

Área de Conocimiento de Tecnología de la
Información y Comunicación

Implementación de una Estación Meteorológica en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

Elaborado por:

Tutor:

Br. Gabriel Isaac
Montiel Castillo
Carnet: 2014-02741

Br. Tyron Octavio
Prado Álvarez
Carnet: 2014-01451

Ing. Marlovio José
Sevilla Hernández

Dedicatoria

A Dios, por brindarme la salud, sabiduría, fuerza y perseverancia en los momentos más difíciles de mis años universitarios.

A mis padres que fueron mi pilar durante todo mi proceso de formación profesional y me proporcionaron todo el apoyo necesario para poder culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mis mentores, tutor y todo el gremio universitario por haberme brindado todo el apoyo para poder llegar a culminar con mi formación profesional.

Tyron Octavio Prado Álvarez

Dedicatoria

A Dios por llenarme de bendiciones, darme la fuerza para salir de las dificultades y proporcionarme las herramientas para enfrentarme a la vida.

A mi madre y a mi hermana, por su apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso, por estar siempre presentes en mis logros y en los contratiempos.

A mis maestros, mi tutor y mi alma mater por darme los conocimientos necesarios para culminar mi carrera universitaria.

Gabriel Isaac Montiel Castillo

Agradecimientos

El mayor agradecimiento se lo debemos a Dios quien nos ha dado la fortaleza y ha guiado en cada momento para seguir adelante.

A nuestra familia por siempre confiar en nosotros y motivarnos cada uno de estos días durante todo este camino.

A todas las personas quienes formaron parte de este proyecto directa e indirectamente dándonos su apoyo.



Secretaria Académica
DACTIC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

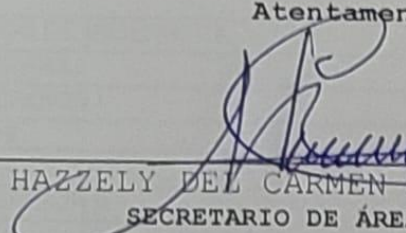
PRADO ALVAREZ TYRON OCTAVIO

Carné: **2014-0145I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**, en el año 2021 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de junio del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,




HAZZELY DEL CARMEN OROSOCO MIRANDA
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Secretaria Académica
DACTIC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

MONTIEL CASTILLO GABRIEL ISAAC

Carné: 2014-0274I Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 c
conformidad con el Reglamento Académico vigente en la
Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondiente
a la carrera de **INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**, en el año 202
y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de
culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua a los diecinueve días del mes de junio del año dos mil veint y cinco.

Atentamente,



HAZZELY DEL CARMEN OROZCO MIRANDA
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Resumen

El trabajo monográfico **“Implementación de una estación meteorológica en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua”** consiste en un dispositivo que cuenta con distintos sensores para la medición de diversas variables climatológicas que permitirán tener el monitoreo de las condiciones del clima en tiempo real. Esta estación meteorológica ayudará en la prevención y mitigación de posibles desastres naturales a través de la transmisión de datos en vivo minuto a minuto sobre la actividad climática y los factores medio ambientales que puedan repercutir en la misma causando variantes en su desarrollo.

La implementación del dispositivo se realizará concretamente en la azotea del edificio Rigoberto López Pérez, Universidad Nacional de Ingeniería en la ciudad capital Managua, Nicaragua. Será la primera estación meteorológica en ser instalada en el recinto lo que significaría un importante aporte tecnológico para la institución.

La elaboración de este proyecto se llevó a cabo partiendo de la selección de los distintos componentes e instrumentos que conforman toda la estructura de la estación meteorológica y que a su vez son los encargados de realizar todas las funciones de medición, procesos lógicos, suministro energético, registro y transmisión de datos.

La placa de circuito impreso fue la segunda etapa en la construcción de la estación de meteorológica, misma que actuará como base donde estarán ensambladas todas y cada una de sus partes permitiéndoles interconectarse entre sí y operar de manera correcta.

El proceso de registro, transmisión, almacenamiento y visualización de todas las mediciones que precede a la fase anterior se logró utilizando como punto de inicio un servidor MQTT, protocolo de mensajería que conecta, envía y proporciona seguridad a todos los datos que recibe de la estación meteorológica hasta su próximo receptor llamado Adafruit IO, se trata de una interfaz que almacena y muestra de manera interactiva cada uno de los datos climáticos en tiempo real al usuario final. El acceso

para la visualización se implementó usando un código QR a través del cual cualquier dispositivo móvil inteligente (teléfono inteligente, tableta) podrá ingresar a la interfaz y ver toda la información de las distintas variables del clima.

Los resultados obtenidos durante las pruebas de laboratorio no mostraron alteraciones, interrupciones ni errores a lo largo del lapso de tiempo que la estación meteorológica se mantuvo en funcionamiento, verificando así el buen desempeño del equipo como también la veracidad y exactitud de los datos arrojados de las diversas variables.

Tabla contenido

1	Introducción.....	1
2	Objetivos	3
	2.1 Objetivo General	3
	2.2 Objetivos Específicos	3
3	Justificación.....	4
4	Marco teórico.....	5
	4.1 Meteorología y climatología	5
	4.2 Estación Meteorológica	7
	4.3 Variables meteorológicas	8
	4.3.1 Temperatura	8
	4.3.2 Grado Celsius	9
	4.3.3 Humedad	9
	4.3.4 Presión atmosférica	10
	4.3.5 Precipitaciones	10
	4.3.6 Viento	11
	4.3.7 Componentes de la estación meteorológica	13
	4.3.7.1 Sensores de medición	13
	4.3.7.2 Equipo de registro y transmisión de datos	14
	4.3.7.3 Unidad de control y visualización	16
	4.3.7.4 Soporte para montaje	17
	4.3.7.5 Fuentes de energía	17
	4.4 Lenguaje de programación.....	18
	4.4.1 C++	18
	4.4.2 C	19
	4.4.3 Python	19
	4.4.4 Java	19
	4.4.5 JavaScript.....	19
	4.5 Software	19

4.5.1	Software de aplicación:	20
4.5.2	Software de desarrollo	20
4.5.3	Software de seguridad:	21
4.6	Componentes en la placa de circuito impreso	21
4.6.1	Transistor	21
4.6.2	Diodos	21
4.6.3	Resistencias	22
4.6.4	USB-C Port	22
4.6.5	Capacitor	23
4.6.6	Inductor	23
5	Diseño metodológico	25
5.1	Metodología	25
5.1.1	Diseño de la estación meteorológica	25
5.1.1.1	Selección y Configuración de Sensores	25
5.1.1.1.1	DS18B20	25
5.1.1.1.2	BME280	27
5.1.1.1.3	Veleta	28
5.1.1.1.4	El Anemómetro	32
5.1.1.1.5	El Pluviómetro	33
5.1.1.2	Configuración de Hardware	34
5.1.1.2.1	Módulo ESP32-WROOM32	35
5.1.1.2.2	Módulo RA-02	36
5.1.1.2.3	Módulo receptor Helteck WIFI LoRa	37
5.1.1.3	Calibración y Pruebas	38
5.1.1.4	Conexión y cableado	39
5.1.2	Implementación de la Estación Meteorológica	48
5.1.3	Integración de Energía	49
5.1.4	Desarrollo de Software	51
5.1.4.1	Estructura básica del código de la estación	51

	5.1.4.1.1 Fragmentos de código del transmisor.....	51
	5.1.4.2 Estructura básica del módulo receptor de la estación.....	55
	5.1.4.2.1 Fragmentos de código del receptor	55
	5.1.4.3 Broker MQTTshiftr.io.....	60
	5.1.4.4 Dashboard IOT	61
	5.1.5 Esquema de funcionamiento de los procesos de la estación meteorológica.....	61
6	Análisis y presentación de resultados	62
7	Bibliografía	70

Indice de figuras

Figura No. 1 Escala de viento de Beaufort.....	12
Figura No. 2 ESP32-WROOM-32U Schematics	15
Figura No. 3 Heltec WIFI 32 LoRa	17
Figura No. 4 Conexión de DS18B20	26
Figura No. 5 DS18B20	27
Figura No. 6 BME280.....	27
Figura No. 7 Conexión I2C BME280	28
Figura No. 8 La Veleta Plano 1	29
Figura No. 9 Rosa de los vientos	29
Figura No. 10 Esquema de divisor de voltaje de veleta	30
Figura No. 11 Veleta (Foto).....	30
Figura No. 12 Esquema de conexión veleta y anemómetro.....	33
Figura No. 13 Anemómetro	33
Figura No. 14 Pluviómetro.....	34
Figura No. 15 Esquema de conexión del pluviómetro	34
Figura No. 16 Esquema de conexión ESP32	35
Figura No. 17 ESP32 soldado al PCB.....	35
Figura No. 18 Esquema de conexión de Módulo RA-02	36
Figura No. 19 Módulo RA-02.....	36
Figura No. 20 Módulo receptor Helteck WIFI LoRa.....	37
Figura No. 21 Gerber PCB	39
Figura No. 22 Pistas PCB	47
Figura No. 23 PCB sin componentes	47
Figura No. 24 PCB con componentes	48
Figura No. 25 Esquema de conexión al sistema de energía	50
Figura No. 26 Batería 18650 junto al LED de carga.....	50
Figura No. 27 Monitor de tópicos MQTT	60
Figura No. 28 Webhook MQTT	60
Figura No. 29 Dashboard de visualización de variables.....	61
Figura No. 30 Porcentaje de Humedad	63

Figura No. 31 Precipitaciones	63
Figura No. 32 Presión Atmosférica	64
Figura No. 33 Promedio del Voltaje de Batería	64
Figura No. 34 Promedio de Temperatura.....	65
Figura No. 35 Velocidad del Viento	65

Índice de tablas

Tabla No. 1 Especificaciones de DS18B20.....	26
Tabla No. 2 Tabla de dirección veleta	31
Tabla No. 3 Especificaciones del módulo RA-02	37
Tabla No. 4 Lista de componentes de la placa de circuito impreso	40
Tabla No. 5 Lista de costos de componentes de la placa de circuito impreso	45
Tabla No. 6 Especificaciones de PCB.....	48
Tabla No. 7 Código de programación 1.....	51
Tabla No. 8 Código de programación 2.....	52
Tabla No. 9 Código de programación 3.....	52
Tabla No. 10 Código de programación 4.....	53
Tabla No. 11 Código de programación 5.....	53
Tabla No. 12 Código de programación 6.....	54
Tabla No. 13 Código de programación 7.....	55
Tabla No. 14 Código de programación 8.....	57
Tabla No. 15 Código de programación 9.....	57
Tabla No. 16 Código de programación 10.....	58
Tabla No. 17 Código de programación 11.....	59

1 Introducción

El clima desempeña un papel crucial en nuestras vidas cotidianas. Las predicciones meteorológicas tienen el poder de modificar nuestros planes, alterar nuestras rutinas o cambiar nuestras acciones diarias. Así mismo nos permite tomar medidas preventivas frente a las variaciones de temperatura, humedad, lluvia y otras condiciones climáticas. Emplear herramientas como las estaciones meteorológicas, facilita el monitoreo y la realización de acciones preventivas para evitar riesgos futuros en las comunidades y diversos sectores de los países.

Con los avances tecnológicos, las estaciones meteorológicas son cada vez más precisas. En la actualidad posibilitan la recopilación de datos mediante sensores especializados que estudian minuciosamente cada una de las variables climáticas existentes. Para que la información recolectada sea completa, precisa y confiable, es deseable que las estaciones meteorológicas se basen y/o se adapten a tecnologías electrónicas que faciliten el trabajo.

En Nicaragua, la Dirección General de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), es la instancia responsable de operar y explotar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas; realizar la Vigilancia Meteorológica Nacional, elaborar y difundir de manera oficial el pronóstico del tiempo, notas informativas, avisos y alertas; para contribuir con la reducción del impacto de los fenómenos meteorológicos peligrosos que producen los desastres naturales.

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con una comunidad educativa de más de 10, 000 estudiantes, no cuenta con una estación meteorológica que le permita tomar acciones preventivas de forma oportuna con su población cautiva. Por esta razón es de gran importancia la implementación de una estación meteorológica en el recinto universitario.

En este informe final, se detalla el proceso de construcción paso a paso, incluyendo desde la selección de componentes y conexiones hasta la programación, culminando con el resultado final alojado en un servidor MQTT. El protocolo de comunicación MQTT mostrará los datos de las variables atmosféricas recolectadas en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Implementar una estación meteorológica, con un sistema de transmisión y recepción de datos en tiempo real a través de placas de desarrollo que permitan la medición de temperatura, humedad, presión atmosférica y precipitaciones en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos de hardware y software para la estación meteorológica basado en criterios ingenieriles.
- Diseñar el subsistema de adquisición y acondicionamiento de señal de la estación meteorológica para la obtención de las variables medidas.
- Crear un subsistema de comunicación para el envío remoto de las variables de la estación meteorológica.
- Desarrollar una interfaz de visualización de las variables haciendo uso de internet de las cosas.
- Diseñar un sistema de alimentación para la estación meteorológica.
- Evaluar el desempeño de la estación meteorológica mediante pruebas a escala de laboratorio para verificar el correcto funcionamiento del prototipo.
- Evaluar el desempeño de la estación meteorológica una vez instalado el prototipo en el recinto universitario para verificar su correcto funcionamiento.

3 Justificación

Nicaragua es uno de los 6 países en América Latina y el Caribe, que registran las mayores cantidades de daños y pérdidas por eventos hidrometeorológicos y climáticos. Los fenómenos naturales de origen geológico e hidrometeorológico son los eventos que han marcado episodios desastrosos cobrando la vida de muchos nicaragüenses. Un ejemplo fue el huracán Mitch, con 3,800 víctimas mortales y daños totales aproximados a 988 millones de dólares. A raíz de eventos como el antes mencionado, Nicaragua ha organizado de mejor manera sus estructuras gubernamentales para la atención y prevención de desastres. (UNISDR & CEPREDENAC, 2013, p.27).

Las universidades públicas forman parte de las intuiciones que están preocupadas por fortalecer las capacidades para la prevención ante estos eventos. Desde el 2016, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED) han estado realizando trabajo conjunto, incorporando la temática de la gestión integral de riesgo y desastre en la currícula universitaria.

En la UNI no existe un sistema que permita a la comunidad educativa conocer sobre datos climatológicos, implementar una estación de este tipo, permitirá mantener una vigilancia activa y tomar las medidas necesarias para prevenir situaciones de desastre como inundaciones por lluvias, olas de calor y daños en la infraestructura por vientos huracanados.

En los recintos de la universidad diario circulan una gran cantidad de estudiantes y docentes que pueden estar expuestos a situaciones de peligro; es por ello que, en conjunto con la Facultad de Electrónica y Computación, nace la iniciativa de implementar una Estación Meteorológica que permita brindar información sobre las variaciones climáticas (temperatura, luz, humedad, viento, presión atmosférica y precipitaciones) que brindará herramientas para prevenir la exposición a riesgos y desastres mayores en esta alma mater.

4 Marco teórico

El hombre ha creado estrategias para adaptarse a las condiciones climáticas. El desarrollo económico y la urgente necesidad de optimizar los recursos naturales entre ellos el clima, le ha obligado a entender mejor su comportamiento, a través de la observación sistemática y permanente. La información meteorológica es de gran valor en distintas disciplinas como la climatología y la hidrología, entre otras.

La observación de variables y fenómenos meteorológicos se lleva a cabo en estaciones meteorológicas, las cuales desempeñan un papel importante en la comprensión y el estudio del clima; facilitando datos precisos que son fundamentales para la predicción del tiempo, el monitoreo del cambio climático y la investigación científica.

Teniendo en cuenta las características de este prototipo, tanto a nivel del diseño del dispositivo y su contexto, como a nivel de su aplicación en el entorno educativo, se presenta un esquema teórico de clima y de la meteorología.

4.1 Meteorología y climatología

Son campos de estudio científicos interrelacionados que se enfocan en comprender procesos y fenómenos que ocurren en la atmósfera terrestre.

La meteorología se centra en el análisis y la predicción en un corto período del tiempo atmosférico, lo que incluye variables como: temperatura, presión, humedad, velocidad y dirección del viento; así como la formación de fenómenos meteorológicos como lluvias, tormentas, y nevadas. Estudia fenómenos que duran horas o días. La climatología, en cambio, trata de promedios de variables meteorológicas sobre periodos de treinta años (Crespo del Arco & Zúñiga, 2021, p.10).

Maldonado (2018, p.21) refiere que la meteorología permite establecer conclusiones a futuro, descubrir cómo el clima se ve afectado en dependencia de los parámetros en tiempo presente, por ello se le llama una "ciencia auxiliar de la climatología"

Por otro lado, la climatología, sumerge en el estudio de patrones climáticos en un período de tiempo más largo, llegando a conocer tendencias, variaciones y ciclos climáticos en diferentes regiones del planeta. Analiza factores como la radiación solar, la circulación atmosférica, los océanos, los efectos de los seres vivos en el clima y el cambio climático causado por la influencia de la actividad humana en el planeta.

Ambas ciencias requieren una variedad de herramientas y técnicas, las que incluyen: observaciones de campo, instrumentos meteorológicos, modelos computacionales y datos recopilados por satélites y estaciones meteorológicas. El objetivo principal es comprender los procesos atmosféricos, predecir el tiempo, el clima, y proporcionar información vital para la toma de decisiones en una amplia gama de sectores como la agricultura, la aviación, gestión de desastres y la construcción.

El conocimiento de las ciencias meteorología y climatología, es esencial en el estudio del medio ambiente, y es de interés general, porque el tiempo atmosférico y el clima afectan directamente la vida diaria.

En Nicaragua el clima está bajo la influencia de los vientos Alisios, provenientes de las anticiclones subtropicales de las Azores y Bermudas. Estos vientos son constantes, de poca variabilidad y tienen la particularidad de arrastrar masas de aire húmedo del mar Caribe hacia el interior de Nicaragua. Este viento cálido y húmedo penetra por la vertiente del Atlántico hacia la vertiente del Pacífico. (INETER, s.f.)

Según INETER (s.f.) las precipitaciones en el país varían de menos de 800 mm, en las zonas más secas, a 5000 mm y más, en la zona más húmeda. Estas precipitaciones pueden registrarse en cualquier mes del año, pero la mayor cantidad cae entre mayo y noviembre. Las temperaturas medias anuales presentan variaciones relativamente

pequeñas, mientras que los valores extremos diarios muestran oscilaciones considerables.

4.2 Estación Meteorológica

Están formadas por un conjunto de componentes y tienen como propósito crear un sistema de medición de parámetros medioambientales como: temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación, velocidad y dirección del viento, entre otros. Estas estaciones facilitan a los usuarios la recopilación de información en entornos privados y proveen la posibilidad de compartir dichas mediciones a través del protocolo de comunicación MQTT.

Las estaciones, están equipadas por instrumentos que ayudan a medir parámetros atmosféricos y permiten conocer los fenómenos naturales que se encuentran en el aire y posteriormente dar predicciones climáticas (Para Martínez & Moncayo, 2018, p.13).

Para obtener los datos planificados, es necesario contar con un funcionamiento óptimo, que incluya la automatización de la estación. Una vez recopilada la información, los resultados serán procesados de forma automática, sin la intervención humana.

En el sitio web oficial del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) se describe que la Dirección General de Meteorología es la instancia responsable de operar y explotar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas; se encargan de la Vigilancia Meteorológica Nacional, y con estos datos elaboran y difunden de manera oficial el pronóstico del tiempo en diferentes formatos como: notas informativas, avisos y alertas.

INETER (s.f.) tiene un banco de datos, el cual está constituido por una red de topología de estrella, conformada por 14 estaciones de trabajo las que están conectadas a un servidor central. La información se maneja como una red local (Intranet) y está bajo la plataforma Oracle.

El trabajo de INETER reduce el impacto de los fenómenos meteorológicos peligrosos que pueden llegar a producir desastres naturales, al garantizar el servicio de información a la navegación aérea y marítima nacional e internacional previniendo accidentes catastróficos. La información del tiempo y clima que tienen a su disposición les permite generar información meteorológica básica y elaborada para diferentes usuarios y dar seguridad y tranquilidad a los nicaragüenses.

4.3 Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas son operaciones estadísticas, que definen el estado atmosférico (tiempo y clima) en un momento dado y que pueden medirse. Al estudiarlos podemos comprender las condiciones presentes en la atmósfera. Al analizar y recopilar los datos adquiridos y que están asociados a diferentes variables podemos cuantificarlas y analizar su comportamiento. Al realizar este proceso constante en periodos más largos podremos estudiar su evolución lo que nos permitirá hacer predicciones y prepararnos para evento climatológicos.

Las variables de interés en la implementación de la estación meteorológica en este proyecto son:

4.3.1 Temperatura

Se refiere al grado de calor específico del aire en un tiempo determinado sobre un lugar fijo (Ruiz, 2018, p.8).

En física, se define como una escala relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, específicamente con la energía cinética; que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A mayor energía cinética en un sistema mayor calor, por tanto, incrementa la temperatura.

Cuando las partículas de un sistema adquieren mayor energía cinética (más movimiento o mayor amplitud en las vibraciones) tendrá una temperatura más alta. La causa es que, la temperatura está directamente relacionada con la velocidad de las partículas: si hay mayor velocidad promedio, la temperatura incrementa. Además, en las variaciones de temperatura influyen aspectos como el comportamiento molecular, la distribución de velocidades de las partículas, las frecuencias de colisiones entre ellas y la cantidad de energía transferida durante estas colisiones.

La temperatura se mide por diferentes escalas: Celsius, Fahrenheit, Kelvin y Rankine, esto va depender del contexto y de las preferencias de la aplicación. En este proyecto la escala utilizada es en grados Celsius.

4.3.2 Grado Celsius

El grado Celsius (símbolo °C), se define como una unidad de medida de la temperatura, se utiliza en el sistema internacional de unidades (SI). Se refiere al punto de congelación del agua y establece que 0 grados Celsius es igual a la temperatura en la que el agua se congela, y 100 grados Celsius la temperatura a la cual el agua hierve. La escala la propuso Anders Celsius en el siglo XVIII y con el tiempo se convirtió en una de las escalas de temperatura más utilizadas en todo el mundo tanto en un contexto cotidiano como en investigaciones científicas.

4.3.3 Humedad

Se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire o en una sustancia. Generalmente se expresa como un porcentaje (%) relativo de la cantidad máxima de vapor de agua que contiene el aire a una determinada temperatura y una presión específica.

La humedad se produce por el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera. La cantidad de vapor depende de la temperatura del aire, es decir, a mayor temperatura, mayor humedad (Maldonado, 2018, p.14).

Es relevante para la formación de fenómenos meteorológicos como lluvia, nieve y niebla. Es un factor que afecta además del clima, la salud, la vida cotidiana y una diversidad de procesos industriales y naturales.

4.3.4 Presión atmosférica

Se refiere a la fuerza ejercida por una masa de aire, sobre la superficie terrestre. Su unidad de medida son los milibares (mbar) o hectopascales (hPa). Tiende a variar por la altitud y por variaciones en condiciones meteorológicas. Es más alta en sitios que se encuentran a nivel del mar y va disminuyendo cuando la altitud es menor. Tiene gran influencia en la formación del clima y de los patrones meteorológicos. Para los seres humanos, es trascendental en la navegación aérea y marítima.

En la vida cotidiana, los cambios en la presión atmosférica se asocian directamente con la llegada de sistemas climáticos como frentes, áreas de baja y alta presión, lo que implica que influyen el estado del tiempo local y regional.

El barómetro es el instrumento utilizado para realizar mediciones de presión atmosférica; existe una gran variedad, divididos por tipo: capacitivo, resistivo, entre otros (Montenegro, 2022, pp.11-12).

4.3.5 Precipitaciones

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae desde la atmósfera hacia la superficie de la tierra. Esto incluye lluvia, nieve, aguanieve, granizo, y llovizna.

Para que el proceso de precipitación se lleve a cabo es necesario que se cumplan dos condiciones: La masa de aire debe alcanzar una temperatura de enfriamiento suficiente para producir la precipitación; en el aire deben existir núcleos de condensación, denominados núcleos higroscópicos, sobre los cuales se pueden formar las gotas de agua (Montenegro, 2022, p.15)

El agua se forma cuando el vapor de agua en la atmósfera se condensa para posteriormente caer a la Tierra por gravedad. Las precipitaciones son parte del ciclo del agua (precipitación, escorrentía, infiltración, evaporación y condensación), que se repite continuamente y es esencial para mantener el suministro de agua en la Tierra y para regular el clima.

La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico y la medición de la cantidad de lluvia que cae está a cargo del pluviómetro (instrumento que se usa para medir en milímetros la cantidad de agua que cae en un determinado tiempo).

4.3.6 Viento

Es el movimiento de una masa de aire en la atmósfera terrestre y es causado por la diferencia en la presión atmosférica entre diferentes áreas. El aire se mueve desde áreas de alta presión hacia áreas de baja presión, creando corrientes de viento.

La velocidad del viento se mide en kilómetros por hora (Km/h) y la dirección la determina el punto cardinal desde donde se origina y se mide mediante el uso de una veleta (Maldonado, 2018, p.12).

En meteorología, los vientos se denominan según su fuerza y la dirección desde la cual se mueven. Los aumentos repentinos de la velocidad del viento durante un tiempo corto reciben el nombre de ráfagas. Los vientos fuertes de duración intermedia (aproximadamente un minuto) se llaman turbonadas. Los vientos de larga duración

tienen diversos nombres según su fuerza media como, por ejemplo, brisa, temporal, tormenta, huracán o tifón.

Las dos causas principales de la circulación atmosférica a gran escala son el calentamiento diferencial de la superficie terrestre según la latitud, la inercia y la fuerza centrífuga producidas por la rotación del planeta.

Para la medición de la velocidad y dirección del viento se usa un instrumento llamado anemómetro, que consta de pequeños discos cóncavos que atrapan el viento lo cual permite girar el dispositivo. La intensidad del viento se determina en base a su velocidad de desplazamiento, evaluada según sus efectos mecánicos y clasificada de acuerdo con la escala de Beaufort.

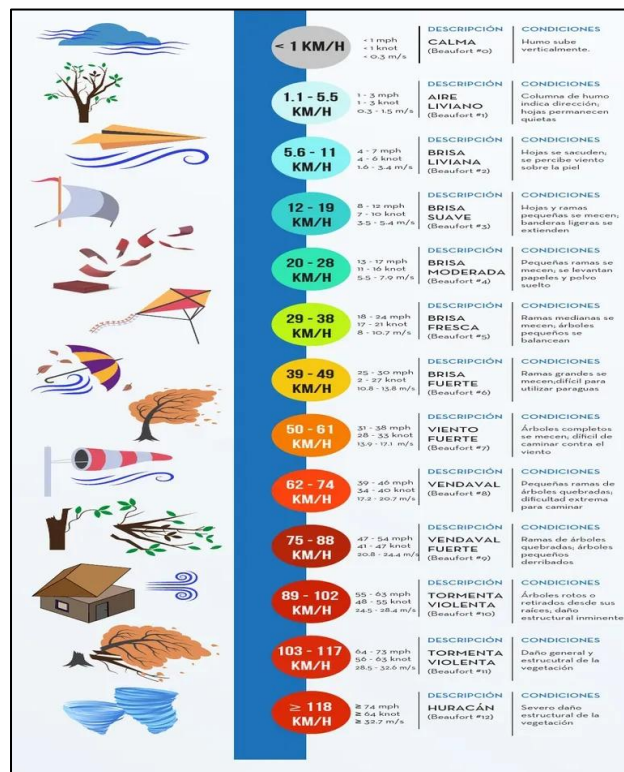


Figura No. 1 Escala de viento de Beaufort

Nota: Es una medida empírica de la intensidad del viento basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Infografía Escala de Vientos de Beaufort, Mati Elgueta Droguett (s.f.): <https://images.app.goo.gl/ZrhDC1kyxMrK2wBX6>

4.3.7 Componentes de la estación meteorológica

Los componentes trabajan en conjunto para recopilar datos precisos y continuos sobre las condiciones meteorológicas en una ubicación específica. Estos incluyen: sensores de medición (termómetros, higrómetros, barómetros, anemómetros y pluviómetros) equipos de registro y transmisión de datos, unidades de control y visualización, soportes para montaje, fuentes de energía y sistemas de protección y resguardo.

4.3.7.1 Sensores de medición

Son dispositivos diseñados para detectar y medir cambios en entornos físicos o químicos. Estos cambios se convierten en señales analógicas o digitales que posteriormente son interpretadas por un sistema de procesamiento y visualización.

Los sensores meteorológicos están diseñados para medir parámetros ambientales. Son responsables de recolectar datos de las condiciones atmosféricas, los cuales luego son procesados por un microcontrolador. (SENSORGO MKT, 2020).

Tienen diversas funciones y pueden proporcionar información sobre una amplia gama de variables como temperatura, presión, humedad, luz, velocidad y movimiento, entre otras. Se utilizan en diversos campos como el monitoreo del clima, el control de la calidad del aire, la detección de movimiento en sistemas de seguridad y la medición de parámetros físicos en dispositivos médicos. Son de gran importancia para la recopilación de información en tiempo real y resultan útiles para la automatización de procesos en una amplia variedad de industrias, en investigaciones científicas y en otros ámbitos.

En el pasado, los parámetros meteorológicos como la temperatura ambiente, la humedad y la presión barométrica se medían con instrumentos analógicos independientes: termómetro, higrómetro y barómetro. Pero hoy en día, el mercado está inundado de sensores digitales económicos y eficientes que se pueden utilizar para medir una variedad de parámetros ambientales. Los mejores ejemplos son sensores como DHT11, DHT 22, BMP180, BMP/E280, etc.

4.3.7.2 Equipo de registro y transmisión de datos

Son dispositivos utilizados para recolectar, almacenar y enviar información meteorológica a una ubicación centralizada. Estos equipos suelen incluir sensores para medir variables meteorológicas. La información recolectada se registra en el dispositivo y puede transmitirse mediante diferentes métodos como redes cableadas, inalámbricas o incluso satelitales, facilitando así el monitoreo continuo y la recopilación de datos meteorológicos en tiempo real.

En los equipos de registros y transmisión de datos uno de los módulos utilizados es el ESP32, desarrollado por Espressif Systems, es de bajo costo y de alto rendimiento. Se utiliza principalmente en proyectos de electrónica y desarrollo de dispositivos IoT. Ofrece capacidades avanzadas de conectividad WiFi y Bluetooth, así mismo posee suficiente potencia de procesamiento para ejecutar aplicaciones complejas. Se utiliza ampliamente para la creación de dispositivos inteligentes, automatización del hogar, monitoreo remoto y muchas otras aplicaciones donde la conectividad y el control son fundamentales como en las estaciones meteorológicas. Dentro de la familia ESP32, se encuentra el ESP32-WROOM-32U (Figura 17), que cuenta con las siguientes especificaciones:

- **Microcontrolador:** Procesador de doble núcleo Xtensa LX6 a 240MHz.
- **Memoria RAM:** 520 KB de RAM SRAM interna.
- **WiFi:** Soporta WiFi 802.11 b/g/n (2.4 GHz).
- **Bluetooth:** Soporta Bluetooth v4.2 y BLE (Bluetooth Low Energy).
- **Interfaces:** Incluye interfaces UART, SPI, I2C, I2S, PWM, ADC, DAC, y GPIOs.
- **Seguridad:** Soporte para criptografía hardware AES, SSL/TLS.
- **Consumo de energía:** Modo de bajo consumo y capacidades avanzadas para aplicaciones de IoT.
- **Dimensiones:** Compacto, adecuado para integración en dispositivos con espacio limitado.

- **Otras características:** Soporte para firmware OTA (Over-The-Air), y amplias opciones de desarrollo mediante SDK y herramientas de Espressif.

El ESP32 puede utilizarse en combinación con módulo Thinker LoRa RA-02 (Long Range), que es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance, que utiliza radiofrecuencia y está diseñada para aplicaciones de IoT. El ESP32 actuaría como el cerebro del sistema, recolectando los datos de sensores conectados y transmitiéndolo al módulo LoRa. Esto permite que la estación meteorológica envíe datos a una distancia considerable. Es ideal para aplicaciones en áreas remotas o donde no hay acceso a internet constante. Los datos pueden ser recibidos por una estación base, que mostraría o analizaría la información en tiempo real, o la almacenaría para análisis posteriores.

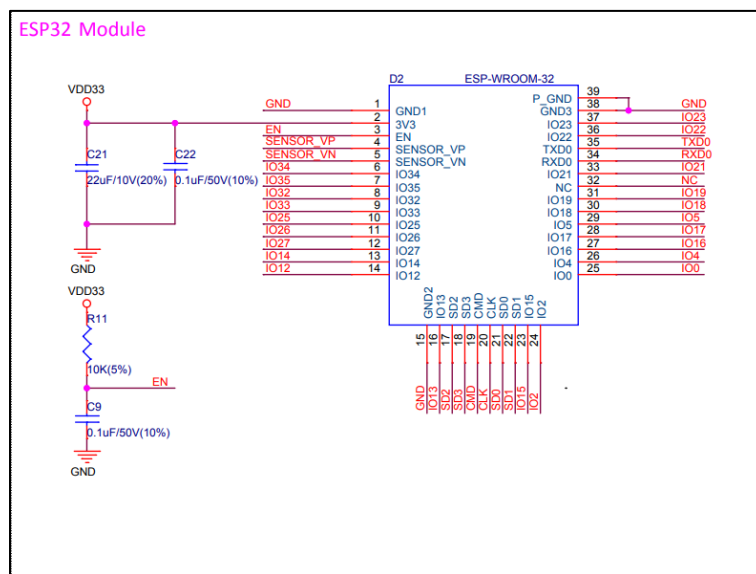


Figura No. 2 ESP32-WROOM-32U Schematics, por
 (<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html>)

Nota: El ESP32, debe estar colocado en una placa de circuito impreso (PCB); esta placa se utiliza como una superficie en la cual se ensamblan y conectan componentes electrónicos. El diseño de la PCB (Figura 22) incluye pistas conductoras de cobre que crean una conexión eléctrica entre componentes estableciendo así un circuito eléctrico

dentro de la placa. Los PCB son aplicables por su versatilidad y practicidad, en una amplia gama de dispositivos como: teléfonos móviles, computadoras, electrodomésticos y equipos médicos (InElectronic, 2020).

4.3.7.3 Unidad de control y visualización

En una estación meteorológica la unidad de control y visualización (UCV), es esencial para la gestión y presentación de datos recopilados por diversos sensores. Esta unidad recolecta, procesa y almacena los datos, los muestra en tiempo real a través de una pantalla o interfaz, genera alertas y facilita la comunicación de datos con otros sistemas meteorológicos o dispositivos externos, asegurando un monitoreo efectivo y análisis detallado del clima y las condiciones ambientales.

En la UCV se puede utilizar el Wifi LoRa 32, que es una placa de desarrollo diseñada para aplicaciones de IoT. Utiliza el módulo ESP32, que permite las entradas y salidas de datos. La tecnología LoRa permite frecuencias de operación de 433 MHz o 868/915 MHz, adecuadas para diferentes regiones. La placa también incluye una interfaz Micro-USB para alimentación, comunicación y diversos pines GPIO para conexiones externas. Esta combinación de tecnologías hace que el Wifi LoRa 32 v2(Figura 3) sea una opción robusta para proyectos IoT que necesiten conectividad local e Internet, junto con la capacidad de comunicarse eficazmente a largas distancias.

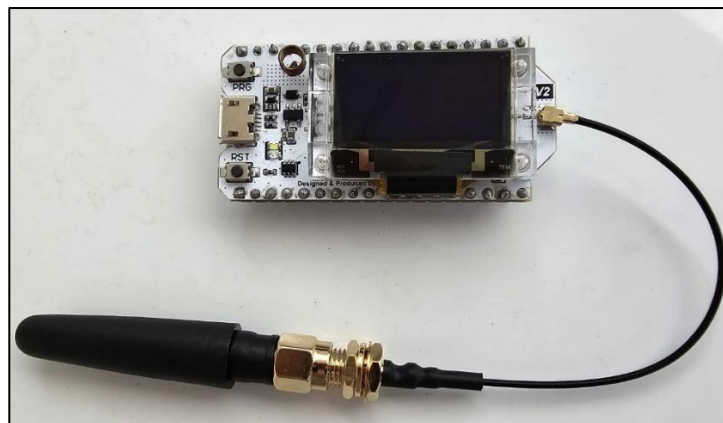


Figura No. 3 Heltec WIFI 32 LoRa

4.3.7.4 Soporte para montaje

El soporte es necesario para asegurar una correcta y estable instalación de los sensores y equipos. Son robustos y capaces de resistir condiciones climáticas adversas. Existen diferentes tipos como: mástiles, trípodes o estructuras específicas según el entorno y los requisitos de la estación meteorológica.

Para el montaje de las estaciones se requieren cajas de PVC de diversas formas, destacando el plexo IP67. Éstas aseguran protección contra polvo y sumersión temporal en agua hasta 1 metro de profundidad durante 30 minutos. Son ideales para resguardar equipos electrónicos en entornos al aire libre, como estaciones meteorológicas, cámaras de seguridad y equipos de telecomunicaciones.

4.3.7.5 Fuentes de energía

Para el funcionamiento de las estaciones meteorológicas se requiere fuentes de energía como:

- Acceso a la red eléctrica.
- Paneles solares.
- Baterías.
- Otros sistemas de alimentación.

Los paneles solares están compuestos por pequeñas celdas fotovoltaicas que generan energía eléctrica a partir de la radiación solar, es decir, la luz solar incide directamente sobre el dispositivo (Maldonado, 2018, p. 24).

Las baterías de litio son recargables y usan litio como material de electrodo. Se conocen por tener una alta densidad energética, teniendo la capacidad de almacenar grandes cantidades de energía; por lo que son ideales para ser usados en teléfonos móviles y ordenadores portátiles. Tienen una vida útil larga y se pueden recargar múltiples veces;

sin embargo, tienden a sobrecalentarse y pueden sufrir daños si no se usan de manera adecuada.

Los paneles solares, baterías de litio y otros sistemas de alimentación se utilizan en lugares donde no hay acceso a red eléctrica. Como medida de protección se recomienda colocar un cable puesto a tierra.

4.4 Lenguaje de programación

Los lenguajes de programación son sistemas de comunicación formal diseñados para crear instrucciones que una computadora puede entender y ejecutar. Cada lenguaje tiene su propia sintaxis, estructura y conjunto de reglas que deben seguirse para escribir programas válidos.

La elección del lenguaje de programación a utilizar depende del proyecto específico y de las preferencias del programador. Estos lenguajes permiten a los programadores escribir programas que realicen tareas específicas. Existen más de 8900 lenguajes de programación, cada uno con sus propias características y usos. Algunos de los más conocidos son:

4.4.1 C++

Es un lenguaje de programación de propósito general desarrollado por Bjarne Stroustrup en 1983 como una extensión de lenguaje C. Combina características de bajo y alto nivel, ofreciendo versatilidad y rendimiento, programación orientada a objetos (OOP), manejo de memoria, control sobre el hardware, librerías estándar (STL). Los usos más comunes son: el desarrollo de software de sistemas, motores de videojuegos, aplicaciones en tiempo real y aplicaciones científicas complejas.

4.4.2 C

Un lenguaje de bajo nivel, eficiente, que controla el hardware, utilizado en sistemas operativos y software embebido.

4.4.3 Python

Se conoce por su simplicidad y legibilidad, es utilizado ampliamente en ciencia de datos, inteligencia artificial, desarrollo web y automatización.

4.4.4 Java

Es usado en aplicaciones empresariales, aplicaciones móviles (especialmente Android) y grandes sistemas.

4.4.5 JavaScript

Es utilizado principalmente para desarrollo web, tanto del lado del cliente como del servidor (Node.js).

4.5 Software

Es un conjunto de instrucciones que permite a una computadora realizar diversas tareas o funciones. Es conocido como un programa de computadora o aplicación informática. Las instrucciones están escritas en lenguajes de programación y se organizan de manera que la computadora pueda interpretarlas y ejecutarlas para realizar operaciones específicas, como procesar datos, gestionar dispositivos, ejecutar aplicaciones, entre otras funciones. Es decir, el software es la parte lógica y no física de un sistema informático que permite interactuar con el hardware y realizar actividades útiles para los usuarios.

Existen varios tipos de software, cada uno diseñado para realizar diferentes funciones y necesidades. Entre los principales se destacan:

4.5.1 Software de aplicación:

- Software de productividad: son herramientas para crear documentos, hojas de cálculo, presentaciones, etc. (ejemplos: Microsoft Office, Google Workspace).
- Software de comunicación: facilita la comunicación entre personas a través de internet (ejemplos: navegadores web, clientes de correo electrónico).
- Software de diseño: para la creación de gráficos, diseño electrónico, modelado 3D, etc. (ejemplos: Adobe Photoshop, AutoCAD). Uno de los softwares de diseño electrónico es Fritzing, herramienta de código abierto, de fácil comprensión, que puede ser utilizada para crear prototipos de circuitos electrónicos, construir diagramas de cableado y diseños de PCB en forma gráfica.
- Software de entretenimiento: videojuegos, aplicaciones multimedia, reproductores de música, etc. (ejemplos: Steam, VLC Media Player).

4.5.2 Software de desarrollo

- **Entornos de desarrollo integrado (IDE):** herramientas para escribir, depurar y ejecutar código de programación (ejemplos: Visual Studio, IntelliJ IDEA). El software Arduino IDE de código abierto, facilita la escritura de código y carga en la placa. Este software se puede utilizar con cualquier placa Arduino y en placas de desarrollo de otros proveedores. Es una aplicación multiplataforma que está escrita en el lenguaje de programación Java. El IDE de Arduino admite los lenguajes C y C ++ utilizando reglas especiales de estructuración de códigos (Arduino.cl, s.f.)
- **Editores de código:** herramientas más ligeras para escribir código (ejemplos: Sublime Text, Atom).

4.5.3 Software de seguridad:

- Antivirus y antimalware: protegen contra amenazas informáticas (ejemplos: Norton, McAfee).
- Firewalls: controlan el tráfico de red para proteger contra accesos no autorizados (ejemplos: Windows Firewall, ZoneAlarm).

4.6 Componentes en la placa de circuito impreso

Los componentes en una placa de circuito impreso (PCB) son elementos electrónicos que se montan sobre la superficie de la placa para cumplir funciones específicas en un circuito electrónico. Estos componentes pueden ser activos y pasivos.

Los componentes activos se clasifican en:

4.6.1 Transistor

Es un dispositivo semiconductor que cumple funciones de amplificación, conmutación o regulación de corriente. Consiste en tres capas de material semiconductor dopado que forman dos uniones, dopada positivamente y dopada negativamente (PN). Funciona según el principio de controlar el flujo de corriente entre dos de sus terminales (emisor y colector) mediante el voltaje aplicado a la tercera terminal (base). Cuando se aplica un pequeño voltaje a la base, se modifica la conductividad del transistor, permitiendo un flujo mayor o menor de corriente entre el emisor y el colector, lo que facilita su uso en circuitos electrónicos para amplificar señales o actuar como interruptor.

4.6.2 Diodos

Son componentes electrónicos que permiten el flujo de corriente eléctrica en una dirección específica mientras bloquean el flujo en la dirección opuesta. Cuando se aplica

una tensión positiva en la dirección correcta (polarización directa), los electrones pueden fluir fácilmente a través del diodo, permitiendo que la corriente circule. En la polarización inversa (tensión negativa), la barrera de potencial impide prácticamente el paso de corriente. Los diodos se utilizan en circuitos electrónicos para rectificar corriente alterna a corriente continua, proteger circuitos de sobretensiones, demodular señales en comunicaciones, entre otros. Existen diferentes tipos de diodos, uno de ellos es el LED, que es un dispositivo que facilita el paso de energía en un solo sentido y, al estar polarizado, emite un haz de luz.

Los pasivos se clasifican en:

4.6.3 Resistencias

Se utilizan para limitar la corriente eléctrica en un circuito y reducir la tensión. Ofrecen una resistencia eléctrica específica y se fabrican en diferentes valores de resistencia. Son uno de los componentes electrónicos más comunes empleados en una amplia variedad de dispositivos electrónicos, desde teléfonos móviles hasta sistemas de control de procesos industriales.

4.6.4 USB-C Port

Es un tipo de conector de alta velocidad utilizado para la transferencia de datos, energía y otros protocolos entre dispositivos electrónicos, como computadoras portátiles, tabletas, teléfonos móviles y accesorios. Los puertos USB-C tienen un diseño de conector de forma ancha y reversible, lo que significa que no hay una orientación correcta para conectar el cable. Esto permite una fácil conexión y elimina el problema de inserir la conexión correcta primera. Los puertos USB-C también pueden proporcionar velocidades de transferencia de datos más altas que los puertos USB-A tradicionales y carga rápida para dispositivos como teléfonos móviles y tabletas. Además, los puertos USB-C son compatibles con muchos dispositivos modernos, pero es posible que necesites comprar un adaptador adicional si tu dispositivo no tiene un conector USB-C

4.6.5 Capacitor

Se trata de un tipo de dispositivo electrónico que se utiliza para el almacenamiento de energía eléctrica en la forma de campo eléctrico. Se compone de dos conductores que están separados por un material dieléctrico, que puede ser un vacío, aire, papel, cerámica, entre otros. Los condensadores se utilizan en una enorme variedad de aplicaciones, como en circuitos eléctricos, motores eléctricos, sistemas de iluminación, entre otros. Existen diferentes tipos como los condensadores eléctricos, los condensadores de flujos magnéticos y de radiofrecuencias variables, los condensadores de ajuste, entre otros. La energía que se almacena en un condensador está directamente relacionada con la carga y el voltaje entre las placas del condensador.

4.6.6 Inductor

Es un componente electrónico que almacena energía en forma de campo magnético cuando una corriente eléctrica lo atraviesa. Consiste en una bobina de alambre enrollada alrededor de un núcleo de material magnético. Cuando se aplica una corriente eléctrica al inductor, genera un campo magnético proporcional a la corriente. Este campo magnético se opone a los cambios rápidos en la corriente, actuando como un filtro para corriente continua (DC) y permitiendo el paso de corriente alterna (AC) a través de él. La propiedad principal de un inductor es la inductancia, medida en henrios (H), que determina cuánto se opone al cambio en la corriente y cuánta energía magnética puede almacenar.

También existen componentes que pueden ser activos y pasivos como el Conmutador, dispositivo utilizado para cambiar la conexión de un circuito eléctrico de una posición a otra. Los conmutadores se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde circuitos eléctricos hasta sistemas de telecomunicaciones y redes informáticas.

En general cada componente tiene un papel crucial en el funcionamiento del circuito, permitiendo la conexión, control, o procesamiento de señales eléctricas según el diseño y la aplicación del circuito.

5 Diseño metodológico

5.1 Metodología

El método utilizado para la implementación de la estación meteorológica ubicada en la azotea del edificio Rigoberto López Pérez de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), es de tipo aplicativo y experimental, ya que combina la puesta en práctica de conocimientos técnicos con la validación de resultados mediante pruebas y observaciones en condiciones reales.

Previo a la implementación de la estación meteorológica, es necesario conocer algunos aspectos del diseño. Este incluye desde la selección y configuración de sensores específicos hasta la implementación de hardware y software, así como la evaluación del desempeño del sistema bajo condiciones climáticas.

5.1.1 Diseño de la estación meteorológica

Se realizaron los siguientes pasos:

5.1.1.1 Selección y Configuración de Sensores

Se eligieron los sensores adecuados para implementar la estación y se configuraron para su correcto funcionamiento, considerando la identificación de requisitos de medición, compatibilidad con el hardware y software del sistema, y la precisión y rango necesarios.

5.1.1.1.1 DS18B20

Es un sensor de temperatura ambiente con interfaz One Wire fabricado por Dallas Semiconductor Corporation. Requiere solo un pin digital para la comunicación bidireccional con un microcontrolador y estará conectado con el pin 4 del ESP32. Se

utilizó el formato sonda impermeable con un cable de extensión. Este sensor proporciona la temperatura en grados Celsius.

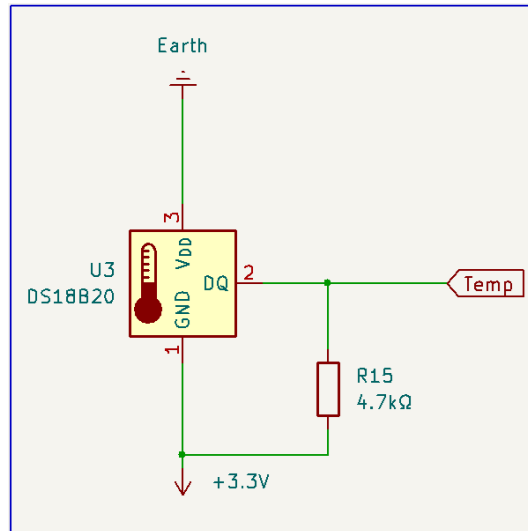


Figura No. 4 Conexión de DS18B20

Tabla No. 1 Especificaciones de DS18B20

Nombre	UMW DS18B20 sonda de temperatura
Modelo	UMW DS18B20Axx
El material de la sonda	Acero inoxidable
Longitud del cable	1m/3m/5m longitud personalizada
Voltaje de trabajo	2.5 ~ 5.5V
Rango de medición	Temperatura: 55 °C ~ + 125 °C
Precisión de la medición	±0.5 °C (at -10 °C ~ +85 °C)
Consumo de energía	<0.1W
Grado de protección	IP68
Protección contra rayos	Nivel 1 (el más exigente)
Terminal de salida	VDD (Red) DQ (Yellow) GND (Blue)

Configuración del DS18B20:

- VCC: 3.3V
- GND: GND
- DQ: GPIO 4
- Resistencia de pull-up de 4.7k Ω entre DQ y VCC



Figura No. 5 DS18B20

5.1.1.1.2 BME280

Representa la última generación de sensores de Bosch. Este dispositivo no solo mide la temperatura ambiental, sino también la presión barométrica y la humedad. En nuestro prototipo, se empleó específicamente para medir la presión barométrica y la humedad. Es la elección ideal para mediciones de humedad con una precisión de $\pm 3\%$ y para mediciones de presión barométrica con una precisión absoluta de ± 1 hPa.



Figura No. 6 BME280

- Configuración del BME280 I2C
- VCC: 3.3V
- GND: GND
- SDA: Pin de datos I2C GPIO 22
- SCL: Pin de reloj I2C GPIO 21
- Temperatura (°C): Devuelve directamente la temperatura en grados Celsius.
- Presión (Pa): El valor de la presión se devuelve en Pascales y se convierte a mbar (Milibar) dividiendo por 100.
- Humedad (%): Devuelve la humedad relativa en porcentaje.

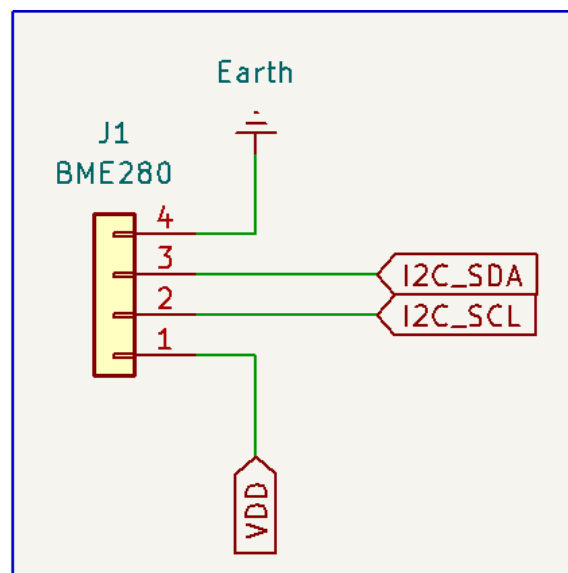


Figura No. 7 Conexión I2C BME280

Nota: Figura No. 7 sensor BME280 esquemático.

5.1.1.1.3 Veleta

Es el más complejo de los sensores del kit meteorológicos de Sparkfun. Señala la dirección en la que sopla el viento; tiene ocho interruptores de láminas, cada uno conectado a una resistencia diferente. A medida que la veleta gira, un imán cierra los interruptores de láminas y puede cerrar dos a la vez debido a su proximidad entre sí, lo que permite indicar hasta 16 posiciones diferentes.

Para medir la salida de voltaje, se empleó una resistencia externa de $10k\Omega$ para configurar un divisor de voltaje con la resistencia de la veleta. Esta resistencia de $10k\Omega$ está conectada a una fuente de $3.3V$, y el divisor resultante se conecta al pin 35 del ESP32, mismo que mide el voltaje en este pin y utiliza una tabla de referencia, convirtiéndolo de esta manera en la dirección del viento.

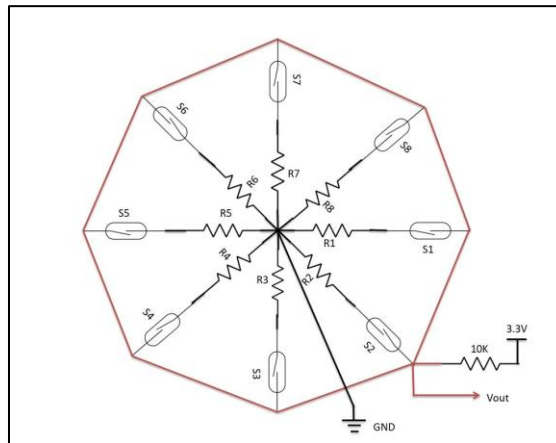
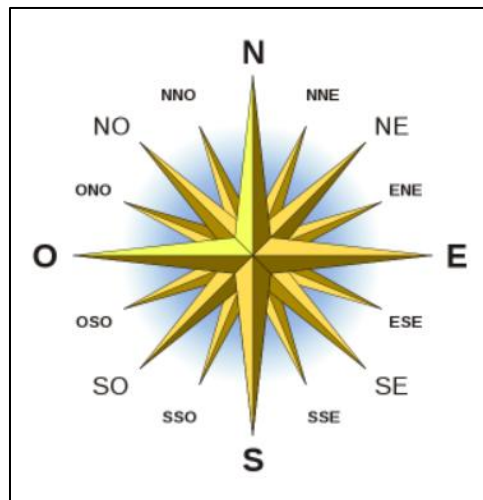


Figura No. 8 La Veleta Plano 1



**Figura No. 9 Rosa de los vientos, por Miguel Ángel Suárez Umpiérrez, 2023,
Gobierno de Canarias**

(<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/msuaump/sociales/tema-3/actividades-tema-3/rosa-de-los-vientos-svg/>)

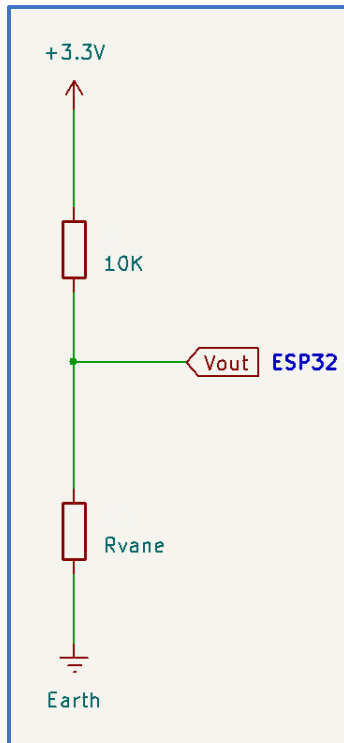


Figura No. 10 Esquema de divisor de voltaje de veleta



Figura No. 11 Veleta (Foto)

Tabla No. 2 Tabla de dirección veleta

Direction (Deg)	RVane (Kohm)	Vout (mV)
0	33.000	2532.56
22.5	6.570	1308.45
45.0	8.200	1486.81
67.5	0.891	269.98
90.0	1.000	300.00
112.5	0.688	212.43
135.0	2.200	595.08
157.5	1.410	407.80
180.0	3.900	925.90
202.5	3.140	788.58
225.0	16.000	2030.77
247.5	14.120	1931.84
270.0	120.000	3046.15
292.5	42.120	2666.85
315.0	64.900	2859.41
337.5	21.880	2264.87

Nota: En la tabla anterior se muestran los interruptores de láminas y la disposición de las resistencias. En la tabla se indican los valores de resistencia para las 16 posiciones posibles.

5.1.1.1.4 El Anemómetro

Es un sensor de velocidad del viento de tipo copa, que mide la velocidad del viento cerrando un contacto, cuando un imán se mueve más allá de un interruptor de láminas. El interruptor del anemómetro está conectado a los dos conductores internos del cable RJ11.

El anemómetro está conectado al pin 14 del ESP32 y a GND. Se uso el método de interrupciones de pin para monitorear la pulsación del botón. Cuando el interruptor de láminas cierra el circuito (al presionar el botón), se activa un evento de software.

Las especificaciones del fabricante indica que una velocidad del viento de 2.4km/h hace que el interruptor se cierre una vez por segundo, por lo que este es nuestro indicador de referencia.

El método de interrupción por pin, en el contexto del ESP32 u otros microcontroladores, es una técnica que permite detectar eventos específicos de entrada digital de manera eficiente y sin la necesidad de que el microcontrolador esté constantemente consultando el estado del pin.

En lugar de usar un bucle continuo para verificar si un botón ha sido presionado (conocido como polling), el método de interrupción por pin permite al microcontrolador estar en modo de reposo o ejecutando otras tareas hasta que un cambio en el estado del pin (como un botón presionado) provoca una interrupción. Cuando esto sucede, el microcontrolador suspende temporalmente la tarea actual, ejecuta un código predefinido para manejar la interrupción (llamado rutina de interrupción), y luego vuelve a la tarea principal.

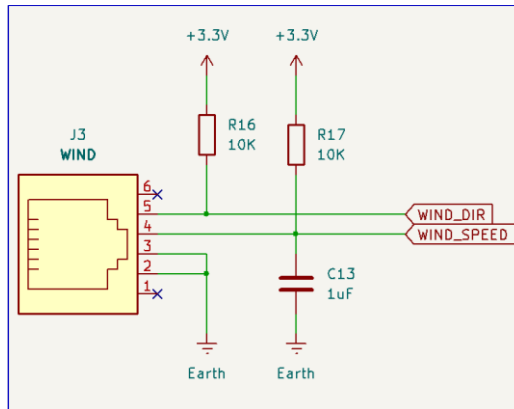


Figura No. 12 Esquema de conexión veleta y anemómetro



Figura No. 13 Anemómetro

5.1.1.1.5 El Pluviómetro

Utilizado es el de cubeta basculante. Este dispositivo consta de una pequeña cubeta en forma de balancín que se encuentra dentro del sensor (Ver figura No 14). Cuando llueve, una cubeta se llena mientras que la otra se vacía al inclinarse el balancín. Cada vez que esto ocurre, un imán activa un interruptor de láminas, estableciendo una conexión eléctrica momentánea. Las cubetas están calibradas para medir un volumen específico de agua, de manera que contando las veces que se activa el interruptor, podemos determinar la cantidad de lluvia registrada.



Figura No. 14 Pluviómetro

Funciona de manera similar al anemómetro, registrando la cantidad de lluvia mediante marcas. Cada marca corresponde a 0.011 pulgadas (0.28mm) de lluvia. Este sensor se conecta al pin 25 del ESP32 mediante un conector RJ-11. Para registrar las pulsaciones del pluviómetro, se emplea el método de interrupción de pin.

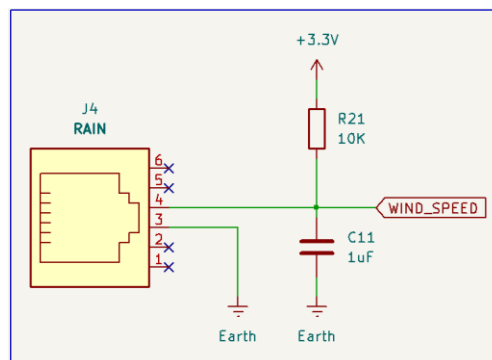


Figura No. 15 Esquema de conexión del pluviómetro

5.1.1.2 Configuración de Hardware

La configuración de hardware implica preparar y conectar los componentes físicos de un sistema, lo que incluye identificar los componentes necesarios, diseñar circuitos, realizar conexiones físicas, configurar interfaces de comunicación como UART, I2C, SPI, o GPIO, y llevar a cabo pruebas iniciales para asegurar el correcto funcionamiento y comunicación entre los componentes. Posteriormente, se hacen ajustes y optimizaciones

5.1.1.2.2 Módulo RA-02

Se utilizó para la comunicación de larga distancia a 433MHz. Se ha implementado un circuito de interruptor de encendido utilizando un MOSFET (Q2) y un transistor (Q1) para permitir un apagado completo del módulo LoRa durante el modo de suspensión.

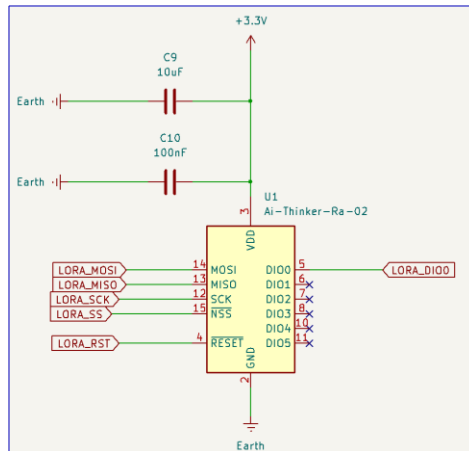


Figura No. 18 Esquema de conexión de Módulo RA-02

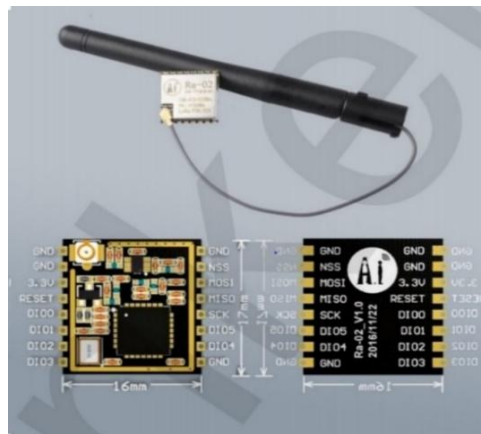


Figura No. 19 Módulo RA-02, por AI-Thinker, 2017, AI-Thinker (https://docs.ai-thinker.com/_media/lora/docs/c048ps01a1_ra-02_product_specification_v1.1.pdf)

Tabla No. 3 Especificaciones del módulo RA-02

Modelo de módulo	Ra-02
Paquete	SMD-16
Tamaño	17*16*(3.2±0.1)mm
Interfaz	SPI
Rango de bit programable	Hasta 300Kbps
Rango de frecuencia	410-525 MHz
Antena	IPEX
Poder máximo transmitido	18±1 dBm
Poder (Valores típicos)	433MHz: TX: 93mA RX: 12mA
Fuente de poder	2.5~3.7V, Típico 3.3V
Temperatura de operación	-30 °C ~ 85 °C
Ambiente de almacenamiento	-40 °C ~ 90 °C, <90%RH
Peso	0.45G

5.1.1.2.3 Módulo receptor Helteck WIFI LoRa 32

Se mantendrá en el interior del edificio Rigoberto López Pérez donde esté disponible una toma de corriente eléctrica 110V.

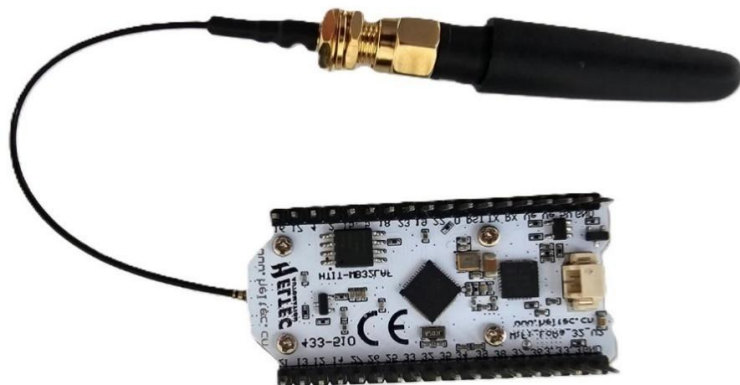


Figura No. 20 Módulo receptor Helteck WIFI LoRa

5.1.1.3 Calibración y Pruebas

Los sensores digitales fueron calibrados en laboratorio fabricante, asegurando el cumplimiento de las especificaciones de rendimiento antes de ser utilizados. Esta calibración de fábrica ajusta los parámetros internos del sensor para garantizar mediciones precisas y consistentes desde el momento en que salen de la línea de producción. Siendo crucial porque asegura que los sensores proporcionen resultados confiables y precisos desde el inicio, minimizando la necesidad de ajustes adicionales por parte del usuario final.

Las pruebas de laboratorio realizadas para el prototipo fueron las siguientes:

- **Continuidad:** verifican si hay una conexión eléctrica continua entre dos puntos en un circuito. Se utiliza un multímetro para medir la resistencia, que debe ser muy baja o nula si hay continuidad.
- **Voltaje:** miden la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos en un circuito. Estas pruebas se realizan con un multímetro o un osciloscopio para asegurar que el voltaje esté dentro de los límites especificados.
- **Corriente:** miden el flujo de corriente eléctrica a través de un componente o circuito. Esto se hace con un multímetro configurado para medir corriente (amperímetro).
- **Resistencia:** miden la resistencia eléctrica de componentes individuales o de partes de un circuito para asegurar que estén dentro de los valores especificados.
- **Capacitancia:** miden la capacidad de los condensadores para almacenar carga eléctrica. Esto se realiza con un medidor de capacitancia.

- **Frecuencia:** evalúan la frecuencia de las señales en un circuito, usando frecuencímetros u osciloscopios para asegurar que estén dentro de los rangos especificados.
- **Temperatura:** evalúan el comportamiento de los componentes y circuitos bajo diferentes condiciones de temperatura, utilizando cámaras de temperatura o placas térmicas.

5.1.1.4 Conexión y cableado

Los sensores están conectados al ESP32 mediante jumpers o terminales, que se interconectan a través de pistas de cobre en la PCB. Estas pistas llevan a diferentes pads, donde los componentes están soldados en sus puntos correspondientes, para su posterior acabado de superficie y protección de las conexiones eléctricas. En conjunto, estos elementos forman un sistema de conexión robusto y confiable en la PCB, lo cual es esencial para el correcto funcionamiento de la estación meteorológica.

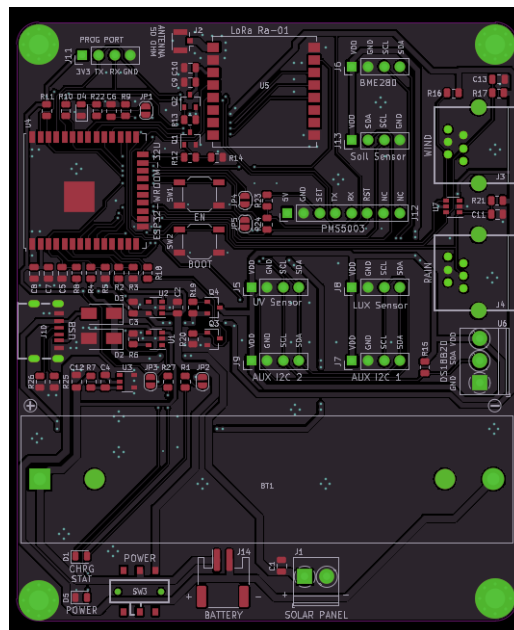


Figura No. 21 Gerber PCB

Tabla No. 4 Lista de componentes de la placa de circuito impreso

Referencia	Cantidad	Valor	Etiqueta	MPN	Ensambladora
BT1	1	BATTERY	Battery: BatteryHolder_MPD_BH- 18650-PC2	1043	Keystone Electronics
C1, C2, C3, C7, C9, C12	6	10Uf	Capacitor_SMD:C_0805_20 12Metric	CL21A106K PFNNN	Samsung Electro- Mechanics
C4, C5, C6, C8, C10	5	0.1uF	Capacitor_SMD:C_0805_20 12Metric	CL21B104K BCNNN	Samsung Electro- Mechanics
C11, C13	2	1uF	Capacitor_SMD:C_0805_20 12Metric	CL21B105K BFNNN	Samsung Electro- Mechanics
D1,	1	CHRG STAT	LED_SMD: LED_0805_2012METRIC	SZYY0805 R	YONGYU PHOTOEL ECTRIC
D2	1	SMF5.0C A	DIODE_SMD:D_SMA	KSMAJ5.0C A-E3/61	KUU
D3	1	SS24	DIODE_SMD:D_SMA	SS24	DIYI ELEC TECH
D4	1	DEBUG	LED_SMD: LED_0805_2012METRIC	SZYY0805 R	YONGYU PHOTOEL ECTRIC

D5	1	POWER	LED_SMD: LED_0805_2012METRIC	SZYY0805 G	YONGYU PHOTOEL ECTRIC
H1, H2, H3, H4	4	MH	MOUNTINGHOLE: MOUNTINGHOLE_3.2MM_ M3_PAD_VIA	DNP	DNP
J1	1	SOLAR_ PANEL	TERMINABLOCK_PHOENI X: TERMINALBLOCK_PHOENI X_PT-1,5-2-3.5-H	KF350-3.5- 2P	CIXI KEFA ELEC
J2	1	U FL	CONNECTOR_COAXIAL: U FL_HIROSE U FL-R-SMT- 1_VERTICAL	U FL-R- SMT-1 (10)	HRS (HIROSE)
J3	1	WIND	FOOTPRINTS: RJ11- TH_DS1133-S60BPX	DS1133- S60BPX	CONNFLY ELEC
J4	1	RAIN	FOOTPRINS: RJ11- TH_DS1133-S60BPX	DS1133- S60BPX	CONNFLY ELEC
J5	1	UV SENSOR	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	PINREX
J6	1	BME280	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	ZHOURI
J7	1	AUX I2C 1	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	PINREX
J8	1	LUX SENSOR	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	PINREX

J9	1	AUX I2C 2	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	PINREX
J10	1	USB	FOOTPRINTS: USB-C- SMD_10P-P1.00-L6.8-W8.9	C399925	J.E.E CO.
J11	1	PROG PORT	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	PINREX
J12	1	PMS5003	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	MTP125- 1108S1	MINTRON
J13	1	SOIL SENSOR	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK-254_AE-6410- 04A_1X04_P2.54MM	210-91- 04GB01	PINREX
J14	1	BATTER Y	CONNECTOR_JST: JST_PH_S2B-PH-SM4- TB_1X02-1MP_P2.00MM	C968533	BOOMELE
JP1	1	LED	JUMPER: SOLDERJUMPER- 2_P1.3MM_OPEN_ROUND EDPAD1.0X1.5MM	DNP	DNP
JP2, JP4, JP5	3	JUMPER	JUMPER: SOLDERJUMPER- 2_P1.3MM_OPEN_ROUND EDPAD1.0X1.5MM	DNP	DNP
JP3	1	PWR LED JUMPER	JUMPER: SOLDERJUMPER- 2_P1.3MM_OPEN_ROUND EDPAD1.0X1.5MM	DNP	DNP
Q1, Q3	2	MMBT39 04	PACKAGE_TO_SOT_SMD: SOT-23	MMBT3904	FUXINSEM I

Q2, Q4	2	SI2301S	PACKAGE_TO_SOT_SMD: SOT-23	SI2301S	MDD
R1, R16, R17, R21, R23, R24	6	10K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J01 03T5E	UNI- ROYAL
R2, R4	2	200K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J02 04T5E	UNI- ROYAL
R3, R8, R9, R14, R20	5	100K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J01 04T5E	UNI- ROYAL
R5	1	50K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8F50 02T5E	UNI- ROYAL
R6	1	2K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J02 02T5E	UNI- ROYAL
R7, R12, R18	1	1K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J01 02T5E	UNI- ROYAL
R10, R11, R15, R22, R27	5	4.7K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J04 72T5E	UNI- ROYAL
R25, R26	2	5.1K	RESISTOR_SMD: R_0805_2012METRIC	0805W8J05 12T5E	UNI- ROYAL

SW1	1	EN	BUTTON_SWITCH_SMD: SW_SPST_SKQC_WITHST EM	TS-1187- 2516	SOFNG
SW2	1	BOOT	BUTTON_SWITCH_SMD: SW_SPST_SKQC_WITHST EM	TS-1187- 2516	SOFNG
SW3	1	POWER	FOOTPRINTS: SW-TH_MK- 22D14-G020	MK-22D14- G020	G-SWITCH
U1	1	LP4060S	PACKAGE_TO_SOT_SMD: SOT-23-5	LP4060SB5 F	LOWPOW ER
U2	1	XC6220B 331MR	PACKAGE_TO_SOT_SMD: SOT-23-5	XC6220B33 1MR-G	TOREX SEMICON
U3	1	AP6685	PACKAGE_TO_SOT_SMD: SOT-23-5	AP6685	ALLPOWE R
U4	1	ESP32- WROOM- 32U	RF_MODULE: ESP32- WROOM-32U	ESP32- WROOM- 32U	ESPRESSI F SYSTEMS
U5	1	LORA RA-01	RF_MODULE:AI-THINKER- RA-01-LORA	RA-02	AI- THINKER
U6	1	DS18B20	CONNECTOR_MOLEX: MOLEX_KK_254_AE-6410- 03A_1X03_P2.54MM	KF350-3.5- 3P	
U7	1	USBLC6- 4SC6	PACKAGE_TO_SOT_SMD: SOT-23-6	TPUSBLC6 -4SC6	TECH PUBLIC

Tabla No. 5 Lista de costos de componentes de la placa de circuito impreso

Cantidad	Descripción / Valores	Precio unitario(1 set)	*Total
1	BATTERY	\$6.871	\$6.871
6	10uF	\$0.050	\$0.300
5	0.1uF	\$0.050	\$0.250
2	1uF	\$0.050	\$0.100
1	CHRG STAT	\$0.627	\$0.627
1	SMF5.0CA	\$0.333	\$0.333
1	SS24	\$0.718	\$0.718
1	DEBUG	\$0.627	\$0.627
1	POWER	\$0.843	\$0.843
1	SOLAR PANEL	\$0.650	\$0.650
1	U.FL	\$1.030	\$1.030
1	WIND	\$1.249	\$1.249
1	RAIN	\$1.249	\$1.249
1	UV SENSOR	\$0.149	\$0.149
1	BME280	\$0.476	\$0.476
1	AUX I2C 1	\$0.149	\$0.149
1	LUX SENSOR	\$0.149	\$0.149
1	AUX I2C 2	\$0.149	\$0.149
1	USB	\$0.922	\$0.922
1	PROG PORT	\$0.149	\$0.149
1	PMS5003	\$0.517	\$0.517
1	Soil Sensor	\$0.149	\$0.149
1	BATTERY	\$0.897	\$0.897
2	MMBT3904	\$0.238	\$0.476
2	SI2301S	\$1.006	\$2.012
6	10k	\$0.030	\$0.180
2	200k	\$0.092	\$0.184

7	100k	\$0.004	\$0.028
1	50k	\$0.046	\$0.046
1	2k	\$0.056	\$0.056
3	1k	\$0.004	\$0.012
5	4.7k	\$0.036	\$0.180
2	5.1k	\$0.091	\$0.182
1	EN	\$0.566	\$0.566
1	BOOT	\$0.566	\$0.566
1	POWER	\$0.750	\$0.750
1	LP4060S	\$0.471	\$0.471
1	XC6220B331MR	\$0.663	\$0.663
1	AP6685	\$0.751	\$0.751
1	ESP32-WROOM-32U	\$4.406	\$4.406
1	LoRa Ra-01	\$4.704	\$4.704
1	DS18B20	\$1.064	\$1.064
1	USBLC6-4SC6	\$0.926	\$0.926
		Component Cost	\$36.78
		Assembly Cost	\$30.00
		PCB Cost	\$6.50
		All Total 1 Sets	\$73.28

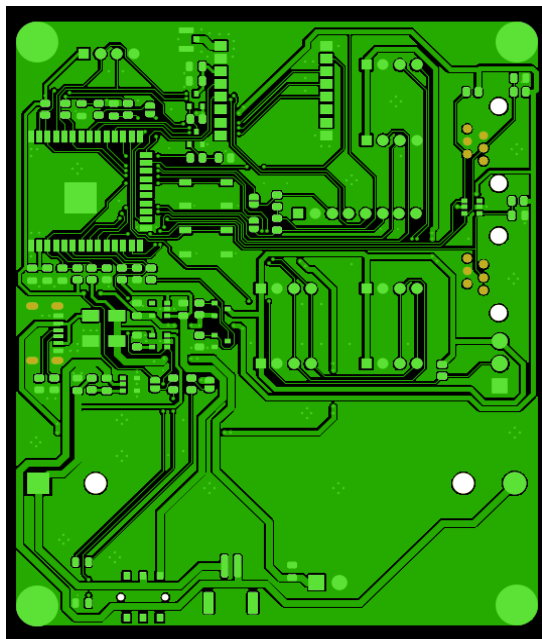


Figura No. 22 Pistas PCB

Nota: En la figura No. 17 se muestra la PCB en la que se observa su arquitectura de circuito sin componentes

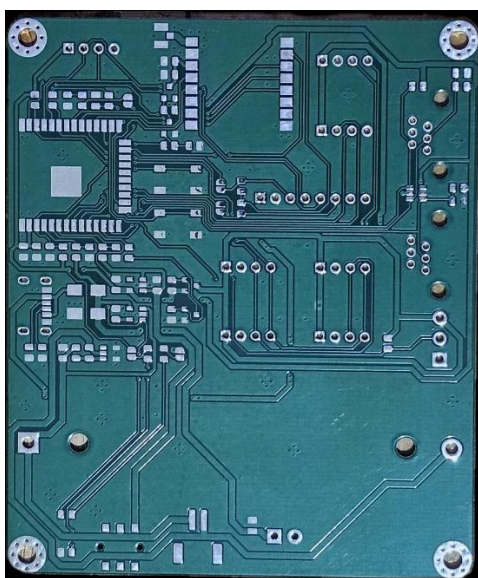


Figura No. 23 PCB sin componentes

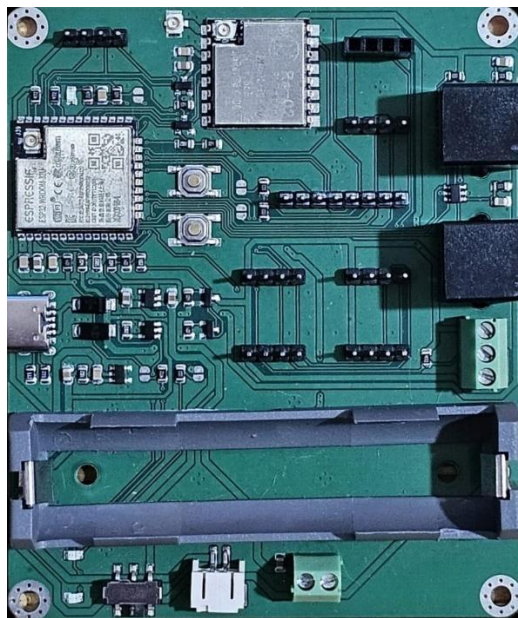


Figura No. 24 PCB con componentes

Tabla No. 6 Especificaciones de PCB

Especificaciones de PCB	
Parámetros	Valores
Tamaño	79.5x95mm
Espesor	1.6mm
Material	FR-4
Agujeros	0.3mm
Máscara	Verde
Espaciado	6.6mm

5.1.2 Implementación de la Estación Meteorológica

Para la instalación exitosa y eficiente de la estación meteorológica en la UNI, se requirió cumplir con los siguientes requisitos:

1. **Soporte o mástil de montaje:** se colocó en un mástil de material resistente a la intemperie, con una altura de 3 metros, evitando interferencias y garantizando lecturas precisas de los datos.
2. **Sistema de puesta a tierra:** fue conectada a puesta a tierra para proteger los equipos electrónicos de posibles descargas eléctricas.
3. **Red WiFi:** requirió conectarse a una red WiFi de 2.4GHz. Este tipo de red es ideal para dispositivos IoT debido a su mayor alcance y mejor penetración en comparación con redes de 5GHz.
4. **Servidor MQTT:** se utilizó servidor local en el puerto 1883, con autenticación y encriptación, para asegurar la transmisión íntegra, recepción y privacidad de los datos. Para las pruebas de laboratorio se empleó el servicio en la nube shiftr.io y para la presentación de datos el servidor io.adafruit.com.
5. **Fuente de energía para el módulo receptor:** Estar conectado a fuente de energía estable y cercana.

5.1.3 Integración de Energía

Se empleó una batería 18650 recargable por medio de un circuito de carga solar que utiliza el integrado LP4060, diseñado específicamente para baterías de iones de litio, garantizando una carga eficiente y segura. Además, se integra una LED (D1) que indica claramente el estado de carga de la batería; así mismo se incorporó un circuito de protección para la batería, utilizando el integrado AP6685, que ofrece diversas salvaguardas como protección contra polaridad inversa, sobrecarga, descarga excesiva y cortocircuito de carga.

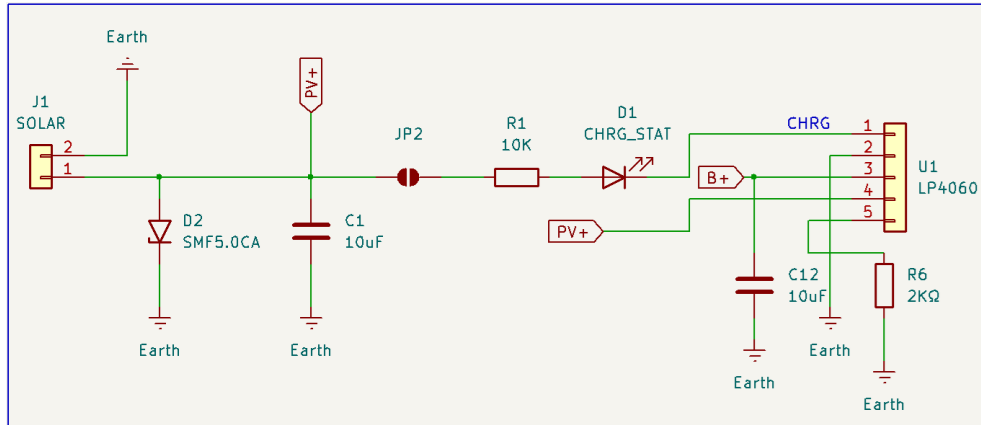


Figura No. 25 Esquema de conexión al sistema de energía



Figura No. 26 Batería 18650 junto al LED de carga

En caso de que el panel fotovoltaico no pueda sustentar el consumo diario, la estación posee un puerto de carga rápida USB-C. Para alimentar el módulo ESP32 y LoRa, que operan a 3.3V, se empleó un regulador de baja caída (LDO) XC6220B331MR. Este LDO garantiza una salida de voltaje estable incluso cuando el voltaje de la batería se reduce, lo que es crucial para mantener el funcionamiento del sistema meteorológico sin interrupciones.

En resumen, la combinación de una batería recargable mediante energía solar, un circuito de protección integral, y un LDO para alimentar los componentes críticos asegura la operación continua y confiable de la estación meteorológica en ubicaciones remotas sin acceso a la red eléctrica.

5.1.4 Desarrollo de Software

El desarrollo de software para la estación meteorológica implementada en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) se centró en la creación de un sistema cliente servidor para la recolección, transmisión y visualización de datos climáticos en tiempo real. A continuación, se destacan los principales componentes del desarrollo del software:

5.1.4.1 Estructura básica del código de la estación

- Obtener razones para despertarse.
- Inicializar GPIO.
- Establecer la hora del intervalo.
- Leer sensores.
- Enviar estructura de datos LoRa.
- Dormir.

5.1.4.1.1 Fragmentos de código del transmisor

Tabla No. 7 Código de programación 1

Obtener la razón del despertar:

```
wakeup_reason = esp_sleep_get_wakeup_cause();
MonPrintf("\n\nWakeup reason: %d\n", wakeup_reason);
switch (wakeup_reason) {
    case 0:
        tv.tv_sec = 1667301066;
        settimeofday(&tv, NULL);
        nextUpdate = 5;
        break;
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT0:
        MonPrintf("Wakeup caused by external signal using RTC_IO\n");
        rainTicks++;
        break;
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_TIMER:
        title("Wakeup caused by timer");
        powerUpSensors();
        attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(RAIN_PIN), rainTick, FALLING);
        attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(WIND_SPD_PIN), windTick, RISING);
        delay(5000);
        checkMaxWind();
        if (bootCount % (2 * SEND_FREQUENCY_LORA) == 0) {
```

```

// Lógica de envío de datos de sensores
} else if (bootCount % (2 * SEND_FREQUENCY_LORA) == SEND_FREQUENCY_LORA)
{
// Lógica de envío de datos de hardware
}
bootCount++;
break;
}

```

Para obtener las razones del despertado, se usó `esp_sleep_get_wakeup_cause()` en el `setup`. Se manejaron tres casos: reinicio por encendido, interrupción externa (`ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT0`) para contar lluvia y temporizador (`ESP_SLEEP_WAKEUP_TIMER`) para activar sensores y procesar datos, permitiendo una respuesta según el evento.

Tabla No. 8 Código de programación 2

Inicializar GPIO:

```

pinMode(WIND_SPD_PIN, INPUT);
pinMode(RAIN_PIN, INPUT);
pinMode(CHG_STAT, INPUT);
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
pinMode(SENSOR_PWR, OUTPUT);
pinMode(LORA_PWR, OUTPUT);
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

```

En el `setup`, se inicializaron los pines GPIO como entradas o salidas, y se estableció un estado inicial bajo para el LED, preparando el hardware para su funcionamiento.

Tabla No. 9 Código de programación 3

Establecer la hora del intervalo:

```

time(&now);
localtime_r(&now, &timeinfo);
updateWake();
Serial.print("The current date/time is ");
Serial.println(&timeinfo, "%A, %B %d %Y %H:%M:%S");

void updateWake(void) {
time(&now);
nextUpdate = UpdateIntervalSeconds - now % UpdateIntervalSeconds;
}

```

Se configuró el intervalo obteniendo la hora actual con `time(&now)`, convirtiéndola con `localtime_r` y usando `updateWake` para calcular el próximo despertado cada 30 segundos, asegurando intervalos regulares y mostrando la hora para depuración.

Tabla No. 10 Código de programación 4

Leer sensores:
<pre> void sensorEnable(void) { status.temperature = 1; #ifdef heltec Wire.begin(4, 15); #else Wire.begin(); #endif status.bme = bme.begin(); status.uv = uv.begin(); status.lightMeter = lightMeter.begin(); temperatureSensor.begin(); } void readSensors(struct sensorData *environment) { copyRainTicks24h(environment); copyRainTicks60m(environment); readWindSpeed(environment); readWindDirectionADC(environment); readTemperature(environment); readLux(environment); readUV(environment); readBME(environment); } </pre>

Se inicializaron los buses I²C y OneWire junto con los sensores, almacenando su estado. Posteriormente, se recopilaron datos de precipitación, viento, temperatura, luz, UV, presión y humedad para su transmisión.

Tabla No. 11 Código de programación 5

Enviar estructura de datos LoRa:
<pre> void loraSend(void *packetStart, int packetSize) { LoRa.setSyncWord(0x54); LoRa.enableCrc(); LoRa.beginPacket(); MonPrintf("Packet size: %i\n", packetSize); LoRa.write((byte *)packetStart, packetSize); LoRa.endPacket(); MonPrintf("Done TX\n"); } </pre>

```

}
void LoRaPowerUp(void) {
    delay(500);
    digitalWrite(LORA_PWR, HIGH);
    delay(500);
#ifdef heltec
    LoRa.setPins(18, 14, 26);
#else
    LoRa.setSPIFrequency(1000000);
    LoRa.setPins(15, 17, 13);
#endif
    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial.println("Starting LoRa failed!");
        while (1);
    }
    title("LoRa radio online");
}

```

Para enviar la estructura de datos por LoRa, primero se configuró el módulo LoRa usando LoRaPowerUp, encendiendo el dispositivo y ajustando los pines y la frecuencia adecuada. Luego, se utilizó loraSend para establecer una palabra de sincronización, activar CRC, iniciar el paquete y escribir los datos de la estructura (como sensorData). El proceso de envío se registró para depuración, asegurando una transmisión confiable de los datos recolectados.

Tabla No. 12 Código de programación 6

Preparación para el sueño profundo:

```

void sleepyTime(long nextUpdate) {
    int elapsedTime;
    Serial.println("Going to sleep now...");
    esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_25, 0);
    elapsedTime = (int)millis() / 1000;
    nextUpdate -= elapsedTime;
    if (nextUpdate < 3) {
        nextUpdate = 3;
    }
    Serial.printf("Elapsed time: %i seconds\n", elapsedTime);
    Serial.printf("Waking in %i seconds\n", nextUpdate);
    Serial.flush();
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(nextUpdate * SEC);
    esp_deep_sleep_start();
}

```

Se implementó la función `sleepyTime` para poner el sistema en modo de sueño profundo. Esta función habilita el despertado por interrupción externa en el pin 25 (pluviómetro), calcula el tiempo restante hasta el próximo despertado, ajustándolo por el tiempo transcurrido y asegurando un mínimo de 3 segundos. El temporizador de despertado se configura en microsegundos (1E6) y el ESP32 se pone en sueño profundo con `esp_deep_sleep_start`, optimizando el consumo energético hasta el próximo evento.

5.1.4.2 Estructura básica del módulo receptor de la estación

- Despertar.
- Establecer conexión WIFI.
- Recibir datos LoRa.
- Envía datos a MQTT.
- Esperar.

5.1.4.2.1 Fragmentos de código del receptor

Tabla No. 13 Código de programación 7

```
Despertar:
#include <LoRa.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "config.h"

#define VERSION "1.2.2"

// Estructuras de datos
struct sensorData {
    int deviceID;
    int windDirectionADC;
    int rainTicks24h;
    int rainTicks60m;
    float temperatureC;
    float windSpeed;
    float windSpeedMax;
    float barometricPressure;
    float humidity;
    float UVIndex;
    float lux;
};
```

```

struct diagnostics {
    int deviceID;
    float BMEtemperature;
    int batteryADC;
    int solarADC;
    int coreC;
    int bootCount;
    bool chargeStatusB;
};

struct derived {
    char cardinalDirection[5];
    float degrees;
};

struct sensorData environment;
struct diagnostics hardware;
struct derived wind;

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
byte packetBinary[512];

void setup() {
    Serial.begin(115200); // Inicia puerto serie para depuración
    Serial.println("Despertando...");
    Serial.println(VERSION);

    // Configura LoRa
    LoRa.setPins(15, 17, 13);
    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial.println("Starting LoRa failed!");
        while (1);
    }
    LoRa.enableCrc();
    LoRa.setSyncWord(SYNC);
    LoRa.receive(); // Modo recepción activado
    Serial.println("LoRa listo");
}

```

Configura el puerto serie para depuración y prepara LoRa para recibir datos. Las estructuras de datos (sensorData, diagnostics, derived) fueron declaradas globalmente para usarse más adelante.

Tabla No. 14 Código de programación 8

Establecer conexión WIFI:

```
long wifi_connect(void) {
    bool WiFiConnectHalt = false;
    long wifi_signal = 0;

    MonPrintf("Connecting to WiFi\n");
    WiFi.begin(ssid, pass); // Inicia conexión con credenciales de config.h.
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && !WiFiConnectHalt) {
        MonPrintf("WiFi - attempting to connect\n");
        delay(500); // Espera entre intentos.
    }
    MonPrintf("WiFi connected\n");
    wifi_signal = WiFi.RSSI(); // Obtiene fuerza de señal.
    return wifi_signal;
}
```

Conecta al WiFi usando las credenciales definidas. Si falla, intenta nuevamente de forma indefinida. Una vez conectado, imprime un mensaje de confirmación.

Tabla No. 15 Código de programación 9

Recibir datos LoRa:

```
void receiveLoRaData() {
    int packetSize = LoRa.parsePacket(); // Verifica si hay un paquete
    if (packetSize) {
        Serial.printf("Paquete recibido, tamaño: %i\n", packetSize);

        // Lee el paquete
        for (int i = 0; i < packetSize; i++) {
            packetBinary[i] = (char)LoRa.read();
        }

        // Clasifica según el tamaño
        if (packetSize == sizeof(environment)) {
            memcpy(&environment, &packetBinary, packetSize);
            if (environment.deviceID == DEVID) {
                Serial.println("Datos ambientales recibidos");
            }
        } else if (packetSize == sizeof(hardware)) {
            memcpy(&hardware, &packetBinary, packetSize);
            if (hardware.deviceID == DEVID) {
                Serial.println("Datos de hardware recibidos");
            }
        }
    } else {
```

```

Serial.println("No hay datos LoRa disponibles");
}
}

```

Se escucha un paquete con `LoRa.parsePacket()`. Si se recibe, se lee en `packetBinary` y se copia en las estructuras `environment` o `hardware` según el tamaño. Luego, se verifica que el `deviceID` sea válido. Si no hay paquete, se informa que no se recibieron datos.

Tabla No. 16 Código de programación 10

Envía datos a MQTT:

```

void sendToMQTT() {
  client.setServer(mqttServer, mqttPort); // Configura el broker MQTT

  // Conecta al broker
  while (!client.connected()) {
    Serial.println("Conectando a MQTT...");
    if (client.connect("ESP32Client", mqttUser, mqttPassword)) {
      Serial.println("MQTT conectado");
    } else {
      Serial.print("Fallo en MQTT, estado: ");
      Serial.println(client.state());
      delay(1000); // Espera antes de reintentar
    }
  }
}

// Envía datos ambientales si están disponibles
if (environment.deviceID == DEVID) {
  float temperatureF = environment.temperatureC * 9 / 5 + 32;
  MQTTPublish("sensors/imperial/temperature/", (int)temperatureF, RETAIN);
  MQTTPublish("sensors/metric/temperature/",
(int)environment.temperatureC, RETAIN);
  Serial.println("Datos ambientales enviados a MQTT");
}

// Envía datos de hardware si están disponibles
if (hardware.deviceID == DEVID) {
  float vBattery = (float)hardware.batteryADC / ADCBattery;
  MQTTPublish("hardware/vBattery/", vBattery, RETAIN);
  Serial.println("Datos de hardware enviados a MQTT");
}

client.disconnect(); // Cierra conexión
Serial.println("MQTT desconectado");
}

// Función auxiliar para publicar (simplificada)

```

```

void MQTTPublish(const char topic[], float value, bool retain) {
    char topicBuffer[256];
    char payload[256];
    strcpy(topicBuffer, mainTopic);
    strcat(topicBuffer, topic);
    sprintf(payload, "%6.3f", value);
    client.publish(topicBuffer, payload, retain);
}

```

Conecta al broker MQTT y publica datos recibidos. Simplifica la función MQTTPublish para manejar solo números flotantes. Publica la temperatura en unidades métricas para el entorno, y el voltaje de la batería para el hardware, para finalmente desconectar el cliente MQTT.

Tabla No. 17 Código de programación 11

Dirección del Viento:
<pre> void setWindDirection(int DirectionADC) { int windPosition; String windDirection = "0"; // Valor por defecto. String windCardinalDirection = "N"; int analogCompare[15] = { 150, 300, 450, 600, 830, 1100, 1500, 1700, 2250, 2350, 2700, 3000, 3200, 3400, 3800 }; // Valores ADC de referencia. String windDirText[15] = { "157.5", "180", "247.5", "202.5", "225", "270", "292.5", "112.5", "135", "337.5", "315", "67.5", "90", "22.5", "45" }; // Grados. String windDirCardinalText[15] = { "SSE", "S", "WSW", "SSW", "SW", "W", "WNW", "ESE", "SE", "NNW", "NW", "ENE", "E", "NNE", "NE" }; // Cardinales. char buffer[10]; // Busca la dirección correspondiente al valor ADC. for (windPosition = 0; windPosition < 15; windPosition++) { if (DirectionADC < analogCompare[windPosition]) { windDirection = windDirText[windPosition]; windCardinalDirection = windDirCardinalText[windPosition]; break; } } windDirection.toCharArray(buffer, 5); wind.degrees = atof(buffer); // Convierte a float. strcpy(wind.cardinalDirection, windCardinalDirection.c_str()); // Copia cardinal. } </pre>

Compara el valor ADC con una tabla para determinar la dirección del viento en grados y cardinal, almacenándola en la estructura wind para uso en MQTT.

Se utilizó webhooks en shiftr.io. en el panel de control se navegó a la sección "Webhooks" y se agregó uno nuevo, especificando la URL del servidor adafruit.io. Esta URL sería el destino donde se enviarían los datos de los eventos MQTT (ver figura No. 28).

5.1.4.4 Dashboard IOT

Adafruit IO permitió la gestión y visualización de los datos a través de widgets (ver figura No. 29), presentándolos de manera clara y en tiempo real. Esto facilitó la recopilación y análisis de la información recolectada por los sensores de la estación meteorológica. Además, permite el almacenamiento de los datos.

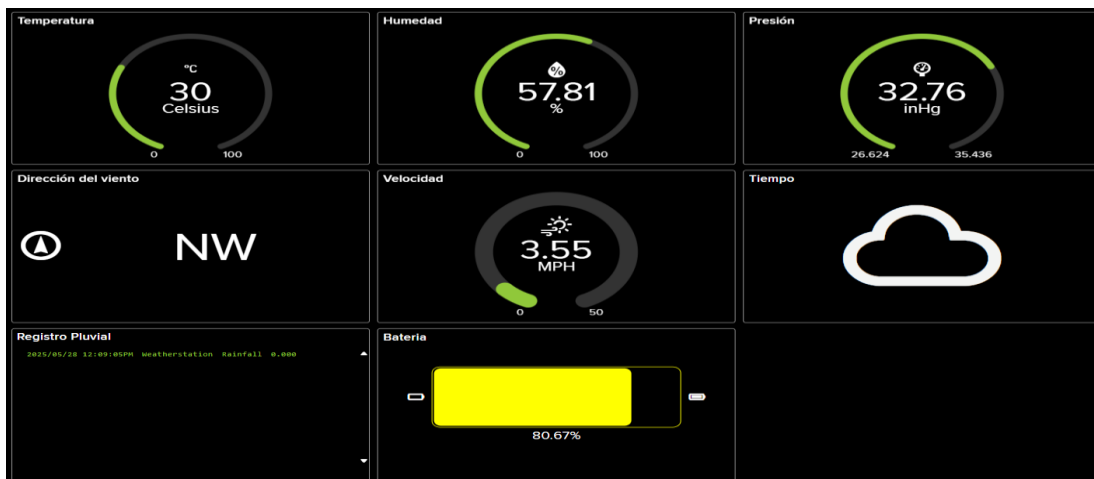
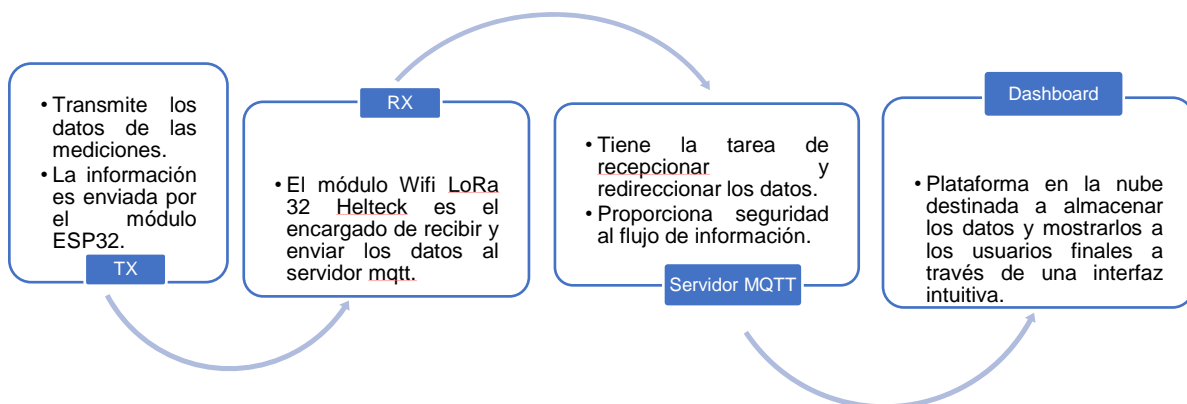


Figura No. 29 Dashboard de visualización de variables

5.1.5 Esquema de funcionamiento de los procesos de la estación meteorológica



6 Análisis y presentación de resultados

La implementación de la estación meteorológica en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) se desarrolló con el objetivo de proporcionar una herramienta eficaz para la monitorización y el registro de variables climáticas. A lo largo del proyecto, se realizaron pruebas a escala de laboratorio para evaluar el rendimiento del prototipo en condiciones controladas, lo que permitió verificar la precisión y fiabilidad de los sensores, la eficacia del sistema de comunicación y la estabilidad del sistema de gestión de datos.

Las pruebas a escala de laboratorio incluyeron la evaluación de varios componentes clave del prototipo:

- **Precisión de Medición:** se verificó la precisión de los sensores de temperatura, humedad, presión atmosférica y otros, asegurando que los datos recolectados son exactos y fiables.
- **Fiabilidad de Comunicación:** la utilización del broker MQTT shiftr.io facilitó una comunicación rápida y eficiente entre los sensores y la plataforma de visualización de datos. Se destacó su robustez, facilidad de uso y capacidad para manejar múltiples conexiones simultáneas sin pérdida de datos. Se adjunta la base de datos recolectados por el servidor de adafruit.io.
- **Sostenibilidad Energética:** la integración de un panel solar y una batería de litio garantizó la autonomía del sistema, con mecanismos adicionales para asegurar su funcionamiento continuo, incluso en condiciones de baja luminosidad. Durante toda la etapa final de pruebas la estación no requirió de fuentes externas de energía.

Según el Manual de la Organización Mundial Meteorológica la frecuencia de medición de una estación meteorológica debe ajustarse a las necesidades específicas del uso previsto de los datos, el tipo de variables monitorizadas, y las capacidades técnicas del sistema. Nuestro objetivo es el pronóstico inmediato y gestión de riesgos, por ende, los resultados de la implementación de la estación meteorológica, almacenados en el sitio web io.adafruit.com, se miden en el rango de 1-10 minutos y en nuestro caso utilizamos una media de 5 minutos.

Para facilitar la visualización de los datos recolectados, hemos utilizado gráficos que muestran promedios diarios.

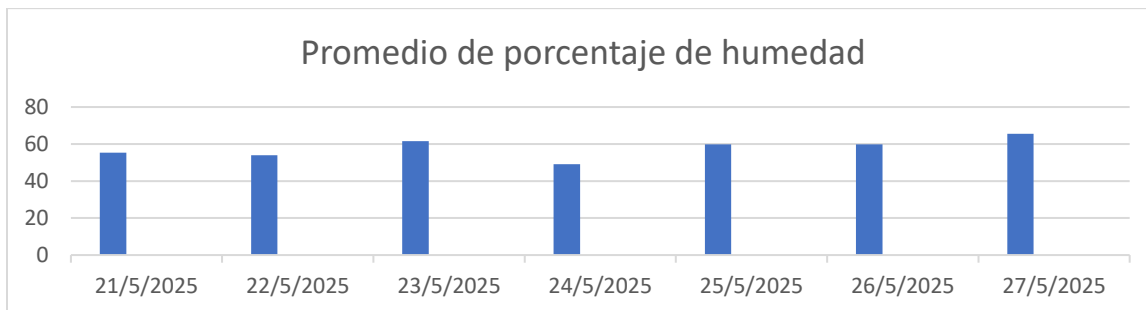


Figura No. 30 Porcentaje de Humedad

Nota: El promedio más alto de humedad fue el 27 de mayo 2025 con un 65.61%.

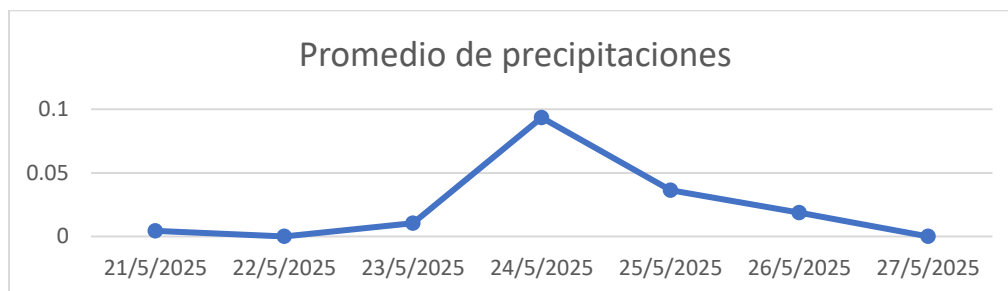


Figura No. 31 Precipitaciones

Nota: El gráfico muestra que, de los siete días evaluados, hubo precipitaciones en cinco. Los días 24 y 25 de mayo de 2025 se registró mayor cantidad de lluvia con un promedio máximo de 0.0934mm en el día 24.

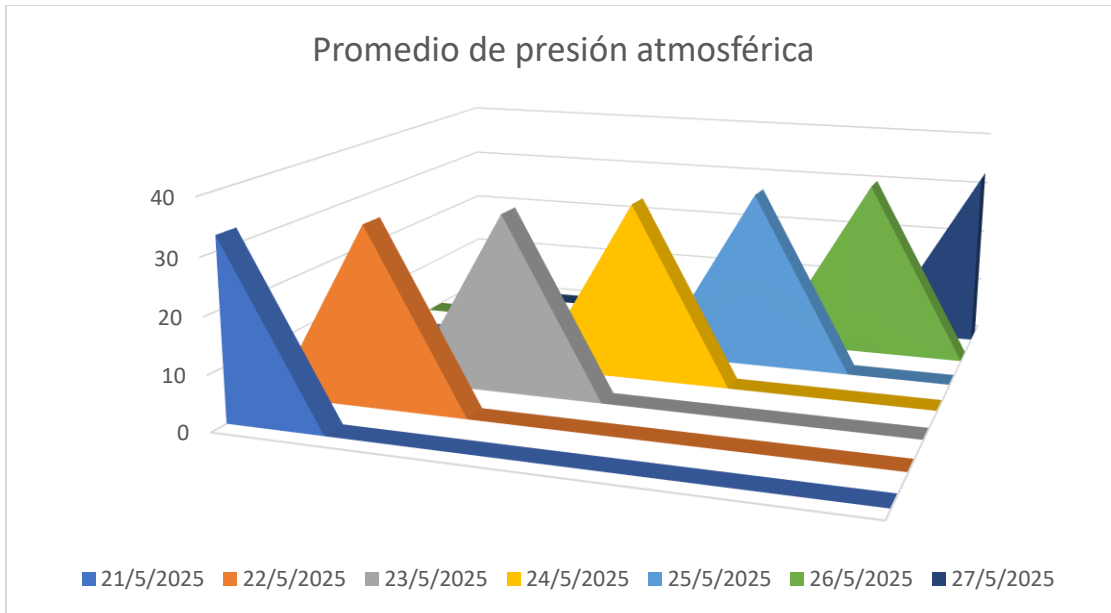


Figura No. 32 Presión Atmosférica

Nota: En el gráfico se evaluaron 7 días y el promedio más alto fue el 27 de mayo 2025 con 32.7645 inHg (pulgadas de mercurio).

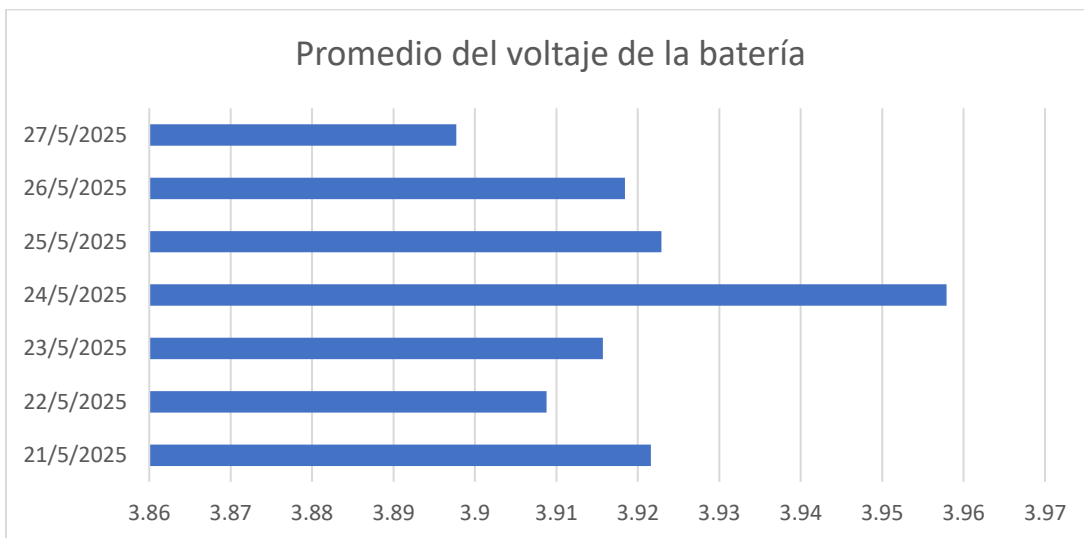


Figura No. 33 Promedio del Voltaje de Batería

Nota: En los siete días evaluados, la batería mantuvo un voltaje adecuado durante las 24hrs para el correcto funcionamiento de la estación meteorológica.

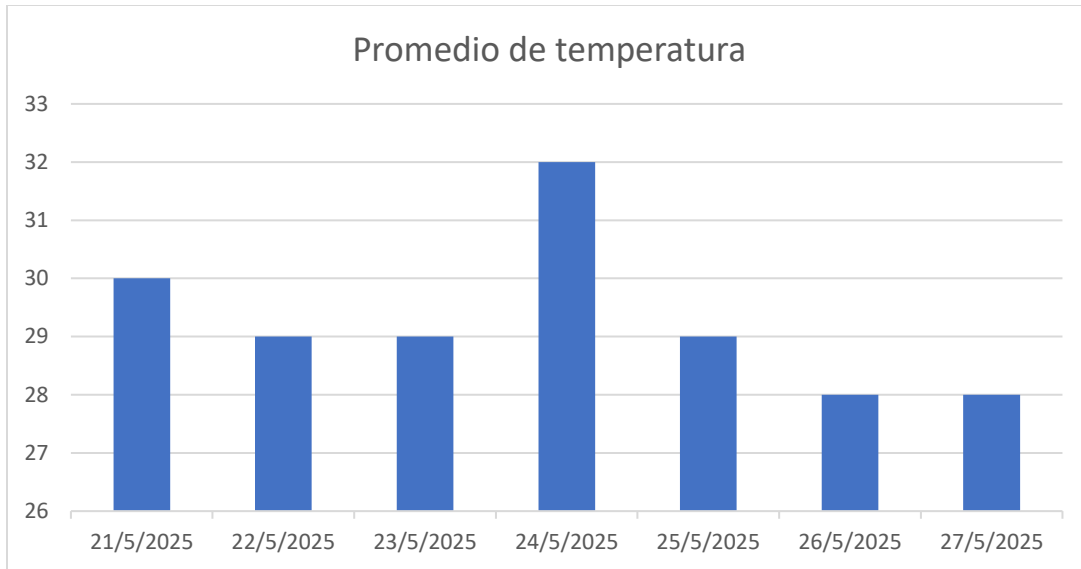


Figura No. 34 Promedio de Temperatura

Nota: El promedio más alto de temperatura fue el día 24 de mayo 2025 con 32 °C; el 26 y 27 de mayo 2025, se presentó el promedio más bajo con 28 °C.

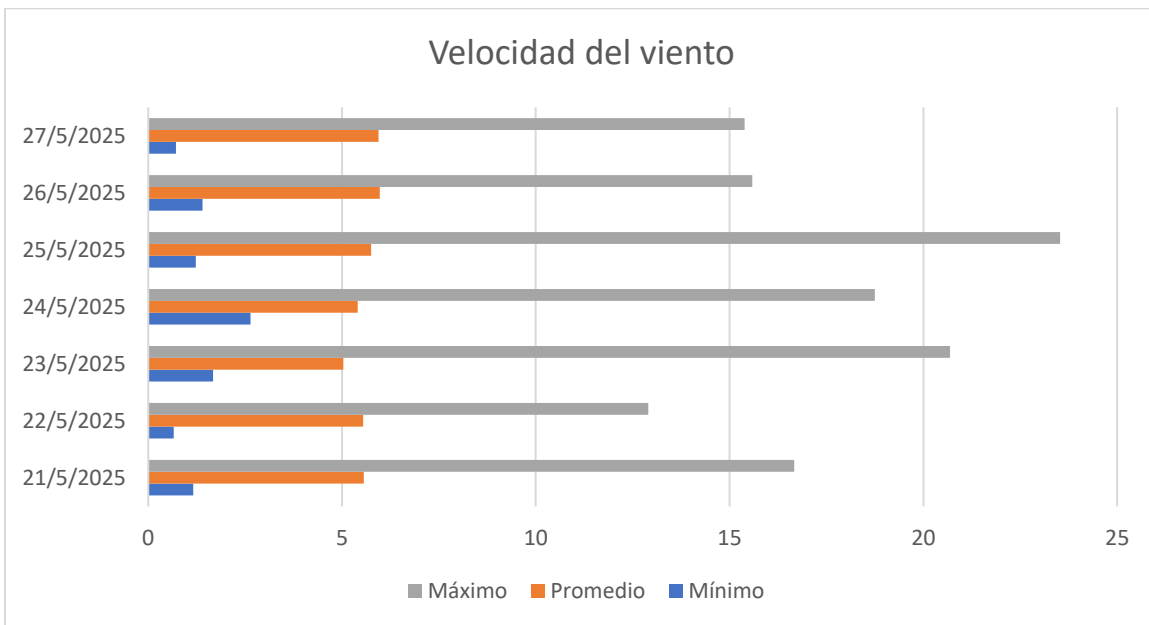


Figura No. 35 Velocidad del Viento

Nota: Se evaluaron 7 días y el 25 de mayo 2025 se presentó mayor velocidad del viento con un máximo de 23.529 mph (millas por hora).

Los resultados obtenidos de las pruebas a escala de laboratorio validaron la eficacia del diseño y la implementación del prototipo de la estación meteorológica. Estos resultados no solo confirmaron la viabilidad técnica del proyecto, sino que también proporcionaron una base sólida para su despliegue a mayor escala en el entorno universitario, contribuyendo al avance de la investigación y la educación en climatología y meteorología en la Universidad Nacional de Ingeniería.

Conclusiones

La implementación de una estación meteorológica en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) mostró un desempeño excepcional manteniendo todos sus componentes activos, funcionando y conectados entre sí obteniendo mediciones de manera ininterrumpida de cada una de las variables meteorológicas.

La elección de los diversos componentes, instrumentos meteorológicos y software previamente pensados en base a criterios ingenieriles para la elaboración de este proyecto demostraron ser los apropiados según los resultados de los mismos en las pruebas.

Los registros de las variables permanecieron en constante actividad desde su medición hasta su procesamiento comprobando así un óptimo acondicionamiento y adquisición de la señal.

Los datos obtenidos de los distintos parámetros de la estación meteorológicas no presentaron pérdidas en el proceso de transmisión y recepción remota de los mismos.

Con el uso de internet de las cosas (IoT) se creó una interfaz amigable para la visualización de las variables de la estación meteorológica en tiempo real.

La incorporación del suministro energético autosuficiente para todo el sistema de la estación meteorológica mantuvo una alimentación constante con valores dentro de los preestablecidos para el correcto funcionamiento de todo el equipo.

Mediante pruebas de laboratorio realizadas durante el tiempo que la estación meteorológica estuvo en operación se constató que ésta no presentó problemas energéticos, conexión, pérdidas de paquetes, ni de otra índole que provocaran mediciones erradas, interrupciones o el malfuncionamiento de uno o más componentes.

La estación meteorológica continuó funcionando con total normalidad luego de haber sido instalada en la azotea del edificio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) registrando datos aún más precisos de las variables climatológicas gracias a su posicionamiento que le favorece grandemente para interactuar de mejor manera con el medioambiente.

Recomendaciones

La durabilidad de la estación se prolongará en dependencia del cuidado que se le brinde a la misma. Dentro de las principales recomendaciones a tomarse en cuenta siempre será inspeccionar el estado de la estructura de montaje donde estará anclado el equipo debido a la corrosión, de igual manera verificar que no haya basura, ni ningún objeto extraño obstruyendo alguno de los sensores o demás componentes como el panel solar. Es importante asegurarse que todas las conexiones de los sensores estén debidamente ajustadas así como también revisar que los cables estén en buenas condiciones y no presentes daños visibles en su recubrimiento.

Todas y cada una de las recomendaciones además de garantizar una durabilidad más extensa también están orientadas para asegurar la precisión en la lectura de los datos.

7 Bibliografía

Arduino.cl (s.f.). *Software de Arduino*. Chile. Recuperado el 17 de junio de 2022: <https://arduino.cl/programacion/>

Areatecnologia (s.f.). *¿Cómo es un LED?*. Areatecnologia. Recuperado el 8 de mayo de 2024: <https://www.areatecnologia.com/electronica/como-es-un-led.html>

Barcelona LED (s.f.). *Características y ventajas de los diodos LED*. Barcelona LED. Recuperado el 5 de mayo de 2024: <https://www.barcelonaed.com/blog/informacion-led/caracteristicas-y-ventajas-de-los-diodos-led/>

Bosch Sensortec (s/f). *BME280 Datasheet*. Recuperado el 10 de mayo de 2024: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132060/BOSCH/BME280.html>

Castellón J., López S., Ruíz Y. y Vallejos J. (s.f.) Diseño en implementación de una Estación Meteorológica utilizando la plataforma Arduino. [Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Electrónica y Computación Ingeniería Electrónica]. Nicaragua.

Chávez E., Martínez O. & Rodríguez F. (2018). Diseño y Construcción de una Estación de Monitoreo Climático con el Almacenamiento y Transmisión de Datos. [Trabajo Monográfico para optar al Título de Ingeniero Electrónico. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Electrotecnia y Computación Ingeniería Electrónica]. Managua, Nicaragua. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNI.14768>

Codigoelectronica (s.f.). *ESP8266 esp01 datasheet*. Recuperado el 30 de mayo de 2022: <http://codigoelectronica.com/blog/esp8266-esp01-datasheet>

Crespo del Arco E. & Zúñiga López I. (2021). *Meteorología y Climatología*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España.

Developer.Mozilla (s.f.). *Conceptos básicos de HTML*. Recuperado el 30 de mayo de 2022:

https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics

Developer.Mozilla (s.f.). *JavaScript*. Recuperado 12 de junio de 2022:

<https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>

Dusuniot (s.f.) What is LoRa Module. Dusuniot. Recuperado el 16 de abril de 2024:

<https://www.dusuniot.com/blog/what-is-a-lora-module/>

Ebyte (s.f.). Noticias. Es-Ebyte. Recuperado el 17 de abril de 2024: [https://www.es-](https://www.es-ebyte.com/news/497)

[ebyte.com/news/497](https://www.es-ebyte.com/news/497)

Espressif Systems (2023). *ESP32-WROOM-32 [archivo PDF]*. Recuperado el 17 de septiembre de 2023:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf

Fritzing (s.f.). *Fritzingt*. Recuperado 13 de junio de 2022: <https://fritzing.org/>

Geeknetic (s.f.). *¿Qué es y para qué sirve un condensador?*. Recuperado el 20 de abril de 2024: <https://www.geeknetic.es/Condensador/que-es-y-para-que-sirve>

Geeknetic (s.f.). *¿Qué es y para qué sirve USB-C?*. Geeknetic. Recuperado el 3 de mayo de 2024: <https://www.geeknetic.es/USB-C/que-es-y-para-que-sirve>

Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (2022). Comunicado No. 003-2022. Declaración de Alerta Amarilla en Territorio Nacional [SINAPRED]. Managua, Nicaragua.

Hernández-Sampieri R., Fernández C. & Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta. edición). McGRAW-HILL Education. México.

<https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoUNANM3745/Similar>

InElectronic. (2020). *¿Qué es una tarjeta electrónica?* México. Recuperado 14 de junio de 2022: <http://inelectronic.com/que-es-una-tarjeta-electronica/>

INETER. (s.f.). Dirección General de Meteorología. Recuperado el 27 de abril de 2024: <https://www.ineter.gob.ni/met>

Ja-bots (s.f.). Módulo Transceptor LoRa SX1278 RA-02. Ja-bots. Recuperado el 16 de abril de 2024: <https://ja-bots.com/producto/modulo-transceptor-lora-sx1278-ra-02/>

KidCad.info (s.f.). *Spacing - What does 4.4milmean*. Recuperado el 29 de abril de 2024: <https://forum.kicad.info/t/spacing-what-does-4-4mil-mean/15925/2>

LipoBattery.com (s.f.). *Li-Po Battery Connectors*. Recuperado el 1 de abril de 2024: <https://www.lipobattery.com/li-po-battery-connectors.html>

Lucas J. (2019). *Qué es C: Características y sintaxis*. OpenWebinars. Recuperado el 11 de junio de 2022: <https://openwebinars.net/blog/que-es-c/>

Macnificos (s.f.) USB Tipo C. Macnificos. Recuperado el 5 de mayo de 2024: <https://www.macnificos.com/usb-tipo-c>

Maldonado L. (2018). *Diseño de una estación meteorológica con control de accionamientos electromecánicos y monitoreo de sensores*. [Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica]. Guatemala. <http://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis18/T14422.pdf>

Manz (s.f.). *¿Qué es CSS? Lenguaje de estilos para dotar de aspecto visual.* Lenguaje CSS. Recuperado el 11 de junio de 2022: <https://lenguajecss.com/css/introduccion/que-es-css/>

Martínez A. & Moncayo B. (2018). *Implementación de una Estación Meteorológica basada en HARDWARE libre para obtener Datos Climáticos y efectuar un análisis comparativo con los reportes online dado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.* [Proyecto de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas Computacionales. Universidad de Guayaquil: Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas]. Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/reduq/32397/1/B-CISC-PTG-1520%20Martinez%20Crespin%20Adrian%20Alberto%20.%20Moncayo%20S%20a1nchez%20Brenda%20Yocelin.pdf>

Medina J. & Valle A. (2017). *Diseño de una estación meteorológica para la medición de temperatura, humedad, presión atmosférica y radiación solar en el área del Recinto Universitario Rubén Darío, la cual estaría ubicado en el Centro de Investigaciones Geo Científicas (CIGEO), en la UNAN Managua.* [Facultad de Ciencia e Ingeniería. Departamento de Tecnología. Ingeniería Electrónica]. Managua, Nicaragua.

Megalámparas (s.f.). *Diodos LED, ¿Qué son?.* Megalámparas. Recuperado el 15 de abril de 2024; <https://megalamparas.com.gt/diodos-led-que-son/>

Montenegro C. (2022). *Diseño e implementación de un sistema de telemetría aplicado a una estación meteorológica de bajo costo, mediante el uso de GPRS con acceso a la APN de INSIVUMEH.* [Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica]. Guatemala. <http://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis22/T15957.pdf>

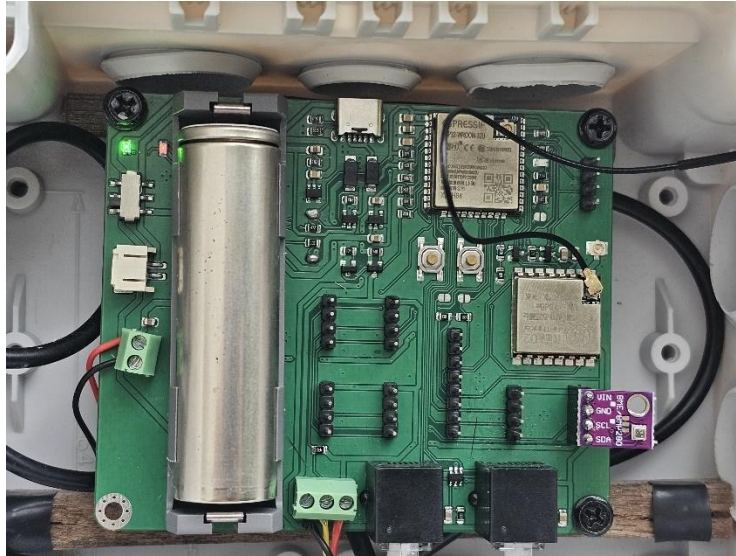
- Olivares L. (2008). *Manual de Programación en Lenguaje C++*. [Proyecto de Investigación: Métodos de Funciones de Base Radial para la Solución de EDP]. México. <https://paginas.matem.unam.mx/pderbf/images/mprogintc++.pdf>
- OpenStax (s.f.). *Condensadores y capacitancia. Física Universitaria, Volumen 2*. Recuperado el 18 de abril de 2024: <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/8-1-condensadores-y-capacitancia>
- Ruiz C. (2018). *Diseño e implementación de una estación meteorológica, con un sistema de adquisición y visualización de datos en tiempo real a través de un microcomputador RASBERRY PI 3 para INSIVUMEH*. [Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica]. Guatemala. <http://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis18/T14535.pdf>
- Salinas I. & Prado M. (2021). *Análisis de variables climáticas a nivel nacional en la Unidad de Agrometeorología, INETER, 2020*. [Universidad Nacional Agraria (UNA). Facultad de Agronomía]. Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4274/1/tne14c348a.pdf>
- SENSORGO MKT (2020). *Sensores Meteorológicos ¿Cómo Pueden Ayudarte?* SensorGo. México. Recuperado el 12 de junio de 2022: <https://sensorgo.mx/sensores-meteorologicos/>
- UMW (s.f.). *DS18B20 [archivo PDF]*. Recuperado el 4 de mayo de 2024: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1793673/UMW/DS18B20.html>
- UNISDR & CEPREDENAC (2013). *Informe sobre Gestión Integral del Riesgo de Desastre en Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/AmericaCentralHerramientasydocumentos/Informesregionalesnacionales/Informe-GIRD-Nicaragua-version-web.pdf>

Whatsnew (2022). *Qué es y cómo funciona una batería de litio*. Recuperado el 7 de abril de 2024: https://www.whatsnew.com/2022/12/02/que-es-y-como-funciona-una-bateria-de-litio/#google_vignette

Wikipedia (s.f.). *Batería de litio*. Recuperado el 14 de abril de 2024: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_litio

Anexos

Anexo 1. Placa del prototipo en funcionamiento fijada en el encapsulado PVC



Anexo 2. Instalación de prueba de la estación meteorológica



Anexo 3. Instalación final de la estación meteorológica



Anexo 4. Entrega de estación meteorológica en funcionamiento



Anexo 5. Código QR de acceso a interfaz de la estación meteorológica



Anexo 6. Portadas de hoja de datos de componentes de la estación meteorológica

Product Overview

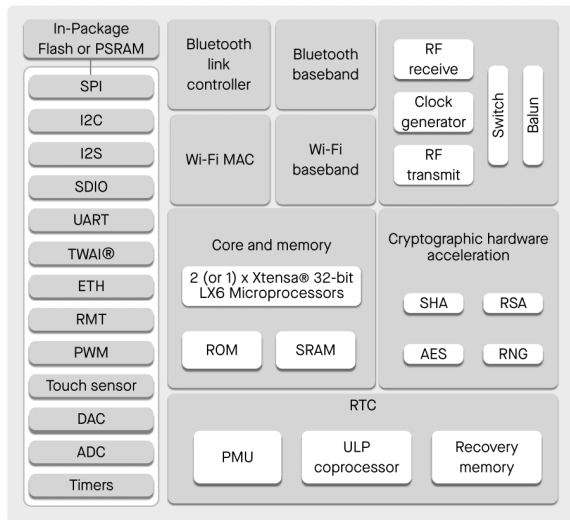
ESP32 is a single 2.4 GHz Wi-Fi-and-Bluetooth combo chip designed with the TSMC low-power 40 nm technology. It is designed to achieve the best power and RF performance, showing robustness, versatility and reliability in a wide variety of applications and power scenarios.

The ESP32 series of chips includes ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3, ESP32-U4WDH, ESP32-S0WD (NRND), ESP32-D0WDQ6-V3 (NRND), ESP32-D0WD (NRND), and ESP32-D0WDQ6 (NRND), among which,

- ESP32-S0WD (NRND), ESP32-D0WD (NRND), and ESP32-D0WDQ6 (NRND) are based on chip revision v1 or chip revision v1.1.
- ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3, ESP32-U4WDH, and ESP32-D0WDQ6-V3 (NRND) are based on chip revision v3.0 or chip revision v3.1.

For details on part numbers and ordering information, please refer to Section 1 [ESP32 Series Comparison](#). For details on chip revisions, please refer to [ESP32 Chip Revision v3.0 User Guide](#) and [ESP32 Series SoC Errata](#).

The functional block diagram of the SoC is shown below.

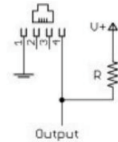
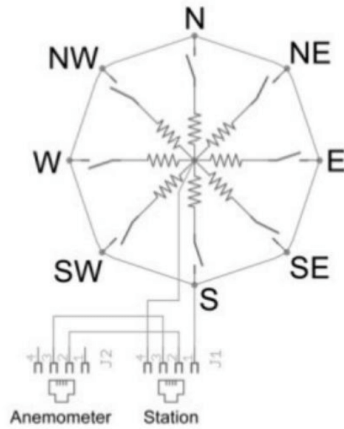


ESP32 Functional Block Diagram

the anemometer and wind vane(pins 2 and 3)

Wind Vane

风向计它有八个开关，每个开关连接到一个不同的电阻器。叶片的磁铁可以同时关闭两个开关，使多达 16 个不同的位置被指示。外部电阻可以用来形成一个分压器，产生一个电压输出，可以用 a/d 转换器来测量，如下所示。



Example wind vane interface circuit. Voltage readings for a 5 volt supply and a resistor value of 10k ohms are given in the table.

Direction (degrees)	Resistance (ohms)
0	33K
22.5	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	21.88K

表中给出了所有 16 个可能位置的电阻值。

The wind vane is the most complicated of the three sensors. It has eight switches, each connected to a different resistor. The vane's magnet may close two switches at once, allowing up

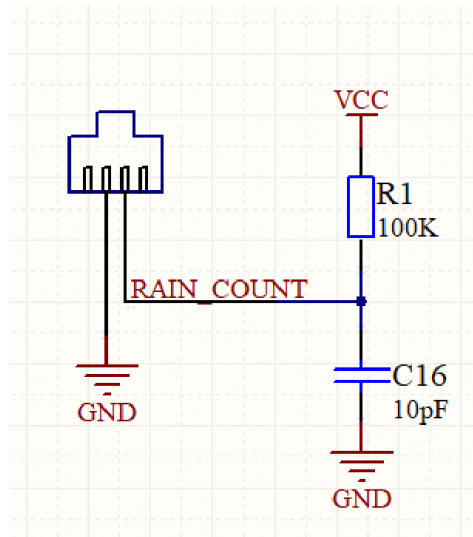
This kit includes a wind vane ,cup anemometer, and tipping bucket rain gauge, with associated mounting hardware .These sensors contain no active electronics, instead using sealed magnetic reed switches and magnets to take measurements. A voltage must be supplied to each instrument to produce an output.

Assembly

The wind sensor arm mounts on top of the two-piece metal and supports the wind vane and anemometer. A short cable connects the two win sensors. Plastic clips on the underside of the arm hold this cable in place. Screws are provided to secure the sensors to the arm. The rain gauge may be mounted lower on the mast using its own mounting arm and screw, or it may be mounted independently.

Rain Gauge

雨量计为翻斗式的，每次发生一次翻斗为 0.3mm 的雨量。当雨斗翻转时会造成簧管的一次闭合，可通过微处理器中断输入来记录翻斗次数,在 RJ11 水晶头的一端需连接一个电阻电容，如图所示：



The rain gauge is a self-emptying tipping bucket type. Each 0.2794mm of rain cause one momentary contact closure that can be recorded with a digital counter or microcontroller interrupt input. The gauge's switch is connected to the two center conductors of the attached RJ 11-terminated cable.

Anemometer

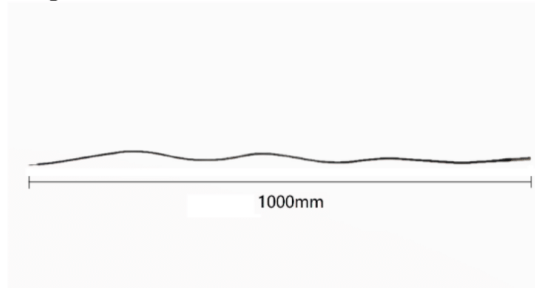
杯式风速计测量风速的方法是当磁铁通过开关时关闭触点。风速 0.33m/s 导致开关关闭一次。风速计将连接到风向计上，与风向计公用 RJ11 电缆，风速计占用 RJ11 水晶头的 2、3 脚。

The cup-type anemometer measures wind speed by closing a contact as a magnet moves past a switch. A wind speed of 2.4km/h causes the switch to close once per second.

The anemometer switch is connected to the inner two conductors of the RJ 11 cable shared by

PRODUCT INTRODUCTION

UMW DS18B20 digital temperature probe is a delicate and compact, high sensitivity, high temperature sensing speed, anti-interference, high precision external temperature probe, suitable for harsh environment of the field temperature measurement.



PRODUCT SIZE

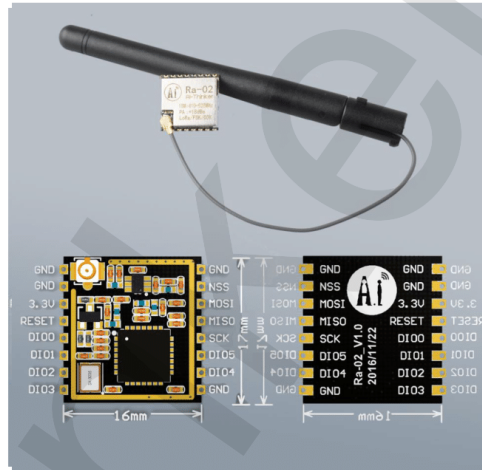
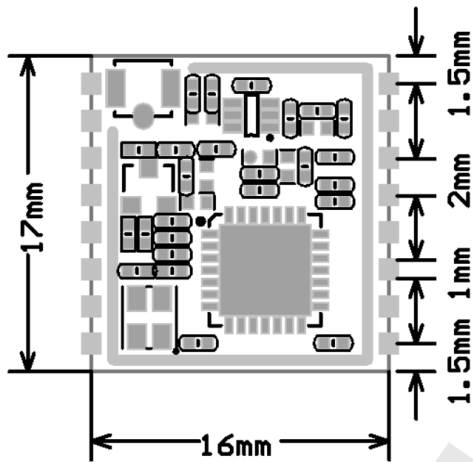
The diameter of the temperature sensing area of the metal probe is 6mm, and the length of exposed metal is 50mm.



PRODUCT SPECIFICATION

SPECIFICATION	
The product name	UMW DS18B20 digital temperature probe
Product model	UMW DS18B20Axx
The shell material	Stainless steel
The length of the cable	1m/3m/5m/Custom length
Working voltage	2.5~5.5V
Measuring range	Temperature: 55 °C ~ + 125 °C
Accuracy of measurement	±0.4°C (at -10°C ~ +85°C)
Power consumption	≤0.1W
Protection grade	IP68
Lightning protection	Level 1
The output terminal	VDD (Red) DQ (Yellow) GND (Blue)

Ra-02 LoRa Module



Features

- LoRa™ spread spectrum modulation technology
- Receive sensitivity as low as -141 dBm
- Excellent resistance to blocking
- Supports preamble detection
- Supports half-duplex SPI communication
- Programmable bit rate up to 300Kbps
- Supports FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation modes
- Supports automatic RF signal detection, CAD mode and ultra high speed AFC
- Packets with CRC, up to 256 bytes
- Small package with double volume stamps

Overview

Ra-02 can be used for ultra-long distance spread spectrum communication, and compatible FSK remote modulation and demodulation quickly, to solve the traditional wireless design can not take into account the distance, anti-interference and power consumption.

Ra-02 can be widely used in a variety of networking occasions, for automatic meter reading, home building automation, security systems, remote irrigation systems, is the ideal solution for things networking applications.

Ra-02 is available in SMD package and can be used for rapid production by standard SMT equipment. It provides customers with high reliability connection mode.

Anexo 7. Enlaces de hojas de datos de los distintos sensores de medición:

- DS18B20: <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- BME280: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132060/BOSCH/BME280.html>
- Kit meteorológico (lluvia, dirección y velocidad del viento): <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly..pdf>