadas para facilitar el desarrollo para sus respectivos sistemas operativos, se basan en diferentes lenguajes de programación. Esto significa que los desarrolladores que desean codificar utilizando las herramientas de desarrollo de Android o iOS deben conocer los lenguajes que utilizan estas herramientas, en lugar de poder trabajar con sus lenguajes de preferencia. Asimismo, la creación de una sola aplicación para ambas opciones de SO puede significar un doble trabajo, ya que hay que codificar la aplicación dos veces y seguir dos conjuntos diferentes de procesos y mejores prácticas.

Sin embargo, para aquellos que solo están interesados en crear aplicaciones para un sistema operativo, el desarrollo nativo puede ser la solución más rápida y sencilla [36].

Ventajas [36]

- Rendimiento optimizado: Al aprovechar al máximo las características del dispositivo, las aplicaciones de desarrollo nativo tienden a funcionar mejor y de manera más coherente.
- Capacidad de uso mejorada: Las aplicaciones nativas están diseñadas para funcionar en dispositivos específicos. Por lo tanto, pueden aprovechar las capacidades inherentes de esos dispositivos para proporcionar una mejor experiencia de usuario.
- Codificación de plataforma única: Dado que no deben dar soporte a múltiples plataformas las aplicaciones nativas son más fáciles de desarrollar.

Desventajas [36]

- Se necesita especialización: Las aplicaciones nativas diseñadas para sistemas operativos específicos requieren que los desarrolladores tengan conocimientos especializados en la codificación para el dispositivo en cuestión.
- Se requieren múltiples esfuerzos de desarrollo: Dado que las aplicaciones nativas se deben desarrollar específicamente para adaptarse a sistemas operativos concretos, se necesitan múltiples esfuerzos de desarrollo para crear una aplicación capaz de funcionar en más de una plataforma, lo que también conlleva un incremento de los costos y el tiempo dedicado.

1.4.2. Frameworks multiplataforma

Los frameworks de desarrollo multiplataforma (también llamados híbridos) están diseñados para que los desarrolladores puedan crear aplicaciones móviles eficientes que funcionen de manera óptima en ambos sistemas operativos principales. En teoría, esto significa que el desarrollador solo debe escribir el código una vez y luego ejecutarlo en todas las plataformas compatibles. La mayoría de los frameworks multiplataforma tienden a favorecer un sistema operativo u otro, lo que obliga a los desarrolladores a tener que ajustar la versión de la aplicación prevista para el otro sistema operativo.

A menudo, los frameworks multiplataforma son abstracciones; utilizan bibliotecas y frameworks nativos y requieren que los desarrolladores tengan una comprensión básica de

estos elementos. Otros toman un enfoque híbrido e incorporan componentes HTML basados en la web junto con componentes nativos.

La mayoría de las soluciones multiplataforma admiten un lenguaje de programación específico, por lo que muchos desarrolladores seleccionarán el framework en función de los lenguajes de programación con los que se sientan cómodos [36].

Ventajas [36]

- Desarrollo más rápido: Crear una aplicación multiplataforma requiere solo un único conjunto de códigos para funcionar en varios sistemas operativos, lo que permite ciclos de desarrollo más rápidos.
- Desarrollo más fácil: Los desarrolladores de aplicaciones híbridas solo tienen que aprender una tecnología, lo que permite una reducción de la barrera de entrada y un proceso de desarrollo simplificado.
- Un público objetivo más amplio: Dado que las aplicaciones multiplataforma están diseñadas para estar disponibles en las principales tiendas de aplicaciones, los desarrolladores pueden llegar tanto a usuarios de Android como de iOS.

Desventajas [36]

- Facilidad de uso reducida: Las aplicaciones creadas para funcionar en los dos sistemas operativos principales suelen ser incapaces de aprovechar al máximo las características específicas de sus plataformas. Lo anterior puede afectar a la facilidad de uso y resultar en un funcionamiento más lento en comparación con las aplicaciones de desarrollo nativo.
- Implementación más lenta de nuevas características: A medida que se introducen nuevas características nativas, los desarrolladores de multiplataforma deben esperar a que su framework de desarrollo sea compatible con estas características.
- Dificultades para personalizar: La personalización de la aplicación es mucho más difícil cuando la aplicación no se desarrolla de manera nativa y puede no ser posible personalizarla del todo si se utilizan frameworks multiplataforma.
- Problemas de rendimiento: Las aplicaciones que no están creadas para un sistema

operativo específico pueden enfrentarse a desafíos de comunicación y problemas de rendimiento.

1.4.3. Aplicación web móvil

La tercera opción, que no ha parado de ganar adeptos en los últimos años, es utilizar una aplicación web móvil para el desarrollo móvil. Esto implica crear una aplicación web a la que se puede acceder a través de un navegador web estándar, pero optimizarla para su uso en dispositivos móviles.

Este enfoque puede parecer un atajo, pero la realidad es que las aplicaciones web móviles pueden ser igual de efectivas, funcionales y pulidas que las desarrolladas de forma nativa. De hecho, hay muchos frameworks de trabajo disponibles diseñados para ayudar a los desarrolladores a crear aplicaciones web móviles que parezcan aplicaciones nativas cuando se ejecutan en un sistema operativo móvil específico. Las aplicaciones web móviles pueden incluso incorporar funcionalidades de los dispositivos móviles en los que se ejecutan, como acceso a la cámara, marcación de números telefónicos, obtención de datos de ubicación y mucho más [36].

Ventajas [36]

- Mantenimiento simplificado: Al utilizar lenguajes y reglas de programación estándar de sitios web, las aplicaciones web móviles son tan fáciles de crear y actualizar como los sitios web.
- Desarrollo más rápido: En el desarrollo de aplicaciones web solo se utiliza un conjunto único de códigos, lo que permite un proceso de desarrollo más rápido y sencillo. Además, debido a que no requieren la aprobación de las principales tiendas de aplicaciones, se pueden publicar mucho más rápido.
- costos más bajos: La codificación simplificada y los ciclos de desarrollo más rápidos dan lugar a menores costos de desarrollo.
- Accesibilidad óptima: Las aplicaciones web funcionan de forma muy similar a los sitios web y se puede acceder a ellas a través de cualquier navegador web estándar.

Desventajas [36]

- Dependen de Internet: Dado que a las aplicaciones web se accede a través de Internet mediante navegadores web estándar, es necesario tener una conexión para que funcionen. Sin acceso a Wi-Fi o datos móviles, los usuarios no podrán utilizar a la aplicación.
- Accesibilidad limitada a funciones: Las aplicaciones web no tienen acceso a las funciones nativas de un dispositivo o sistema operativo, lo que puede limitar su funcionalidad.
- No están vinculadas a tiendas de aplicaciones: Las aplicaciones web no están disponibles en las tiendas de aplicaciones y es posible que puedan ser ignoradas.

1.5. Diseño de interfaces de usuario (UI)

El número de herramientas dedicadas exclusivamente al diseño de interfaces y experiencias de usuario se ha incrementado de manera increíble en los últimos años.

1.5.1. Sketch

Sketch se describe a sí mismo como el kit de herramientas del diseñador todo en uno. Ha intentado cubrir todo el proceso de diseño. También se ha esforzado por trabajar con su otro software y viene con más de 700 extensiones: asistentes, complementos e integraciones.

Sketch comenzó como una aplicación solo para Mac, pero ahora ha evolucionado para incluir una aplicación web con herramientas que funcionan en cualquier navegador web. Sin embargo, todavía no tiene una aplicación nativa de Windows.

Incluye un conjunto de herramientas intuitivas de edición vectorial. Puedes iterar fácilmente en tu trabajo en cualquier etapa del proceso de diseño. Tienes un lienzo infinito con tablas de arte flexibles y ajustes preestablecidos que te permiten diseñar como quieras. Con cuadrículas personalizables y sencillas herramientas de cambio de tamaño, puedes escalar su trabajo a cualquier tamaño de pantalla.

Sketch incluye soporte de fuentes variables para darte un control infinito sobre la tipografía en tus diseños. Puedes acceder a caracteres alternativos, ligaduras y más, y Sketch es totalmente compatible con las funciones de OpenType.

La aplicación Mac incluye colaboración en tiempo real, mientras que la versión del navegador incluye herramientas multiplataforma para la retroalimentación y el intercambio con los desarrolladores. Por ejemplo, puede crear bibliotecas de símbolos, estilos de texto y capas, y variables de color y compartirlas automáticamente con los colaboradores [37].

Precio Puedes probar Sketch out con una prueba gratuita de 30 días. El plan de pago cuesta 9 \$ por editor al mes, o 99 \$ por editor por año si pagas por adelantado [37].

1.5.2. Adobe XD

Adobe XD es parte de la suite Adobe Creative Cloud y se puede utilizar tanto con Windows como con Mac, lo que le da una ligera ventaja sobre Sketch [38, 39]. Actualmente es considerado por muchos en la industria como la herramienta de diseño de referencia.

Características clave [38, 39]

- Herramienta de edición de arrastrar y soltar basada en vectores con tablas de trabajo ilimitadas y guías inteligentes que te ayudan a alinear diferentes objetos y elementos en tus diseños
- Kits de interfaz de usuario (es decir, componentes ya hechos) para Apple Design, Google Material Design, Amazon Alexa y más
- Transformaciones 3D, lo que le permite simular la profundidad y la perspectiva del objeto en sus diseños
- Componentes y estados para un diseño iterativo y escalable. Los componentes funcionan de forma intuitiva para impulsar instantáneamente los cambios en diseños o documentos completos, ahorrándote el trabajo de duplicar e implementar cambios manualmente
- Potente funcionalidad de animación, que incluye reproducción de vídeo y Lottie, microanimaciones y efectos de movimiento, grupos de desplazamiento y enlaces de anclaje
- Prototipos de voz, que le permite crear comandos de voz, integrar la reproducción de voz e integrar funciones habilitadas para voz
- Función de especificaciones de diseño para agilizar el proceso de entrega, lo que le

permite compartir prototipos interactivos, fragmentos de código CSS y activos descargables con los desarrolladores, todo a través de un solo enlace

Precio Puedes usar Adobe XD de forma gratuita con el plan XD Starter. Para obtener la funcionalidad completa de XD, puede pagar la herramienta independiente (9,99 \$/mes) o suscribirse a la suite completa de Creative Cloud (más de 20 aplicaciones, incluido Adobe XD) por 52,99 \$/mes [38, 39].

1.5.3. Origami Studio

Origami Studio es una herramienta de diseño gratuita creada por Facebook. Es principalmente una herramienta de creación de prototipos, que permite a los diseñadores construir y compartir rápidamente interfaces interactivas.

Originalmente creado para diseñadores en Facebook, Origami Studio ahora está disponible de forma gratuita para los usuarios de macOS. Es una herramienta sofisticada con una curva de aprendizaje relativamente empinada, por lo que no se recomienda como una primera herramienta de diseño de UX/UI. Pero, para los diseñadores avanzados que buscan crear prototipos realistas, vale la pena su consideración [38, 40].

Características clave Hay 6 paneles principales en Origami Studio [38, 40]:

- El lienzo de arrastrar y soltar donde dibujas y editas capas de forma, texto e imágenes que has importado de Sketch o Figma
- El editor de parches: añade interacción y animación a tu prototipo usando bloques llamados “parches”
- Lista de capas: una lista de capas en tu prototipo. En este panel, puedes añadir nuevas capas a tu prototipo y añadir interacciones a diferentes capas
- Inspector que le permite seleccionar una capa y ajustar sus propiedades
- El panel Visor donde puedes ver, interactuar y grabar tu prototipo
- La biblioteca de parches que contiene una lista de todos los parches disponibles y sus descripciones

Precio Origami Studio es totalmente gratuito de descargar y usar [38].

1.5.4. Figma

Al igual que Sketch y Adobe XD, Figma es un editor de gráficos vectoriales. Figma es ideal si está buscando una herramienta todo en uno para cubrir todo, desde la ideación hasta la creación de prototipos interactivos, envuelta en una interfaz intuitiva [38, 41].

Características clave [38, 41]

- Herramienta de bolígrafo moderna que te permite dibujar en cualquier dirección con Vector Networks
- Diseño automático para un diseño fácil de responder
- Estilos flexibles que puedes aplicar en todos tus proyectos de interfaz de usuario
- Bibliotecas accesibles con activos ya hechos que puedes arrastrar y soltar en tus archivos de diseño
- Fragmentos de código para CSS, iOS y Android, lo que garantiza una fácil entrega del desarrollador
- Plugins para automatizar y aumentar tu trabajo de diseño
- Funciones de creación interactiva de prototipos que incluyen transiciones avanzadas, superposiciones dinámicas y GIF animados
- Funcionalidad de comentarios integrada para un proceso de diseño colaborativo

Precio Figma ofrece un buen plan gratuito con hasta 3 archivos Figma, 3 archivos FigJam y colaboradores ilimitados. Para archivos ilimitados y más funcionalidad, opte por el plan Professional a 12 \$/editor por mes o el plan Organización por 45 \$/editor al mes [38, 41].

1.5.5. Penpot

Penpot es la primera plataforma de diseño y creación de prototipos de código abierto destinada a equipos entre dominios. No depende de los sistemas operativos, Penpot está basado en la web y funciona con estándares abiertos (SVG). Penpot invita a diseñadores de todo el mundo a enamorarse del código abierto mientras entusiasma a los desarrolladores con el proceso de diseño a cambio. Al estar basado en la web, Penpot

no depende de los sistemas operativos ni de las instalaciones locales, solo tendrá que ejecutar un navegador moderno. Usando SVG como ninguna otra herramienta de diseño y creación de prototipos, los archivos de Penpot tienen compatibilidad con la mayoría de las herramientas vectoriales, son compatibles con la tecnología y extremadamente fáciles de usar en la web [42].

1.6. Conclusiones parciales del capítulo I

Se realizó una revisión bibliográfica donde se identificaron las principales cuestiones respecto al tema, conceptos sobre agricultura inteligente, su necesidad para el desarrollo sostenible y los beneficios de su aplicación para el control y eficacia de la agricultura.

Las estaciones meteorológicas constituyen una de las herramientas más útiles para el desarrollo de la agricultura inteligente pues permite el muestreo de las variables meteorológicas para planear con precisión el desarrollo de la actividad agrícola tanto en sectores pequeños como en las grandes granjas.

De las opciones de desarrollo móvil, debido a sus ventajas de facilidad de implementación y se plantea el desarrollo de una aplicación móvil como la técnica más ventajosa para el control y registro de los parámetros meteorológicos de la estación.

Capítulo II. Materiales y Métodos

2.1. Metodología

Se describe la metodología de ingeniería de diseño para desarrollar el sistema. Esta metodología está basada en la literatura [9]. Después de identificarse la necesidad de crear un software para el dispositivo en cuestión y los requerimientos de este, se procede a consultar la literatura existente para con el fin de encontrar investigaciones con objetivos y condiciones similares. A partir de la investigación realizada se selecciona la arquitectura a tomar como base para la realización del software en cuestión. Luego se seleccionan las herramientas necesarias para el desarrollo del software. Esto incluye lenguajes de programación, IDEs, bibliotecas y frameworks de desarrollo. A partir de un proceso de desarrollo iterativo basado en la retroalimentación constante de los demás miembros del equipo y el cliente se llega a la solución deseada. Una vez está terminado el desarrollo la aplicación y que esta sea desplegada en el dispositivo; este debe ser probado y certificado por el INSTMET antes de ser entregado al cliente. En caso de que se detecten errores en las mediciones o en algún proceso del dispositivo, se realizarán las correcciones pertinentes y este será sometido a pruebas nuevamente.

El software del equipo se divide en dos áreas fundamentales: firmware y aplicación móvil.

2.2. Consideraciones

Previo a la programación de la estación se identificaron los siguientes aspectos que deben ser observados en el desarrollo de su software.

2.2.1. Consideraciones Físicas

La estación debe ser capaz de medir las variables meteorológicas descritas en la Tabla 2.1.

2.2.2. Consideraciones de Programación

- Se utilizará software libre para el desarrollo del software de la estación.

Tabla 2.1

Variables meteorológicas que mide la estación.

Variable	Unidad de medida	Resolución requerida	Margen de error en la medición	Cobertura
Temperatura	°C	0.14	±2	95 %
Humedad relativa	%	1.42	±5	95 %
Presión atmosférica	hPa	0.08	±1	95 %
Velocidad del viento	m/s	0.116	±5	95 %
Dirección del viento	%	12.5	±6,25	95 %
Descarga eléctrica	km	10	±6	95 %
Iluminación	lx	1	±10	95 %

- Los microcontroladores que componen la estación serán programados utilizando el framework PlatformIO.
- La estación proveerá un API REST que permitirá la autenticación, la modificación de la configuración de la estación y la descarga de las lecturas.
- El acceso al dispositivo debe estar protegido mediante credenciales configurables por el usuario.
- Se desarrollará una aplicación para Android capaz de graficar los valores medidos durante el día y descargar todas las lecturas almacenadas en la estación.
- El reporte de la estación debe presentarse en un formato amigable para los usuarios que deben interpretar los resultados.

2.3. Descripción del microcontrolador ESP32

El ESP32 es un MCU rico en funciones con Wi-Fi integrado y Conectividad Bluetooth para un amplio rango de aplicaciones. ESP32 es capaz de funcionar de forma fiable en entornos industriales, con una temperatura de funcionamiento que oscila entre -40°C y 125°C . Impulsado por circuitos de calibración avanzados, ESP32 puede eliminar dinámicamente las imperfecciones de los circuitos externos y adaptarse a los cambios en las condiciones externas.

Diseñado para dispositivos móviles, electrónica portátil y aplicaciones de IoT, ESP32 logra un consumo de energía ultrabajo con una combinación de varios tipos de software propietario. ESP32 también incluye características de última generación, como la sincronización de reloj de grano fino, varios modos de potencia y escalado de potencia dinámica.

ESP32 está altamente integrado con interruptores de antena incorporados, balun de RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtros y módulos de gestión de energía. ESP32 añade una funcionalidad y versatilidad invaluables a sus aplicaciones con requisitos mínimos de placas de circuito impreso (PCB).

ESP32 puede funcionar como un sistema independiente completo o como un dispositivo esclavo a una MCU host, reduciendo la sobrecarga de la pila de comunicación en el procesador principal de aplicaciones. ESP32 puede interactuar con otros sistemas para proporcionar funcionalidad Wi-Fi y Bluetooth a través de sus interfaces SPI / SDIO o I2C / UART [43].

Los criterios tenidos en cuenta para la selección del ESP32 fueron su reducido precio, su rendimiento más que suficiente para la aplicación en cuestión y el hecho de integrar Wi-Fi en el chip.

2.4. Definición de Sensores a Utilizar

2.4.1. Temperatura y Humedad

Para la lectura de la temperatura y la humedad ambiente se utilizó el sensor DHT11. Un sensor de bajo costo que es capaz de leer ambas variables. El análisis de la literatura y las pruebas conducidas en el laboratorio determinaron que la precisión de este sensor es adecuada para los resultados esperados del dispositivo. Su principio de funcionamiento en se basa en un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

El DHT11 está conformado por 4 pines. El primero a la izquierda es el de la fuente de alimentación, el segundo es la transmisión de datos, el tercero no se utiliza y el cuarto va a tierra. En la Figura 2.1 se muestra la distribución de pines del DHT11 [30].

Protocolo de comunicación [30] :

El DHT11 está conformado por un microcontrolador que se encarga de realizar la comunicación, es un bus de una sola línea para la transmisión y la recepción de datos.

Características [30]

- Puede estar localizado a 25 metros del controlador sin tener pérdida de datos por la distancia del cable.
- Se encuentran calibrados de fábrica. Tienen su calibración almacenada en memoria, este coeficiente de calibración se utiliza en las mediciones realizadas por el dispositivo.
- Consumo de corriente reducido
- Fácil de reemplazar.

Especificaciones Técnicas del DHT11 [30]

- Alimentación: $3,3V_{dc} \leq V_{cc} \leq 6V_{dc}$.
- Rango de medición de temperatura: $-40^{\circ}C$ a $80^{\circ}C$.

- Precisión de medición de temperatura: $< \pm 0,5^\circ\text{C}$.
- Resolución de Temperatura: $0,1^\circ\text{C}$.
- Rango de medición de humedad de 0 a 100 % RH.
- Precisión de medición de humedad: 2 % RH.
- Resolución de medición de humedad: 0,1 % RH.
- Tiempo de censado 3 s.

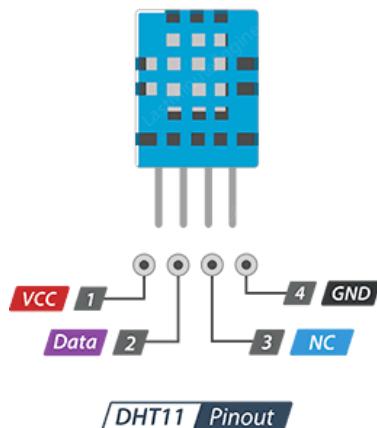


Figura 2.1

Distribución de pines de un sensor DHT11. De izquierda a derecha: alimentación, datos, sin función, tierra.

2.4.2. Sensor de velocidad del viento (Anemómetro)

El sensor del anemómetro fue desarrollado por el equipo de electrónica de la empresa utilizando sensores de efecto Hall reciclados como los encontrados en los ventiladores de las computadoras. El anemómetro es considerado un equipo meteorológico, que se utiliza para la predicción del clima, específicamente la velocidad del viento que incide sobre él [30].

Funcionamiento: El anemómetro desarrollado por el equipo de hardware es un elemento mecánico que consiste en una hélice con una pieza magnética adherida a una de las paredes del buje. En la base del dispositivo se encuentra un sensor de efecto Hall. En la Figura 2.2 se aprecia el diseño del mismo. El pulso generado por el sensor de Hall

ante la presencia de un campo magnético activa una interrupción en el Arduino Nano incrementando el contador de vueltas. El Arduino cuenta las vueltas durante un segundo, por lo que este número equivale directamente a la velocidad angular del anemómetro. Utilizando esta información el procesador principal se encarga de obtener la velocidad en m/s mediante la ecuación 2.1.

$$S = R \times 2 \times \pi \times \omega \quad (2.1)$$

Donde:

- S : Velocidad lineal en m/s del anemómetro.
- R : Radio del anemómetro.
- ω : Velocidad angular.

2.4.3. Sensor de dirección del viento (Vela)

El sensor de dirección del viento también fue desarrollado utilizando tres imanes y cuatro sensores hall. Con este arreglo es posible obtener 3 bits de resolución en la medición de la dirección del viento. En la Figura 2.3 se muestra la distribución del hardware de la vela. De esta forma siempre están activos uno o dos sensores en un instante determinado. Las posiciones posibles de la vela generan los valores que se muestran en la Tabla 2.2.

2.4.4. Sensor de lluvia (Pluviómetro)

El pluviómetro desarrollado consiste en un embudo y un mecanismo de balde basculante [44, 45]. La báscula tiene una capacidad de 20 mL en cada extremo. En la Figura 2.4 se ilustra el diseño de este componente.

La medida de las precipitaciones se obtiene contando el número de veces que la válvula ha oscilado en el día y utilizando la ecuación 2.2.

$$P_{mm} = \frac{n \times V_e}{R \times 2 \times \pi} \quad (2.2)$$

Donde:

- n : Número de oscilaciones de la báscula.

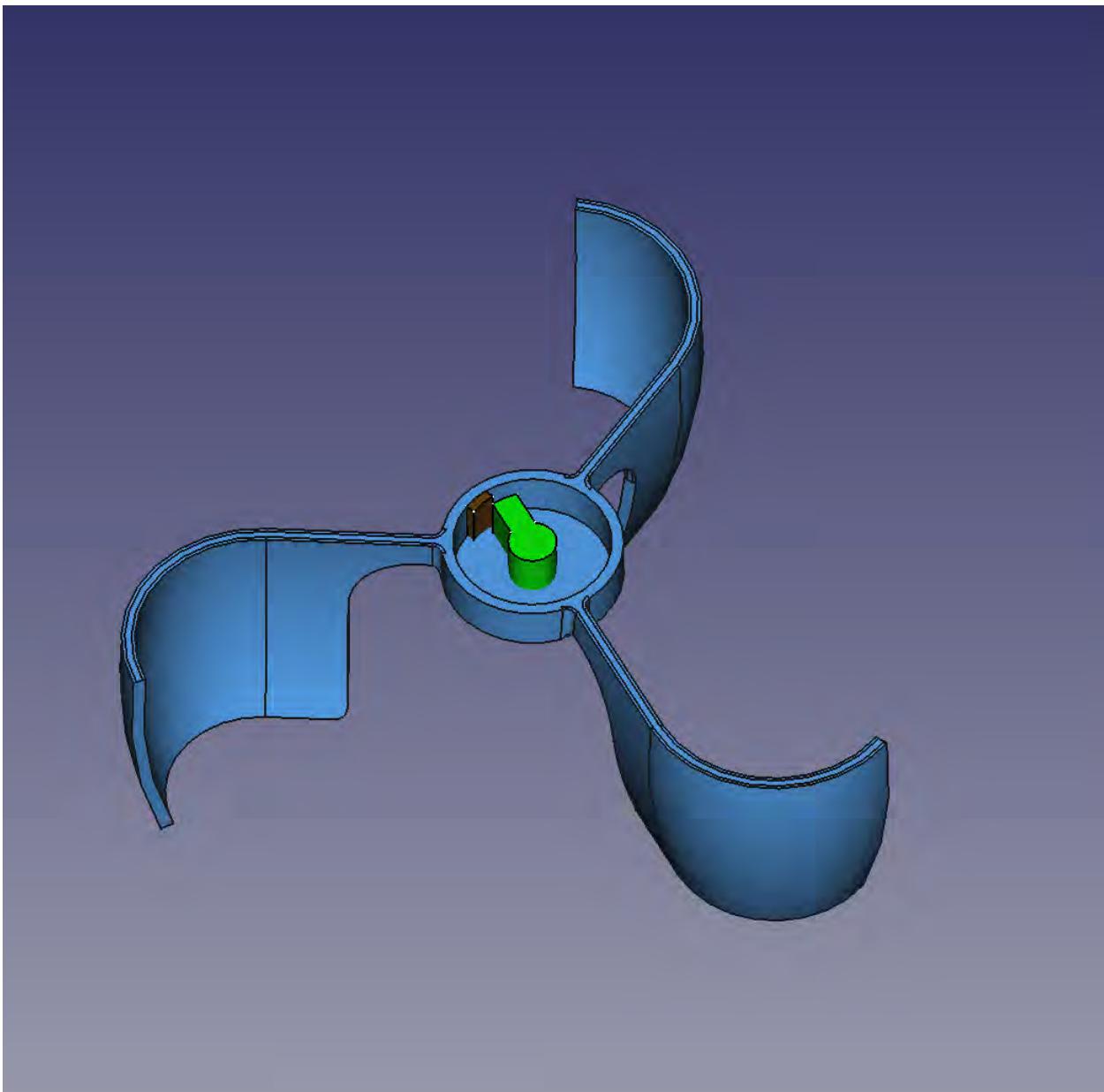


Figura 2.2

Componentes del anemómetro. Hélice (azul), imán (marrón), sensor de efecto Hall (verde).

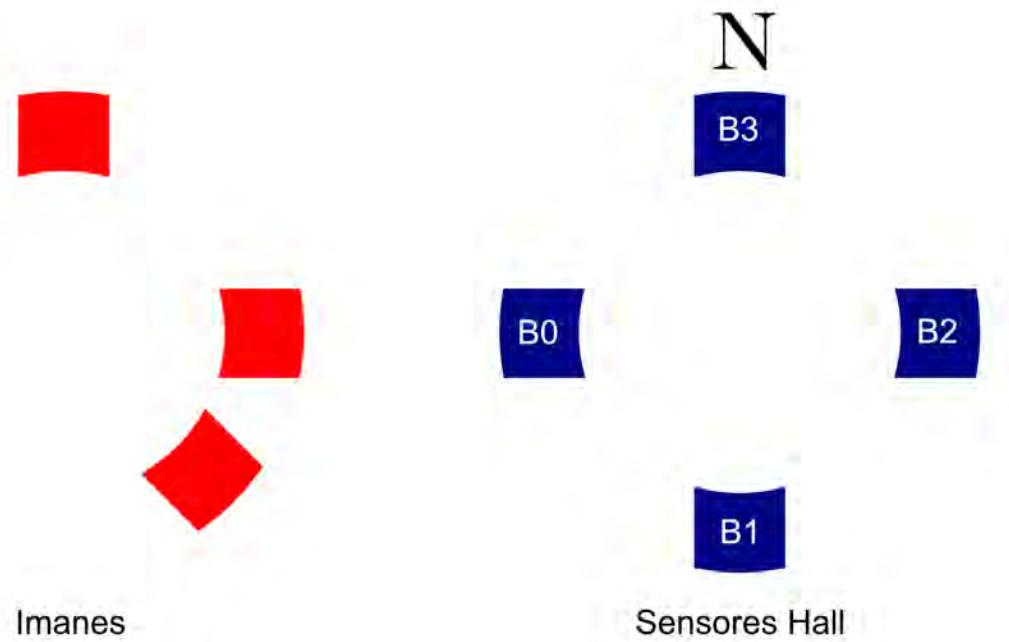


Figura 2.3

Esquema representativo de la distribución de los sensores de la veleta cuando se encuentra en la posición norte.

- V_e : Capacidad volumétrica de cada copa en litros (L).
- P_{mm} : Valor de precipitación en milímetros (mm).
- R : Radio de la sección superior del embudo del pluviómetro.

2.4.5. Sensor de iluminación

El sensor de iluminación utilizado es un GY-30 Bh1750. Este es un sensor de intensidad lumínica con un convertidor análogo-digital de 16 bit. La información de este sensor se da en lx (lx m) [46].

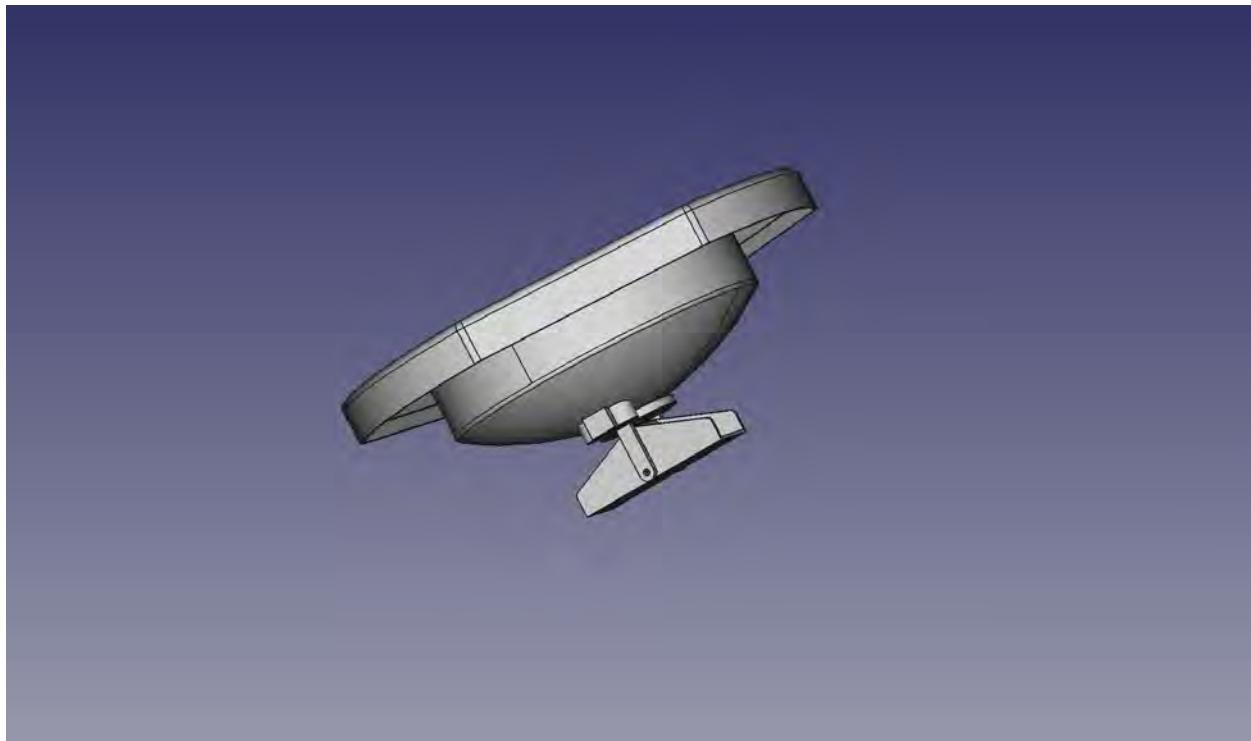
Características [46]:

- Rango de voltaje de operación de 3,3 V-6,0 V.
- Interfaz de comunicación I2C.
- Rango de respuestapectral aproximadamente igual al del ojo humano.
- Baja influencia del espectro infrarrojo.

Tabla 2.2

Conversión de lectura de la veleta a dirección.

Dirección	Código Binario	Código Hexadecimal
<i>N</i>	1100	0xC
<i>NE</i>	0010	0x2
<i>E</i>	1001	0x9
<i>SE</i>	0100	0x4
<i>S</i>	0011	0x3
<i>SO</i>	1000	0x8
<i>O</i>	0110	0x6
<i>NO</i>	0001	0x1

**Figura 2.4**

Diseño del pluviómetro. El mecanismo volteá y vacía la cubeta cada vez que uno de los lados se llena.



Figura 2.5

Sensor de presión BMP180.

2.4.6. Sensor de detección de rayos

El sensor de detección de descargas eléctricas fue desarrollado en el laboratorio. A partir de un circuito de amplificación de señales se genera un pulso que es usado para contar el número de descargas eléctricas en el radio de acción.

2.4.7. Sensor de presión atmosférica

El sensor de presión atmosférica seleccionado es el BMP180. Este es un sensor de bajo costo y alta disponibilidad con una cota de error de $\pm 1 \text{ hPa}$ y una resolución de $0,02 \text{ hPa}$. Este sensor aparece en la Figura 2.5.

El sensor BMP180 está diseñado para leer la presión atmosférica. Definiendo esta es la fuerza que el aire ejerce sobre la superficie de la tierra. La presión atmosférica se debe a la columna de aire que está en una determinada área que se extiende desde este punto hasta el límite superior de la atmósfera, debido a esto, si medimos la presión atmosférica en los puntos más altos la presión será baja ya que hay menos cantidad de aire sobre nosotros [30].

La presión atmosférica también varía de acuerdo a las condiciones climáticas en especial con la temperatura, pues esta cambia la densidad del aire, por tanto, cambia el peso.

El sensor BMP180 está diseñado para conectarse directamente a un microcontrolador a través del bus I2C.

2.5. Conexión de periféricos

Para el correcto funcionamiento de la estación es necesario conectar varios periféricos al ESP32. En la Figura 2.6 se muestra las conexiones a los periféricos de la estación. Los protocolos de comunicación utilizados en este dispositivo son el OneWire, el I2C y el SPI. En la Tabla 2.3 se listan los periféricos utilizados.

Tabla 2.3

Listado de periféricos y sus funciones

Periférico	Protocolo	Función
Arduino Nano	I2C	Sensor inteligente. Este CI es el encargado de leer los sensores fabricados por el equipo. Funciona como un sensor compuesto.
BMP180	I2C	Sensor de presión atmosférica.
ElectroPeak Micro SD TF Card Adapter	SPI	Lector de tarjeta Micro SD.
DHT11	OneWire	Sensor de humedad y temperatura.
DS3231 RTC MODULE	I2C	Reloj de tiempo real.

2.6. Rutinas principales del dispositivo

La estación atiende de manera simultánea la adquisición, el manejo de energía y el servidor web. Una vez recibida una petición de tipo OTA el resto de subrutinas se detienen y solo se atiende la actualización del dispositivo. En las Figuras 2.7 y 2.8 aparece descrito este flujo.

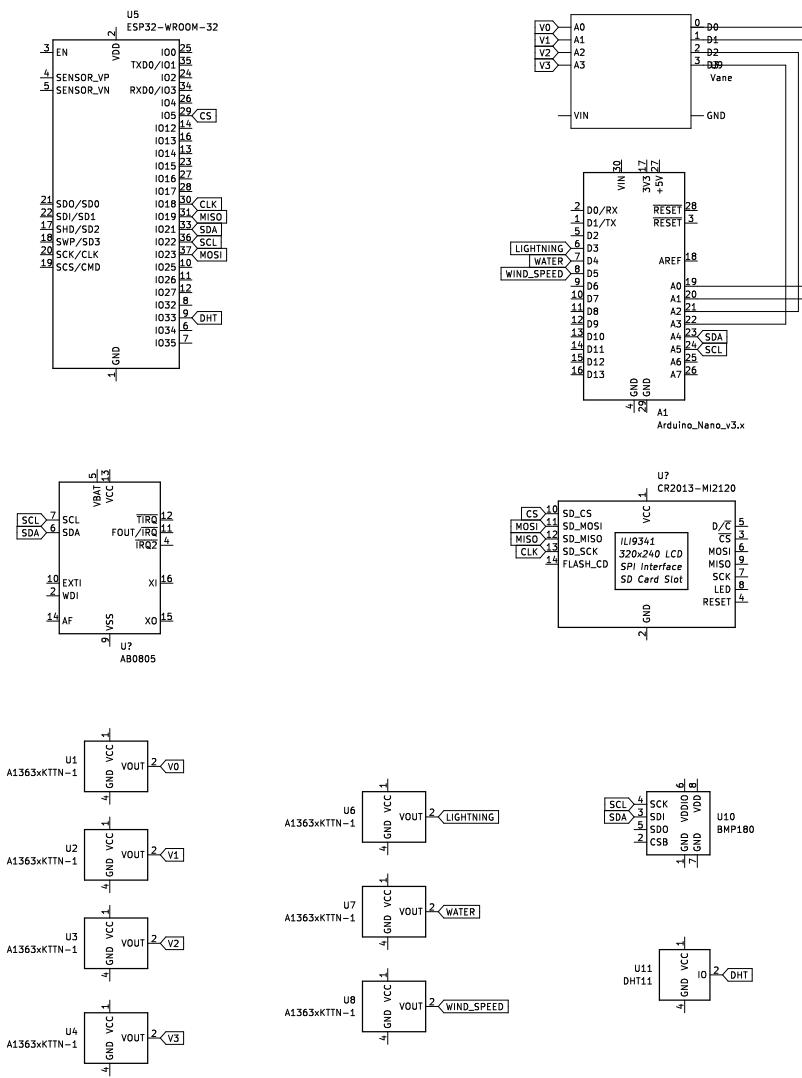


Figura 2.6

Diagrama de conexión de los periféricos de la estación.

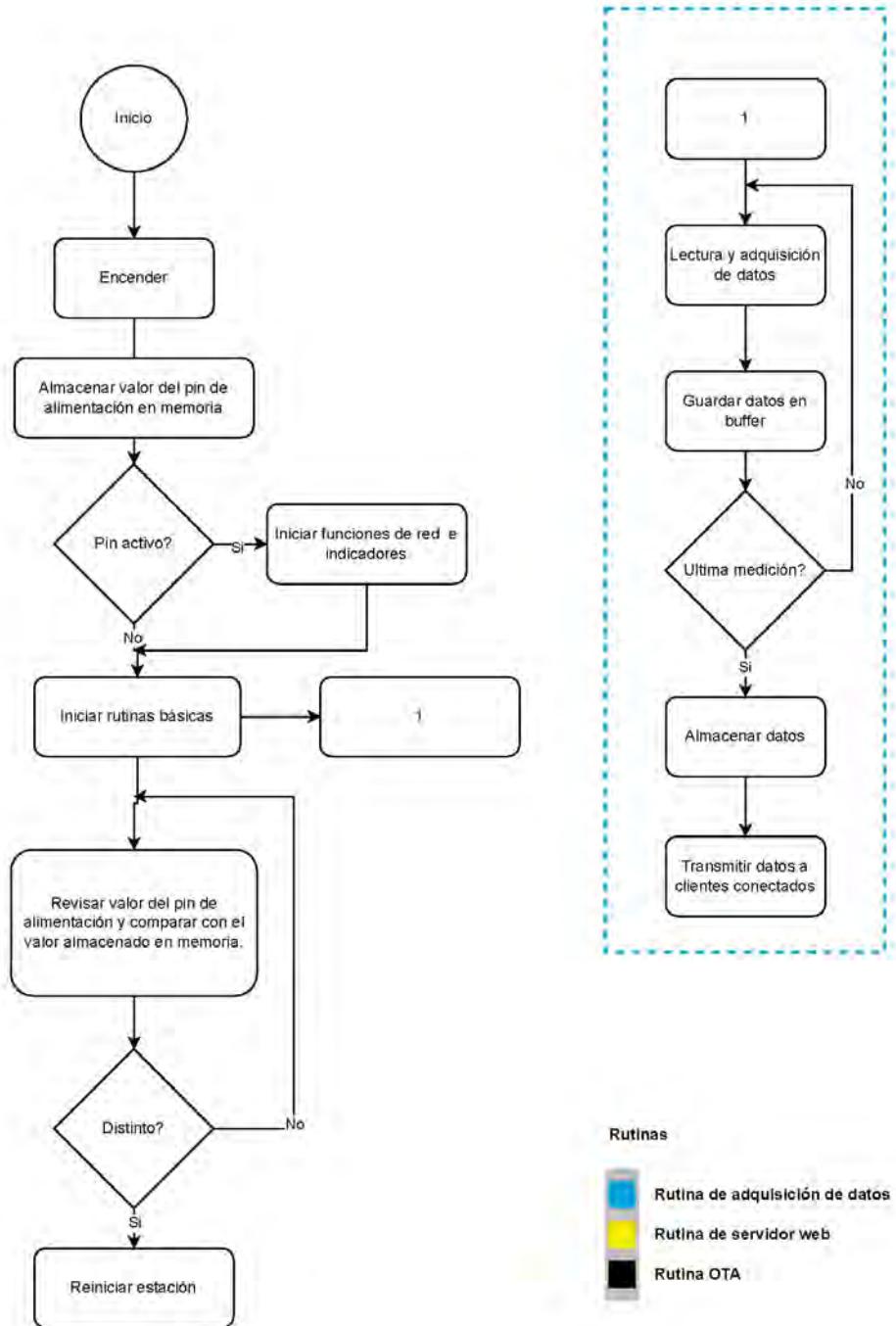


Figura 2.7

Diagrama de flujo de las rutinas principales de la estación atendidas en paralelo (proceso principal y adquisición de datos).

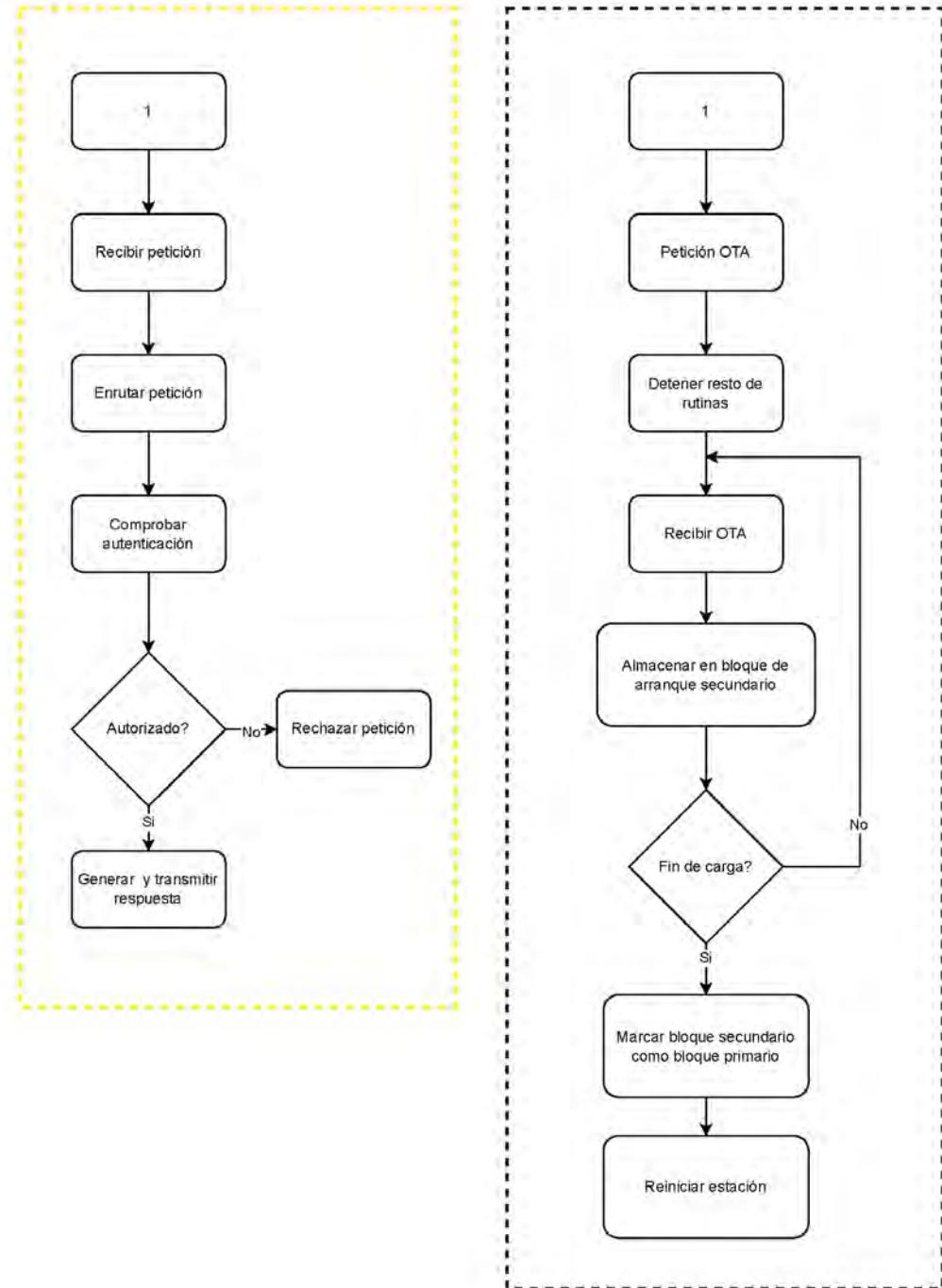


Figura 2.8

Diagrama de flujo de las rutinas principales de la estación atendidas en paralelo [servidor web(izquierda) y rutina OTA(derecha)].

2.7. Definición del software libre a utilizar

Para evitar problemas legales relacionados al uso de la propiedad intelectual todas las bibliotecas y frameworks utilizados en la programación del dispositivo son de código abierto.

2.7.1. PlatformIO

Para la programación de los microcontroladores se utilizó el framework PlatformIO. PlatformIO es framework multiplataforma y multiarquitectura de programación embebida [47].

Problemática [47]

- El principal problema que repele a la gente del mundo embebido es el complicado proceso de configuración del software de desarrollo para una MCU/placa específica: cadenas de herramientas, IDE de un proveedor propietario (que a veces no es gratuito) y, lo que es más, conseguir un ordenador con un sistema operativo compatible con ese software.
- Múltiples plataformas de hardware (MCUs, placas) requieren diferentes cadenas de herramientas, IDEs, etc, y, respectivamente, gastar tiempo en aprender nuevos entornos de desarrollo.
- Encontrar bibliotecas adecuadas y ejemplos de código que muestren cómo utilizar los sensores, actuadores, etc. más comunes.
- Compartir proyectos embebidos entre los miembros del equipo, independientemente del sistema operativo con el que prefieran trabajar.

Funcionamiento [47]

- Los usuarios eligen la plataforma en la que están interesados de una lista.
- PlatformIO descarga las cadenas de herramientas y las instala automáticamente.
- Los usuarios desarrollan el código, lo compilan, lo preparan y lo suben a todas las plataformas que deseen.

2.8. Envío de datos

2.8.1. Servidor Web

Una de las tareas del programa principal es la de servir los datos para consumo de posibles aplicaciones clientes. Para esto se desarrolló una API REST general que permite servir los datos a distintos dispositivos de forma homogénea.

Funciones del servidor web En la Tabla 2.4 aparecen todas las rutas expuestas por la aplicación.

A excepción del Endpoint de autenticación, todos los demás endpoints están protegidos con un Token de portador. Este token es generado por el endpoint de autenticación al recibir las credenciales correctas almacenadas en el dispositivo. Este token tiene un tiempo de expiración. La implementación de este sistema está basada en JWT.

2.8.2. WebSocket

Para la transmisión en tiempo real se utiliza el protocolo de WebSocket. Este permite, una vez establecida la conexión inicial, enviar datos al cliente sin que este los solicite.

2.9. Actualización (OTA)

El firmware de la estación se actualiza vía OTA. El mecanismo de actualización OTA permite a un dispositivo actualizarse a sí mismo basado en la información recibida mientras el firmware normal está corriendo en el ESP32.

OTA requiere configurar la tabla de particiones de forma tal que haya al menos dos particiones “slot para aplicación OTA” y una “Partición de Datos OTA”.

Las funciones de operación de OTA escriben la nueva imagen de firmware a cualquiera de las particiones que no esté marcada como partición de arranque en ese momento.

Después de una actualización OTA, la “Partición de Datos OTA” se actualiza para especificar que “slot para aplicación OTA” debe iniciarse en el próximo arranque [48].

Tabla 2.4

Rutas disponibles en el servidor web.

Ruta	Verbo	Función
/testconn	GET	Probar la conexión al API
/Wi-Fis	GET	Obtener lista de redes Wi-Fi disponibles.
/net	GET	Obtener la configuración de red del dispositivo.
/net	POST	Actualizar la configuración de red del dispositivo.
/user	POST	Actualizar las credenciales de acceso al dispositivo.
/authenticate	POST	Iniciar sesión en la estación.
/update	POST	Realizar actualización del firmware del dispositivo vía OTA.
/reset	GET	Reiniciar configuraciones de fábrica del dispositivo.
/storage	GET	Obtener espacio disponible en la tarjeta Micro SD.
/frequency	POST	Cambiar frecuencia de las lecturas.
/logs	GET	Obtener los registros de las lecturas realizadas durante el día que transcurre.
/logs-global	GET	Descargar todas las lecturas almacenadas en el dispositivo.
/battery/save	GET	Activar el modo de ahorro de batería manualmente.
/format	GET	Borrar todo el contenido de la tarjeta SD.
/firmware-version	GET	Obtener la versión de firmware instalada actualmente en el dispositivo.

2.10. Desarrollo de la aplicación móvil

La aplicación móvil se realizó utilizando tecnología híbrida. Dado que no es necesario utilizar funciones nativas del dispositivo esta opción permite utilizar una interfaz altamente personalizada sin la necesidad de reescribirla para distintas plataformas.

2.10.1. Quasar V1

Para desarrollar la aplicación se utilizó el framework web Quasar V1 basado en el micro-framework progresivo Vue.js 2. Este fue seleccionado por la familiaridad del desarrollador con aplicaciones web utilizando este framework y las distintas configuraciones que presenta que facilitan el despliegue de manera simultánea hacia distintos dispositivos.

2.10.2. Capacitor

Para generar la aplicación Android utilizada en el proyecto se seleccionó el framework Capacitor el cual permite empaquetar aplicaciones web como aplicaciones nativas.

2.10.3. Diseño de la interfaz

Para el diseño de la interfaz se seleccionó Adobe XD. La razón de esta elección se debe a que, en el momento en que se diseñó el software, Adobe XD era gratuito, estaba disponible tanto en Windows como macOS y era una de las opciones más avanzadas en este departamento. A esto sumar que es una aplicación de escritorio lo que la hace más confiable que opciones basadas en la web.

Una vez se realiza el prototipo con Adobe XD, se comparte el diseño entre los miembros del equipo de desarrollo para obtener una retroalimentación. Durante este análisis se evalúan fuentes, colores, tipografías e interacciones con el usuario.

Una vez el equipo llega a un acuerdo en el diseño se procede a la maquetación de la interfaz con Vue.js para convertir estos prototipos estáticos en una interfaz de usuario real. Una vez terminado este proceso se procede a agregar la lógica del negocio a la aplicación como las llamadas al API y el manejo del estado.

2.11. Conclusiones parciales del capítulo II

Se confeccionó el marco teórico de la investigación, los conceptos de los parámetros a medir, los sensores a utilizar, y las características que debe cumplir la interfaz de la aplicación en conjunto con las necesidades del dispositivo.

Se definieron las fórmulas para el cálculo y calibración de los sensores autóctonos.

Para el desarrollo de la aplicación móvil se decidió emplear tecnología híbrida con el framework web Quasar V1 basado en el microframework progresivo Vue.js para lograr una interfaz personalizada y el despliegue de la aplicación en distintos dispositivos.

Para el diseño de la interfaz se seleccionó Adobe XD, que constituye una de las opciones más avanzadas de la industria en este departamento.

Capítulo III. Análisis y resultados

La estación fue evaluada en el instituto de meteorología para su calibración.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de las calibraciones que el instituto se encontraba en posición de hacer. La eficacia del resto de los sensores deberá ser validada en el campo, e idóneamente con otras estaciones dentro de la misma categoría para crear un posible patrón para las mediciones. En los anexos podemos observar capturas de los resultados emitidos por el INSTMET.

3.1. Resultado de las pruebas de sensores

3.1.1. Temperatura

La temperatura fue medida en el rango de 5,6 °C a 44,9 °C. El error máximo obtenido fue de 1,9 °C lo que lo sitúa dentro del rango de error aceptable.

3.1.2. Humedad Relativa

La humedad relativa fue medida con un patrón en el rango de 40,0 °C a 79 °C. El error máximo obtenido es de 5 %, valor que se encuentra justo en el límite del error admisible.

3.1.3. Presión atmosférica

La presión atmosférica fue analizada con un patrón en el rango de 880,0 hPa a 1040,0 hPa. Las mediciones arrojaron una desviación constante de 1 hPa por lo que el ajuste requerido para corregir la medición es fundamentalmente trivial.

3.1.4. Anemómetro

La velocidad del viento fue medida con un patrón en el rango de 5,00 m/s a 19,98 m/s. El error máximo obtenido es de 3,77 m/s. Este valor se sitúa cómodamente dentro del rango de error admisible; por lo que el sensor se considera apto para la aplicación propuesta.



Figura 3.1

Aplicación desplegada en dispositivo Android mostrando las lecturas de la estación en tiempo real.

3.1.5. Correcciones:

La primera ronda de pruebas arrojó pequeños errores de precisión en el equipo. Siguiendo las indicaciones del laboratorio las mediciones fueron corregidas utilizando aproximaciones lineales. Actualmente el equipo se encuentra en espera de una segunda ronda de pruebas.

3.2. Resultados de aplicación móvil

La aplicación móvil fue desplegada y probada en distintos dispositivos Android para evaluar la correcta recepción de los datos. En la Figura 3.1 se muestra la aplicación funcionando mostrando los valores recibidos desde la estación en tiempo real.

3.3. Análisis Económico

3.3.1. Aseguramiento de material

En la sede de la MIPYME ESPOLETA Tecnologías S.R.L. se encuentran todos los materiales necesarios para la fabricación y programación del equipo.

3.3.2. Recursos humanos

El trabajo se realizará durante un período de un año (12 meses). Para la realización de este proyecto se cuenta con dos tutores los cuales estarán encargados del asesoramiento de este Trabajo de Diploma y con dos aspirantes. La Tabla 3.1 presenta los gastos de salario correspondientes a los participantes, así como los días dedicados por cada uno. El siguiente análisis corresponde a los meses comprendidos desde enero de 2021 hasta diciembre de 2021. La forma de calcular los salarios básicos (SB) aparece en la expresión 3.1.

$$SB = \sum_i^n A_i * B_i \quad (3.1)$$

donde:

n: Número total de participantes

A_i: Días dedicados a la investigación por participantes.

B_i: Salario diario por participantes (igual al salario mensual dividido por 24).

Tabla 3.1

Gastos por concepto salarial y de seguridad social.

trabajador	sal / mensual	sal/diario	días/invest.	sal/básico	sal/comp	seg/soc
Tutor 1	6940	289.17	80	23133.33	2102.82	3533 .06
Tutor 2	6940	289.17	80	23133.33	2102.82	3533 .06
Aspirante	400	16.67	120	2000	181.80	305 .45

3.3.3. Recursos materiales

La Tabla 3.2 muestra los recursos materiales empleados y sus respectivos precios.

Tabla 3.2

Gastos por materiales directos

Dispositivo	Cant	Precio USD	Precio CUP
Laptop	1	700	16800
ESP32	2	3	72
Arduino Nano	2	2	48
DHT11	1	0.50	12
Totales	4	705.50	16932

3.3.4. Recursos financieros complementarios

La Tabla 3.3 muestra los gastos totales.

El Salario Complementario, definido en la expresión 3.2 es 9.09 % del salario total anual:

$$SC = 0,0909 * SB \quad (3.2)$$

La Seguridad Social 3.3 es 14 % del total de los salarios:

$$SS = 0,14 * (SB + SC) \quad (3.3)$$

Entonces el costo directo de la investigación está dado por 3.4.

$$CD = SB + SC + SS + MD + DP + OG \quad (3.4)$$

El costo indirecto estimado está dado por 3.5.

$$CI = 1,4063 * SB \quad (3.5)$$

Finalmente, el costo total estimado de la investigación está dado por 3.6.

$$CT = CD + CI \quad (3.6)$$

Tabla 3.3*Gastos Totales*

Gastos Totales	Cant. CUP
OTROS GASTOS	0
COSTO INDIRECTO	61009.98
COSTO DIRECTO	70896.64
COSTO TOTAL (CT)	131906.62

3.4. Conclusiones parciales del capítulo III

Se desarrolló una aplicación móvil para controlar los parámetros de la estación VORTICE y el monitoreo de los datos. Se mostró la aplicación funcionando mostrando valores medidos por la estación en tiempo real.

Fue posible implementar todas las herramientas concebidas de funcionalidad: Conectar con la estación mediante Wi-Fi, visualizar los datos registrados durante el día, mostrar las lecturas de la estación en tiempo real, almacenar los datos en el dispositivo en formato OTA.

Se realizó el análisis económico del proyecto teniendo en cuenta los gastos indirectos, los gastos directos por materiales de investigación y el gasto total del proyecto.

Conclusiones

Este Trabajo de Diploma forma parte del proyecto de desarrollo de la estación meteorológica VORTICE, llevado a cabo en la MIPYME ESPOLETA Tecnologías S.R.L.; encaminado a la implementación del software para este equipo. Con la realización del presente proyecto se implementó un software que permite el control total del hardware de la estación VORTICE, el almacenamiento de los datos registrados por la estación y la transmisión de estos a sistemas externos; cumpliendo de esta manera con el principal objetivo propuesto.

Se definieron las funcionalidades necesarias para la ejecución de los procesos de producción mediante el estudio del principio de funcionamiento de la estación meteorológica y la captura de los requerimientos del software como parte de su ciclo de vida

Estudios realizados demuestran que existe una necesidad a nivel global y en Cuba de equipamiento meteorológico en el sector agrícola.

Las pruebas de seguimiento de código y la interacción con la aplicación mostraron que la estación VORTICE implementa la comunicación de manera efectiva, pues responde a los comandos y funcionalidades desarrolladas.

Las pruebas iniciales del equipo arrojaron errores en las lecturas con desviaciones lo suficientemente pequeñas para ser corregidas mediante ajustes lineales.

Recomendaciones

- Se hace necesario la investigación de un sistema de medición más especializado para la veleta de la estación. Se recomienda estudiar la posibilidad de un sistema resistivo. La solución actual es buena para aplicaciones relativamente simples pero el mejoramiento del sistema permitiría obtener mejor resolución en los parámetros de registro; lo cual aumentaría el rango de aplicación del equipo a sectores más especializados.
- Se necesita trabajar en la búsqueda de alternativas a Adobe XD para la confección de la interfaz ya que este producto dejó de estar disponible de forma gratuita. Se incita a continuar investigando esta vía y se proponen como variantes los programas Origami Studio y Penpot por su disponibilidad totalmente gratuita.
- Se invita a realizar diversos análisis estadísticos empleando la estación a fin de poder lograr una mejor caracterización de su aplicación como tecnología biomédica.

Referencias

- [1] Munir A. Hanjra y M. Ejaz Qureshi. "Global Water Crisis and Future Food Security in an Era of Climate Change". En: *Food Policy* 35.5 (1 de oct. de 2010), págs. 365-377. ISSN: 0306-9192. DOI: 10.1016/j.foodpol.2010.05.006. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030691921000059X> (visitado 23-10-2022).
- [2] Hongpeng Guo et al. "The Impact of Climate Change on the Efficiency of Agricultural Production in the World's Main Agricultural Regions". En: *Environmental Impact Assessment Review* 97 (1 de nov. de 2022), pág. 106891. ISSN: 0195-9255. DOI: 10.1016/j.eiar.2022.106891. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925522001573> (visitado 23-10-2022).
- [3] Anoek J. van Tilburg y Paul F. Hudson. "Extreme Weather Events and Farmer Adaptation in Zeeland, the Netherlands: A European Climate Change Case Study from the Rhine Delta". En: *Science of The Total Environment* 844 (20 de oct. de 2022), pág. 157212. ISSN: 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157212. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722043108> (visitado 23-10-2022).
- [4] Genowefa Blundo-Canto et al. "Scaling Weather and Climate Services for Agriculture in Senegal: Evaluating Systemic but Overlooked Effects". En: *Climate Services* 22 (1 de abr. de 2021), pág. 100216. ISSN: 2405-8807. DOI: 10.1016/j.cliser.2021.100216. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880721000042> (visitado 23-10-2022).
- [5] Alex Zizinga et al. "Climate Change and Maize Productivity in Uganda: Simulating the Impacts and Alleviation with Climate Smart Agriculture Practices". En: *Agricultural Systems* 199 (1 de mayo de 2022), pág. 103407. ISSN: 0308-521X. DOI: 10.1016/j.agsy.2022.103407. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X22000439> (visitado 23-10-2022).

- [6] Thomas Jefferson and the telegraph: highlights of the U.S. weather observer program / NOAA Climate.gov. URL: <http://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/thomas-jefferson-and-telegraph-highlights-us-weather-observer> (visitado 24-10-2022).
- [7] Lewis Fry Richardson. *Weather Prediction by Numerical Process*. Col. de University of California Libraries. Cambridge, The University press, 1922. 262 págs. URL: <http://archive.org/details/weatherpredictio00richrich> (visitado 24-10-2022).
- [8] Historia de la Meteorología en Cuba. *Historia de la Meteorología en Cuba - EcuRed*. URL: https://www.ecured.cu/Historia_de_la_Meteorolog%C3%ADA_en_Cuba (visitado 24-10-2022).
- [9] Jeyeon Kim et al. "Development of KOSEN Weather Station and Provision of Weather Information to Farmers". En: *Sensors (Basel, Switzerland)* 22.6 (9 de mar. de 2022), pág. 2108. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22062108. pmid: 35336279.
- [10] *Glosario: Estaciones Meteorológicas*. URL: https://www.meteogalicia.gal/web/informacion/glosario/est1.action?request_locale=es (visitado 18-12-2022).
- [11] J. S. Botero-Valencia, M. Mejia-Herrera y Joshua M. Pearce. "Low Cost Climate Station for Smart Agriculture Applications with Photovoltaic Energy and Wireless Communication". En: *HardwareX* 11 (1 de abr. de 2022), e00296. ISSN: 2468-0672. DOI: 10.1016/j.ohx.2022.e00296. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067222000414> (visitado 23-10-2022).
- [12] Gabriel F. L. R. Bernardes et al. "Prototyping Low-Cost Automatic Weather Stations for Natural Disaster Monitoring". En: *Digital Communications and Networks* (17 de mayo de 2022). ISSN: 2352-8648. DOI: 10.1016/j.dcan.2022.05.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864822000931> (visitado 23-10-2022).

- [13] Guilherme Tomaschewski Netto y Jorge Arigony-Neto. "Open-Source Automatic Weather Station and Electronic Ablation Station for Measuring the Impacts of Climate Change on Glaciers". En: *HardwareX* 5 (1 de abr. de 2019), e00053. ISSN: 2468-0672. DOI: 10.1016/j.ohx.2019.e00053. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067218300749> (visitado 23-10-2022).
- [14] Mirza Junaid Ahmad, Gun-ho Cho y Kyung Sook Choi. "Historical Climate Change Impacts on the Water Balance and Storage Capacity of Agricultural Reservoirs in Small Ungauged Watersheds". En: *Journal of Hydrology: Regional Studies* 41 (1 de jun. de 2022), pág. 101114. ISSN: 2214-5818. DOI: 10.1016/j.ejrh.2022.101114. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581822001276> (visitado 23-10-2022).
- [15] Fulu Tao et al. "Climate Warming Outweighed Agricultural Managements in Affecting Wheat Phenology across China during 1981–2018". En: *Agricultural and Forest Meteorology* 316 (1 de abr. de 2022), pág. 108865. ISSN: 0168-1923. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.108865. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192322000582> (visitado 23-10-2022).
- [16] Amos Apraku, John F. Morton y Benjamin Apraku Gyampoh. "Climate Change and Small-Scale Agriculture in Africa: Does Indigenous Knowledge Matter? Insights from Kenya and South Africa". En: *Scientific African* 12 (1 de jul. de 2021), e00821. ISSN: 2468-2276. DOI: 10.1016/j.sciaf.2021.e00821. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621001253> (visitado 23-10-2022).
- [17] Muhammad Asim Ibrahim y Marie Johansson. "Combating Climate Change – What, Where and How to Implement Adaptive Measures in the Agriculture Sector of Öland, Sweden, Keeping in View the Constraints of Carrying Capacities and Risk of Maladaptation". En: *Land Use Policy* 122 (1 de nov. de 2022), pág. 106358. ISSN: 0264-8377. DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.106358. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837722003854> (visitado 23-10-2022).

- [18] *What Is Smart Farming? Definition from WhatIs.Com.* URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-farming> (visitado 13-12-2022).
- [19] *Basics of LoRa Technology for Crop and Livestock Management.* NDSU Agriculture and Extension. 15 de ene. de 2021. URL: <https://www.ag.ndsu.edu:8000/agriculture/ag-hub/publications/basics-lora-technology-crop-and-livestock-management> (visitado 13-12-2022).
- [20] *GPS.Gov: Agricultural Applications.* URL: <https://www.gps.gov/applications/agriculture/> (visitado 13-12-2022).
- [21] Heyu Yin et al. "Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture". En: *Advanced Materials* 33.20 (2021), pág. 2007764. ISSN: 1521-4095. DOI: 10.1002/adma.202007764. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.202007764> (visitado 13-12-2022).
- [22] *Making a Rain Gauge — Science Learning Hub.* URL: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/2206-making-a-rain-gauge> (visitado 13-12-2022).
- [23] Yufeng Zou et al. "Quantifying the Compensatory Effect of Increased Soil Temperature under Plastic Film Mulching on Crop Growing Degree Days in a Wheat–Maize Rotation System". En: *Field Crops Research* 260 (1 de ene. de 2021), pág. 107993. ISSN: 0378-4290. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107993. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429020312776> (visitado 13-12-2022).
- [24] Dan Wang et al. "Innovation of the Double-Maize Cropping System Based on Cultivar Growing Degree Days for Adapting to Changing Weather Conditions in the North China Plain". En: *Journal of Integrative Agriculture* 19.12 (1 de dic. de 2020), págs. 2997-3012. ISSN: 2095-3119. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63213-0. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920632130> (visitado 13-12-2022).
- [25] Sebastian Sadowski y Petros Spachos. "Wireless Technologies for Smart Agricultural Monitoring Using Internet of Things Devices with Energy Harvesting Capabilities". En: *Computers and Electronics in Agriculture* 172 (1 de mayo de 2020),

pág. 105338. ISSN: 0168-1699. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105338. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919318381> (visitado 13-12-2022).

- [26] *Wi-Fi / Definición, nombre y hechos / Britannica*. URL: <https://www.britannica.com/technology/Wi-Fi> (visitado 13-12-2022).
- [27] Zirong Wang. "Greenhouse Data Acquisition System Based on ZigBee Wireless Sensor Network to Promote the Development of Agricultural Economy". En: *Environmental Technology & Innovation* 24 (1 de nov. de 2021), págs. 101689. ISSN: 2352-1864. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101689. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186421003370> (visitado 13-12-2022).
- [28] Luis Ruiz-Garcia et al. "A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends". En: *Sensors (Basel, Switzerland)* 9.6 (2009), págs. 4728-4750. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s90604728. pmid: 22408551.
- [29] *Croptacker - On Farm Weather Stations in Precision Agriculture*. URL: <https://www.croptacker.com/blog/on-farm-weather-stations-in-precision-agriculture.html> (visitado 13-12-2022).
- [30] Palaguachi Encalada, Sonia Isabel. "DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA BASADA EN UNA RED JERÁRQUICA DE SENORES, SOFTWARE LIBRE Y SISTEMAS EMBEBIDOS PARA LA EMPRESA ELECAUSTRO EN LA MINICENTRAL GUALACEO UTILIZANDO COMUNICACIÓN MQTT Y MODBUS". 2018.
- [31] *Cuba's Institute of Meteorology Highly Respected › Cuba › Granma - Official Voice of the PCC*. URL: <https://en.granma.cu/cuba/2016-02-09/cubas-institute-of-meteorology-highly-respected> (visitado 24-10-2022).
- [32] *Web Development*. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/web-development/> (visitado 13-12-2022).

- [33] *What Is Angular?: Architecture, Features, and Advantages [2022 Edition]*. Simplilearn.com. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/angular-tutorial/what-is-angular> (visitado 13-12-2022).
- [34] *ReactJS Tutorials*. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/reactjs-tutorials/> (visitado 13-12-2022).
- [35] *Introduction / Vue.js*. URL: <https://vuejs.org/guide/introduction.html#what-is-vue> (visitado 13-12-2022).
- [36] Llevarme directamente a. *¿Qué es el desarrollo móvil?* ServiceNow. URL: <https://www.servicenow.com/es/workflows/creator-workflows/what-is-mobile-development.html> (visitado 13-12-2022).
- [37] *11 Best UX Design and Prototyping Tools to Consider for 2022 - TestingTime*. URL: <https://www.testingtime.com/en/blog/11-best-ux-design-tools-2022/> (visitado 13-12-2022).
- [38] *The 9 Best UI Design Tools to Try in 2022*. 21 de feb. de 2022. URL: <https://www.uxdesigninstitute.com/blog/user-interface-ui-design-tools/> (visitado 13-12-2022).
- [39] *9 Reasons to Use Adobe XD as a UI/UX Design Tool* / ATAK Interactive. URL: <https://www.atakinteractive.com/blog/9-reasons-xd-is-ui-ux-design-tool-of-choice> (visitado 13-12-2022).
- [40] *Prototyping with Origami Studio as a Beginner* / by Zi Yuan / Design + Sketch / Medium. URL: <https://medium.com/sketch-app-sources/prototyping-with-origami-studio-as-a-beginner-d479730e04c0> (visitado 13-12-2022).
- [41] *Why You Should Use Figma for Mobile App Design*. URL: <https://fingers-media.com/blog/figma> (visitado 13-12-2022).
- [42] *Penpot/Penpot*. Penpot, 13 de dic. de 2022. URL: <https://github.com/penpot/penpot> (visitado 13-12-2022).
- [43] *ESP32 Wi-Fi y Bluetooth MCU | Sistemas Espressif*. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> (visitado 11-12-2022).

- [44] Minhan Liao et al. "A Novel Method and System for the Fast Calibration of Tipping Bucket Rain Gauges". En: *Journal of Hydrology* 597 (1 de jun. de 2021), pág. 125782. ISSN: 0022-1694. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125782. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169420312439> (visitado 25-11-2022).
- [45] Yili Hu et al. "Tipping-Bucket Self-Powered Rain Gauge Based on Triboelectric Nanogenerators for Rainfall Measurement". En: *Nano Energy* 98 (1 de jul. de 2022), pág. 107234. ISSN: 2211-2855. DOI: 10.1016/j.nanoen.2022.107234. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285522003147> (visitado 28-11-2022).
- [46] *GY-30 Bh1750 Intensity Digital Light Sensor Module*. URL: <https://5.imimg.com/data5/TY/AK/MY-1833510/gy-30-bh1750-intensity-digital-light-sensor-module.pdf> (visitado 06-01-2023).
- [47] *What Is PlatformIO? — PlatformIO Latest Documentation*. URL: <https://docs.platformio.org/en/latest/what-is-platformio.html> (visitado 10-12-2022).
- [48] *Over The Air Updates (OTA) - ESP32 - — ESP-IDF Programming Guide Latest Documentation*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/system/ota.html> (visitado 06-12-2022).

Anexos

Anexo A. Certificados de calibración del sensor de temperatura

 Instituto de Meteorología

Certificado de Calibración

Código: 232T-93-22 Fecha de calibración: 2022-04-05

Información del cliente

Nombre: Lab. de Calibración
Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana
Orden No.: 35-22
Fecha: 2022-04-01

Información del instrumento calibrado

Tipo: Estación meteorológica
Modelo: Vortex
No. de serie:

Información de la cámara de calibración

Tipo: Cámara climática
Modelo: SETH-2-042RF
No. de serie: 6020080057

Información de los patrones de calibración

Tipo: Termómetro digital
Modelo: Fluke 1502A
No. de serie: BOB049

Los patrones utilizados en la calibración tienen garantizada su trazabilidad a través de laboratorios nacionales acreditados por el ONARC o de laboratorios internacionales acreditados por un organismo signatario del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral.

El presente certificado solo ampara las condiciones ambientales y el rango de medidas en que se ejecutó la calibración. No se certifica ninguna característica del instrumento de medición diferentes a las aquí descritas.

Es responsabilidad del propietario calibrar el instrumento de medición en intervalos apropiados.

Este certificado de calibración sólo puede reproducirse de forma íntegra y con la autorización del laboratorio que lo emitió. Los certificados de calibración sin las firmas y el cuño no son válidos.

Realizado por:
Ana Ibis Rodríguez Gil 

Aprobado por:
Pablo De Varona De Varona
Jefe del Laboratorio
Fecha de emisión del certificado: 2022-04-07

Laboratorio INSMET
Loma de Casablanca, apartado 17032, CP 11700, Habana 17, Ciudad Habana
Teléfonos: 7868-6635 Correo-e: haydee.cayon@insmet.cu, pablo.varona@insmet.cu

Código: 232T-93-22 Página 1 de 2

Información de la calibración

Los valores obtenidos en la calibración y las incertidumbres asignadas corresponden al momento de medida. No se ha considerado la estabilidad del instrumento a más largo plazo. Los datos son únicamente válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en la primera página de este certificado.

Lugar de calibración: instalaciones fijas del Laboratorio INSMET, Ciudad Habana

Método de medición utilizado: Medición directa

Procedimiento de calibración: IT7.10: Instrucción para la calibración de termómetros en la cámara climática SPEC SETH-Z-042RF

Condiciones ambientales en el local de calibración:

Temperatura inicial: $(24 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ Humedad Relativa inicial: $(56 \pm 2) \%$

Temperatura final: $(24 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ Humedad Relativa final: $(55 \pm 2) \%$

El termómetro bajo prueba se introduce en una cámara climática donde se establecen los valores de temperatura deseados. Una vez estabilizada la temperatura en la cámara, se ejecuta la siguiente secuencia de lecturas: Patrón → Instrumento → Patrón. Esta operación se repite en cada uno de los puntos de calibración seleccionados.

Resultados de la Calibración

No	Patrón	Inst	Corr	U
1	5.6 °C	7.5 °C	-1.9 °C	0.14 °C
2	25.5 °C	26.7 °C	-1.2 °C	0.14 °C
3	35.2 °C	36.0 °C	-0.8 °C	0.14 °C
4	44.9 °C	44.6 °C	0.3 °C	0.14 °C

Patrón: Lectura del patrón

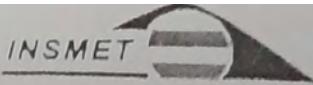
Inst: Lectura del instrumento

Corr: Corrección = Patrón - Inst

U: Incertidumbre expandida, k = 2

La incertidumbre reportada es la incertidumbre expandida de medida que se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Final del certificado de calibración



Anexo 1 al Certificado de Calibración

Código: 232T-93-22

Fecha de calibración: 2022-04-05

Información del cliente

Nombre: Lab. de Calibración

Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana

Orden No.: 35-22 Fecha: 2022-04-01

Información del instrumento calibrado

Tipo: Estación meteorológica

Modelo: Vortex

No. de serie:

Resultados de la Regresión Lineal

b0: Intercepto -2.4722766403 °C Coef. de correlación 0.9998459169

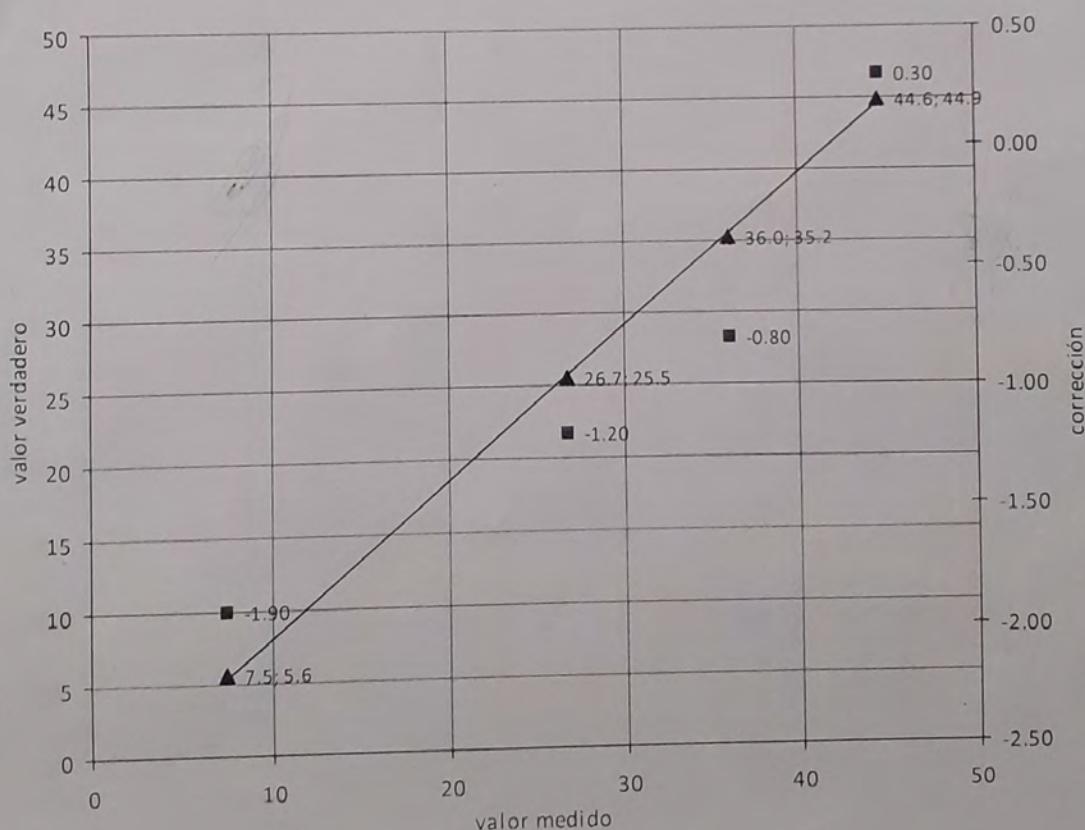
b1: Pendiente 1.0547831582 °C/°C Coef. de correlación cruzada -0.9014755490

Grados de libertad 2 Error estándar 0.3608827969 °C

Ecuación de la recta $y = -2.4722766403 + 1.0547831582 * x$ Se calcula por el método de los mínimos cuadrados la recta ($y - x_0 = b_0 + b_1 * (x - x_0)$) que se ajusta mejor a los datos de calibración.

El coeficiente de correlación es un indicador de calidad de la estimación lineal; puede tomar valores entre 0 y 1 (si es 1, hay una correlación perfecta en la muestra y no hay diferencia entre los valores calculados y medidos).

El error estándar es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor calculado para un valor individual medido.



▲ valor medido y valor verdadero, en °C

■ corrección, en °C

ajuste lineal

Código: 232T-93-22

Página 1 de 2

Correcciones ajustadas en el intervalo de calibración

Intervalo	CorrY
0,0 °C a 0,5 °C	-2,5 °C
0,6 °C a 2,3 °C	-2,4 °C
2,4 °C a 4,1 °C	-2,3 °C
4,2 °C a 5,9 °C	-2,2 °C
6,0 °C a 7,8 °C	-2,1 °C
7,9 °C a 9,6 °C	-2,0 °C
9,7 °C a 11,4 °C	-1,9 °C
11,5 °C a 13,2 °C	-1,8 °C
13,3 °C a 15,1 °C	-1,7 °C
15,2 °C a 16,9 °C	-1,6 °C
17,0 °C a 18,7 °C	-1,5 °C
18,8 °C a 20,5 °C	-1,4 °C
20,6 °C a 22,4 °C	-1,3 °C
22,5 °C a 24,2 °C	-1,2 °C
24,3 °C a 26,0 °C	-1,1 °C
26,1 °C a 27,8 °C	-1,0 °C
27,9 °C a 29,7 °C	-0,9 °C
29,8 °C a 31,5 °C	-0,8 °C
31,6 °C a 33,3 °C	-0,7 °C
33,4 °C a 35,1 °C	-0,6 °C
35,2 °C a 37,0 °C	-0,5 °C
37,1 °C a 38,8 °C	-0,4 °C
38,9 °C a 40,6 °C	-0,3 °C
40,7 °C a 42,4 °C	-0,2 °C
42,5 °C a 44,3 °C	-0,1 °C
44,4 °C a 44,6 °C	0,0 °C

Correcciones medidas y ajustadas en los puntos de calibración

No	x	xT	y	CorrT	CorrY	Error
1	7,5 °C	5,6 °C	5,4 °C	-1,9 °C	-2,1 °C	0,2 °C
2	26,7 °C	25,5 °C	25,7 °C	-1,2 °C	-1,0 °C	-0,2 °C
3	36,0 °C	35,2 °C	35,5 °C	-0,8 °C	-0,5 °C	-0,3 °C
4	44,6 °C	44,9 °C	44,6 °C	0,3 °C	0,0 °C	0,3 °C

x: Lectura del instrumento
xT: Valor verdadero = Lectura del patrón = x + CorrT = x + CorrY + Error = y + Error
y: Valor ajustado = b0 + b1*x
CorrT: Corrección medida = Valor verdadero - Valor medido = xT - x
CorrY: Corrección ajustada = Valor estimado - Valor medido = y - x
Error: Error del ajuste = Valor verdadero - Valor ajustado = xT - y

Realizado por:

Ana Ibis Rodríguez G.

Aprobado por:

Pablo De Varona De Varona

Jefe del Laboratorio

Fecha de emisión del certificado: 2022-04-07

Anexo B. Certificados de calibración del sensor de humedad

	Instituto de Meteorología
Certificado de Calibración	
Código: 232H-94-22 Fecha de calibración: 2022-04-05	
Información del cliente	
Nombre: Lab. de Calibración Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana Orden No.: 35-22 Fecha: 2022-04-01	
Información del instrumento calibrado	
Tipo: Estación meteorológica Modelo: Vortex No. de serie:	
Información de la cámara de calibración	
Tipo: Cámara climática Modelo: SETH-Z-042RF No. de serie: 6020080057	
Información de los patrones de calibración	
Tipo: Psicrómetro digital Modelo: ESPEC No. de serie: 6020080057	
Los patrones utilizados en la calibración tienen garantizada su trazabilidad a través de laboratorios nacionales acreditados por el ONARC o de laboratorios internacionales acreditados por un organismo signatario del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral.	
El presente certificado solo ampara las condiciones ambientales y el rango de medidas en que se ejecutó la calibración. No se certifica ninguna característica del instrumento de medición diferentes a las aquí descritas.	
Es responsabilidad del propietario calibrar el instrumento de medición en intervalos apropiados.	
Este certificado de calibración solo puede reproducirse de forma íntegra y con la autorización del laboratorio que lo emitió. Los certificados de calibración sin las firmas y el cuño no son válidos.	
Realizado por: Ana Ibis Rodriguez Gil 	Aprobado por: Pablo De Varona De Varona Jefe del Laboratorio  Fecha de emisión del certificado: 2022-04-07
Laboratorio INSMET Loma de Casablanca, apartado 17032, CP 11700, Habana 17, Ciudad Habana Teléfonos: 7868-6635 Correo-e: haydee.cayon@insmet.cu, pablo.varona@insmet.cu	
Código: 232H-94-22 Página 1 de 2	

Información de la calibración

Los valores obtenidos en la calibración y las incertidumbres asignadas corresponden al momento de medida. No se ha considerado la estabilidad del instrumento a más largo plazo. Los datos son únicamente válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en la primera página de este certificado.

Lugar de calibración: instalaciones fijas del Laboratorio INSMET, Ciudad Habana

Método de medición utilizado: Medición directa

Procedimiento de calibración: IT6.10: Instrucción para la calibración de higrómetros en la cámara climática SPEC SETH-Z-042RF

Condiciones ambientales en el local de calibración:

Temperatura inicial: $(24 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ Humedad Relativa inicial: $(56 \pm 2) \%$

Temperatura final: $(24 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ Humedad Relativa final: $(55 \pm 2) \%$

El higrómetro bajo prueba se introduce en una cámara climática donde se establecen los valores de humedad deseados. Una vez estabilizada la humedad en la cámara, se ejecuta la siguiente secuencia de lecturas: Patrón 1 → Instrumento → Patrón 2. Esta operación se repite en cada uno de los puntos de calibración seleccionados. Los valores del patrón reflejados en el certificado corresponden al valor medio de Patrón 1 y Patrón 2.

Resultados de la Calibración

No	Patrón	Inst	Corr	U
1	40,0 %	43,0 %	-3,0 %	1.42 %
2	60,0 %	59,0 %	1,0 %	1.42 %
3	79,0 %	74,0 %	5,0 %	1.42 %

Patrón: Lectura del patrón

Inst: Lectura del instrumento

Corr: Corrección = Patrón - Inst

U: Incertidumbre expandida, k = 2

La incertidumbre reportada es la incertidumbre expandida de medida que se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k = 2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Final del certificado de calibración

Anexo 1 al Certificado de Calibración

Código: 232H-94-22

Fecha de calibración: 2022-04-05

Información del cliente

Nombre: Lab. de Calibración

Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana

Orden No.: 35-22 Fecha: 2022-04-01

Información del instrumento calibrado

Tipo: Estación meteorológica

Modelo: Vortex

No. de serie:

Resultados de la Regresión Lineal

b0: Intercepto -14.1345353691 % Coef. de correlación 0.9999927066

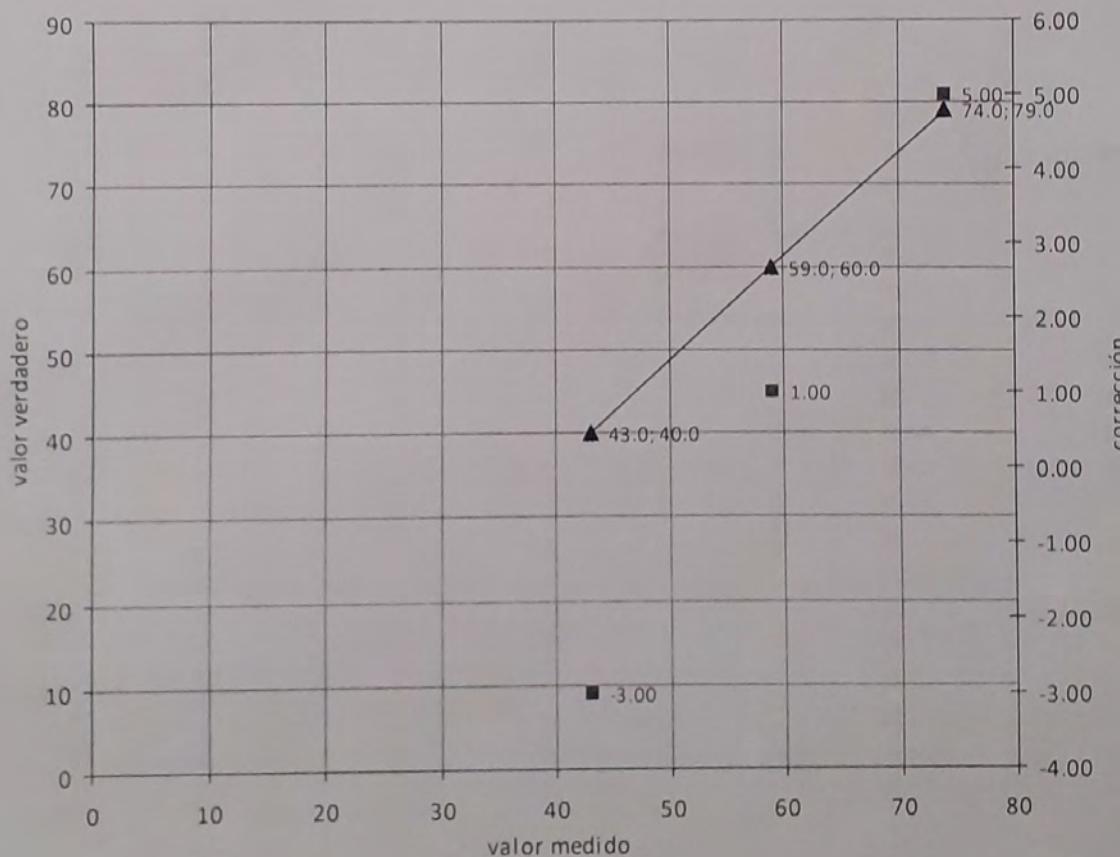
b1: Pendiente 1.2579750347 %/% Coef. de correlación cruzada -0.9775062860

Grados de libertad 1 Error estándar 0.1053361306 %

Ecuación de la recta $y = -14.1345353691 + 1.2579750347 * x$ Se calcula por el método de los mínimos cuadrados la recta $(y - x_0) = b_0 + b_1*(x - x_0)$ que se ajusta mejor a los datos de calibración.

El coeficiente de correlación es un indicador de calidad de la estimación lineal; puede tomar valores entre 0 y 1 (si es 1, hay una correlación perfecta en la muestra y no hay diferencia entre los valores calculados y medidos).

El error estándar es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor calculado para un valor individual medido.



▲ valor medido y valor verdadero, en %

■ corrección, en %

ajuste lineal

Correcciones ajustadas en el intervalo de calibración

Intervalo	CorrY
43,0 % a 43,4 %	-3,0 %
43,5 % a 43,8 %	-2,9 %
43,9 % a 44,2 %	-2,8 %
44,3 % a 44,6 %	-2,7 %
44,7 % a 45,0 %	-2,6 %
45,1 % a 45,3 %	-2,5 %
45,4 % a 45,7 %	-2,4 %
45,8 % a 46,1 %	-2,3 %
46,2 % a 46,5 %	-2,2 %
46,6 % a 46,9 %	-2,1 %
47,0 % a 47,3 %	-2,0 %
47,4 % a 47,7 %	-1,9 %
47,8 % a 48,1 %	-1,8 %
48,2 % a 48,4 %	-1,7 %
48,5 % a 48,8 %	-1,6 %
48,9 % a 49,2 %	-1,5 %
49,3 % a 49,6 %	-1,4 %
49,7 % a 50,0 %	-1,3 %
50,1 % a 50,4 %	-1,2 %
50,5 % a 50,8 %	-1,1 %
50,9 % a 51,2 %	-1,0 %
51,3 % a 51,5 %	-0,9 %
51,6 % a 51,9 %	-0,8 %
52,0 % a 52,3 %	-0,7 %
52,4 % a 52,7 %	-0,6 %
52,8 % a 53,1 %	-0,5 %
53,2 % a 53,5 %	-0,4 %
53,6 % a 53,9 %	-0,3 %
54,0 % a 54,3 %	-0,2 %
54,4 % a 54,6 %	-0,1 %
54,7 % a 55,0 %	0,0 %
55,1 % a 55,4 %	0,1 %
55,5 % a 55,8 %	0,2 %
55,9 % a 56,2 %	0,3 %
56,3 % a 56,6 %	0,4 %
56,7 % a 57,0 %	0,5 %
57,1 % a 57,4 %	0,6 %
57,5 % a 57,7 %	0,7 %
57,8 % a 58,1 %	0,8 %
58,2 % a 58,5 %	0,9 %
58,6 % a 58,9 %	1,0 %
59,0 % a 59,3 %	1,1 %
59,4 % a 59,7 %	1,2 %
59,8 % a 60,1 %	1,3 %
60,2 % a 60,5 %	1,4 %
60,6 % a 60,8 %	1,5 %
60,9 % a 61,2 %	1,6 %
61,3 % a 61,6 %	1,7 %
61,7 % a 62,0 %	1,8 %
62,1 % a 62,4 %	1,9 %

Correcciones medidas y ajustadas en los puntos de calibración

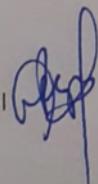
No	x	xt	y	CorrT	CorrY	Error
1	43,0 %	40,0 %	40,0 %	-3,0 %	-3,0 %	0,0 %
2	59,0 %	60,0 %	60,1 %	1,0 %	1,1 %	-0,1 %
3	74,0 %	79,0 %	79,0 %	5,0 %	5,0 %	0,0 %

x: Lectura del instrumento
 xt: Valor verdadero = Lectura del patrón = x + CorrT = x + CorrY + Error = y + Error
 y: Valor ajustado = b0 + b1*x
 CorrT: Corrección medida = Valor verdadero - Valor medido = xt - x
 CorrY: Corrección ajustada = Valor estimado - Valor medido = y - x
 Error: Error del ajuste = Valor verdadero - Valor ajustado = xt - y

62.5 % a 62.8 %	2,0 %
62.9 % a 63.2 %	2,1 %
63.3 % a 63.6 %	2,2 %
63.7 % a 63.9 %	2,3 %
64,0 % a 64.3 %	2,4 %
64.4 % a 64.7 %	2,5 %
64.8 % a 65.1 %	2,6 %
65.2 % a 65.5 %	2,7 %
65.6 % a 65.9 %	2,8 %
66,0 % a 66.3 %	2,9 %
66.4 % a 66.7 %	3,0 %
66.8 % a 67.1 %	3,1 %
67.2 % a 67.4 %	3,2 %
67.5 % a 67.8 %	3,3 %
67.9 % a 68.2 %	3,4 %
68.3 % a 68.6 %	3,5 %
68.7 % a 69,0 %	3,6 %
69.1 % a 69.4 %	3,7 %
69.5 % a 69.8 %	3,8 %
69.9 % a 70.2 %	3,9 %
70.3 % a 70.5 %	4,0 %
70.6 % a 70.9 %	4,1 %
71,0 % a 71.3 %	4,2 %
71.4 % a 71.7 %	4,3 %
71.8 % a 72.1 %	4,4 %
72.2 % a 72.5 %	4,5 %
72.6 % a 72.9 %	4,6 %
73,0 % a 73.3 %	4,7 %
73.4 % a 73.6 %	4,8 %
73.7 % a 74,0 %	4,9 %

Realizado por:

Ana Ibis Rodríguez Gil



Aprobado por:

Pablo De Varona De Varona

Jefe del Laboratorio

Fecha de emisión del certificado

Anexo C. Certificados de calibración del sensor de presión

Certificado de Calibración		Código: 232P-89-22	Fecha de calibración: 2022-04-01
Información del cliente			
Nombre: Lab. de Calibración Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana Orden No.: 35-22 Fecha: 2022-04-01			
Información del instrumento calibrado			
Tipo: Estación meteorológica Modelo: Vortex No. de serie:			
Información de la cámara de calibración			
Tipo: Cámara de presión Modelo: QYD-1B No. de serie: 08013			
Información de los patrones de calibración			
Tipo: Barómetro digital Modelo: 745-23A No. de serie: 103136			
Los patrones utilizados en la calibración tienen garantizada su trazabilidad a través de laboratorios nacionales acreditados por el ONARC o de laboratorios internacionales acreditados por un organismo signatario del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral.			
El presente certificado solo ampara las condiciones ambientales y el rango de medidas en que se ejecutó la calibración. No se certifica ninguna característica del instrumento de medición diferentes a las aquí descritas.			
Es responsabilidad del propietario calibrar el instrumento de medición en intervalos apropiados.			
Este certificado de calibración solo puede reproducirse de forma íntegra y con la autorización del laboratorio que lo emitió. Los certificados de calibración sin las firmas y el cuño no son válidos.			
Realizado por:		Aprobado por:	
José Rafael Blanco González		Pablo De Varona De Varona Jefe del Laboratorio Fecha de emisión del certificado: 2022-04-01	
Laboratorio INSMET Loma de Casablanca, apartado 17032, CP 11700, Habana 17, Ciudad Habana Teléfonos: 7868-6635 Correo-e: haydee.cayon@insmet.cu, pablo.varona@insmet.cu			
Código: 232P-89-22		Página 1 de	

Información de la calibración

Los valores obtenidos en la calibración y las incertidumbres asignadas corresponden al momento de medida. No se ha considerado la estabilidad del instrumento a más largo plazo. Los datos son únicamente válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en la primera página de este certificado.

Lugar de calibración: instalaciones fijas del Laboratorio INSMET, Ciudad Habana

Método de medición utilizado: Medición directa

Procedimiento de calibración: IT5.10: Instrucción para la calibración de barómetros y barógrafos aneroides con el sistema de calibración de presión QYJD-1B

Condiciones ambientales en el local de calibración:

Temperatura inicial: $(22.9 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ Humedad Relativa inicial: $(47 \pm 2)\%$

Temperatura final: $(23 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ Humedad Relativa final: $(46 \pm 2)\%$

El barómetro bajo prueba y el patrón se introducen en una cámara barométrica donde se establecen los valores de presión deseados. Una vez estabilizada la presión en la cámara, se ejecuta la siguiente secuencia de lecturas: Patrón 1 → Instrumento 1 → Patrón 2 → Instrumento 2 → Patrón 3. Esta operación se repite en cada uno de los puntos de calibración seleccionados. Los valores del patrón reflejados en el certificado corresponden al valor medio de Patrón 1, Patrón 2 y Patrón 3 y los del instrumento al valor medio de Instrumento 1 e Instrumento 2.

Resultados de la Calibración

No	Patrón	Inst	Corr	U
1	880,0 hPa	881,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
2	915,0 hPa	916,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
3	920,0 hPa	921,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
4	955,0 hPa	956,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
5	960,0 hPa	961,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
6	995,0 hPa	996,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
7	1000,0 hPa	1001,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
8	1035,0 hPa	1036,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa
9	1040,0 hPa	1041,0 hPa	-1,0 hPa	0,08 hPa

Patrón: Lectura del patrón

Inst: Lectura del instrumento

Corr: Corrección = Patrón - Inst

U: Incertidumbre expandida, $k = 2$

La incertidumbre reportada es la incertidumbre expandida de medida que se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Final del certificado de calibración

Anexo 1 al Certificado de Calibración

Código: 232P-89-22

Fecha de calibración: 2022-04-01

Información del cliente

Nombre: Lab. de Calibración
 Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana
 Orden No.: 35-22 Fecha: 2022-04-01

Información del instrumento calibrado

Tipo: Estación meteorológica

Modelo: Vortex

No. de serie:

Resultados de la Regresión Lineal

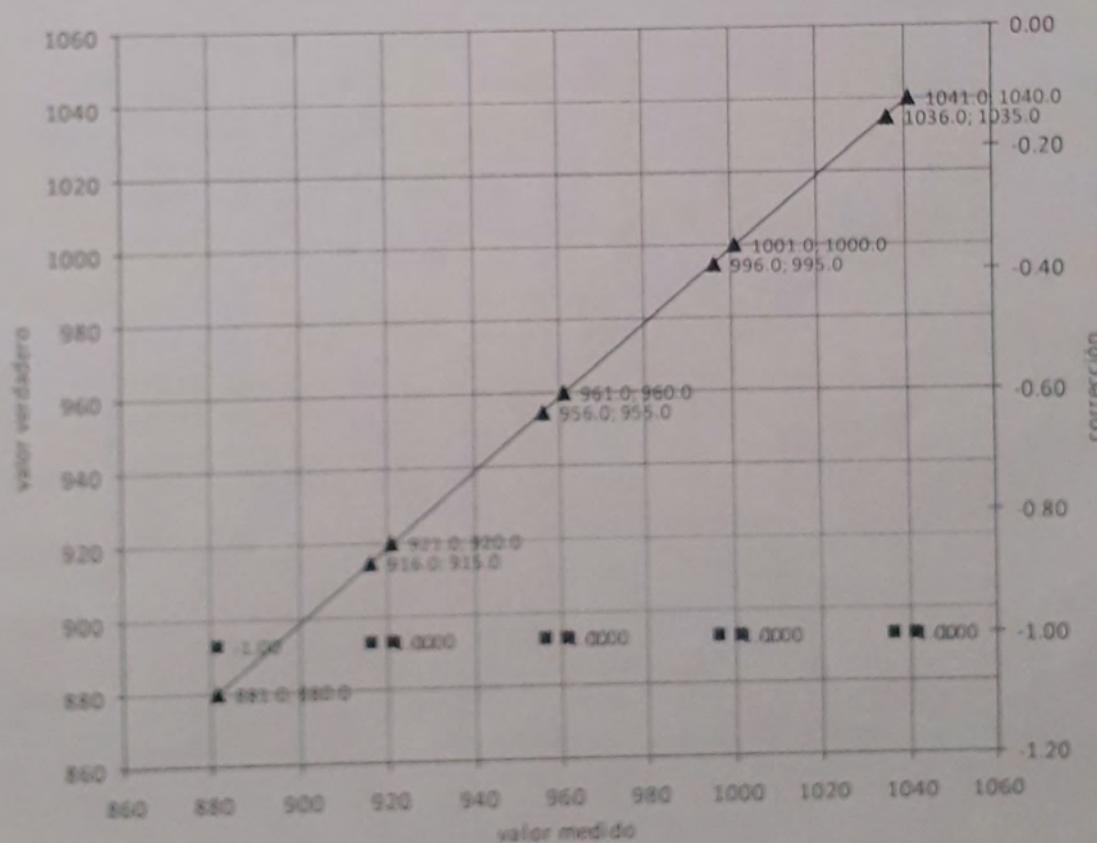
b0: Intercepto	-1,0000000000 hPa	Coef. de correlación	1.0000000000
b1: Pendiente	1,0000000000 hPa/hPa	Coef. de correlación cruzada	-0.9985495714
Grados de libertad	7	Error estándar	0,0000000000 hPa

$$\text{Ecuación de la recta } y = -1 + 1 \cdot x$$

Se calcula por el método de los mínimos cuadrados la recta $(y - x_0) = b_0 + b_1 \cdot (x - x_0)$ que se ajusta mejor a los datos de calibración.

El coeficiente de correlación es un indicador de calidad de la estimación lineal; puede tomar valores entre 0 y 1 (si es 1, hay una correlación perfecta en la muestra y no hay diferencia entre los valores calculados y medidos).

El error estándar es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor calculado para un valor individual medido.



▲ valor medido y valor verdadero, en hPa

■ corrección, en hPa

ajuste lineal

Código: 232P-89-22

Página 1 de 2

Correcciones ajustadas en el intervalo de calibración

Correcciones medidas y ajustadas en los puntos de calibración

Intervalo	CorrY	No	x	xT	y	CorrT	CorrY	Error
881 hPa a 1041 hPa	-1 hPa	1	881 hPa	880 hPa	880 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		2	916 hPa	915 hPa	915 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		3	921 hPa	920 hPa	920 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		4	956 hPa	955 hPa	955 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		5	961 hPa	960 hPa	960 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		6	996 hPa	995 hPa	995 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		7	1001 hPa	1000 hPa	1000 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		8	1036 hPa	1035 hPa	1035 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa
		9	1041 hPa	1040 hPa	1040 hPa	-1 hPa	-1 hPa	0 hPa

x: Lectura del instrumento

xT: Valor verdadero = Lectura del patrón = $x + \text{CorrT} = x + \text{CorrY} + \text{Error} = y + \text{Error}$

y: Valor ajustado = $b_0 + b_1 * x$

CorrT: Corrección medida = Valor verdadero - Valor medido = $xT - x$

CorrY: Corrección ajustada = Valor estimado - Valor medido = $y - x$

Error: Error del ajuste = Valor verdadero - Valor ajustado = $xT - y$

Realizado por:

Aprobado por:

José Rafael Blanco González

Pablo De Varona De Varona

Jefe del Laboratorio

Fecha de emisión del certificado: 2022-04-01

Anexo D. Certificados de calibración del anemómetro

Certificado de Calibración		Código: 232V-88-22	Fecha de calibración: 2022-04-01
Información del cliente			
Nombre:	Lab. de Calibración		
Dirección:	Loma de Casablanca, s/n, La Habana		
Orden No.:	35-22		
Fecha:	2022-04-01		
Información del instrumento calibrado			
Tipo:	Estación meteorológica		
Modelo:	Vortex		
No. de serie:			
Información de la cámara de calibración			
Tipo:	Túnel de viento		
Modelo:	WK84000-E		
No. de serie:	S/N		
Información de los patrones de calibración			
Tipo:	Tubo de Pitot con sistema de cálculo de flujo		
Modelo:	Westi-Box		
No. de serie:	0012		
Los patrones utilizados en la calibración tienen garantizada su trazabilidad a través de laboratorios nacionales acreditados por el ONARC o de laboratorios internacionales acreditados por un organismo signatario del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral.			
El presente certificado solo ampara las condiciones ambientales y el rango de medidas en que se ejecutó la calibración. No se certifica ninguna característica del instrumento de medición diferentes a las aquí descritas.			
Es responsabilidad del propietario calibrar el instrumento de medición en intervalos apropiados.			
Este certificado de calibración solo puede reproducirse de forma íntegra y con la autorización del laboratorio que lo emitió. Los certificados de calibración sin las firmas y el cuño no son válidos.			
Realizado por:		Aprobado por:	
José Rafael Blanco González		Pablo De Varona De Varona Jefe del Laboratorio Fecha de emisión del certificado: 2022-04-01	
Laboratorio INSMET Loma de Casablanca, apartado 17032, CP 11700, Habana 17, Ciudad Habana Teléfonos: 7868-6635 Correo-e: haydee.cayon@insmet.cu, pablo.varona@insmet.cu			
Código: 232V-88-22		Página 1 de 2	

Información de la calibración

Los valores obtenidos en la calibración y las incertidumbres asignadas corresponden al momento de medida. No se ha considerado la estabilidad del instrumento a más largo plazo. Los datos son únicamente válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en la primera página de este certificado.

Lugar de calibración: instalaciones fijas del Laboratorio INSMET, Ciudad Habana

Método de medición utilizado: Medición indirecta

Procedimiento de calibración: IT2.10: Instrucción para la calibración de anemómetros en el túnel de viento WK84000-E

Condiciones ambientales en el local de calibración:

Temperatura inicial: $(23 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ Humedad Relativa inicial: $(47 \pm 2)\%$

Temperatura final: $(23.3 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ Humedad Relativa final: $(47 \pm 2)\%$

El anemómetro bajo prueba se introduce en un túnel de viento donde se establecen los valores de velocidad deseados. Una vez estabilizada la velocidad del túnel, se leen los valores promedio del túnel en 1 minuto y del anemómetro. Esta operación se repite en cada uno de los puntos de calibración seleccionados.

Resultados de la Calibración

No	Patrón	Inst	Corr	U
1	5,00 m/s	3.39 m/s	1.61 m/s	0.116 m/s
2	7.50 m/s	5.65 m/s	1.85 m/s	0.116 m/s
3	10,00 m/s	7.92 m/s	2.08 m/s	0.116 m/s
4	12.51 m/s	9.80 m/s	2.71 m/s	0.116 m/s
5	14.98 m/s	12.44 m/s	2.54 m/s	0.116 m/s
6	17.50 m/s	14.33 m/s	3.17 m/s	0.116 m/s
7	19.98 m/s	16.21 m/s	3.77 m/s	0.116 m/s

Patrón: Lectura del patrón

Inst: Lectura del instrumento

Corr: Corrección = Patrón - Inst

U: Incertidumbre expandida, $k = 2$

La incertidumbre reportada es la incertidumbre expandida de medida que se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Final del certificado de calibración

Información del cliente

Nombre: Lab. de Calibración
 Dirección: Loma de Casablanca, s/n, La Habana
 Orden No.: 35-22 Fecha: 2022-04-01

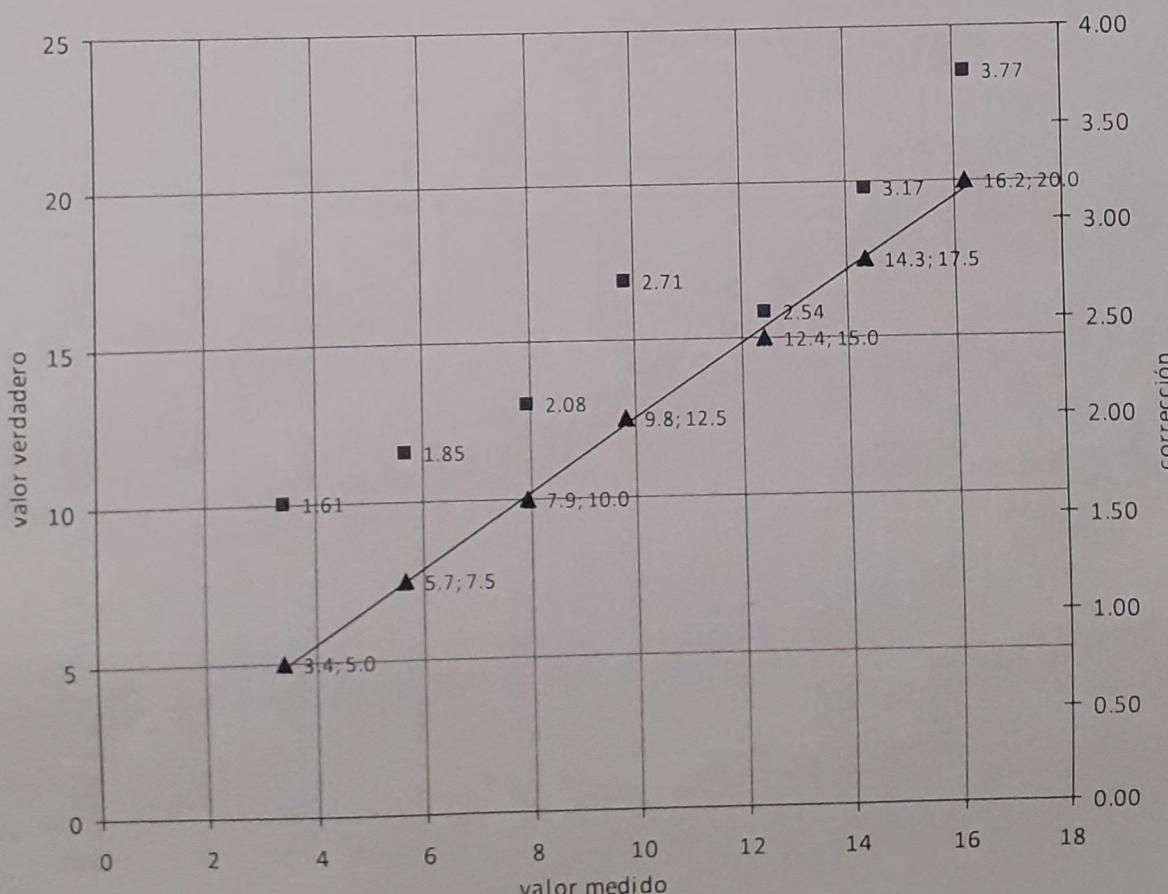
Información del instrumento calibrado

Tipo: Estación meteorológica
 Modelo: Vortex
 No. de serie:

Resultados de la Regresión Lineal

b0: Intercepto	0.9695617251 m/s	Coef. de correlación	0.9991855515
b1: Pendiente	1.1569123591 m/s/m/	Coef. de correlación cruzada	-0.9176845507
Grados de libertad	5	Error estándar	0.2384495138 m/s
Ecuación de la recta $y = 0.9695617251 + 1.1569123591 * x$			

Se calcula por el método de los mínimos cuadrados la recta ($y - x_0 = b_0 + b_1 * (x - x_0)$) que se ajusta mejor a los datos de calibración. El coeficiente de correlación es un indicador de calidad de la estimación lineal; puede tomar valores entre 0 y 1 (si es 1, hay una correlación perfecta en la muestra y no hay diferencia entre los valores calculados y medidos). El error estándar es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor calculado para un valor individual medido.



**Correcciones ajustadas en el
intervalo de calibración**

Intervalo	CorrY
3 m/s a 10 m/s	2 m/s
11 m/s a 16 m/s	3 m/s

Correcciones medidas y ajustadas en los puntos de calibración

No	x	xT	y	CorrT	CorrY	Error
1	3.39 m/s	5.00 m/s	4.89 m/s	1.61 m/s	1.50 m/s	0.11 m/s
2	5.65 m/s	7.50 m/s	7.51 m/s	1.85 m/s	1.86 m/s	-0.01 m/s
3	7.92 m/s	10.00 m/s	10.13 m/s	2.08 m/s	2.21 m/s	-0.13 m/s
4	9.80 m/s	12.51 m/s	12.31 m/s	2.71 m/s	2.51 m/s	0.20 m/s
5	12.44 m/s	14.98 m/s	15.36 m/s	2.54 m/s	2.92 m/s	-0.38 m/s
6	14.33 m/s	17.50 m/s	17.55 m/s	3.17 m/s	3.22 m/s	-0.05 m/s
7	16.21 m/s	19.98 m/s	19.72 m/s	3.77 m/s	3.51 m/s	0.26 m/s

x: Lectura del instrumento

xT: Valor verdadero = Lectura del patrón = $x + \text{CorrT} = x + \text{CorrY} + \text{Error} = y + \text{Error}$

y: Valor ajustado = $b_0 + b_1 * x$

CorrT: Corrección medida = Valor verdadero - Valor medido = $xT - x$

CorrY: Corrección ajustada = Valor estimado - Valor medido = $y - x$

Error: Error del ajuste = Valor verdadero - Valor ajustado = $xT - y$

Realizado por:

José Rafael Blanco González

Aprobado por:

Pablo De Varona De Varona

Jefe del Laboratorio

Fecha de emisión del certificado: 2022-04-01