

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PARAMETRIZACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS A BAJO COSTO PARA LA CARACTERIZACIÓN MASIVA DE MICROCLIMAS URBANOS EN BOGOTÁ.

Realizado por

Sergio Mendez Ruiz

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico



Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)
Facultad de Ingeniería Electrónica
División de Ingenierías

Junio de 2023

**PARAMETRIZACIÓN DE ESTACIONES
METEOROLÓGICAS A BAJO COSTO PARA LA
CARACTERIZACIÓN MASIVA DE MICROCLIMAS
URBANOS EN BOGOTÁ.**

Realizado por

Sergio Mendez Ruiz

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico

Dirigido por

Jose Luis Paternina Duran

Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)
Facultad de Ingeniería Electrónica
División de Ingenierías

Junio de 2023

Autoridad de la Universidad

RECTOR GENERAL

FRAY JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

FRAY WILSON FERNANDO MENDOZA RIVERA, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

FRAY EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.

SECRETARIO GENERAL

INGRID LORENA CAMPOS VARGAS.

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

FRAY,ÉRICO JUAN MACCHI CÉSPEDES, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO.

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARLOS ENRIQUE MONTENEGRO NARVÁEZ.

Nota de aceptación

Firma del autor

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. ——— DE 2022

Advertencia

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por que no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi familia por su amor, su paciencia, por su apoyo y sobre todo por su comprensión no solo durante el desarrollo de esta tesis sino también durante aquellos momentos difíciles de mi proceso académico. Gracias por creer en mí y por motivarme a seguir adelante cuando los obstáculos parecían insuperables.

Agradecimientos

Quiero agradecer infinitamente a mis amigos, quienes han sido una parte fundamental en mi vida y en la realización de esta tesis. Gracias por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento en los momentos difíciles, por escuchar mis ideas y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias. Sin su amistad y su compañía, este camino habría sido mucho más difícil.

Índice general

Resumen	IX
Abstract	XI
List of Figures	XII
List of Tables	XIV
Glosario	XV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación	3
1.4. Impacto Social	4
2. Estado del Arte	5
2.1. Microclimas	5
2.2. Diseño e implementación de estaciones meteorológicas	7
3. Marco Teórico	9
3.1. Estación Meteorológica	9
3.1.1. Variables meteorológicas	9
3.1.1.1. Temperatura	9
3.1.1.2. Humedad	9
3.1.1.3. Velocidad y dirección del viento	10
3.1.1.4. Precipitación	10
3.1.1.5. Energía Solar	11
3.2. Microclimas	11
3.2.1. Microclima Urbano	11
3.2.1.1. Isla de calor	12
4. Diseño Metodológico	13

4.1.	Fase 1	14
4.1.1.	Revisión literatura científica para el diseño e implementación de estaciones meteorológicas	14
4.2.	Fase 2	14
4.2.1.	Construcción de la propuesta	14
4.3.	Fase 3	15
4.3.1.	Diseño estación meteorológica	15
4.3.2.	Implementación estación meteorológica	15
4.4.	Fase 4	15
4.4.1.	Medición de variables microclimáticas de 1 semana	16
4.4.2.	Validación de la propuesta	16
4.5.	Aclaraciones	16
4.6.	Cronograma	17
5.	Desarrollo Conceptual	18
5.1.	Fase 1 Recursos literarios especializados	18
5.1.1.	Diseño	21
5.1.1.1.	Variables y sensores	21
5.1.1.2.	Definir Arquitectura	21
5.1.1.3.	Dispositivos periféricos	21
5.1.2.	Implementación	22
5.1.2.1.	OMM	22
5.1.2.2.	Calibración de dispositivos	23
5.1.2.3.	Montaje del circuito	23
5.1.2.4.	Variables externas	23
5.2.	Fase 2 Propuesta de parametrización	24
5.2.0.1.	Esquema metodológico basado en los procedimientos encontrados en la literatura científica	24
5.2.0.2.	Esquema metodológico enfocado a la parametrización del diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo.	26
5.3.	Fase 3 Diseño e Implementación	28
5.3.1.	Definir arquitectura	28
5.3.2.	Variables a censar y sensores	28
5.3.2.1.	Sensor de Humedad y Temperatura DHT22	29
5.3.2.2.	Sensor de Luz Ultravioleta GUVB-S12SD	29
5.3.2.3.	Kit estación meteorológica SEN-15901	30
5.3.3.	Plano de la estación a implementar	32
5.3.4.	Desarrollo Software	33
5.3.5.	Adquisición de datos	33
5.3.5.1.	Envío de datos	42
5.3.5.2.	API	45
5.3.5.3.	Aplicativo Web	50
5.3.6.	Plan de Calibración	54
5.3.7.	Hardware (Circuito para acople de los sensores)	54

5.3.7.1.	Diseño	55
5.3.7.2.	Implementación	57
5.3.8.	Instalación	58
5.3.8.1.	Protección dispositivos electrónicos	58
5.3.8.2.	Garita meteorológica	58
5.3.8.3.	Estación meteorológica final	59
5.3.9.	Estación implementada	60
6.	Resultados y Discusión	63
6.1.	Validación Propuesta	63
6.1.1.	Comparación y análisis de datos	63
6.1.1.1.	Comparación	63
6.1.1.2.	Análisis	65
6.1.2.	Comparación Tiempos de Implementación	67
6.1.3.	Presupuesto Estación	68
6.1.3.1.	Costo otras estaciones	69
7.	Conclusiones y Trabajos futuros	71
7.0.1.	Conclusiones	71
7.0.2.	Trabajos Futuros	72
	Bibliografía	73

Resumen

Contexto: El clima de una ciudad como Bogotá es extremadamente complejo y variable, lo que puede afectar significativamente la vida cotidiana de sus habitantes. Los microclimas, que son las variaciones climáticas a pequeña escala, pueden tener un impacto especialmente importante en la calidad del aire, el confort térmico y la salud pública. Sin embargo, aún sabemos muy poco sobre la distribución y las características de estos microclimas en Bogotá. Es por eso que esta tesis aborda esta problemática con la parametrización del diseño y la implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo para la caracterización masiva de microclimas urbanos en la ciudad.

Método: El proyecto se llevará a cabo mediante una investigación de tipo tecnológica aplicada, utilizando un enfoque de estudio mixto que involucra varias técnicas y métodos para recolectar y analizar datos. Esto incluye el análisis de documentos, el uso de conocimientos teórico-científicos, diseños experimentales y el estudio de contextos estructurales y situacionales.

Resultados: Se realizó una comparación de los datos obtenidos por la estación meteorológica propuesta con los datos de tres estaciones meteorológicas cercanas al lugar de instalación. Se encontraron algunas variaciones en las medidas tomadas, las cuales fueron menores en variables como temperatura, humedad y lluvia, y mayores en variables como velocidad y dirección del viento.

En cuanto a tiempos de implementación se encontró una reducción notable con respecto a estaciones robustas en la ciudad de Bogotá.

Conclusiones: Se encontró la manera de parametrizar el diseño e implementación de estaciones meteorológicas teniendo un enfoque microclimático a partir de proyectos ya existentes, teniendo como resultado una estación capaz de evidenciar la problemática planteada a través de las medidas obtenidas y a su vez dando una solución a la misma.

Palabras Clave: Estación meteorológica, Parametrizar, Diseño, Implementación, Microclimas y Bajo costo.

Abstract

Context: The climate of a city like Bogotá is extremely complex and variable, which can significantly affect the daily life of its inhabitants. Microclimates, which are small-scale climate variations, can have a particularly large impact on air quality, thermal comfort, and public health. However, we still know very little about the distribution and characteristics of these microclimates in Bogotá. That is why this thesis addresses this problem with the parameterization of the design and implementation of low-cost weather stations for the massive characterization of urban microclimates in the city.

Method: The project will be carried out through applied technological research, using a mixed study approach that involves various techniques and methods to collect and analyze data. This includes the analysis of documents, the use of theoretical-scientific knowledge, experimental designs and the study of structural and situational contexts.

Results: A comparison of the data obtained by the proposed forecast station with the data of three meteorological stations close to the installation site was made. Some variations were found in the measurements taken, which were lower in variables such as temperature, humidity and rain, and higher in variables such as wind speed and direction.

Regarding implementation times, a notable reduction was found with respect to robust stations in the city of Bogotá

Conclusions: A way to parameterize the design and implementation of meteorological stations was found, taking a microclimatic approach from already existing projects, resulting in a station capable of evidencing the problems raised through the measurements obtained and in turn giving a solution to it.

Keywords: Weather station, Parameterize, Design, Implementation, Microclimates and Low cost.

Lista de Figuras

1.	Esquema metodología. Fuente: Autor	13
2.	Esquema metodológico diseño. Fuente: Autor	24
3.	Esquema metodológico implementación. Fuente: Autor	25
4.	Esquema metodológico de diseño parametrizado. Fuente: Autor	26
5.	Esquema metodológico de implementación parametrizado. Fuente: Autor	27
6.	Sensor humedad y temperatura [32]	29
7.	Sensor UV [33]	29
8.	Kit estación meteorológica [34]	30
9.	Anemómetro [34]	30
10.	Pluviómetro [34]	31
11.	Pluviómetro[34]	31
12.	Planos estación meteorológica. Fuente: Autor	32
13.	Diagrama código Pluviómetro. Fuente: Autor	33
14.	Diagrama código Anemómetro. Fuente: Autor	35
15.	Diagrama código Voleta. Fuente: Autor	38
16.	Diagrama código Sensor UV. Fuente: Autor	39
17.	Diagrama código Sensor Humedad y Temperatura. Fuente: Autor	40
18.	Diagrama Reset contador. Fuente: Autor	41
19.	Diagrama envío datos Arduino a NodeMCU. Fuente: Autor	42
20.	Diagrama inicialización NodeMCU. Fuente: Autor	43
21.	Diagrama recibido y envío de datos NodeMCU. Fuente: Autor	44
22.	Diagrama base de datos. Fuente: Autor	45
23.	Diagrama API almacenamiento datos. Fuente: Autor	46
24.	Diagrama API GetDatos. Fuente: Autor	48
25.	Diagrama llamado de datos. Fuente: Autor	50
26.	Aplicativo web. Fuente: Autor	52
27.	Ventana emergente buscar registros. Fuente: Autor	52
28.	Ventana emergente seleccionar dispositivo y fecha. Fuente: Autor	53
29.	Ventana emergente error. Fuente: Autor	53
30.	Tabla registros. Fuente: Autor	54
31.	Tabla sin registros. Fuente: Autor	54
32.	Pines Arduino. Fuente: Autor	55
33.	Circuito Sensores. Fuente: Autor	56

34.	Implementaciones secundarias. Fuente: Autor	57
35.	Caja de proyectos[36]	58
36.	Garita Meteorológica. Fuente: Autor	59
37.	Estación final vista lateral. Fuente: Autor	60
38.	Estación final. Fuente: Autor	61

Lista de Tablas

- 1. Cronograma Proyecto. Fuente: Autor 17
- 2. Artículos búsqueda especializada [25, 26, 27, 28, 29, 30] 20
- 3. Resumen Normas OMM [31] 23
- 4. Datos Veleta Fabricante[34] 36
- 5. Datos Veleta. Fuente: Autor 37
- 6. Datos funcionamiento sensor UV[33] 39

- 7. Comparación estación Fontibon[37] 63
- 8. Comparación estación Las Ferias[37] 64
- 9. Comparación estación 3[38] 64
- 10. Datos Sensor UV. Fuente: Autor 66
- 11. Tiempo Implementación Estación Carimagua [39] 67
- 12. Tiempo Implementación Estación Propuesta. Fuente: Autor 68
- 13. Presupuesto. Fuente: Autor 69
- 14. Costo otras estaciones similares [40, 41, 42] 70

Glosario

API: Por su siglas es un interfaz de programación de aplicaciones que permite a diferentes aplicaciones comunicarse entre sí y compartir información y funcionalidades.

Garita meteorológica: Es una estructura que sirve de protección para los instrumentos que necesitan tener contacto con el ambiente en una estación meteorológica.

IoT: El termino IoT o internet de las cosas se refiere a objetos físicos con sensores, capacidad de procesamiento, software y otras tecnologías que se conectan e intercambian datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet u otras redes de comunicación.

Microcontrolador: Son circuitos digitales que incluyen un microprocesador, funcionan de forma autónoma y se enfocan en realizar una tarea o un conjunto de tareas sencillas y repetitivas.

MVC: Modelo vista controlador es una arquitectura de software que separan los diferentes aspectos de la aplicación (lógica de entrada, lógica comercial y lógica de la interfaz de usuario).

Señal Análoga: Es una característica de los instrumento de medida, en donde puede tomar infinitos valores para su procesamiento (no sólo ceros o unos como en el caso de la digital).

Señal Digital: Una señal digital es discontinua, y sólo puede tomar dos valores o estados: 0 y 1, que pueden ser impulsos eléctricos de baja y alta tensión, interruptores abiertos o cerrados.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

La ciudad representa la forma más radical de transformación del paisaje natural. El ritmo de urbanización tan acelerado, la necesidad de construir cada vez más edificaciones de tipo vertical e infraestructura vial, la gran extensión territorial y ciertas particularidades geográficas tiene un papel significantante en la creación de microclimas [1],[2].

Un microclima urbano no solo afecta las temperaturas, sino que también repercute en diversos factores tales como: las precipitaciones, las nevadas, la presión atmosférica y el viento. Esto representa una considerable variación en el clima de las ciudades y en el desarrollo de diferentes aspectos de las mismas. Por ejemplo, en Atlanta el número de tempestades aumenta en paralelo al incremento del tráfico en carretera. En Londres, la niebla habitual se volvió más densa y contaminada en los años 50 a causa de un incremento en el tráfico vehicular. Por otro lado, en diversas ciudades se ha notado un incremento notable de la temperatura tanto en el día como en la noche, debido a un fenómeno de microclima conocido como Isla de calor urbana [3],[2]. De este modo los microclimas se pueden definir como zonas de gran variabilidad en las que el tiempo, el espacio y las características de la superficie representan papel dominante en su determinación.

Por lo tanto, la forma urbana tiene un gran impacto en la formación de microclimas (los efectos de la orientación de la calle, la altura de los edificios, los materiales de construcción y la existencia de arborización tienen una influencia considerable en las condiciones meteorológicas). De esta manera, el diseño urbano debe contemplar todos los factores antrópicos y ambientales del

medio, ya que la morfología urbana y las superficies de la ciudad se convierten en captadores de energía térmica, formando microclimas e incidiendo en el consumo energético [1].

A pesar de que en Colombia no se presenta el fenómeno de las estaciones (por su posición geográfica), sí es evidente una variedad de climas y eventos meteorológicos que proyectan una serie de cambios en el pronóstico local. Una de sus ciudades más emblemáticas (Bogotá), muestra estos cambios climáticos, ya sea por las variaciones que ha sufrido el perímetro urbano de la ciudad en las últimas décadas por el crecimiento urbano, los asentamientos humanos o la planeación y desarrollo de la ciudad. Debido a esto se ha logrado evidenciar un impacto en el clima por parte de diferentes aspectos como: altura y forma de los edificios, disposición y trazado de calles, etc [4],[5].

De esta manera y considerando el impacto que tienen los diferentes parámetros medioambientales en el desarrollo de las ciudades (además de la presencia de microclimas en territorios con características geográficas como Bogotá), es de vital importancia masificar el uso de estaciones meteorológicas y así, caracterizar de la mejor forma posible el comportamiento climático, contemplando las variaciones sectorizadas propias de los microclimas.

Con base en lo anterior, se propone la siguiente pregunta problema: ¿De qué forma parametrizar el diseño y la implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo para la caracterización masiva de microclimas urbanos en Bogotá?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Parametrizar el diseño y la implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo para la caracterización masiva de microclimas urbanos en Bogotá.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los procedimientos utilizados en la literatura científica para el diseño e implementación de estaciones meteorológicas de aplicación general.
2. Construir una propuesta que permita la parametrización para el diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo.

3. Diseñar e implementar una estación meteorológica en Bogotá, con base en la propuesta de parametrización y las características microclimáticas del lugar de instalación.
4. Validar la propuesta de parametrización con base en la medición de variables microclimáticas en el lugar de implementación y los tiempos de diseño e instalación respecto a un procedimiento convencional.

1.3. Justificación

Teniendo en cuenta que el cambio climático es uno de los problemas ambientales más graves a los que nos enfrentamos y que el efecto de los microclimas sobre este tiene una gran incidencia, es de vital importancia implementar dispositivos que permitan realizar una medición de variables medioambientales.

De la mano con la ley 1972 en Colombia, específicamente el Artículo 12, mediante el cual se fomenta la participación de universidades para propiciar la investigación y la generación de alternativas para mejorar la calidad de aire, disminuir concentraciones contaminantes en el aire y prevenir sus efectos en la salud y de igual manera la implementación de sistemas de seguimiento y monitoreo a la calidad del aire [6]. Como también, la ley 1931, Artículo 2, sección 4 (Costo-beneficio), donde se prioriza la implementación de opciones de adaptación al cambio climático que traigan el mayor beneficio en términos de reducción de impactos para la población al menor costo o esfuerzo invertido, y con mayores beneficios sociales, económicos o ambientales [7]. De este modo, es imprescindible conocer y desarrollar tecnología que permita dar una caracterización de los microclimas y los efectos de estos.

Por otra parte los autores R Martínez¹ y E Forero en su artículo "Estimation of energy efficiency in solar photovoltaic panels considering environmental variables" exponen la manera en que parámetros medioambientales inciden en la eficiencia de los paneles FV. De esta manera, un microclima puede incidir en la eficiencia de producción de un sistema FV, por lo que es necesario estimar de la mejor manera posible los recursos medioambientales disponibles, con masificación de estaciones meteorológicas [8]. Como complemento en el artículo "Estimación del potencial fotovoltaico mediante minería de datos en cuatro ciudades de Colombia" los autores Harrynson Ramírez-Murillo, Carlos A. Torres-Pinzón y Edwin F. Forero-García muestra que el estudio de variables medioambientales para producción FV considera la masificación de información, por lo que las mediciones de estaciones meteorológicas a bajo costo podrían ayudar alimentar estos modelos basados en minería de datos [9].

Por lo anterior, este proyecto pretende masificar la implementación de estaciones meteorológicas en la ciudad de Bogotá, donde su importancia no radica solamente en el medio ambiente, sino que también en los diferentes sectores (salud, transporte, turismo y energía).

1.4. Impacto Social

El clima y el estado del medio ambiente son dos factores que van de la mano, estos dos son sumamente importantes en el desarrollo de la ciudad y en las actividades diarias del ser humano. Y es que no solo afecta la manera en que nos sentimos en nuestro ambiente habitual o en la programación de nuestros quehaceres, sino que también tiene un impacto a gran escala en el crecimiento o avance de las ciudades, por ende y teniendo en cuenta la importancia de los factores ya mencionados, el desarrollo de este proyecto permitirá la toma de datos meteorológicos enfocados en los microclimas, con el fin de conocer el impacto de la ciudad y las personas sobre la generación de microclimas.

De esta manera, el presente proyecto representa un beneficio a la sociedad ya que brinda una solución sencilla y a bajo costo para el estudio de los microclimas, teniendo en cuenta que el dispositivo a desarrollar podría extrapolarse a otros proyectos acerca del clima o del pronóstico del tiempo.

Por otra parte, con la idea de fomentar el estudio de la Ingeniería Electrónica y tener una mayor relación de tipo Universidad-Colegios, se pretende implementar el dispositivo a diseñar en una institución educativa de básica secundaria.

Capítulo 2

Estado del Arte

2.1. Microclimas

La urbanización ha cambiado la forma de las ciudades en los últimos años. Las áreas urbanas con gran variación en su densidad construida, su tipología de diseño y la geometría de las calles han tenido como consecuencia condiciones de microclima más complicadas. Las condiciones microclimáticas afectan el desempeño de estructuras, el consumo de energía, la cantidad de radiación solar recibida y el flujo de aire en cañones urbanos. Sin embargo, las mediciones meteorológicas suelen minimizar los impactos de los microclimas, ya que estos datos meteorológicos se basan principalmente en observaciones a largo plazo y no consideran otras condiciones en su cálculo [10]. Por lo anterior, Kavan Javanroodi y Vahid M. Nik autores del artículo "Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas", evalúan el impacto de los datos microclimáticos en el rendimiento energético de edificios de oficinas, en dos áreas metropolitanas diferentes en condiciones climáticas típicas y extremas. Donde se adoptaron conjuntos de datos meteorológicos para examinar el rendimiento energético general de los edificios. En total, se desarrollaron y adoptaron una serie de datos meteorológicos continuos para evaluar la eficiencia energética del edificio central en cada área urbana. Dado lo anterior se obtuvo que la presión del aire, la humedad relativa y el flujo de calor se ven afectados notablemente. La temperatura de la superficie exterior y la temperatura operativa mostraron un considerable aumento en su magnitud, en comparación con otros archivos meteorológicos habituales [10]. En general, Kavan Javanroodi y Vahid M. Nik realizan un aporte al proyecto planteado ya que demuestran el impacto que tienen los microclimas en el área urbana y que las estaciones meteorológicas convencionales no son capaces de determinar de manera exacta los cambios microclimáticos que se puedan presentar. Por otra parte, Kevin R.

Therán Nieto, Lizeth Rodríguez Potes, Stephania Mouthon Celedon, and Juliana Manjarres De León presentan en su Artículo "Microclima y Confort Térmico Urbano" una investigación que muestra la importancia de la planificación, el diseño urbano y microclima de una ciudad en regiones tropicales, explorando la clasificación de las zonas climáticas locales a nivel urbano, la isla de calor urbana, el confort térmico urbano, los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento, radiación solar e iluminación natural, la vegetación y su caracterización en espacios urbanos y la morfología de una ciudad [1].

La combinación de efectos como la contaminación extrema, las olas de calor y las sequías se analizan en términos de perturbación microclimática, es por esto que, Giulia Ulpiani, Gianluca Ranzi y Mat Santamouris presentan los resultados de una campaña de monitoreo realizada en el interior oeste de la ciudad de Sydney durante la temporada de incendios forestales 2019/2020. La campaña de seguimiento duró desde el 20 de diciembre de 2019 hasta el 13 de enero de 2020, cuando cientos de incendios forestales asolaban las zonas limítrofes. Se llevó a cabo una investigación holística que permitiera conocer las interacciones entre el clima extremo con diferentes eventos (incendios forestales, sequías, olas de calor) y con un microambiente urbano local. A través de una unidad meteorológica compacta, compuesta por diferentes sensores en un trípode a una altura de aproximadamente 1,1 m, se realizó un monitoreo dirigido hacia la climatología como a la calidad del aire y su caracterización. Donde se obtuvieron diferentes resultados en aspectos como: temperatura del aire, humedad, presión barométrica, precipitación, viento, radiación solar, radiación UV e índice UV. De modo que, la implementación de estaciones meteorológicas resultan útiles al momento de caracterizar y estudiar los efectos de los microclimas [11].

C.Piselli, V.L.Castaldo, I.Pigliautile, A.L.Pisello and F.Cotana presentan en su Artículo "Outdoor comfort conditions in urban areas: On citizens' perspective about microclimate mitigation of urban transit areas" una investigación que muestra la perspectiva de los ciudadanos sobre las condiciones del microclima local en el sistema de transporte urbano en el centro de Italia, con el fin de proponer estrategias de mitigación efectivas. Todo este proceso se realizó mediante encuestas a peatones que cruzaban el área y a su vez se realizó el seguimiento continuo de los principales parámetros ambientales. Obteniendo como resultado a través de simulaciones estrategias que permitieran la mitigación del microclima y mejora del paisaje [12]. Del anterior artículo se resalta el aprovechamiento de simuladores para caracterizar los microclimas, ya que representa un aspecto importante al momento de caracterizar el comportamiento de los lugares y como se ven afectados estos por las variaciones microclimáticas.

El estrés por calor en las zonas urbanas puede tener efectos perjudiciales sobre la salud, el bienestar y el desarrollo de las actividades diarias de las personas. Para reducir los efectos

mencionados se han utilizado simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) del microclima urbano, con el inconveniente de que dichas simulaciones deben ser validadas mediante la comparación con datos experimentales. Es por eso que Nestoras Antoniou, Hamid Montazeri, Marina Neophytou y Bert Blocken desarrollan un estudio que lleva por título "CFD simulation of urban microclimate: Validation using high-resolution field measurements", donde se pretende realizar simulaciones CFD de microclima urbano para un distrito en Nicosia y Chipre y se validaran mediante mediciones de la temperatura del aire, la velocidad del viento y la temperatura de la superficie. Dichas simulaciones arrojaron que es posible predecir la temperatura del aire, la velocidad del viento y temperaturas superficiales [13].

2.2. Diseño e implementación de estaciones meteorológicas

Realizar mediciones precisas de la radiación solar, la temperatura atmosférica y la humedad, así como la posibilidad de pronosticar el tiempo, desarrollan un papel importante para diferentes áreas como: la agricultura, las energías renovables y la gestión energética, o el confort térmico en edificios. Teniendo en cuenta esto, los autores Bohdan Marii, Tetyana Pavych, Helder Duarte y Yaroslav Paramud presentan en su artículo "Implementation of The Weather Station Software on A Microprocessor Platform Using .NET Technology", describe la implementación de una estación meteorológica utilizando tecnología .NET. El sistema consta de hardware para recopilar datos, un microprocesador para procesarlos y una aplicación de software para visualizar y almacenar los datos. Por un lado el hardware incluye un módulo que recopila datos meteorológicos a través de sensores, el microprocesador procesa los datos recopilados por el hardware y los prepara para su visualización y almacenamiento, por ultimo, el software se desarrolla utilizando la plataforma .NET y consta de una aplicación que permite visualizar y almacenar los datos meteorológicos.[14]. Por otra parte, los autores Ahmed Radhi y Fawzi Mohammed Munir en su artículo "Design of a Prototype Local Smart Weather Station Based on Wi-Fi" describen el diseño e implementación de una estación meteorológica inalámbrica de bajo costo utilizando un microcontrolador Arduino Uno. El objetivo principal es proporcionar una alternativa a las estaciones meteorológicas convencionales que requieren expertos para su operación, lo que aumenta los costos. La estación es capaz de medir parámetros ambientales como temperatura, lluvia, humedad, velocidad y dirección del viento. Los datos medidos se transmiten a un servidor web a través de una red inalámbrica local (Wi-Fi) y se presentan a los clientes como una página web. [15]. De esta manera, se tiene un posible método para implementar una estación meteorológica, para la adquisición y monitoreo de datos de forma remota.

Los autores Aris Munandar, Hanif Fakhurroja, Muhammad Ilham Rizqyawan, Rian Putra Pratama, Jony Winaryo Wibowo, Irfan Asfy Fakhry Anto proponen en su artículo "Design of Real-time Weather Monitoring System Based on Mobile Application using Automatic Weather Station", el diseño de un sistema de monitoreo del clima en tiempo real basado en una aplicación móvil usando una estación meteorológica automática (AWS). AWS es una estación que permite obtener datos del clima y enviar dichos resultados automáticamente. El sistema se conecta a dicha estación equipada con varios sensores para recopilar información y almacenarla en un servidor web, seguido de esto se transmiten los datos y una aplicación de Android lee los archivos y muestra la información proporcionada por el servidor web en tiempo real. Por otro lado, el sistema de vigilancia meteorológica consta de un sensor de lluvia, sensor de temperatura, sensor de humedad, sensor de velocidad del viento y sensor de radiación solar [16]. De este artículo sobresalen los métodos de adquisición y consulta de datos a través de una aplicación móvil. Dichos métodos podrían ser de gran utilidad en el desarrollo del actual proyecto.

Teniendo en cuenta los problemas existentes al momento de medir variables ambientales en el sector agrícola, farmacéutico, planificadores de eventos y otros. Es por eso que Israa S. Al-Furati, Fatemah K. Al-Assfor, Atheel K. y Abdul Zahra proponen en su artículo "Design and Implementation of a Low-Cost Weather Stations Meter" un sistema para calcular el clima (frío, calor, velocidad del viento, humedad, temperatura y seco) en un ambiente interior y exterior con el fin de monitorear y controlar las condiciones climáticas. Dicho sistema consta de diversos componentes que conforman el hardware del dispositivo, como el sensor DHT-11, la pantalla LCD (16 × 4), Microcontrolador Arduino y un codificador para calcular la velocidad del viento [17]. El desarrollo mostrado anteriormente plantea una manera distinta para el diseño de una estación meteorológica basada en una tarjeta arduino, dicho planteamiento podría llegar a ser de utilidad a la hora del desarrollo del dispositivo planteado.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Estación Meteorológica

Se da la definición de estación meteorológica a una instalación en la que se poseen una serie de instrumentos que tienen como propósito la recolección y el registro de variables meteorológicas (variables físicas). Los principales instrumentos o sensores que se incorporan en este dispositivo son: termómetro, barómetro, pluviómetro, psicrómetro, pirómetro y pluviómetro[15].

3.1.1. Variables meteorológicas

3.1.1.1. Temperatura

La temperatura es la magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia, Cuanta mas agitación presenten dichas partículas mayor será la temperatura. También se puede definir como la medida de calor de un cuerpo o del medio ambiente. El instrumento que se utiliza para medir la temperatura se conoce como termómetro y su unidad de medida principal es la escala Celsius (°C) [18].

3.1.1.2. Humedad

La humedad ambiental se define como la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se representa en porcentaje o grado de humedad y es medida por un psicrómetro[19].

Existen diferentes magnitudes de humedad dependiendo de la proporción de vapor de agua dentro de un cierto volumen:

Humedad absoluta

Es la masa total de vapor de agua existente en el aire por unidad de volumen, y se expresa en gramos por metro cúbico de aire (g/m³)[20].

Humedad específica

Hace referencia a la masa de agua que se encuentra en estado gaseoso en un kilogramo de aire húmedo, y se expresa en gramos por kilogramo de aire (g/kg)[19].

Humedad relativa

Se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada. Depende de la temperatura y la presión del volumen de aire analizado. Su valor varía entre 0 (aire completamente seco) y 100 aire saturado[18].

3.1.1.3. Velocidad y dirección del viento

Se define como el movimiento de aire desde una zona hasta otra. Este surge debido a la diferencia de presión o temperatura entre dos puntos. Para la velocidad del viento, hay diferentes unidades de medida: kilómetros por hora (km/h), metros por segundo (m/s), nudos y se mide a través del anemómetro [19].

En cuanto a la dirección del viento esta es el punto del horizonte de dónde viene o sopla el viento. El instrumento que se usa para dicha medición es la veleta [18].

3.1.1.4. Precipitación

Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se acumula en la superficie terrestre. Este fenómeno ocurre cuando la atmósfera con el vapor de agua, de manera que esta se condensa y cae de la solución, es decir, se precipita. La precipitación puede presentarse en la superficie de la tierra de diferentes maneras ya sea en forma de lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. El instrumento utilizado para la medida de la precipitación se conoce como pluviómetro [21].

3.1.1.5. Energía Solar

La energía proveniente del sol llega a la superficie terrestre bajo cuatro formas distintas[22].

Irradiancia directa

Hace referencia a la que llega directamente del sol sin sufrir modificación alguna en su dirección[22].

Irradiancia difusa

Es aquella que proviene de la reflexión de las nubes, partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. y viaja en todas direcciones[22].

Irradiancia reflejada

Como su nombre lo indica es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de esta magnitud depende del coeficiente de reflexión de la superficie, conocido como albedo[22].

Irradiancia global

Es la irradiancia total, es decir, la suma de las irradiancias directa y la difusa [22].

3.2. Microclimas

En la literatura la palabra microclima se entiende como un conjunto de condiciones climáticas, ya sean radiación solar y terrestre, viento, temperatura, humedad del aire y precipitación. Estas se caracterizan por encontrarse en área específicas de una región o lugar[20].

El microclima se puede ver influenciado notablemente por la interacción de la atmósfera con la superficie terrestre y las diferentes estructuras que encuentran sobre ella, es decir, por ejemplo desde la presencia de ríos hasta la orientación de la calle, la altura de los edificios, los materiales de construcción y la existencia de arborización tienen una influencia considerable en las condiciones de microclima[20].

3.2.1. Microclima Urbano

Como su nombre lo indica el microclima urbano es un fenómeno que hace referencia a las condiciones climáticas y ambientales que existen en áreas urbanas, y pueden variar significativamente de un área a otra[1].

Como se mencionaban el microclima urbano se ve influenciado por una serie de factores, incluyendo la geometría de los edificios, la presencia de obstáculos en la ciudad, la densidad de la población, el uso del suelo, la presencia de áreas verdes y la calidad del aire. Además, la presencia de fuentes de calor y la falta de vegetación en las ciudades pueden aumentar la temperatura en comparación con las áreas circundantes, lo que se conoce como el "efecto isla de calor"[1].

3.2.1.1. Isla de calor

Existen varios problemas producidos a causa de la urbanización, uno de estos es la isla de calor y se caracteriza por el aumento de la temperatura en espacios urbanas. Las causas de dicho fenómeno es producido por edificaciones, terrenos absorbentes de calor y de baja reflectancia, sistemas de transporte, falta de vegetación, materiales absorbentes de calor, falta de ventilación, altos niveles de contaminación y tráfico[23].

Capítulo 4

Diseño Metodológico

Para el desarrollo del proyecto se tendrá como base una investigación de tipo tecnológica aplicada con un enfoque de estudio mixto, donde mediante el análisis de documentos, el aprovechamiento de conocimientos teórico científicos, diseños experimentales y el estudio de los contextos estructurales y situacionales, se pretende recolectar y analizar datos cuantitativos y cualitativos. De manera que, la investigación es de carácter cualitativo dado que se necesita indagar e investigar acerca de los fenómenos medioambientales(microclimas) y cuantitativa en contexto de los resultados obtenidos a través de la implementación de una estación meteorológica [24].

Por lo anterior, el proyecto se segmenta en 4 fases, una fase por cada objetivo específico.

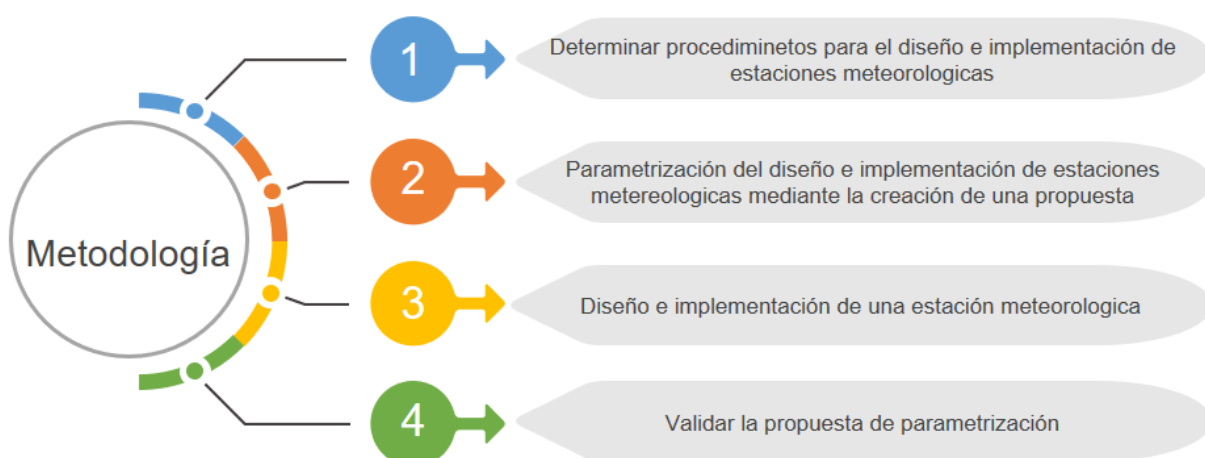


FIGURA 1: Esquema metodología. Fuente: Autor

Cada fase consta de una serie de actividades que permitirán el alcance de la misma, así mismo cada actividad tendrá sus respectivos entregables.

4.1. Fase 1

En la primera fase se pretende determinar los procedimientos para el diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo, para así tener una idea de cómo y en base a qué se va a desarrollar el proyecto.

4.1.1. Revisión literatura científica para el diseño e implementación de estaciones meteorológicas

1. Algoritmo de búsqueda especializado en SCOPUS.
2. Selección de artículos específicos en el ámbito a desarrollar.
3. Extracción de elementos esenciales en el diseño e implementación de estaciones meteorológicas.

4.2. Fase 2

En la segunda fase se pretende construir una propuesta que permita la parametrización de los procedimientos encontrados anteriormente, para así diseñar e implementar una estación meteorológica a bajo costo.

4.2.1. Construcción de la propuesta

1. Esquema metodológico basado en los procedimientos encontrados en la literatura científica.
2. Esquema metodológico enfocado a la parametrización del diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo.

4.3. Fase 3

En la tercera fase, a través de la propuesta planteada y las características microclimáticas del lugar de instalación se llevará a cabo el diseño e implementación de una estación meteorológica a bajo costo. Para esto se tendrá en cuenta las diferentes variables que se quieren medir en el lugar de instalación y a su vez se realizará la respectiva calibración de cada uno de los sensores a utilizar.

4.3.1. Diseño estación meteorológica

1. Lista de variables a censar y sus respectivos sensores.
2. Plano de la estación a implementar.

4.3.2. Implementación estación meteorológica

1. Desarrollo programa para la toma de las variables climáticas.
2. Desarrollo Aplicación para el monitoreo.
3. Plan de Calibración.
4. Circuito para acople de los sensores.
5. Montaje de la estación.
6. Ubicación y área disponible para la instalación.
7. Instalación.

4.4. Fase 4

Finalmente, en la cuarta fase se implementa una estación meteorológica con el fin de validar la parametrización propuesta mediante la toma y recolección de datos. Dicha validación se hará mediante la comparación de los datos obtenidos con mediciones realizadas por estaciones meteorológicas robustas a nivel ciudad, además se pretende contrastar los tiempos de diseño e implementación de metodologías convencionales con respecto a la parametrización realizada. Esto con el fin de mostrar la capacidad de obtener una caracterización masificada de microclimas en la ciudad de Bogotá.

4.4.1. Medición de variables microclimáticas de 1 semana

1. Registro de las variables microclimáticas durante 1 semana.

4.4.2. Validación de la propuesta

1. Análisis de resultados
2. Análisis del tiempo empleado en la construcción de la estación.

4.5. Aclaraciones

En cuanto a la implementación en una institución educativa, a pesar de que se pretende fomentar el estudio de la ingeniería electrónica, no se tendrá un enfoque hacia la fomentación de competencias en los estudiantes, sin embargo, el dispositivo a desarrollar se verá como un insumo para que en futuros proyectos se pueda dar una orientación a los estudiantes y que de esta manera desarrollen habilidades en el ámbito de la ingeniería electrónica.

4.6. Cronograma

ACTIVIDADES																																												
	1				2				3				4				5				6				7				8				9				10							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
FASE 1																																												
Algoritmo de búsqueda especializado en SCOPUS	■	■	■	■																																								
Selección de artículos específicos en el ámbito a desarrollar.	■	■	■	■																																								
Extracción de elementos esenciales en el diseño e implementación de estaciones meteorológicas.	■	■	■	■																																								
FASE 2																																												
Esquema metodológico basado en los procedimientos encontrados en la literatura científica.							■	■																																				
Esquema metodológico enfocado a la parametrización del diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo.											■	■																																
FASE 3																																												
Lista de variables a censar y sus respectivos sensores.											■																																	
Plano de la estación a implementar											■	■																																
Desarrollo programa para la toma de las variables climáticas.													■	■	■	■	■	■	■	■																								
Desarrollo Aplicación para el monitoreo.																	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Plan de calibración																																												
Circuito para acople de los sensores																																												
Montaje de la estación																																												
Ubicación e instalación																																												
FASE 4																																												
Registro de las variables microclimáticas durante 1 semana																																												
Análisis de resultados																																												
Análisis del tiempo empleado en la construcción de la estación.																																												
Documento Final																																												

TABLA 1: Cronograma Proyecto. Fuente: Autor

Capítulo 5

Desarrollo Conceptual

5.1. Fase 1 Recursos literarios especializados

Se realizó una búsqueda a través de una base de datos bibliográfica conocida como Scopus, en dicha base se estableció una ecuación de búsqueda, en donde a medida que se iban agregando palabras claves los resultados se iban reduciendo hasta llegar a tan solo 18 documentos especificados que abordan el tema del proyecto. La ecuación encontrada es la siguiente: Ecuación de búsqueda Definitiva: (TITLE-ABS-KEY ("Weather Station") AND TITLE-ABS-KEY (design) AND TITLE-ABS-KEY (implementation) AND TITLE-ABS-KEY ("low cost")). Se escogieron los artículos que fueran de mayor utilidad para el desarrollo del proyecto, estos fueron.

1. Design and Implementation of a Prototype of an Automatic Weather Station for the Measurement of Eolic and Solar Energy Resource[25].
2. Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems[26].
3. Design, Development and Implementation of a Low Cost Weather Station for high mountains[27].
4. Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things[28].
5. Implementation of a low-cost weather station developed in design-based learning framework[29].
6. Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee[30].

Autor	Titulo del trabajo	Aspectos principales
Garzón Guzman, B.Y., Rincón Ceron, M.F., Rojas Cubides, H.E., Rodriguez Patarro- yo, D.J.	Design and Implementation of a Prototype of an Automatic Weather Station for the Measurement of Eolic and Solar Energy Resource.	Estación Meteorológica Automática. Enfoque energía eólica y fotovoltaica. Tarjeta Arduino Due. Módulo Wi-Fi ESP8266 Sensores como termómetro, higrómetro, barómetro, piranómetro, anemómetro, veleta y pluviómetro. Servidor Web. Calibración. Diversos elementos periféricos. Normativa de la OMM. Circuito impreso (PCB). Almacenamiento SD
Morón, C., Diaz, J.P., Ferrández, D., Saiz, P.	Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems.	Sistemas de energía renovables Tarjeta Arduino Mega 2560 Variables como lluvia, temperatura, presión, humedad, calidad del aire y velocidad del viento. Diseño de prototipo. Calibración. Bajo Costo de 300 Euros. Placa para los circuitos.
Leon, J.L., Anacona, P.I., Marcos, K.M., Mendocilla, C.V.	Design, Development and Implementation of a Low Cost Weather Station for high mountains.	Estación Meteorológica Automática. Controlador Arduino Mega Zonas de alta montaña. Bajo costo. Normativa de la OMM. Almacenamiento SD. Sensor de temperatura, humedad, temperatura del suelo, presión, velocidad y dirección del viento. Protección contra variables externas. Circuito impreso (PCB)

Autor	Titulo del trabajo	Aspectos principales
Ioannou, K., Karampatzakis, D., Amanatidis, P., Aggelopoulos, V., Karmiris, I.	Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things.	Estación Meteorológica Automática. Internet de las cosas Raspberry Pi Zero (RPi-0) Módulo Wi-Fi ESP8266 Base de datos MYSQL Servidor WEB Sensor de lluvia, temperatura y humedad del aire, humedad y temperatura del suelo, presión, velocidad y dirección del viento. Circuito impreso (PCB)
Antonini, A., Bini, L., Rafanelli, G., Cantini, I.	Implementation of a low-cost weather station developed in design-based learning framework.	Prototipo de estación meteorológica. Bajo costo. ARDUINO y Raspberry. IoT. Sensores como termómetro, barómetro, higrómetro, anemómetro, veleta y pluviómetro.
Hussein, Z.K., Hadi, H.J., Abdul-Mutaleb, M.R., Mezaal, Y.S.	Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee	Comunicación ZigBee. Bajo costo. Placa Arduino Uno. Sensor de lluvia, nivel de viento, temperatura, humedad, densidad del polvo y presión. Almacenamiento SD. Comunicación serial. Pantalla GLCD.

TABLA 2: Artículos búsqueda especializada [25, 26, 27, 28, 29, 30]

Con base en la Tabla 2, se encontraron los siguientes aspectos a tener en cuenta respecto a al diseño e implementación de estaciones meteorológicas.

5.1.1. Diseño

5.1.1.1. Variables y sensores

Las variables más comunes en estaciones meteorológicas de aplicación general son: temperatura, humedad, presión, precipitación, radiación solar y velocidad, dirección y temperatura del viento[25, 26, 27, 28, 29, 30].

5.1.1.2. Definir Arquitectura

La arquitectura representa una parte fundamental en el ámbito del diseño ya que es la que va a permitir la obtención de datos a través de los sensores. Entre las arquitecturas más usadas se encuentra, Arduino Due[25], Arduino Uno[6, 29], Arduino Mega[26, 27] y Raspberry[28, 29].

5.1.1.3. Dispositivos periféricos

Así mismo, dentro de los artículos se considera un conjunto de elementos externos de vital importancia para el desarrollo de una estación meteorológica. Entre estos, se resaltan los siguientes periféricos.

- Sistema de comunicación: Es aquel que se encarga de transmitir los datos obtenidos por los sensores, una de las posibilidades es utilizar una placa con tecnología IOT, de lo contrario se deberá agregar un modulo externo que supla dicha necesidad[25, 28, 29]. Por otra parte se menciona la existencia de otro tipo de sistema de comunicación conocido como ZigBee que es una alternativa a sistemas ya conocidos como WiFi y Bluetooth[30].
- Almacenamiento: Se encarga de guardar los datos obtenidos. Se puede utilizar una memoria conectada a la tarjeta de desarrollo[25, 27, 29]. Sin embargo, existen otros métodos de almacenamiento y visualización que no requieren el uso de dispositivos periféricos. Esto hace referencia al desarrollo de una aplicación web conectada a una base de datos, de esta manera se puede observar los datos en tiempo real desde cualquier dispositivo con conexión a internet y así mismo se podrá acceder a los registros de los datos obtenidos[25, 28].

- Visualización: Permitirá observar en tiempo real los datos obtenidos por los sensores. Se puede utilizar una pantalla LCD[30].
- Autonomía Energética Debido a que las estaciones meteorológicas suelen estar ubicadas en todo tipo de localizaciones, dependiendo el enfoque que se tenga importante que la estación siempre tenga un respaldo de energía para su funcionamiento en caso de no poder acceder a la red eléctrica, ya sean paneles solares o baterías[25, 26, 28].

5.1.2. Implementación

5.1.2.1. OMM

Para realizar la correcta implementación de una estación meteorológica se deben tener en cuenta las normas de la OMM(Organización Meteorológica Mundial). Esta proporciona estándares para las estaciones meteorológicas y el uso de los sensores.

Item	Norma
Emplazamiento	<p>Los instrumentos exteriores deben instalarse en un terreno Llano, no debe haber laderas inclinadas en las proximidades, y el emplazamiento no debe encontrarse en una hondonada.</p> <p>Si no se cumplen las condiciones anteriores, las observaciones pueden presentar peculiaridades de significación puramente local;</p> <p>El emplazamiento debe estar suficientemente alejado de arboles, edificios, muros u otros obstáculos.</p> <p>El registrador de luz solar, el pluviómetro y el anemómetro han de encontrarse en emplazamientos con exposiciones que satisfagan sus requisitos</p>
Sensores	<p>Exactitud (según el requisito especificado para la variable de que se trate)</p> <p>Fiabilidad</p> <p>Facilidad de funcionamiento y mantenimiento</p> <p>Sencillez de diseño (conforme a los requisitos)</p> <p>Durabilidad.</p>

Item	Norma
Protección	El sensor de temperatura debe estar resguardado a través de una garita meteorológica que le permita tener contacto con el ambiente y que a su vez lo proteja de los rayos solares directos que puedan causar variaciones en la medida.

TABLA 3: Resumen Normas OMM [31]

5.1.2.2. Calibración de dispositivos

Es de vital importancia tener un plan de calibración de los sensores a usar, ya que de esto depende la toma de datos fiables y con el menor error posible que permita el dispositivo. Uno de los proyectos optó por llevar sus respectivos sensores al Laboratorio de Radiometría Solar de la Fundación Universitaria Los Libertadores en Bogotá y así realizar la calibración de cada uno de ellos[25]. Por otro parte otras de las posibilidades mencionadas para la calibración o cerciorarse que los sensores tengan un correcto funcionamiento es realizar una comparación con estaciones que ya han sido previamente calibradas[26].

5.1.2.3. Montaje del circuito

Se recomienda construir una PCB o una placa para la implementación de todos los sensores a utilizar[25, 26, 27, 28].

5.1.2.4. Variables externas

Se debe tener en cuenta las condiciones climáticas del lugar de instalación y que estas no afecten el funcionamiento de los diferentes elementos electrónicos implementados, para ello se recomienda que todos estos elementos se encuentren resguardados en un caja que no permita el contacto del exterior con dichos elementos[27].

5.2. Fase 2 Propuesta de parametrización

A partir de los procedimientos encontrados en la fase anterior se realizaron diversos esquemas que explican la metodología a seguir para diseñar e implementar una estación meteorológica.

5.2.0.1. Esquema metodológico basado en los procedimientos encontrados en la literatura científica

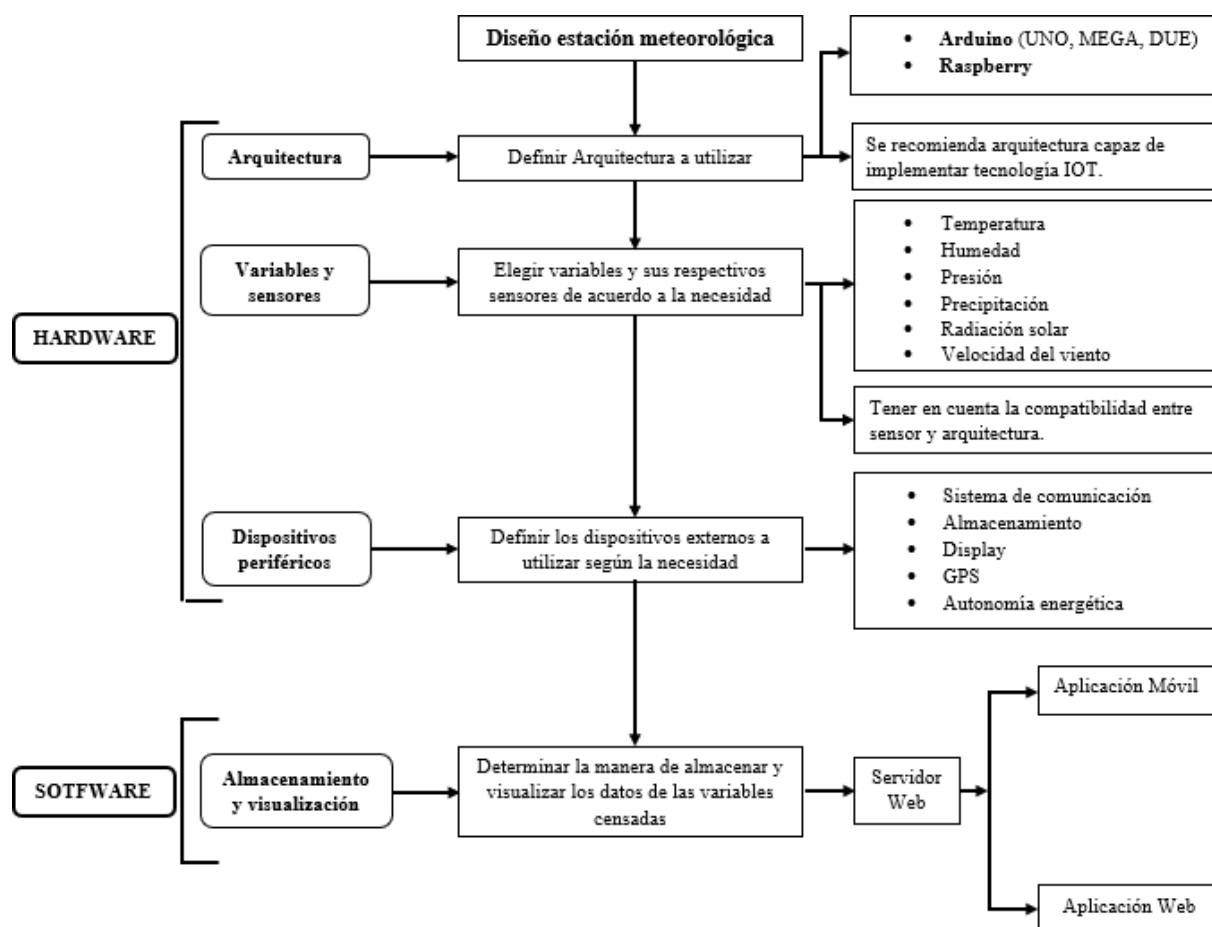


FIGURA 2: Esquema metodológico diseño. Fuente: Autor

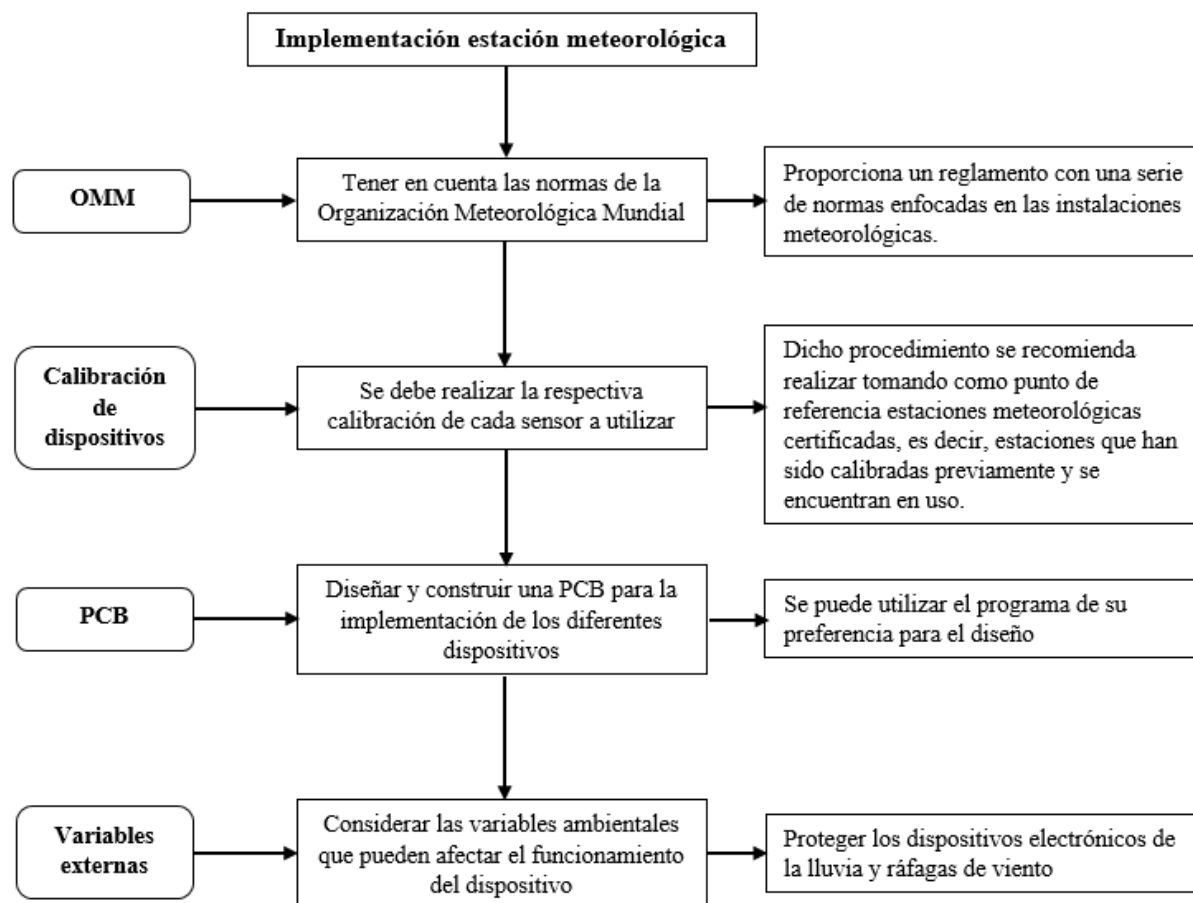


FIGURA 3: Esquema metodológico implementación. Fuente: Autor

5.2.0.2. Esquema metodológico enfocado a la parametrización del diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo.

Teniendo en cuenta las Figuras 2, 3 y el enfoque del proyecto se construyen diversos esquemas que parametrizan el diseño e implementación de estaciones meteorológicas a bajo costo.

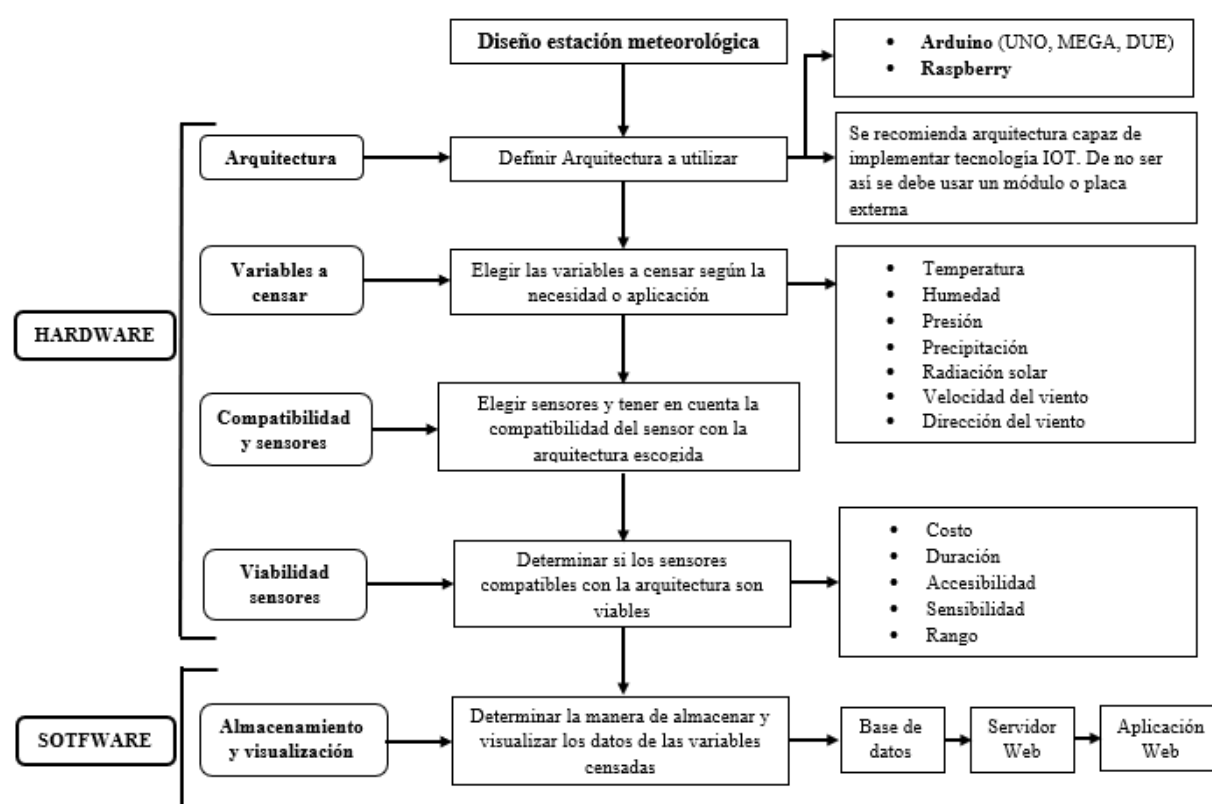


FIGURA 4: Esquema metodológico de diseño parametrizado. Fuente: Autor

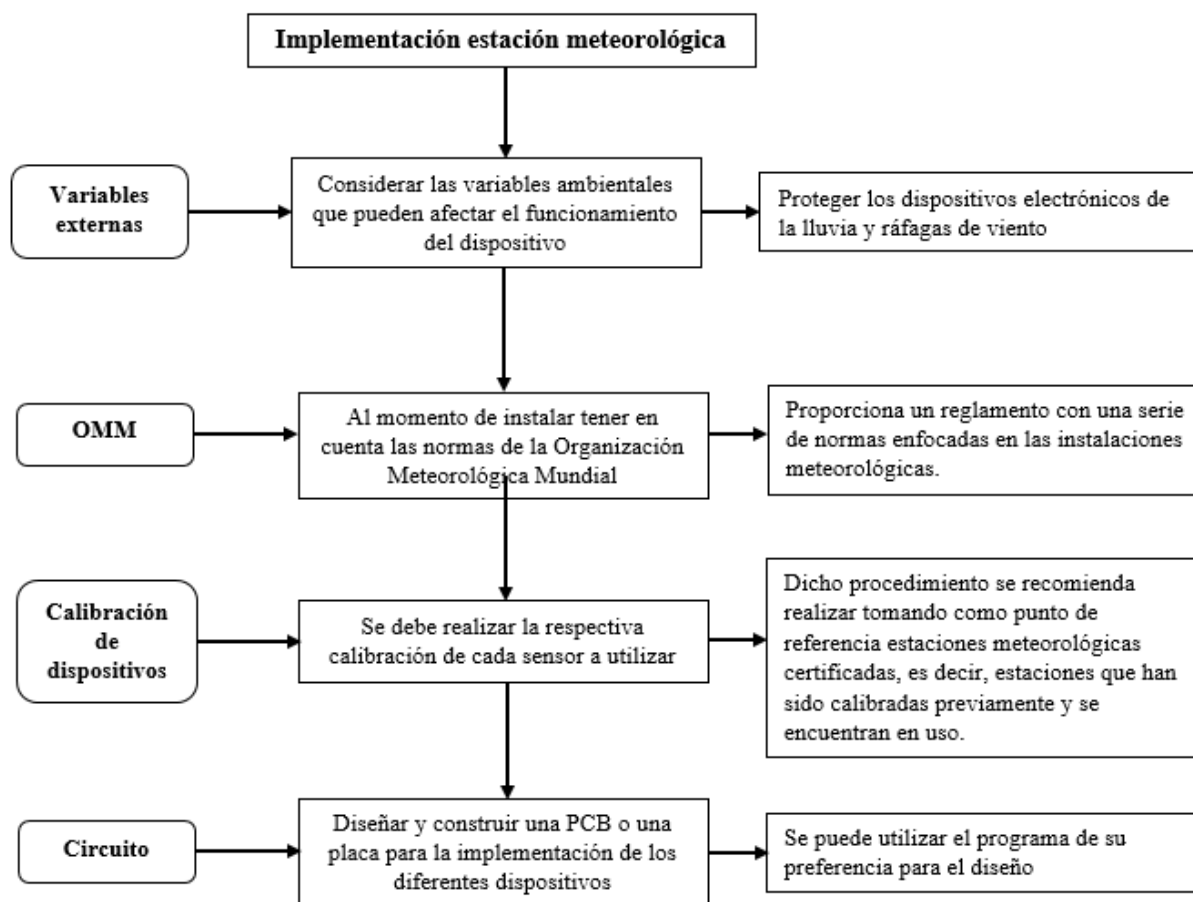


FIGURA 5: Esquema metodológico de implementación parametrizado. Fuente: Autor

5.3. Fase 3 Diseño e Implementación

Según lo estipulado en las Figura 4 a continuación se muestra el proceso de diseño de la estación meteorológica

5.3.1. Definir arquitectura

Se opta por utilizar una tarjeta Arduino Mega ya que es la más utilizada en la documentación encontrada (2). Por otra parte es muy similar a la tarjeta Arduino Uno con la que ya se había trabajado en otros proyectos, su diferencia está en que el Arduino Mega tiene una mayor capacidad de memoria para soportar códigos más robustos y tiene un número elevado de pines tanto digitales como análogos lo que permite la utilización de varios sensores y que se puedan implementa más en proyectos futuros.

En cuanto la Raspberry, es un microcontrolador mas avanzado y potente, sin embargo, es una arquitectura desconocida y su costo aumenta considerablemente frente a la tarjeta Arduino Mega.

Hay que tener en cuenta que esta tarjeta no posee un modulo WiFi es decir no posee tecnología IOT, sin embargo, si es compatible con esta y por eso se opta por un modulo Módulo WiFi NodeMCU ESP8266 que es otra de las arquitecturas que se han manejado y es completamente compatible con tarjetas e IDE de Arduino.

5.3.2. Variables a censar y sensores

Teniendo en cuenta las características que se quieren medir enfocándose en los microclimas urbanos se escogen los siguientes sensores. Cada sensor seleccionado es totalmente compatible con la tarjeta Arduino Mega lo que facilita su implementación, además de manejar un amplio rango de medida y bajo porcentaje de error. Por otra parte cumplen con las normas de la OMM.

5.3.2.1. Sensor de Humedad y Temperatura DHT22



FIGURA 6: Sensor humedad y temperatura [32]

Especificaciones

- Voltaje de Operación: 3.3 a 5.5V.
- Rango de Temperatura de -40 a 80°C.
- Rango de Humedad de 0 a 99.9% de Humedad Relativa.

5.3.2.2. Sensor de Luz Ultravioleta GUVA-S12SD

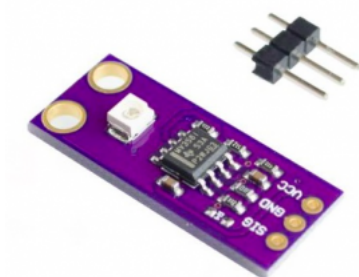


FIGURA 7: Sensor UV [33]

Especificaciones

- Rango de voltaje: 2.7V 5.5 V.

- Consumo de corriente: 1 mA.
- Rango de detección espectral: 240 nm 370 nm.
- Responsividad: 0.14 A/W @300 nm.

5.3.2.3. Kit estación meteorológica SEN-15901



FIGURA 8: Kit estación meteorológica [34]

Este Kit cuenta con sensores de velocidad del viento, dirección del viento y lluvia con conectores tipo RJ-11. Estos componentes utilizan interruptores de lengüeta magnéticos e imanes, por lo que es necesario aplicar un voltaje para tomar las medidas.



FIGURA 9: Anemómetro [34]

El anemómetro mide la velocidad del viento cerrando un contacto de manera que por un instante de tiempo se genera un pulso, cada pulso por segundo equivale a una velocidad del viento de 2,4 km/h. El interruptor del anemómetro está conectado a los dos conductores internos del cable RJ 11 compartido por el anemómetro y la veleta (pines 2 y 3) [35].



FIGURA 10: Pluviómetro [34]

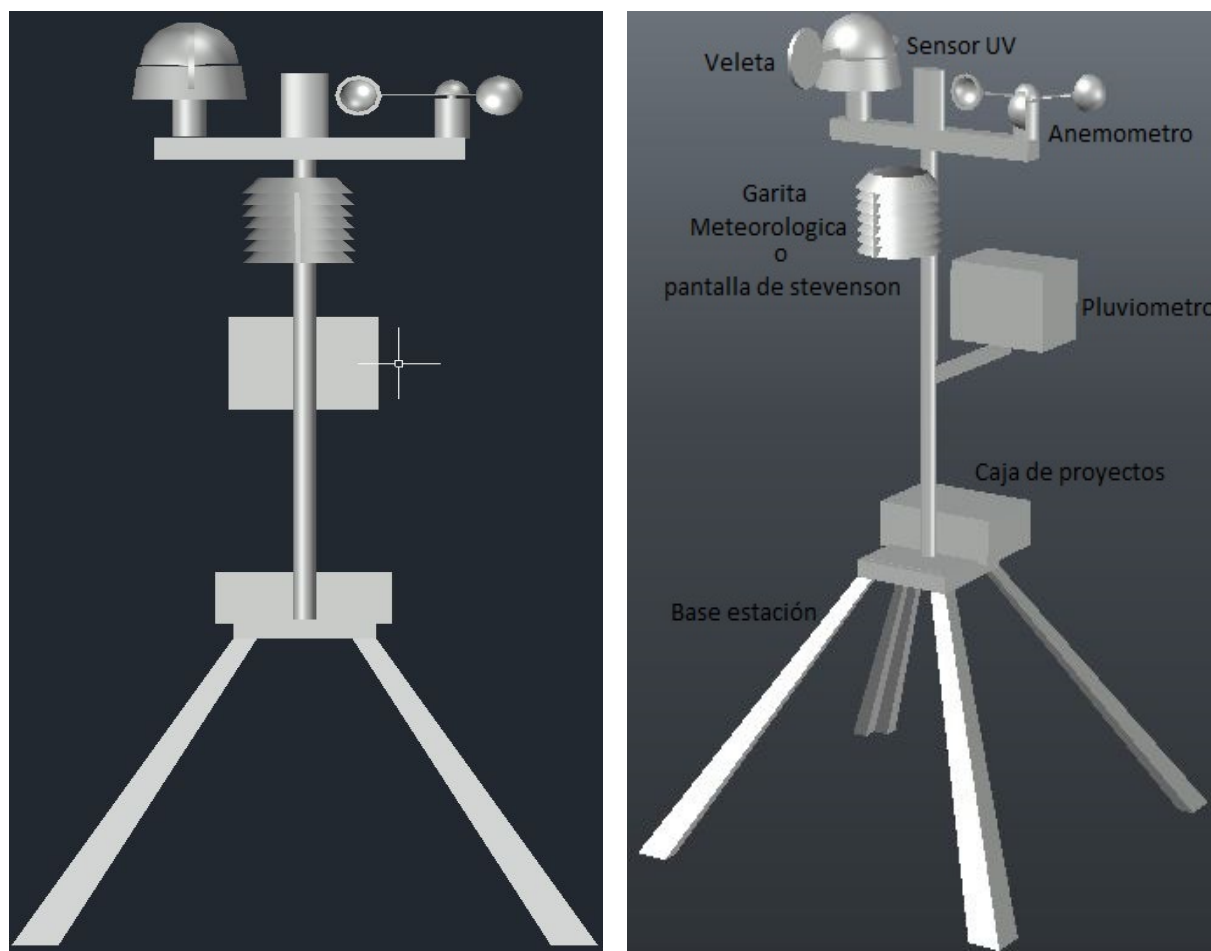
El pluviómetro es de tipo cubeta basculante autovaciable, es decir, cada 0,2794 mm de lluvia causan el cambio de estado de una balanza que a su vez cierra un contacto permitiendo el paso de voltaje por un momento, de manera que se pueda registrar el pulso mediante un contador digital [35].



FIGURA 11: Pluviómetro[34]

La veleta que se encarga de medir la dirección del viento consta de 8 interruptores cada uno conectado a una resistencia de diferente valor. Además posee un imán que permite cerrar 2 interruptores a la vez, de manera que es posible tener 16 distintas posiciones [35].

5.3.3. Plano de la estación a implementar



(A) Vista 1 estación

(B) Vista 2 estación

FIGURA 12: Planos estación meteorológica. Fuente: Autor

En la Figura 12 se muestran los diferentes elementos que constituyen la estación meteorológica. En la parte superior se encuentran el anemómetro (velocidad del viento) y la veleta (dirección del viento), debajo de la base superior se observa la garita meteorológica o pantalla de Stevenson, encargada de proteger a elementos electrónicos que necesiten estar a la intemperie. A mitad de la estructura se encuentra el pluviómetro (sensor de lluvia) y debajo de este una caja que tiene la función de proteger las tarjetas de desarrollo que se encargan del funcionamiento de la estación. Finalmente se tiene la base que sostiene toda la estación, esta consta de 4 patas para una mayor estabilidad.

5.3.4. Desarrollo Software

En este apartado se muestran los diferentes códigos utilizados para el funcionamiento de la estación meteorológica. Estos abarcan desde la manera de como se adquieren los datos, como se envían estos al servidor, como el servidor los recibe a través de una API y por ultimo como son mostrados en la aplicación web final.

5.3.5. Adquisición de datos

Para la adquisición de los datos se utilizó una tarjeta Arduino Mega 2560. Se desarrollaron diferentes códigos dependiendo de las necesidades de cada sensor.

a. Pluviómetro

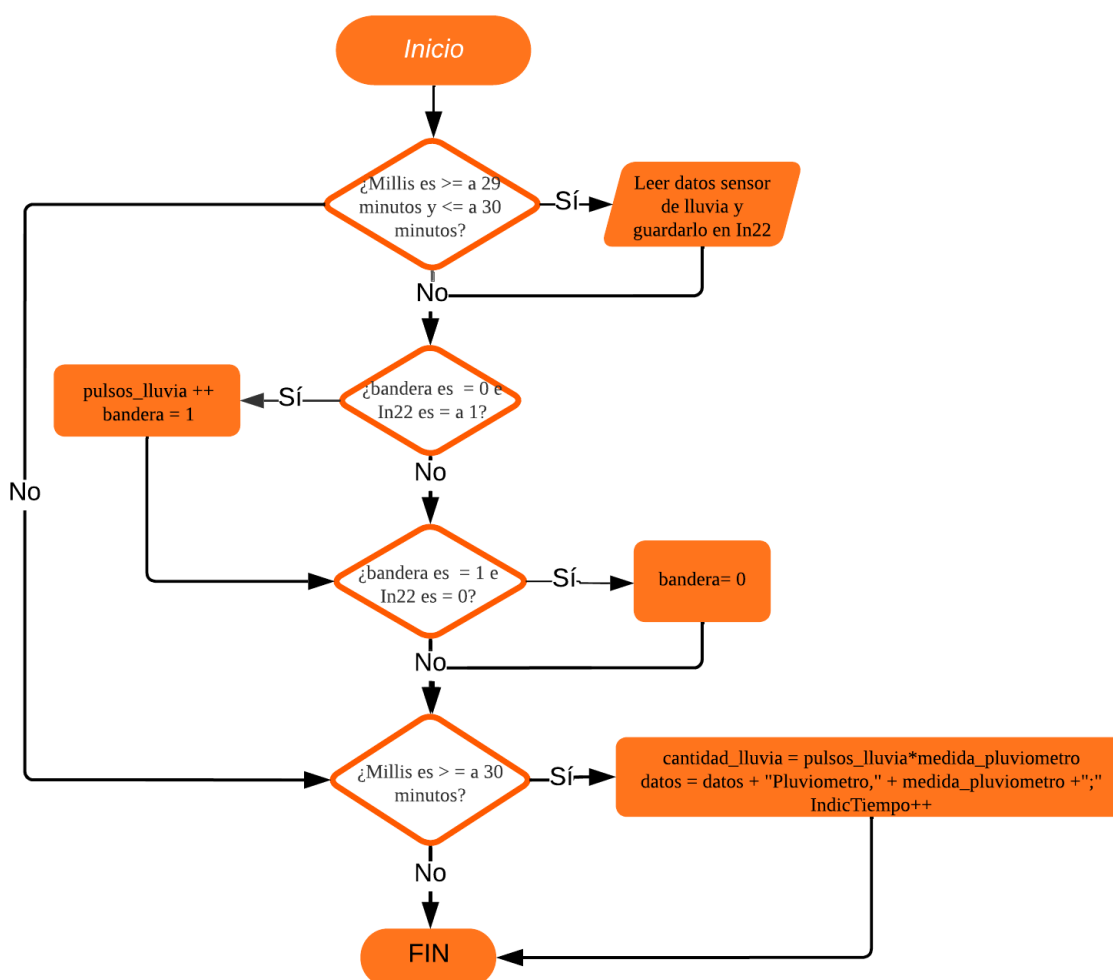


FIGURA 13: Diagrama código Pluviómetro. Fuente: Autor

Se utiliza la función interna millis de la tarjeta arduino, de manera que permita contabilizar el tiempo en que se van a tomar y enviar los datos. La información del sensor debe ser enviada cada 30 minutos por lo tanto el sensor empezara a tomar datos cada 20 minutos y durante los próximos 10 minutos se hará lectura de los datos a través de la entrada digital 22 y se guardara en la variable In22, cada vez que el sensor se active durante ese periodo de tiempo aumentara en 1 el contador de pulsos de lluvia y a su vez una bandera o indicador cambiara su estado para cerciorarse de que solo se tome un pulso cada vez que el sensor pase de 0 a 1. Pasado el tiempo de la toma de datos se pregunta si ya han pasado 30 minutos y de ser así se multiplica la cantidad de pulsos por la medida de lluvia que representa cada pulso que es de 0,2794 mm (este dato es dado por el datasheet del sensor) se divide entre la cantidad de minutos que el sensor tomó datos (10) y se multiplica por 60 para que la medida quede en términos de 0,2794 mm/h, seguidamente se crea una cadena donde se almacenaran los datos de cada sensor y finalmente se aumenta en 1 un indicador de tiempo que significa que ya se ha guardado el dato del sensor.

b. Anemómetro

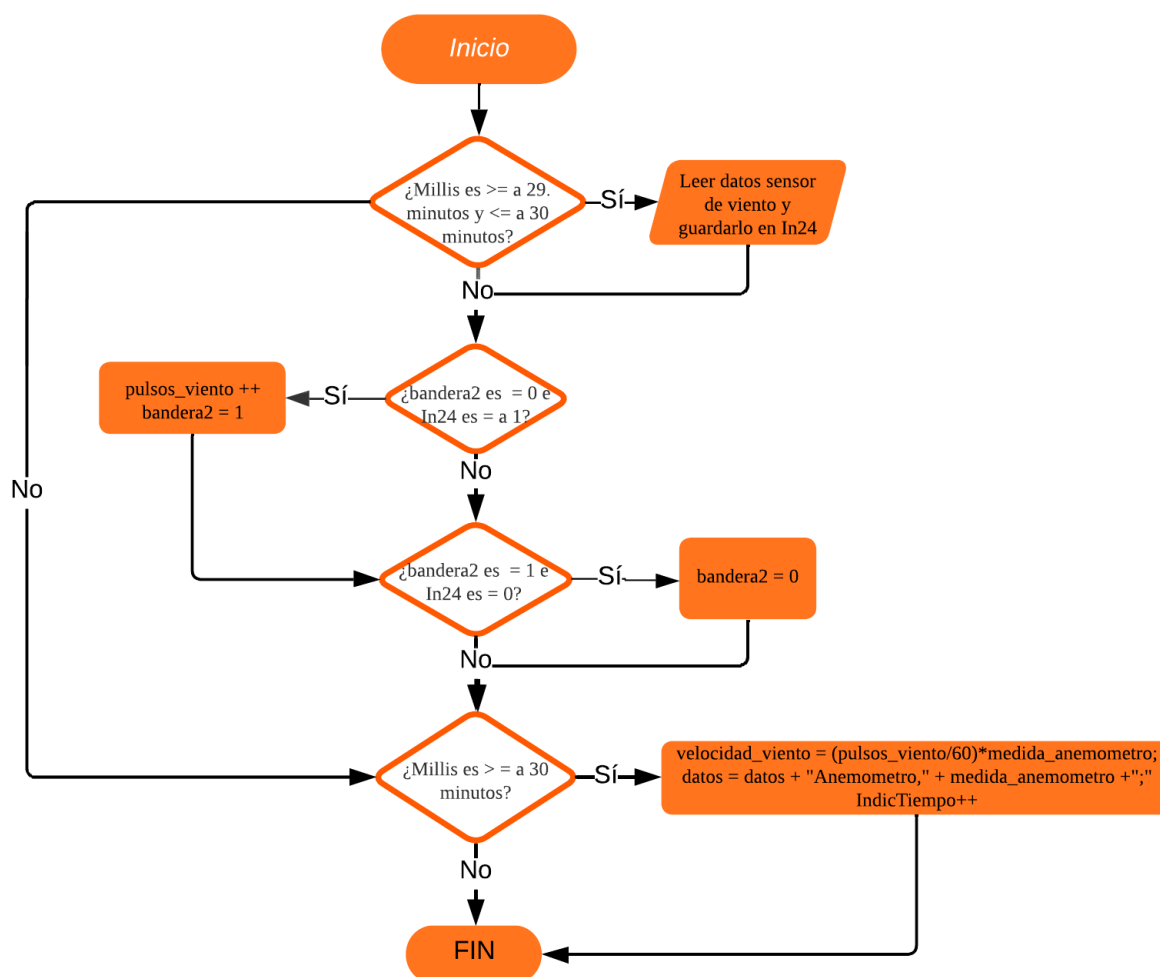


FIGURA 14: Diagrama código Anemómetro. Fuente: Autor

Debido a que el sensor de velocidad del viento tiene el mismo funcionamiento que el pluviómetro el código para su adquisición de datos en esencia es el mismo con la única diferencia en que se usa la entrada digital 24 para la toma de datos y se almacena en la variable In24, además al momento de calcular la velocidad del viento el número de pulsos detectados se divide entre 60 debido a que cada pulso en 1 segundo representa 2.4 km/h (según información proporcionada el datasheet del sensor) pero para tener una medición más acertada se toman datos durante un minuto y se divide entre 60 y finalmente se agrega la medida encontrada a la cadena de datos y se aumenta en 1 el indicador de que ya se tiene el dato del sensor.

c. Veleta

Dirección (grados)	Resistencia (ohms)
0	33K
22	6.57K
45	8.2K
67.5	891
90	1K
112.5	688
135	2.2K
157.5	1.41K
180	3.9K
202.5	3.14K
225	16K
247.5	14.12K
270	120K
292.5	42.12K
315	64.9K
337.5	21.88 K

TABLA 4: Datos Veleta Fabricante[34]

En la Tabla 4 el fabricante proporciona una serie de datos donde se especifica el valor de resistencia que se tiene dependiendo el lugar hacia el que esta apuntando el sensor. También se sugiere utilizar una resistencia de 10 k ohmios para que funcione como divisor de voltaje y así poder tomar identificar la dirección hacia la que apunta el sensor dependiendo el voltaje del divisor mencionado. Teniendo en cuenta lo anterior se realizan los siguientes cálculos.

Primero se realiza el calculo del divisor de voltaje, donde se quiere conocer la diferencia de potencial en las resistencias mostradas en la Figura 4.

$$V_R = \frac{R}{R * R_{10k}} * 5 \quad (5.1)$$

Debido a que se utiliza una entrada analógica se debe hacer la conversión del voltaje a valores entre 0 y 1023, ya que estos son los valores que maneja la tarjeta Arduino para voltaje entre 0 y 5 voltios respectivamente.

$$V_{Arduino} = \frac{V_R * 1023}{5} \quad (5.2)$$

Y por ultimo se debe tener en cuenta el error de la resistencia de 10 k ohmios para así tener un rango de valor mínimo y máximo.

$$V_{r_{min}} = V_{Arduino} - (V_{Arduino} * 0,05) \quad (5.3)$$

$$V_{max} = V_{Arduino} * 1,05 \quad (5.4)$$

De esta manera se realiza el calculo para cada una de la diferentes direcciones y se obtienen los siguientes resultados.

Grados	Dirección	Resistencia	Valor Voltaje	Valor Arduino	Valor min Arduino	Valor max Arduino
112,5	ESE	688	0,32	66	63	69
67,5	ENE	891	0,41	84	80	88
90	E	1000	0,45	93	89	98
157,5	SSE	1410	0,62	126	120	133
135	SE	2200	0,90	184	175	194
202,5	SSW	3140	1,19	244	232	257
180	S	3900	1,40	287	273	301
22,5	NNE	6570	1,98	406	385	426
45	NE	8200	2,25	461	438	484
247,5	WSW	14120	2,93	599	569	611
225	SW	16000	3,08	630	612	661
337,5	NNW	21880	3,43	702	667	737
0	N	33000	3,84	785	746	811
292,5	WNW	42120	4,04	827	812	868
315	NW	64900	4,33	886	869	931
270	W	120000	4,62	944	932	992

TABLA 5: Datos Veleta. Fuente: Autor

A partir de los datos encontrados en la Tabla 5 se realiza el código para la adquisición de los datos y se obtiene el siguiente diagrama de flujo.

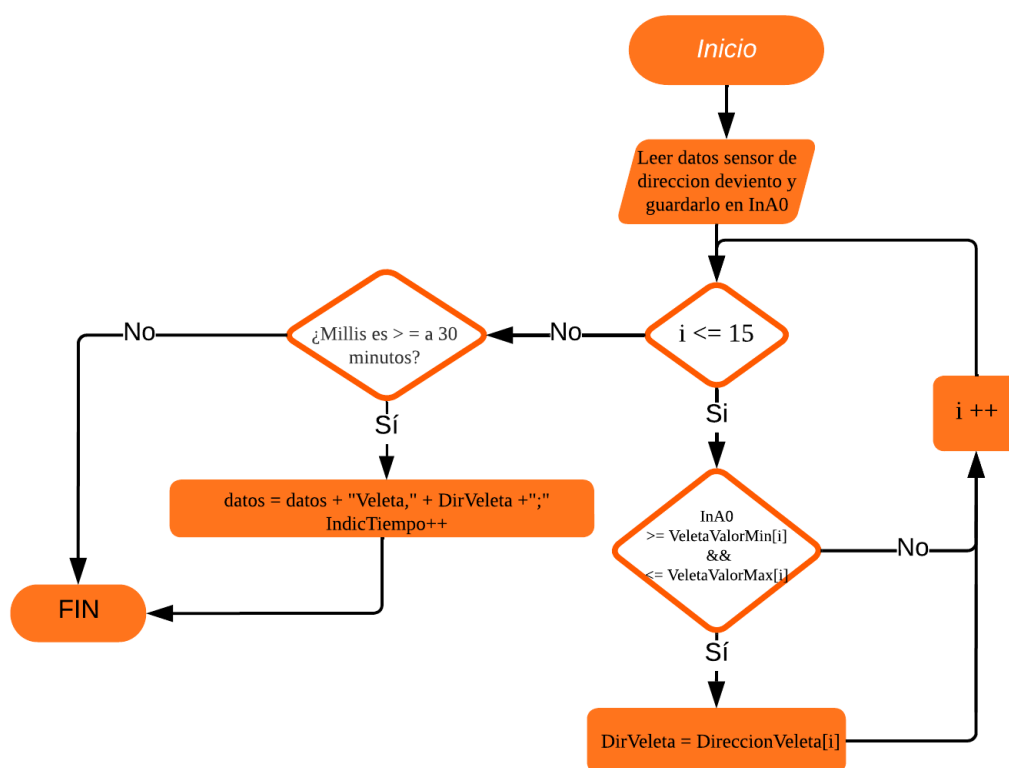


FIGURA 15: Diagrama código Veleta. Fuente: Autor

Al iniciarse el programa se lee el valor del voltaje por la entrada analógica A0 y se guarda en InA0, seguido de esto el programa entra a un ciclo for que va desde 0 hasta 15 de manera que se pueda evaluar en cual de las dieciséis posiciones se encuentra el valor del sensor, una vez entra a la iteración compara el valor mínimo y máximo de los datos de la Tabla 5 que se encuentran almacenados en tres arreglos uno para el valor mínimo, otro para el valor máximo y finalmente otro para la dirección hacia la que apunta el sensor, seguido de esto guarda el valor de dicha dirección en la variable DirVeleta. Si el tiempo para el envío de los datos ya se ha cumplido procede agregar el valor encontrado por el sensor a la cadena datos e incrementa el indicador en 1 para verificar que ya se tiene el dato del sensor.

d. Sensor UV

UV index	0	1	2	3	4	5
Vout(mv)	<50	227	318	408	503	606
Analog Value	<10	46	65	83	103	124
UV index	6	7	8	9	10	11+
Vout(mv)	696	795	881	976	1079	1170+
Analog Value	142	162	180	200	221	240

TABLA 6: Datos funcionamiento sensor UV[33]

En la Tabla 6 se muestra el funcionamiento del sensor UV con sus niveles de voltaje y su respectivo valor analógico, teniendo en cuenta esos valores se crean 3 arreglos uno para el valor mínimo otro para el valor máximo y otro con el índice UV correspondiente.

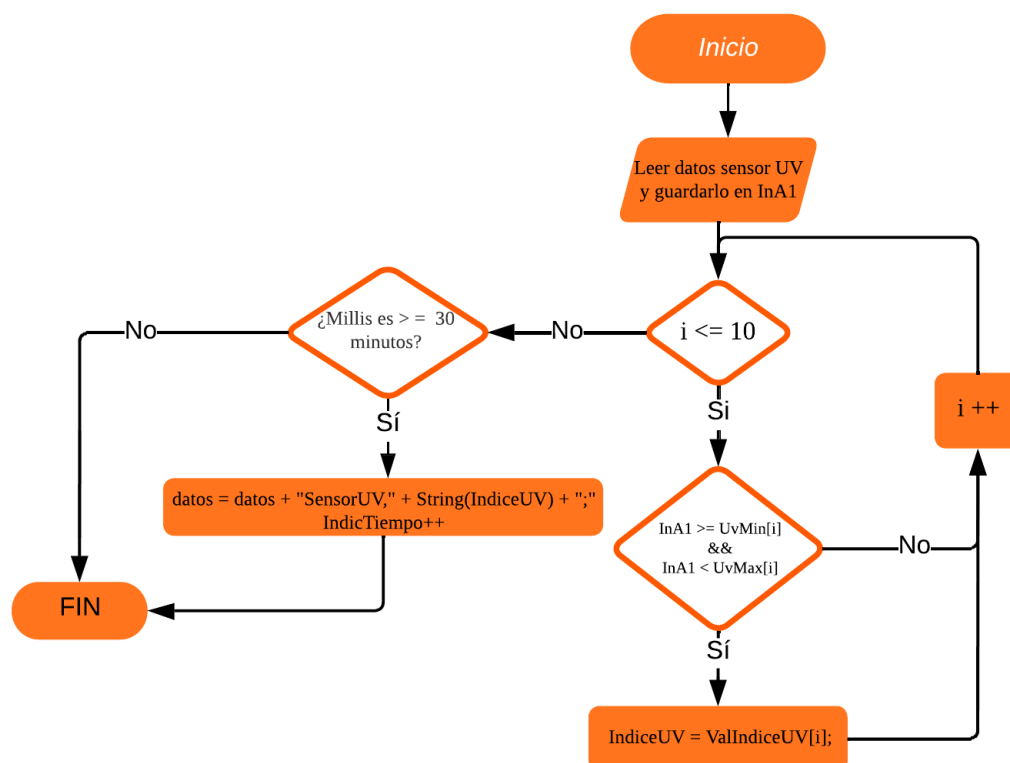


FIGURA 16: Diagrama código Sensor UV. Fuente: Autor

Teniendo los 3 arreglos inicializados se implementa el código de la Figura 16, en donde se lee el valor del voltaje por la entrada analógica A1 y se guarda en InA1, seguido de esto el programa entra a un ciclo for que va desde 0 hasta 9 de manera que se pueda evaluar en cual de las diez posiciones se encuentra el valor del sensor, una vez entra a la iteración compara el valor mínimo y máximo de los datos de la Tabla 6 y obtiene el índice UV, a continuación guarda el valor encontrado en la variable ÍndiceUV y finalmente si el tiempo para el envío de los datos ya se ha cumplido procede agregar el valor encontrado por el sensor a la cadena de datos e incrementa el indicador en 1 para verificar que ya se tiene el dato del sensor.

e. Sensor Humedad y Temperatura

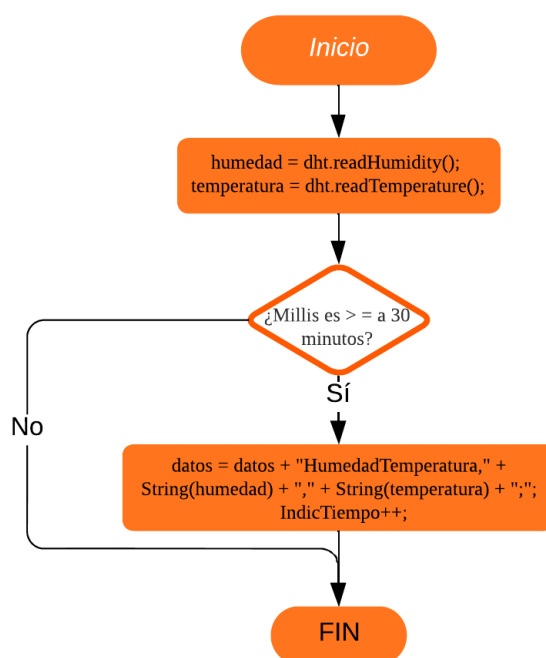


FIGURA 17: Diagrama código Sensor Humedad y Temperatura. Fuente: Autor

Para el sensor de humedad y temperatura se utiliza la entrada digital 26 y la librería <DHT.h>, a través del comando `dht.readHumidity` y `dht.readTemperature` se obtienen los valores de humedad y temperatura respectivamente, una vez pasa el tiempo para la toma de datos se agregan los valores obtenidos a la cadena de datos y se incrementa el indicador en 1 para verificar que ya se tiene el dato del sensor.

f. Reset contador de tiempo

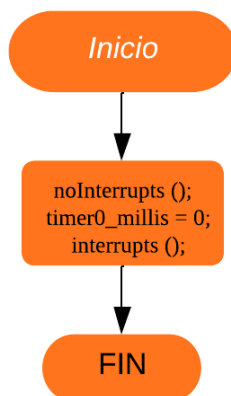


FIGURA 18: Diagrama Reset contador. Fuente: Autor

En la Figura 18 se muestra el código encargado de resetear la función millis. Debido a que dicha función se ejecuta implícitamente y hace parte de las interrupciones de la tarjeta Arduino, el código se encarga de deshabilitar las interrupciones, seguido de esto se asigna el valor de cero a la función millis y por último se vuelven a activar las interrupciones y el conteo comienza de nuevo.

5.3.5.1. Envío de datos

Para el envío de los datos se conectó la tarjeta Arduino Mega 2560 a través de comunicación serial con el modulo WiFi ESP8266 NodeMCU V2, dicho modulo tiene la función de conectarse a internet para así poder enviar los datos al servidor y que estos sean almacenados en la base de datos. A continuación se mostrará de manera detallada el proceso mencionado anteriormente.

a. Envío de los datos desde Arduino al modulo WiFi

Una vez se tienen todas las medidas de los sensores se tendrá una cadena dividida por (;) para distinguir entre sensores y (,) para distinguir entre medidas en un mismo sensor de darse el caso.

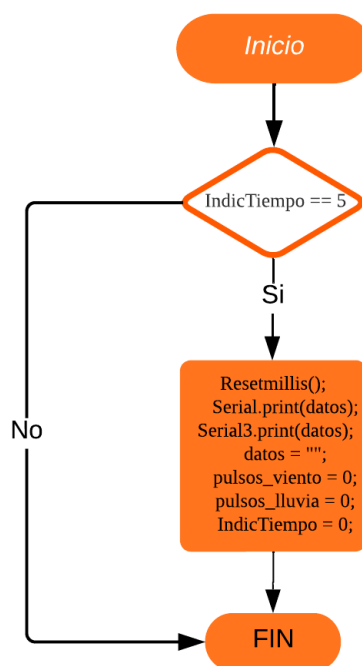


FIGURA 19: Diagrama envío datos Arduino a NodeMCU. Fuente: Autor

En la Figura 19 se muestra el proceso para enviar los datos, como primer paso se llama la función de Resetmillis para reiniciar el contador de tiempo, seguido se imprime en pantalla la cadena que se va enviar y se envía dicha cadena por el puerto serial 3, finalmente se ponen en 0 las demás variables y se deja vacía la variable que almacena la cadena de datos para que todo el proceso de reinicie, desde la adquisición de datos hasta el envío de los mismos.

b. Recibido y envío de datos desde el NodeMCU

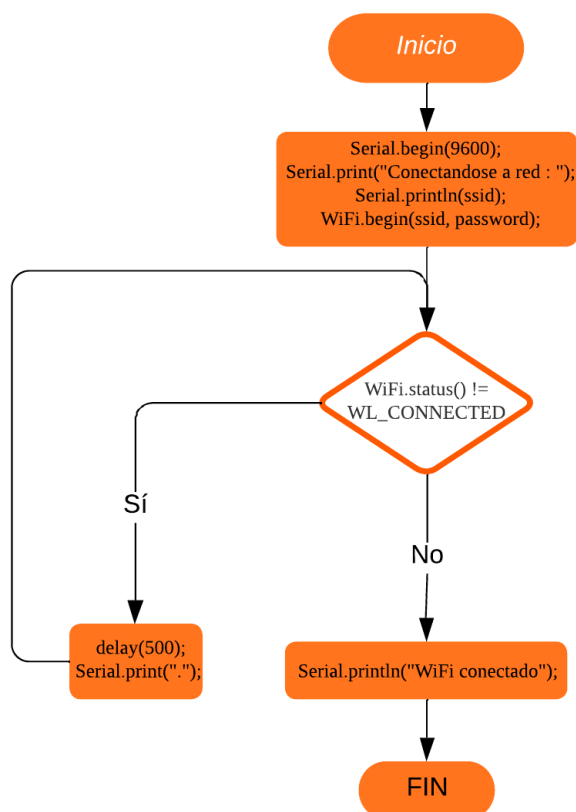


FIGURA 20: Diagrama inicialización NodeMCU. Fuente: Autor

Como paso inicial se debe inicializar la comunicación serial, luego se inicia la conexión a la red (la contraseña y nombre de la red deben ser guardadas anteriormente) a través del comando `WiFi.begin`. Si el estatus es diferente a conectado se proporciona un delay de 500 ms y se mantendrá realizando esta acción hasta que el estado cambie. Una vez cambia el estatus a conectado se imprime en pantalla que la conexión a la red se ha completado.

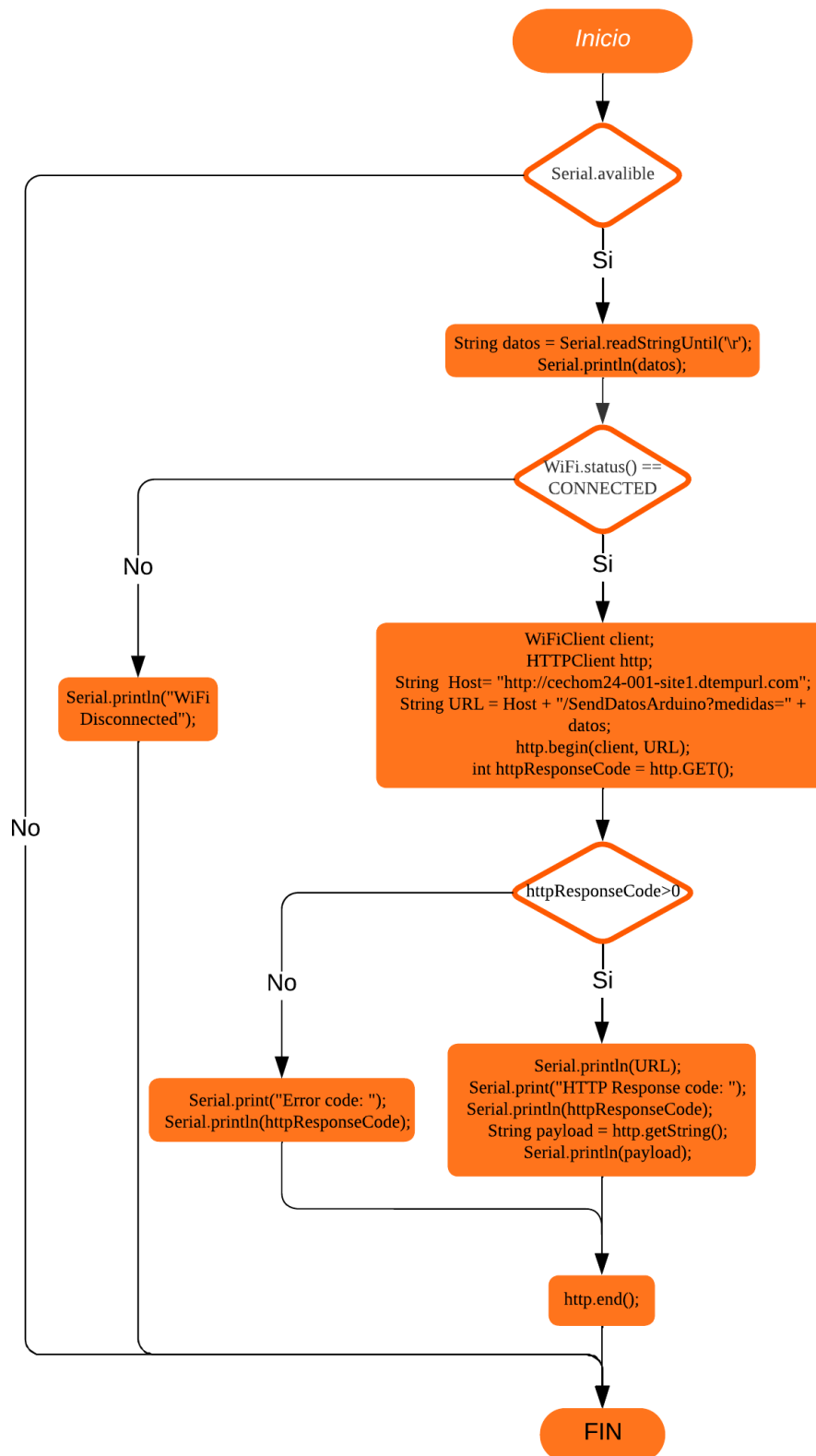


FIGURA 21: Diagrama recibido y envío de datos NodeMCU. Fuente: Autor

Después de que la conexión a la red ha sido exitosa se procede a guardar la cadena de datos recibida y a enviarla de la siguiente manera.

Primero se verifica que hayan llegado datos a través del puerto serial para iniciar el proceso de recibir y posteriormente de enviar los datos. Si la verificación se cumple se lee la cadena mediante el comando `Serial.readString`, se guarda en una variable y se muestra en pantalla la información guardada. Seguido de esto se verifica que el modulo WiFi siga contando con conexión a la red y se crea un cliente que pueda conectarse a una dirección IP de Internet, enseguida se utiliza el comando `HTTPClient` que permitirá realizar una petición al servidor. A continuación se guarda el host de la pagina a donde llegará la información y el URL que contiene lo accesos y la información que se quiere enviar. Posteriormente se realiza la conexión con el servidor y se envía la petición de tipo GET. Si la petición fue exitosa retorna la respuesta del servidor, si por el contrario existe algún error en la petición se mostrara en pantalla el código del error. Finalmente se termina la conexión con el servidor y se queda a la espera de que llegue nueva información por medio del puerto serial para iniciar de nuevo el proceso.

5.3.5.2. API

Para el almacenamiento de los datos se utilizó una base de datos controlada por una web API, esta se encarga de recibir la petición que llega al servidor y dependiendo de la cadena que recibe almacena los datos. De igual forma también consulta y devuelve los datos que solicite el aplicativo web. A continuación se muestra de manera detallada dicho proceso.

a. Base de datos

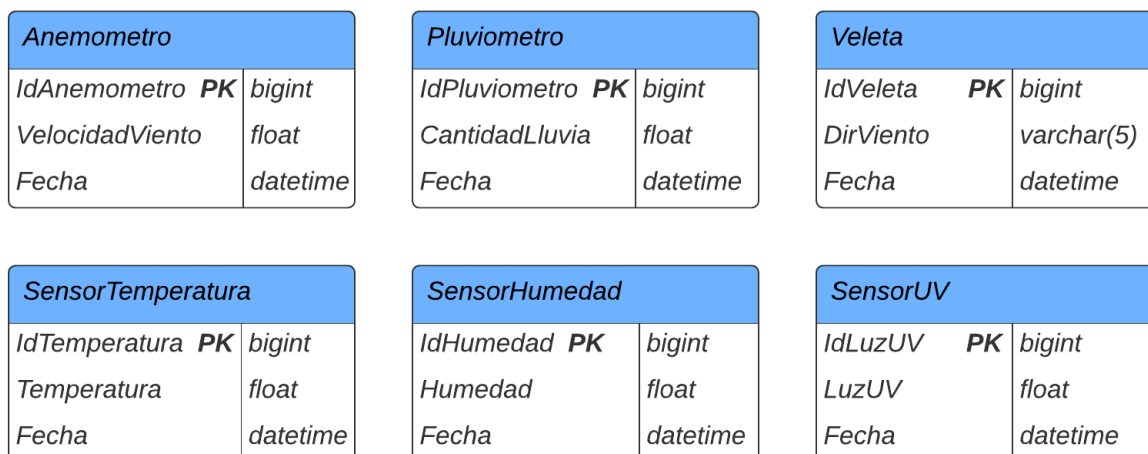


FIGURA 22: Diagrama base de datos. Fuente: Autor

Primero se construyó la base de datos en el software microsoft sql server management studio 2018, esta consta de 6 tablas, una para cada variable a censar. Para los id(identificador único) de cada tabla se utilizó el tipo bigint que soporta valor de 8 bytes, para la medida tomada por cada sensor se optó por el tipo float debido a que los valores constaban de números decimales, excepto por la tabla veleta que la medida devuelve un string, se utiliza el tipo varchar ya que el tipo string no se encuentra soportado por el software. Por ultimo se tiene el campo fecha que utiliza el tipo datetime para almacenar la hora y fecha en que tomó la medida.

b. API (Almacenamiento de los datos)

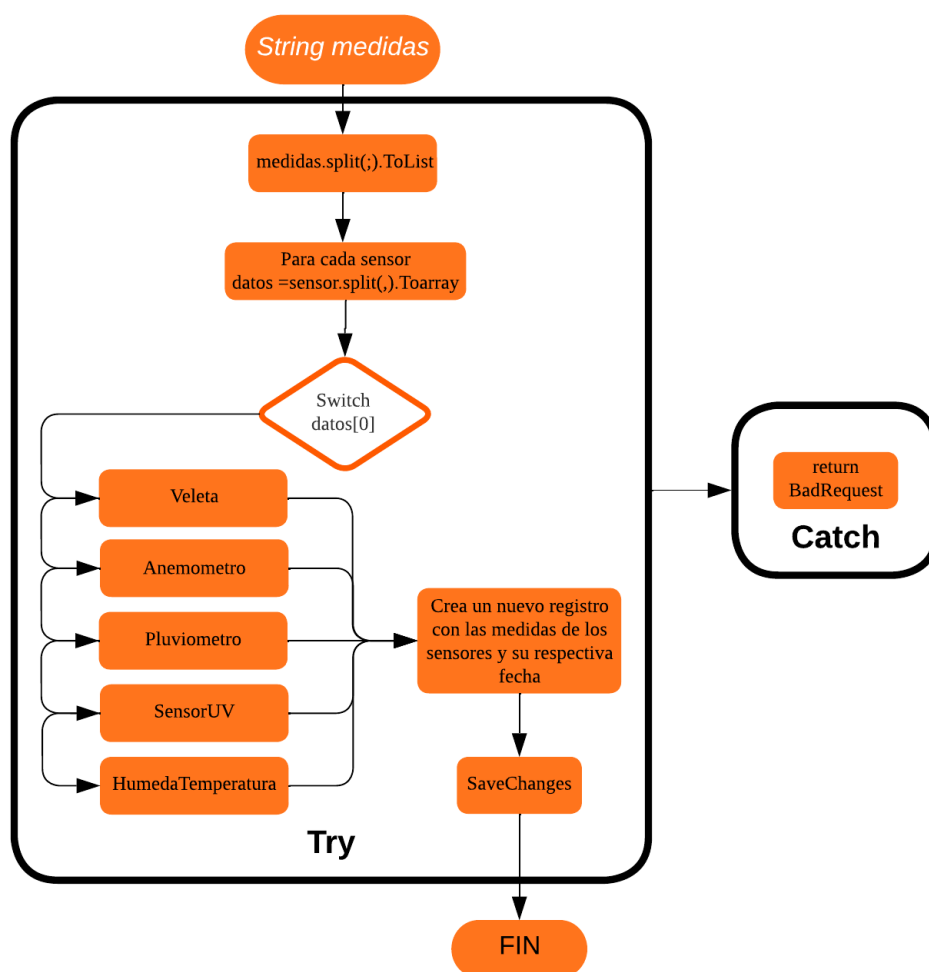


FIGURA 23: Diagrama API almacenamiento datos. Fuente: Autor

En la Figura 23 se ilustra el proceso mediante el cual se reciben y se almacenan los datos provenientes del modulo WiFi NodeMCU. Como punto de partida declara la variable medidas que almacena la cadena proveniente. Debido a la forma en que se envía la cadena (apartado

5.3.5.1) se hace una lista dividida por (;) y para cada elemento en esa lista se crea un arreglo que divide sus posiciones por (,), de manera que la posición 0 será el nombre del sensor y las demás posiciones a las volares medidos. Dependiendo el sensor que se tenga se ingresa al switch case, se crea un nuevo registro con la medida y fecha en la tabla correspondiente. Finalmente se guardan los cambios y finaliza el proceso.

En caso de existir algún error el código se encuentra entre un try catch y retornara BadRequest.

c. API (GetDatos)

Otras de las funciones de la API es traer los datos guardados y enviarlos según la necesidad al aplicativo, ya sea el monitoreo de los sensores o para consultar el registro de los mismos en fechas específicas.

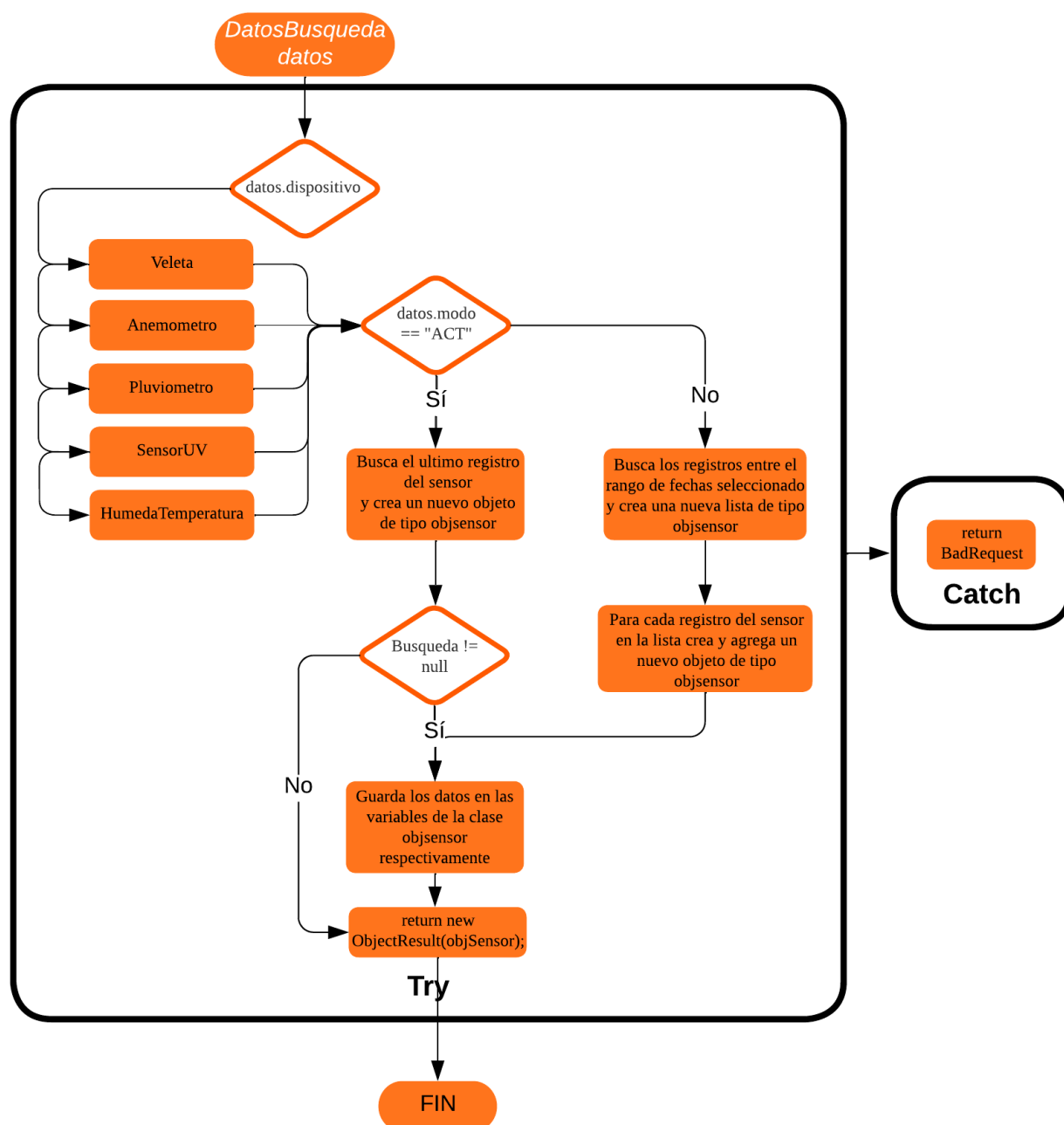


FIGURA 24: Diagrama API GetDatos. Fuente: Autor

En la Figura 24 se muestra el proceso para obtener los registros de la base de datos. Primero se crea la clase DatosBusqueda que contiene el nombre del dispositivo, el modo al que queremos acceder y las fechas de búsqueda de los registros. Estos datos se envían desde la aplicación web, la API los recibe y entran al switch case dependiendo del registro del sensor que se necesita. Si el modo es ACT(hace referencia al dato actual del sensor) se busca en la API el valor del ultimo dato registrado y se crea un nuevo objeto de tipo sensor(clase que tiene las propiedades de Idsensor, SensorName, MedidaSensor y FechaMedida), luego se guardan los datos respectivamente dependiendo el sensor y se envían para ser mostrados en el aplicativo web.

Si el modo no es ACT significa que el usuario está pidiendo registros en un rango de fechas específicas de un único sensor. Para esto se hace la búsqueda en la base de datos de los registros que se encuentren en el rango de fechas y se crea una lista de objetos de tipo sensor, para cada registro encontrado se agrega un nuevo objeto a la lista y guarda los datos del registro en las variables respectivamente. Finalmente envía la lista con todos los registros al aplicativo web. En caso de existir algún error el código se encuentra entre un try catch y retornara BadRequest.

5.3.5.3. Aplicativo Web

Para el aplicativo web se optó por una arquitectura tipo MVC(modelo vista controlador), está permite tener el control de que se muestra y como se muestra en el aplicativo web. Para el llamado de los datos se desarrollaron dos funciones que se muestran y se explican a continuación.

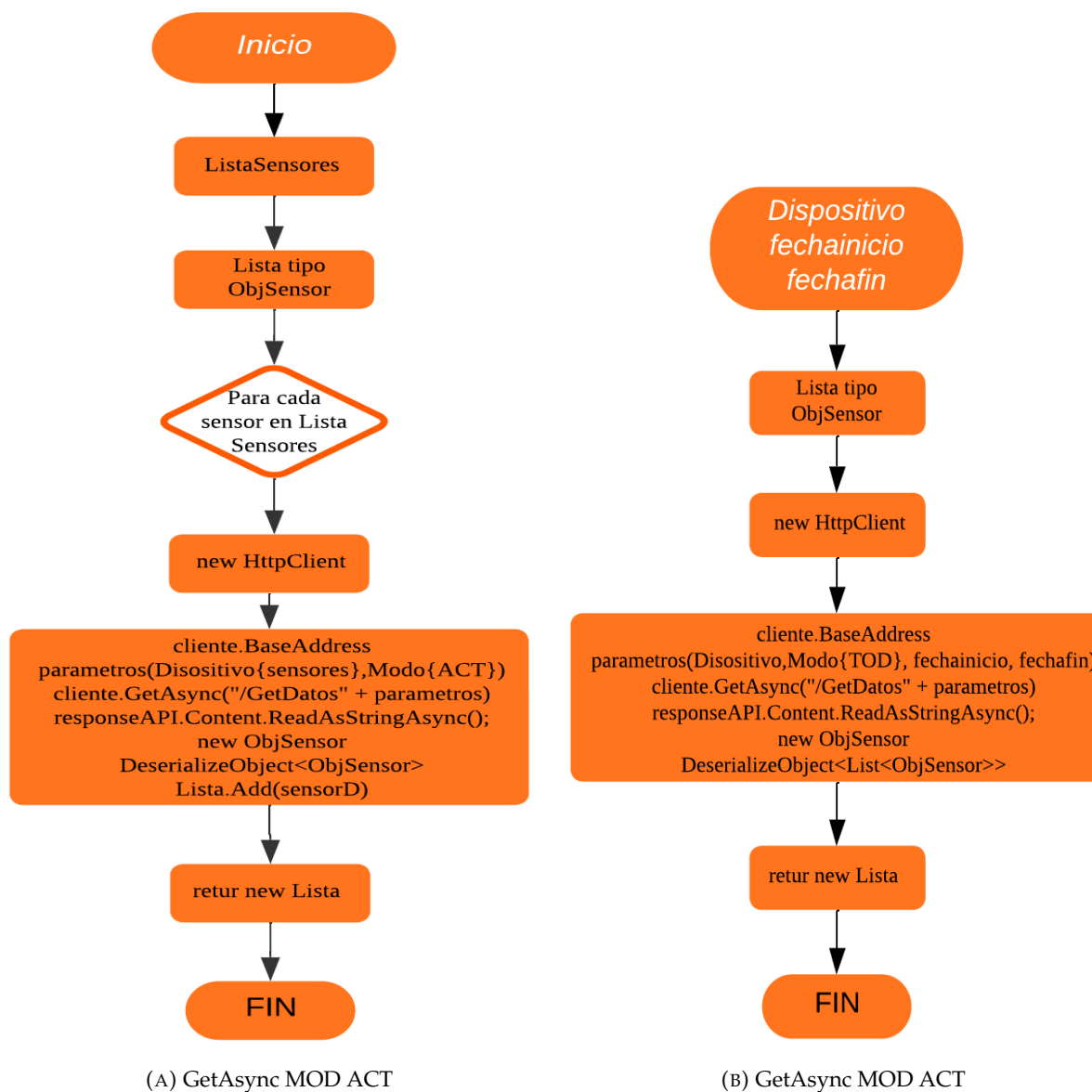


FIGURA 25: Diagrama llamado de datos. Fuente: Autor

a. MODO ACT

En la Figura 25a se muestra el proceso para llamar desde al aplicativo web el ultimo dato registrado por cada sensor, este llamado se realiza cada 30 minutos. Como paso inicial se crea una Lista con los nombre de cada sensor y una lista de tipo ObjSensor, es decir, una lista que contiene al sensor y todos sus registros. Para cada sensor en la Lista se crea un cliente que se conecta con la API, se le envían los parámetros que en este caso serán el nombre del sensor y el MODO ACT. Una vez se tienen los parámetros se hace el llamado a la función de la API encargada de traer el ultimo dato de cada sensor, si la petición es exitosa se retorna el valor de la ultima medida y se agrega a la lista. Este proceso lo repite con todos los sensores y finalmente retorna la lista con todos los valores de cada sensor.

b. MODO TOD

Para el modo TOD se lleva un proceso similar al anterior y se muestra en la Figura 25b. Esta función se encarga de traer registros de un sensor especifico en un rango de fechas especificas. Para esto primero se necesita declarar cada uno de los parámetros en la función ya que estos serán proporcionados por el usuario. De igual manera al modo ACT se crea un lista de tipo ObjSensor y se crea un nuevo cliente para conectarse a la API. Después se crea la cadena con los parámetros ya mencionados y se envía la petición a la API. Esta busca los registros pedidos y los envía al aplicativo web. Finalmente el aplicativo Web retorna una lista con todos los registros recibidos.

c. Visualización de los datos

Para el desarrollo de toda la parte visual del aplicativo web se hizo uso de bootstrap que es una biblioteca de código abierto enfocada en el diseño de sitios web. Para la visualización de los datos su utilizaron unos componentes conocidos como cards que se distribuyeron en 2 filas de 3 columnas a lo largo de la pagina.



FIGURA 26: Aplicativo web. Fuente: Autor

En la Figura 26 se observa la distribución de las cartas para mostrar los valores de cada censored su respectivo nombre y un icono que representa la variable medida. Además en la esquina izquierda se distingue el botón para buscar registros, este tiene como función abrir una ventana emergente que permite escoger los registros específicos que el usuario quiere ver.

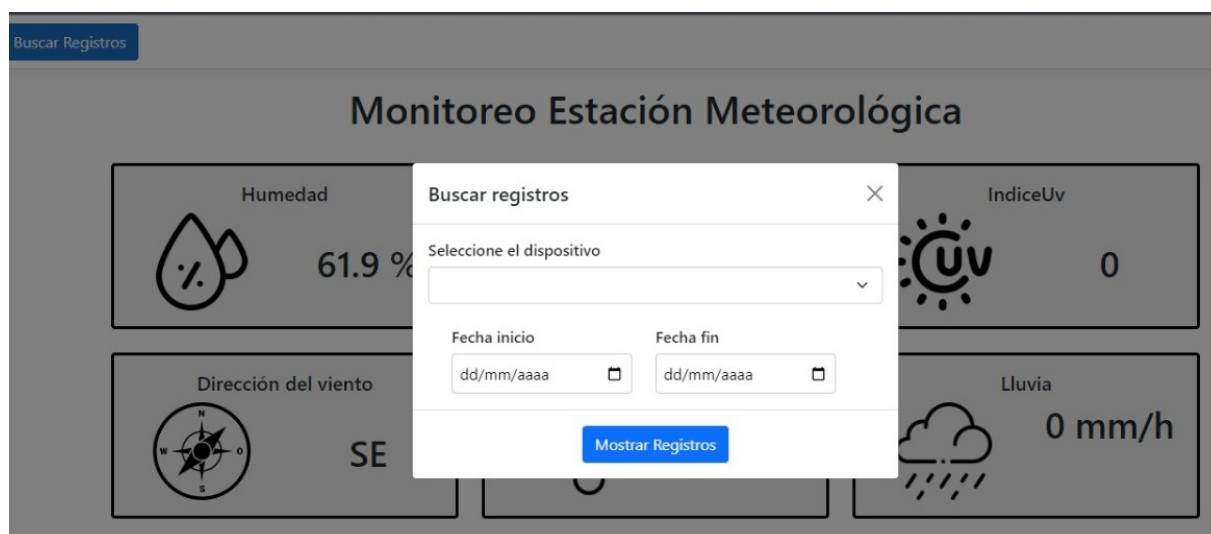
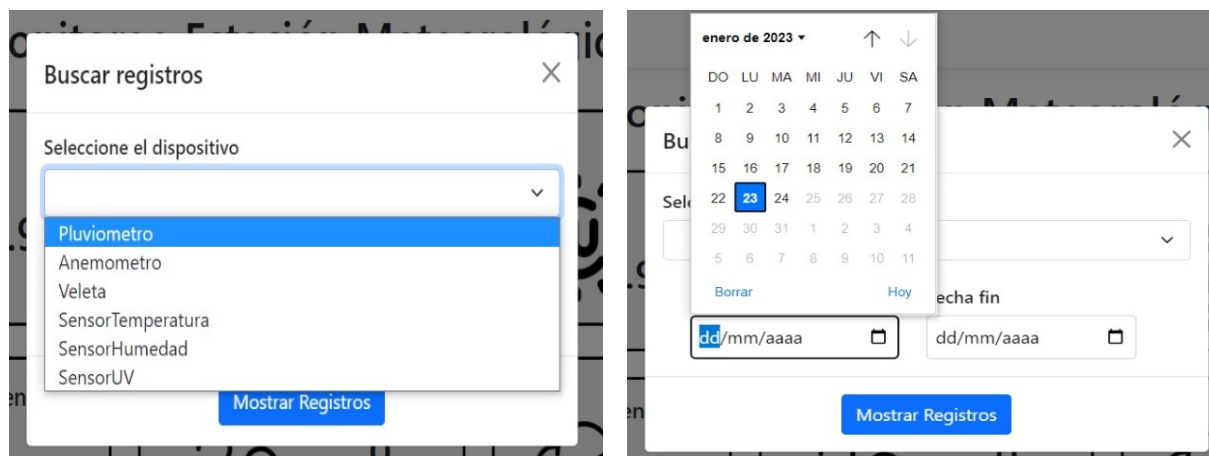


FIGURA 27: Ventana emergente buscar registros. Fuente: Autor

Una vez que se oprime el botón de buscar registros aparece la ventana emergente que se observa en la Figura 27, en ella se puede seleccionar el dispositivo y el rango de fechas de los registros que se quieren ver.



(A) Seleccionar dispositivo

(B) Seleccionar fecha

FIGURA 28: Ventana emergente seleccionar dispositivo y fecha. Fuente: Autor

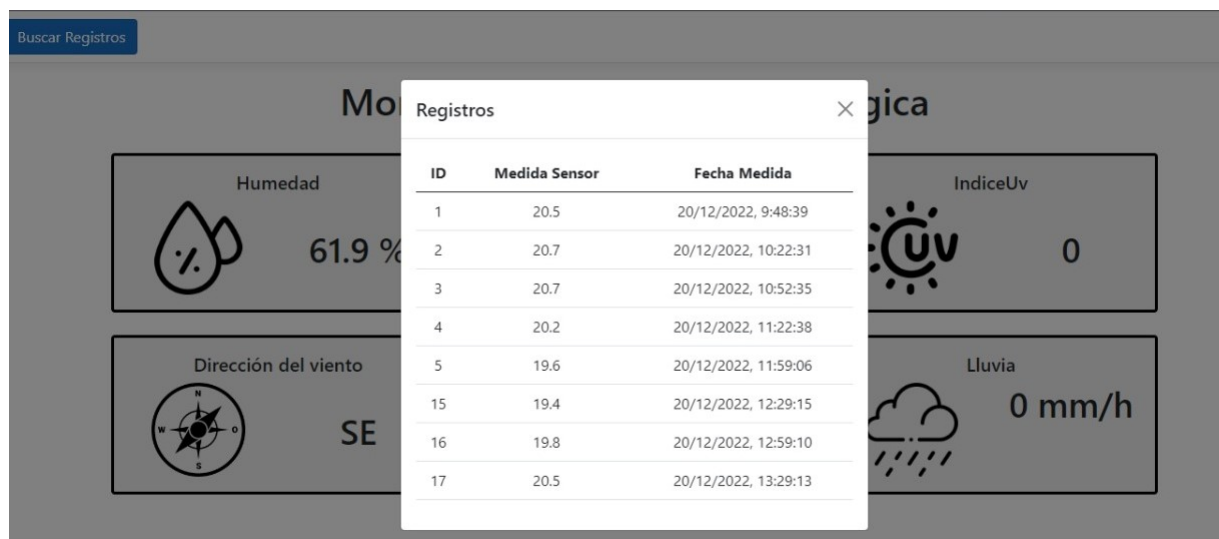
Si se da click en el botón Mostrar Registros que se muestra en la Figura 28 y hay algún espacio en blanco, es decir, no se elije algún dispositivo o fecha, o si la fecha inicio es mayor que la fecha fin se abre una nueva ventana emergente mostrando un mensaje de error.



FIGURA 29: Ventana emergente error. Fuente: Autor

De existir dicho error solo basta con cerrar la ventana emergente de la Figura 29 y automáticamente se mostrará la ventana anterior que se puede observar en la Figura 27.

Si todos los campos han sido completados se van a mostrar los datos solicitados en la tabla de la Figura 30 que contiene el id, la medida y la fecha de la medida.



ID	Medida Sensor	Fecha Medida
1	20.5	20/12/2022, 9:48:39
2	20.7	20/12/2022, 10:22:31
3	20.7	20/12/2022, 10:52:35
4	20.2	20/12/2022, 11:22:38
5	19.6	20/12/2022, 11:59:06
15	19.4	20/12/2022, 12:29:15
16	19.8	20/12/2022, 12:59:10
17	20.5	20/12/2022, 13:29:13

FIGURA 30: Tabla registros. Fuente: Autor

Si por el contrario no existen registros en las fechas escogidas en los campos de la tabla se mostrara el mensaje sin registros como se observa en la Figura 31



ID	Medida Sensor	Fecha Medida
Sin registros	Sin registros	Sin registros

FIGURA 31: Tabla sin registros. Fuente: Autor

5.3.6. Plan de Calibración

Debido a que el distribuidor de los sensores garantiza que estos ya están debidamente calibrados no se realiza una calibración como tal, sin embargo si se contempla la comparación con estaciones robustas y certificadas a nivel ciudad.

5.3.7. Hardware (Circuito para acople de los sensores)

En este apartado se muestra el diseño circuital que se tuvo en cuenta para la puesta en marcha y correcto funcionamiento de los sensores así como también la manera en que se implementó.

5.3.7.1. Diseño

Sabiendo que para la implementación se utilizó la tarjeta Arduino Mega 2560, a continuación se muestra la distribución de los pines de la tarjeta mencionada.

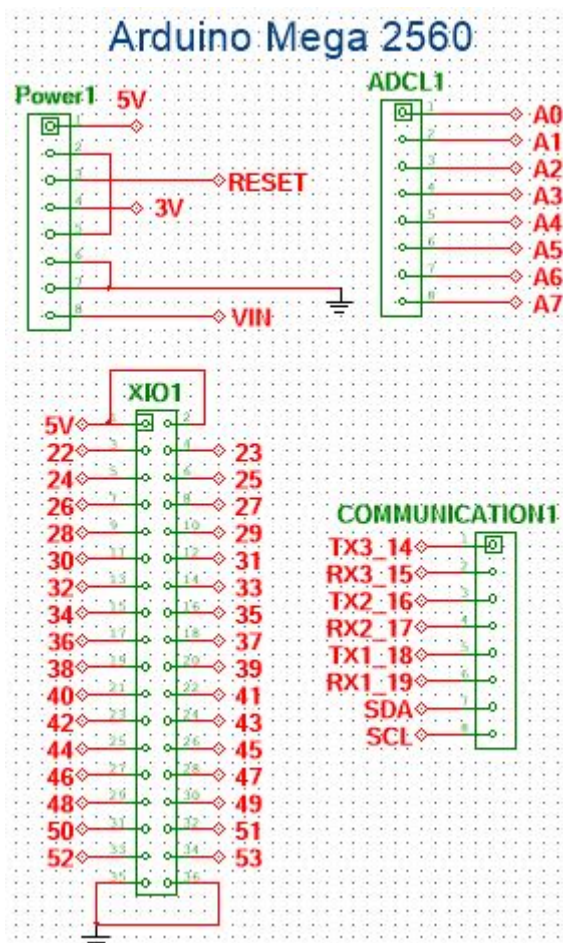


FIGURA 32: Pines Arduino. Fuente: Autor

A partir de la distribución mostrada en la Figura 32 se construye el diseño para el circuito de los sensores. Este está compuesto por el Modulo WiFi, el sensor de humedad y temperatura DHT22, el sensor UV, dos conectores rj11 uno para el pluviómetro y otro para la veleta y el anemómetro.

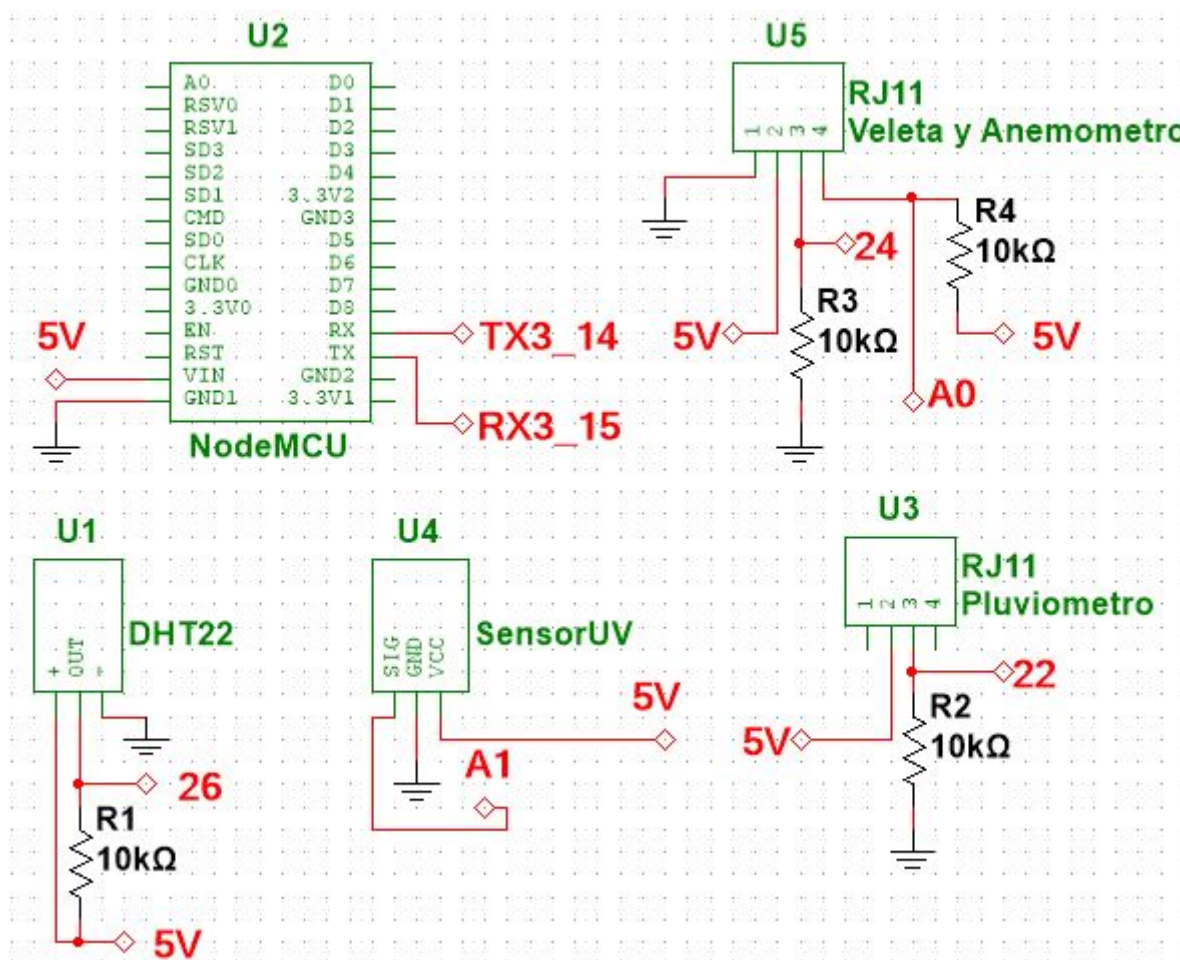


FIGURA 33: Circuito Sensores. Fuente: Autor

En la Figura 33 se muestra cada componente que hace parte del circuito y como está conectado a los pines de la tarjeta Arduino (32). Todos los dispositivos son alimentados por el pin de 5V del Arduino y así mismo todos están conectados a la tierra de la tarjeta.

El NodeMCU se encuentra alimentado a través del pin VIN y los pines RX y TX van al pin 14 y 15 del Arduino, esto para poder realizar la comunicación serial, es decir el envío de datos. En cuanto al pluviómetro debido a que funciona como switch se pone un pin a una resistencia a tierra y otro a 5V, se toma la medida a través del pin 24 del Arduino desde el extremo de la resistencia que no está conectada a tierra, de esta manera cada que el switch del sensor cierre se tendrá la medida. De forma similar se conecta el anemómetro con la diferencia que este irá al pin 24 del Arduino y que además este comparte conexión con la veleta, de manera que para el anemómetro se usan los pines 2 y 3 del rj11 y para la veleta se usan los pines 1 y 4. En cuanto a las conexiones de la veleta se utiliza una resistencia de 10k como divisor de voltaje

y así distinguir las medidas de cada posición del sensor que están dadas por las resistencias internas, para obtener la medida se utiliza el pin analógico A0. Para la conexión del sensor DHT22 se siguen las instrucciones del proveedor y se conecta una resistencia entre el pin de salida y alimentación, para la toma de datos se utiliza el pin 26 del Arduino. Finalmente para el SensorUV simplemente se sigue la indicación que viene en el sensor, se alimenta con 5V y el SIG que es el que envía la medida se conecta al pin A1.

5.3.7.2. Implementación

La implementación se encuentra dividida en 3 partes, la primera y principal contiene todas las conexiones de los sensores y tarjetas externas, la segunda contiene al sensor de humedad y temperatura y la ultima para el sensor UV.

En la parte principal se encuentra todo el circuito para el correcto funcionamiento de la estación, desde las conexiones de todos los sensores, como también una serie de pines que permiten y facilitan diversas conexiones con las tarjetas de desarrollo externas, dichas conexiones se muestran en la Figura 33.

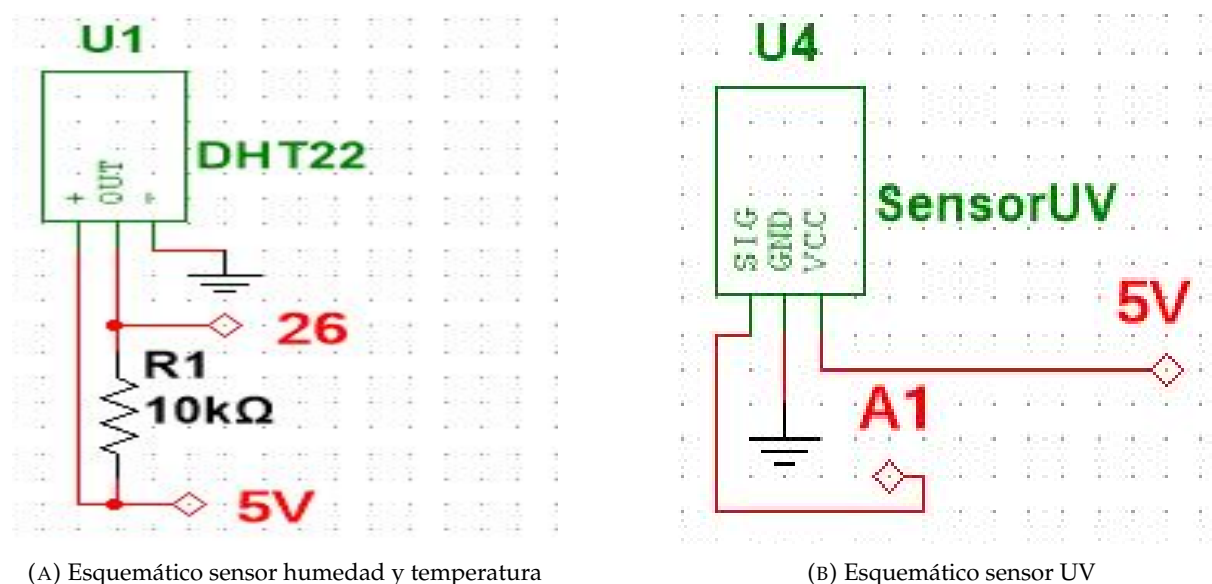


FIGURA 34: Implementaciones secundarias. Fuente: Autor

En la Figura 34 se muestra la implementación del sensor uv y el sensor de humedad y temperatura. Dichos sensores se implementaron por aparte debido a que para el correcto funcionamiento de la estación estos debían estar distantes de la implementación principal.

5.3.8. Instalación

5.3.8.1. Protección dispositivos electrónicos

Teniendo en cuenta la Figura 5 para la protección del dispositivo respecto a las variables climáticas se implementa una caja de proyectos (Figura 35) que permite resguardar los microcontroladores y la placa de acoplamiento para los sensores.



FIGURA 35: Caja de proyectos[36]

5.3.8.2. Garita meteorológica

Con el fin de seguir las normas de la OMM se diseñó una garita meteorológica (Figura 36) y se construyó a través de impresión 3D. Está tiene la función de proteger al sensor de temperatura de la lluvia, los rayos directos del sol y a su vez permite la circulación del aire de manera que el sensor este en contacto con el ambiente.



(A) Garita 1

(B) Garita 2

FIGURA 36: Garita Meteorológica. Fuente: Autor

5.3.8.3. Estación meteorológica final

Primero se ensambla el kit de estación meteorológica SEN-15901 según manual entregado por el fabricante en https://learn.sparkfun.com/tutorials/weather-meter-hookup-guide?_ga=2.268075853.29214931.1681148580-1101057129.1677962430, seguido de esto se ajusta a la base, se instala la caja y finalmente se coloca la garita meteorológica. Cabe recalcar que la instalación de las piezas como la garita y la caja de protección de instrumentos se llevó a cabo a través de tornillos que permiten la fijación de cada instrumento.

5.3.9. Estación implementada



FIGURA 37: Estación final vista lateral. Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 37 se muestra la estación finalizada e instalada.



FIGURA 38: Estación final. Fuente: Autor

Como se muestra en las Figura 38 la estación se ubica en la coordenadas 4.701592256702934, -74.11720556581267 en el balcón de un octavo piso con edificios a su alrededor. Se había mencionado que se quería implementar en la institución educativa Universidad Santo Tomas (específicamente en el laboratorio de energías) sede principal Bogotá, sin embargo se opta por otra locación ya que se tiene un acceso más fácil a la estación y a su vez permite observar como los

diferentes factores urbanos inciden en el clima formando microclimas. Además de esto ,sensores como el UV, la veleta, el anemómetro y pluviómetro no iban a tener medidas, ya que la estación necesita estar a la intemperie para poder tomar datos. Teniendo en cuenta eso se optó por ponerla en el edificio que se encuentra ubicado en las coordenadas mencionadas, donde se tiene fácil acceso a la estación y a su vez podía estar a la intemperie para tomar los datos de los diferentes sensores.

Capítulo 6

Resultados y Discusión

6.1. Validación Propuesta

6.1.1. Comparación y análisis de datos

A continuación se muestra la comparación y análisis de los datos obtenidos durante una semana con respecto a 3 estaciones a nivel ciudad. Se muestran 3 tablas, cada una representa la comparación de la estación propuesta respecto a 1 de las 3 estaciones escogidas.

6.1.1.1. Comparación

Variable	Estación	02/22/23	02/23/23	02/24/23	02/25/23	02/26/23	02/27/23	02/28/23
Temperatura	E.Propuesta	14.13	17.00	16.67	17.60	17.14	16.56	19.00
	Fontibon	13.42	15.23	14.92	14.60	14.35	14.58	15.23
Humedad	Fontibon	76.80	71.03	65.91	66.02	69.58	74.71	69.58
		64.08	57.07	56.58	55.28	61.01	63.28	58.60
Lluvia	E.Propuesta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fontibon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V Viento	E.Propuesta	0.44	0.83	0.60	0.70	0.51	0.71	1.37
	Fontibon	5.25	7.23	6.72	7.58	7.28	4.98	7.47
DirViento (Grados)	E.Propuesta	180	142.50	185.63	157.50	142.50	129.38	175.31
	Fontibon	168.75	178.04	229.83	161.17	226.75	191.35	123.08

TABLA 7: Comparación estación Fontibon[37]

En la Tabla 7 se muestra la comparación de datos con una estación que se encuentra ubicada en el barrio Fontibon en las coordenadas 4.678292616209967, -74.14382770919205. Esta se encuentra a una altura de entre 6-7 metros y sin edificaciones alrededor que afecten la medida de los datos.

Variable	Estación	02/22/23	02/23/23	02/24/23	02/25/23	02/26/23	02/27/23	02/28/23
Temperatura	E.Propuesta	14.13	17.00	16.67	17.60	17.14	16.56	19.00
	Galerias	14.27	15.90	15.32	15.51	14.95	15.53	16.38
Humedad	E.Propuesta	76.80	71.03	65.91	66.02	69.58	74.71	69.58
	Galerias	67.89	63.82	58.07	60.71	65.37	65.99	61.45
Lluvia	E.Propuesta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Galerias	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento	E.Propuesta	0.44	0.83	0.60	0.70	0.51	0.71	1.37
	Galerias	8.72	10.05	11.46	10.20	9.99	8.87	7.40
DirViento (Grados)	E.Propuesta	180	142.50	185.63	157.50	142.50	129.38	175.31
	Galerias	142.75	185.21	262.88	157.08	207.58	165.00	133.29

TABLA 8: Comparación estación Las Ferias[37]

En la Tabla 8 se muestra la comparación de datos con una segunda estación que se encuentra ubicada en el barrio Las Ferias en las coordenadas 4.690787171696045, -74.0825368415366 . Esta se encuentra a altura del suelo a espacio abierto sin edificaciones alrededor que afecten la medida de los datos, además su entorno consta de pastos y arboles que pueden reducir en menor medida la temperatura y aumentar la humedad.

Variable	Estación	02/22/23	02/23/23	02/24/23	02/25/23	02/26/23	02/27/23	02/28/23
Temperatura	E.Propuesta	14.13	17.00	16.67	17.60	17.14	16.56	19.00
	Estación 3	17.07	18.39	18.54	18.65	18.66	19.42	19.55
Humedad	76.80 86.63	71.03	65.91	66.02	69.58	74.71	69.58	
		78.97	76.65	78.21	78.92	78.67	81.38	
Lluvia	E.Propuesta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Estación 3	0.59	0.14	0.08	0.12	0.18	0.22	0.33
V Viento	E.Propuesta	0.44	0.83	0.60	0.70	0.51	0.71	1.37
	Estación 3	2.71	2.83	4.15	2.91	3.05	2.99	4.03
DirViento (Grados)	E.Propuesta	180	142.50	185.63	157.50	142.50	129.38	175.31
	Estación 3	126.94	99.94	85.58	131.84	152.69	114.14	134.59

TABLA 9: Comparación estación 3[38]

En la Tabla 9 se muestra la comparación de datos con una tercera estación. La única información que se conoce es que los datos de temperatura y humedad son tomados a 2 metros de altura mientras que la velocidad y dirección del viento a 10 metros de altura. Ya que no se conoce la ubicación exacta de la estación no se pueden contemplar factores externos que puedan afectar las medidas mostradas.

6.1.1.2. Análisis

En la comparación de los datos que se muestran en las Tablas 7, 8 y 9 se observan variaciones en las diferentes variables censadas con respecto a las mediciones de las estaciones a nivel ciudad.

a. Humedad y Temperatura

En las Tablas 7 y 8 se encontraron valores menores a los medidos por la estación propuesta. Esto se debe a los diferentes factores que inciden en cada estación, mientras que las 2 primeras estaciones se encuentran un espacio abierto libre de estructuras, la estación propuesta está rodeada de edificios lo que puede aumentar la temperatura y la humedad. Con esto se hace referencia a un tema ya descrito que es la isla de calor urbana que causa que las ciudades debido a estructuras como edificios y a la actividad humana exista un aumento de la temperatura, lo que a su vez provoca que el aire sea más caliente y que tenga mas capacidad para contener vapor de agua.

En cuanto a la estación numero 3 que se muestra en la Tabla 9 esta tiene valores tanto de humedad y temperatura mayores a los obtenidos por la estación propuesta, sin embargo como se mencionaba no se conoce la ubicación de dicha estación por consiguiente no se tiene idea de los factores que inciden en las medidas mostradas.

b. Velocidad y dirección del viento

Estas son las variables que muestran mayor variación con respecto a la estación propuesta, esto se debe a que las comparaciones se hicieron con estaciones que no tienen estructuras al rededor que afecten sus medidas y como se menciona en planteamiento del problema esto afecta significativamente variables como el viento, de ahí la baja velocidad del viento y la distante dirección.

c. Lluvia

En cuanto a la lluvia no se muestra mayor variación ya que es en esos días como lo evidencia en los resultados no hubo precipitaciones en la ciudad.

d. Rayos UV

Hora/Fecha	02/22/2023	02/23/2023	02/24/2023	02/25/2023	02/26/2023	02/27/2023	02/28/2023
1:00-6:00	0	0	0	0	0	0	0
7:00	1	3	2	1	2	1	1
8:00	2	7	6	4	7	5	5
9:00	7	10	10	10	10	10	10
10:00	10	10	10	10	10	10	10
11:00	10	10	10	10	7	10	10
12:00	10	9	10	10	6	7	10
13:00	10	7	7	7	8	7	9
14:00	7	7	4	4	9	9	10
15:00	1	7	5	5	5	5	5
16:00	5	1	5	5	4	1	3
17:00	1	1	2	2	2	1	2
18:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0

TABLA 10: Datos Sensor UV. Fuente: Autor

En la Tabla 10 se muestran los datos UV obtenidos por la estación propuesta y aunque no se encontró una estación para comparar los datos en los resultados obtenidos se puede observar un funcionamiento coherente de acuerdo a las horas del día, es decir, en las horas de la madrugada y la noche que es cuando hay menos luz solar se muestra un valor de 0 radiación solar mientras que en la mañana y en la tarde que es cuando el solo alcanza su máximo se observa como el índice UV crece y tiene algunas variaciones dependiendo de que tan nublado esté el día.

6.1.2. Comparación Tiempos de Implementación

En este apartado se realiza la comparación de los tiempos que se requieren para implementar una estación meteorológica. Para ello, se toma como referencia los datos suministrados por la Estación Carimagua (radar meteorológico para operaciones aéreas y reportes climáticos) y se compara con los tiempos empleados en la presente propuesta de implementación de la estación meteorológica de bajo costo.

Nombre tarea	Duración
Ordenes de Compra	3 días
Orden de Compra Gilat	1 día
Ordenes de Compra Torres y Accesorios	1 día
Ordenes de Compra SERVSAT	1 día
Pruebas Equipos VSAT	5 días
Instalación Antena	1 día
Apuntamiento y Configuración ID	2 día
Pruebas Servicios	1 día
Procedimiento XPOL EUTELSAT	1 día
Instalación Estación Remota Carimagua	9 días
Adecuación e instalación Base Autosoportada	1 día
Instalación Ducteria y cableado interno	2 día
Instalación Antena	2 día
Adecuación Sistemas de Energía	1 día
Apuntamiento y Configuración ID	2 día
Pruebas Servicios XPOL EUTELSAT	1 día
Tiempo Total	17 días

TABLA 11: Tiempo Implementación Estación Carimagua [39]

En la Tabla 11 se muestra el tiempo de construcción para un radar meteorológico para operaciones aéreas y reportes climáticos. En donde los datos meteorológicos obtenidos y guardados pueden ser transmitidos por varios medios pudiendo ser simultáneos tales como: Satélite GOES, satélite IRIDIUM, módem GPRS, radio enlace, interfase serial RS232 y RS485 (cableado). Al igual la selección de sensores puede ser de tipo análogo y digital [39].

Nombre tarea	Duración
Ordenes de Compra	—

Orden de Compra SIGMA y MovilTronics	3 días
Fabricación estructura	—
Garita Meteorológica	2 día
Base Estación Meteorológica	2 día
Total Ordenes de compra y fabricación de estructura (actividades simultaneas)	3 días
Instalación y prueba de equipos	3 días
Prueba sensores y comunicación	1 día
Construcción circuito	1 día
Cableado y montaje de la estación	1 día
Tiempo Total	6 días

TABLA 12: Tiempo Implementación Estación Propuesta. Fuente: Autor

En la Tabla 12 se muestran los tiempos de implementación de la estación propuesta, desde la compra de componentes hasta la estación meteorológica final.

En comparación con la Tabla 11 en la estación propuesta se observa una reducción del 64.7%. Hay que tener en cuenta que la Estación Remota Carimagua es mucho más robusta, consta de otros sensores y tiene otro enfoque, lo que causa variación en los tiempos. Sin embargo su función principal es la misma (es medir variables climáticas). Por lo tanto, el presente proyecto plantea una estación meteorológica capaz de medir diversos parámetros climáticos enfocados a los microclimas, con la ventaja de que su construcción se desarrolla en menos tiempo que el requerido para una estación convencional.

Cabe recalcar que únicamente se enfoca en los tiempos de implementación, ya que este ítem es el que permite saber que tan rápido se puede construir la estación meteorológica y si realmente es masificable.

6.1.3. Presupuesto Estación

Materiales	Valor
Sensor temperatura y humedad	\$26000
Sensor UV	\$25000
Kit estación meteorológica	\$44000
Base	\$50000

Materiales	Valor
Garita	\$80000
Caja de proyectos	\$11000
Adaptador alimentación	\$12000
Arduino Mega	\$80000
Modulo WiFi	\$20000
Total	\$744000
Servidor Web	3 meses 16 dolares
	1 año 47 dolares

TABLA 13: Presupuesto. Fuente: Autor

En la Tabla 13 se muestra el valor de cada uno de los elementos utilizados en la construcción de la estación meteorológica. Sin embargo este valor es unitario y si se realiza la compra de los materiales electrónicos al por mayor se reduce el precio total de la estación en 10 %-15 %.

6.1.3.1. Costo otras estaciones

Referencia estación	Especificaciones	Valor
AcuRite Atlas	Conexión WiFi Weather Underground Pantalla de alta definición Pronóstico meteorológico Detección de rayos	\$306.6
Ambient Weather WS-2902	Conexión WiFi Pantalla LCD WS-2902B Ambient Weather Network Velocidad del viento,dirección del viento,lluvia, rayos UV, radiación solar,presión barométrica, temperatura, la humedad,punto de rocío, sensación térmica.	\$926.6

Referencia estación	Especificaciones	Valor
Vantage Vue Weather Station	Datos cada 2,5 segundos Rango de transmisión de 1000' / 300 m a la consola. Consola WeatherLink (6313) Energía solar Temperatura, humedad, presión barométrica, velocidad y la dirección del viento, precipitaciones, punto de rocío, sensación térmica y pronóstico del tiempo.	\$695

TABLA 14: Costo otras estaciones similares [40, 41, 42]

En la Tabla 14 se muestra el costo de estaciones similares a la estación propuesta, se notan cambios principalmente en que se incluye una pantalla digital para ver los datos, otros sensores y autonomía eléctrica. Por otra parte la estación presentada tiene la ventaja de que no necesita de una pantalla para mostrar los datos ya que estos se pueden observar desde cualquier dispositivo con conexión WiFi.

A pesar de que la estación propuesta carece de algunas especificaciones respecto a las estaciones mostradas en la Tabla 14 también posee otras ventajas como se mencionaba.

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajos futuros

7.0.1. Conclusiones

- Se determinó que los procedimientos utilizados para el diseño e implementación de estaciones meteorológicas se dividen en dos secciones. La primera se enfoca en las características del lugar de instalación para así escoger las variables a censar y a su vez determinar lo necesario para garantizar el buen funcionamiento en dicho lugar. Mientras que la segunda busca la manera de adquirir, transmitir, almacenar y visualizar los datos de los sensores.
- Se construyó una propuesta que permite distinguir entre la etapa de diseño e implementación de una estación meteorológica. Donde se debe tener en cuenta el hardware, la compatibilidad de sensores, el costo, el tratamiento de los datos, normas y variables externas que puedan afectar la instalación.
- La propuesta de parametrización permitió el diseño e implementación de una estación meteorológica con una menor inversión(diferencia promedio de \$2'178.162) y a su vez, con menor tiempo de instalación(diferencia de 11 días)
- De la misma manera, al realizar la comparación de las mediciones de la estación meteorológica implementada con tres estaciones diferentes de la ciudad, se obtuvo un error en promedio de (Temperatura: 5.1 %, Humedad: 14.1 %, Lluvia: 6.45 %, V Viento: %93.96 y Dir Viento: %12.3).

7.0.2. Trabajos Futuros

- Diseño e implementación de una red de estaciones meteorológicas cuya base es la propuesta en este documento.
- Implementar una estación meteorológica basada en una tarjeta Sigfox para manejo y envío de información a través de IoT.
- Mejora de la implementación electrónica final, mediante el uso de PCB.
- Uso de la información obtenida en la estación para elaboración de pronósticos del tiempo y aplicaciones diversas.

Bibliografía

- [1] Kevin R. Therán Nieto, Lizeth Rodríguez Potes, Stephania Mouthon Celedon and Juliana Manjarres De León. «Microclima y Confort Térmico Urbano1». En: *revistas científicas*, vol. 23 (Noviembre 2019). [online]. DOI: 10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04.
- [2] Paola Jiménez, Alexis López, Mariela Villa, Daniel Wilson and Jorge Isaac Perén. «CARACTERIZACIÓN DE LA MORFOLOGÍA URBANA DE UN SECTOR DE OBARRIO». En: *SusBCity*, vol. 3, n.º 1, pp. 25–30, (Enero 2021). [online]. DOI: <https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2008>.
- [3] Anonimo. (2019. Abril 1). *CUIDAR LOS MICROCLIMAS URBANOS CON UN MEJOR DISEÑO Y UNA MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA*. [online]. URL: https://www.urban-hub.com/es/energy_efficiency/replanteando-el-uso-de-los-microclimas-urbanos/.
- [4] IDEAM. *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo*. [online]. URL: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>.
- [5] Enrique Uribe Botero (2020. Julio). *La arquitectura urbana y el clima de Bogotá*. [online]. URL: <https://cpnaa.gov.co/la-arquitectura-urbana-y-el-clima-en-bogota/>.
- [6] CONGRESO DE COLOMBIA. *Ley 1972/18 Julio 2019*.
- [7] CONGRESO DE COLOMBIA. *Ley 1931/27 Julio 2018*.
- [8] R Martínez and E Forero. «Estimation of energy efficiency in solar photovoltaic panels considering environmental variables». En: *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 437 (2018). [online]. DOI: 10.1088/1757-899X/437/1/012008.

-
- [9] H. Ramírez Murillo, C. A. Torres-Pinzón, y E. F. Forero-García. «Estimación del potencial fotovoltaico mediante minería de datos en cuatro ciudades de Colombia». En: *TecnoL.*, vol. 22, n.º 46, pp. 77–97 (Septiembre 2019). [online]. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1345>.
- [10] Kavan Javanroodi y Vahid M. Nik. «Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas». En: *MDPI* (Enero 2021). [online]. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings9080189>.
- [11] Giulia Ulpiani, Gianluca Ranzi and Mat Santamouris. «Experimental evidence of the multiple microclimatic impacts of bushfires in affected urban areas: the case of Sydney during the 2019/2020 Australian season». En: *IOPscience* (Julio 2020). [online]. DOI: 10.1088/2515-7620/ab9e1a.
- [12] C. Piselli, V.L. Castaldo, I. Pigliautile, A.L. Pisello and F. Cotana. «Outdoor comfort conditions in urban areas: On citizens' perspective about microclimate mitigation of urban transit areas». En: *Sustainable Cities and Society*, vol. 39, pp. 16-36 (Mayo 2018). [online]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.004>.
- [13] Nestoras Antoniou, Hamid Montazeri, Marina Neophytou y Bert Blocken. «CFD simulation of urban microclimate: Validation using high-resolution field measurements». En: *Science of The Total Environment*, vol. 695 (Diciembre 2019). [online]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133743>.
- [14] Bohdan Marii, Tetyana Pavych and Yaroslav Paramud. «Implementation of The Weather Station Software on A Microprocessor Platform Using .NET Technology». En: (2023). DOI: 10.23939/acps2023.01.057.
- [15] A. A. Radhi and F. M. M. Al-Naima. «Design of a Prototype Local Smart Weather Station Based on Wi-Fi». En: *International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), Sakheer, Bahrain*, pp. 559-565 (2022). [online]. DOI: 10.1109/3ICT56508.2022.9990775..
- [16] Aris Munandar, Hanif Fakhurroja, Muhammad Ilham Rizqyawan, Rian Putra Pratama, Jony Winaryo Wibowo, Irfan Asfy Fakhry Anto proponen en su artículo. «Design of Real-time Weather Monitoring System Based on Mobile Application using Automatic Weather Station ». En: *2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT), Jakarta, Indonesia*, pp. 44-47 (Enero. 2018). [online]. DOI: 10.1109/ICACOMIT.2017.8253384.

-
- [17] Al-Furati, I.S., Al-Assfor, F.K. and Abdul Zahra, A.K. «Design and Implementation of a Low-Cost Weather Stations Meter». En: *Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology*, vol. 464, pp 167–175 (Julio 2022). [online]. DOI: 10.1007/978-981-19-2394-4_15.
- [18] Ortiz Diaz, Heybert Alberto Escobar Amado, Christian D Sepulveda Mora and Sergio B. «Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta». En: *Respuestas*, Vol. 23, Núm. 1, Pág. 39-44 (2018). [online]. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6557384>.
- [19] Pedro Sebastián Andrade Durazno. *Aplicación de minería de datos en el análisis de contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas*. Tesis de grado. Universidad de UZUAY, Cuenca, Ecuador, 2018. [online]. URL: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8466/1/14184.pdf>.
- [20] Nelida Ines Lizarbe Chavez. *Clima: concepto, climas ecológicos: macroclima, microclima y mesoclima*. Inf. téc. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN Enrique Guzmán y Valle, 2021. [online]. URL: <http://50.18.153.62/handle/20.500.14039/7454>.
- [21] «TIPOS DE PRECIPITACION». En: *docsity*, Número 21 (Enero 2021). [online]. URL: <https://www.docsity.com/es/articulo-sobre-la-precipitacion/5830217/>.
- [22] Carlos Polo Bravol, Hugo Torres Muro, Juan Ríos Marquezado, Rigoberto Bernabé coaqueira and Alessandro De La Gala Contreras. «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE REGISTRO AUTOMÁTICO Y PROCESAMIENTO DE TRES PARÁMETROS BASADO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE LIBRE ». En: *Ciencia*, Vol. 1, Núm. 1 (Setiembre 2019). [online]. DOI: 10.33326/27066320.2017.1.832.
- [23] Engelberth Soto-Estrada. «ESTIMATION OF THE URBAN HEAT ISLAND IN MEDELLIN, COLOMBIA». En: *Rev. Int. Contam. Ambient vol.35 no.2* (Mayo 2019). [online]. DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.13>.
- [24] Pedro Freddy Huamaní Navarrete. *LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA*. Inf. téc. Universidad Ricardo Palma. [online]. URL: <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/4274/n/huamani-la-investigaciontecnologica.pdf>.
- [25] Garzón Guzman, B.Y., Rincón Ceron, M.F., Rojas Cubides, H.E., Rodriguez Patarroyo, D.J. «Design and Implementation of a Prototype of an Automatic Weather Station for the Measurement of Eolic and Solar Energy Resource». En: *Computer Sciences in Engineering*, vol. 742, pp. 108–118 (Agosto 2017). [online]. DOI: 10.1007/978-3-319-66963-2_11.

-
- [26] Carlos Morón, Jorge Pablo Diaz, Daniel Ferrández and Pablo Saiz. «Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems». En: *Energies 11, no. 9* (Julio 2018). [online]. DOI: 10.3390/en11092234.
- [27] Jean Lujan Leon, Pablo Iribarren Anacona, Katy Medina Marcos and Cesar Verde Mendocilla. «Design, Development and Implementation of a Low Cost Weather Station for high mountains». En: *IEEE XXVIII International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), Lima, Peru, pp. 1-4* (Agosto 2021). [online]. DOI: 10.1109/INTERCON52678.2021.9532835.
- [28] Konstantinos Ioannou, Dimitris Karampatzakis, Petros Amanatidis, Vasileios Aggelopoulos and Ilias Karmiris. «Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things». En: *Information, vol. 12, no. 4, p. 146* (Marzo 2021). [online]. DOI: 10.3390/info12040146.
- [29] Andrea Antonini, Luca Bini, Gabriele Rafanelli, Ilaria Cantini. «Implementation of a low-cost weather station developed in design-based learning framework». En: *IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking (SECON Workshops), Italy, pp. 1-6* (Junio 2020). [online]. DOI: 10.1109/SECONWorkshops50264.2020.9149776.
- [30] Zaid Khudhur Hussein¹, Hadi Jameel Hadi², Mousa Riyadh Abdul-Mutaleb³, Yaqeen Sabah Mezaal. «Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee». En: *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control, Vol. 18, No. 1, pp. 282-288* (Febrero 2020). DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i1.12784.
- [31] ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Documentos de política y normas*. (2022). [online]. URL: <https://public.wmo.int/es/recursos/documentos-de-pol%C3%ADtica-y-normas>.
- [32] SigmaElectrónica. *DHT22*. [online]. URL: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/dht22/>.
- [33] SigmaElectrónica. *TARJETA GUYA-S12SD*. [online]. URL: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/tarjeta-guya-s12sd/>.
- [34] SigmaElectrónica. *SEN-15901*. [online]. URL: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen-15901/>.
- [35] SigmaElectrónica. URL: https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2020/10/DS-15901-Weather_Meter.pdf.
- [36] MovilTronics. *Caja de proyectos*. [online]. URL: <https://moviltronics.com/tienda/caja-plastica-para-proyectos-con-tapa-y-tornillos-c2853/>.
- [37] Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. *Reporte de estaciones*. [online]. URL: <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Report/stationreport>.

- [38] POWER Data Access Viewer. *Reporte de estaciones*. [online]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- [39] NewSatInt. *Proyecto DATUM - VSAT - 18*.
- [40] ACURITE ATLAS. [online]. URL: <https://www.acurite.com/shop-all/weather-instruments/weather-stations/acurite-atlas-weather-station/acurite-atlas-weather-station-with-direct-to-wifi-display-and-lightning-detection.html>.
- [41] *Ambient Weather WS-2902*. [online]. URL: <https://ambientweather.com/ws-2902-smart-weather-station>.
- [42] *Vantage Vue Weather Station*. [online]. URL: <https://www.davisinstruments.com/collections/best-sellers/products/vantage-vue-weather-station-with-weatherlink-console>.