ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

MOURE PRADO, MIGUEL
TUTOR: D. Rubio García, Ramón D. José Prieto, Miguel Ángel
COTUTOR: D. Rubio García, Ramón

FECHA: Mayo,2024

MEMORIA

RESUMEN

Este proyecto consiste en el desarrollo integral de una estación meteorológica con una variedad de sensores para recopilar información climática, que es capaz de enviarla a través de un tipo de modulación de radiofrecuencia llamado LoRa. Este trabajo se centra en el diseño y fabricación de la parte electrónica para el control y envío de la información captada por los sensores, así como la colocación de paneles solares a medida para abastecer todo el circuito y obtener una estación meteorológica autosuficiente.

El objetivo principal ha sido realizar un diseño compacto y óptimo para obtener medidas claras, un correcto envío de datos y mantener el consumo al mínimo.

La estación meteorológica ha tenido distintas fases de diseño, desde los componentes necesarios para el correcto funcionamiento, las dimensiones de la placa de circuito impreso, dimensionado y colocación de los paneles solares, el desarrollo del software para el control de la estación meteorológica, la configuración de las comunicaciones por LoRa y la correcta visualización de los datos obtenidos. Todo ello para cumplir con los objetivos planteados.

Este trabajo sienta las bases de una estación meteorológica autosuficiente, ofreciendo la posibilidad de ampliaciones y adaptaciones para futuros trabajos en los que se usen datos relacionados con las condiciones atmosféricas. La versatilidad y la eficacia de la estación meteorológica es una herramienta valiosa para la obtención y análisis de datos climáticos de manera autónoma y eficiente.

ABSTRACT

This project involves the comprehensive development of a weather station with a variety of sensors to collect climatic information, capable of transmitting data through a radiofrequency modulation called LoRa. The focus of this work is on designing and manufacturing the electronic components for controlling and transmitting information captured by the sensors, as well as the integration of custom solar panels to power the entire circuit and make the weather station self-sufficient.

The main objective has been to create a compact and optimal design to obtain clear measurements, ensure proper data transmission, and maintain minimal power consumption. The weather station has gone through different design phases, including selecting components for proper functionality, determining the dimensions of the printed circuit board, sizing and placing solar panels, developing software for weather station control, configuring LoRa communications, and ensuring the accurate visualization of obtained data. All these aspects contribute to achieving the project's objectives.

This work establishes the foundation for a self-sufficient weather station, offering the potential for expansions and adaptations for future projects involving data related to atmospheric conditions. The versatility and effectiveness of the weather station make it a valuable tool for obtaining and analyzing climatic data.

ÍNDICE

1. Introducción 15

1.1. Motivación 15

1.2. Objetivos y alcance 17

2. Estado del arte 18

2.1. Veletas 18

2.1.1. Veleta tradicional 18

2.1.2. Veletas Electrónicas 19

2.1.3. Veletas ultrasónicas 19

2.2. Anemómetros 20

2.2.1. Anemómetros de copas 20

2.2.2. Anemómetros de hélice 20

2.2.3. Anemómetros de Vainas 21

2.2.4. Anemómetros ultrasónicos 21

2.2.5. Anemómetros Laser Doppler 22

2.3. Pluviómetros 22

2.3.1. Pluviómetros graduados 22

2.3.2. Pluviómetros de cilindro basculante 23

2.3.3. Pluviómetros de sifón 23

2.3.4. Pluviómetro Electrónico 24

2.4. Sensor temperatura 24

2.4.1. Termorresistencias 24

2.4.2. Termistores 25

2.4.3. Termómetros infrarrojos 25

2.4.4. Sensores de Fibra óptica 26

2.4.5. Sensores de cristal liquido *26*
2.5. Sensor barométrico *27*
2.5.1. Barómetros de mercurio *27*
2.5.2. Sensores de presión piezoeléctricos *27*
2.5.3. Sensores de presión de silicio *28*
2.5.4. Sensores de presión de película delgada *28*
2.5.5. Sensores de presión de fibra óptica *29*
2.6. Sensor humedad *29*
2.6.1. Higrómetro de resistencia *29*
2.6.2. Higrómetro capacitivo *30*
2.6.3. Higrómetros de Polímero conductor *30*
2.6.4. Higrómetros de absorción *30*
2.6.5. Higrómetros de condensación *31*
2.7. Paneles Solares *31*
2.7.1. Paneles fotovoltaicos *31*
2.7.2. Paneles monocristalinos *32*
2.7.3. Paneles policristalinos *32*
2.7.4. Células solares de capa fina *33*
2.8. Comunicaciones LoRa *35*
3. Diseño e implementación 36
3.1. Características técnicas y funcionales *36*
3.2. Composición básica del sistema *37*
3.3. Hardware *38*
3.3.1. Sensor BME280 ..... *38*
3.3.2. Veleta *39*
3.3.3. Anemómetro *41*

3.3.4. Pluviómetro *42*
3.3.5. Batería *44*
3.3.6. Panel Solar *46*
3.3.7. Soporte panel solar *47*
3.3.8. Caja PCB *49*
3.3.9. Microcontrolador *51*
3.3.10. Conectores RJ-11 ..... *54*
3.3.11. Caja protectora *55*
3.3.12. Placa base – PCB *56*
3.4 Funcionamiento *61*
3.4.1. Microcontrolador *62*
3.4.2. Alimentación *63*
3.4.3. Dirección del viento *64*
3.4.4. Velocidad del viento *65*
3.4.5. Precipitación *66*
3.4.6. Nivel de batería. *67*
3.4.7. Temperatura, Presión y Humedad *68*
3.5. Software *69*
3.5.1. Programación ESP32 ..... *69*
3.5.2. Red Lora con The Things Network *70*
3.5.3. Base de datos *76*
3.5.4. Aplicación Web *82*
4. Resultados experimentales **84**
5. Planificación Temporal **90**
6. Conclusiones y futuro **91**
6.1. Conclusiones *91*

6.2. Trabajos futuros *92*

7. Bibliografía **93**

Índice de figuras

Figura 1. Veleta electrónica Maher 19
Figura 2. Veleta ultrasónica Calypso CI-CMI1006 19
Figura 3. Anemómetro de copas SEN0170 20
Figura 4. Anemómetro de hélices 27106-T 20
Figura 5. Anemómetro ultrasónico Darrera 2-D 21
Figura 6. Anemometro laser doppler 22
Figura 7. Pluviómetro graduado TFA 47.10001 22
Figura 8. Pluviómetro de cubeta basculante TB7 23
Figura 9. Esquema de un pluviómetro de sifón 23
Figura 10. Pluviómetro eléctrico TFA Dostmann 24
Figura 11. Termorresistencia TR22-A 24
Figura 12. Termistor NTC tipo disco 25
Figura 13. Termómetro infrarrojo Omega OS130-A 25
Figura 14. Sensor FR-610-I 26
Figura 15. Termómetro LCD 26
Figura 16. Esquema funcionamiento barómetro de mercurio 27
Figura 17. Sensor piezoeléctrico de presión BIlinli 27
Figura 18. Sensor de presión de sicilio Endevco Model 8540 28
Figura 19. Sensor de presión de película delgada RP-C18.3 ST 28
Figura 20. Sensor de presión óptico Althen Sensors & controls 29
Figura 21. Higrómetro de resistencia HR-31 29
Figura 22. Higrómetro capacitivo AZ-Delivery V1.2 30
Figura 23. Higrómetro de condensación IberFluid Instruments 31
Figura 24. Panel Fotovoltaico 31

Figura 25. Panel monocristalino SM20M Cellevia Power 32
Figura 26. Panel solar policristalino JWS 32
Figura 27. Panel solar capa fina BougeRV 33
Figura 28. AZDelivery GY-BME28 38
Figura 29. Veleta electrónica Davis 39
Figura 30. Anemómetro Davis y circuito interno 41
Figura 31. Estructura interna del anemómetro 41
Figura 32. Pluviómetro Davis 42
Figura 33. Cubeta del pluviómetro 43
Figura 34. Pila de ion litio 18650 44
Figura 35. AZ-Delivery 18650 Battery shield 45
Figura 36. Panel solar 5v 1A Tinytronics 46
Figura 37. Soporte diseñado en OnShape 47
Figura 38. Soporte fabricado 48
Figura 39. Montaje de los paneles solares 48
Figura 40. Caja PCB 49
Figura 41. Caja impresa en 3D con todos los componentes colocados 50
Figura 42. Caja colocada en la estación meteorológica 50
Figura 43. Lilygo Lora 32 T3 V1.6.1 52
Figura 44. Conectores Rj-11 54
Figura 45. Caja hermética de la estación meteorológica 55
Figura 46. Cara superior PCB 58
Figura 47. Cara inferior PCB 59
Figura 48. Cara superior una vez fabricada y montados los componentes 60
Figura 49. Componentes soldados por la cara inferior 61
Figura 50. Valores que toma el voltaje del potenciómetro según la dirección del viento ... 64

Figura 51. Pulsos del anemómetro visualizados con un osciloscopio 65

Figura 52. Pulsos del pluviómetro visualizados con un osciloscopio 66

Figura 53. Protocolo de comunicación I2C 69

Figura 54. Esquema Red LoRa 70

Figura 55. MikroTik wAP Lr8 kit 71

Figura 56. MikroTik 868 Omni antena 71

Figura 57. Conexiones del Gateway 72

Figura 58. Gateway con antena conectado a un router de internet 72

Figura 59. Etiqueta del Gateway 73

Figura 60. Menú de registro del Gateway 73

Figura 61. Menú principal de la estación meteorológica registrada en The things network 74

Figura 62. Datos enviados desde la estación meteorológica 75

Figura 63. Menú Raspberry en BalenaOS 76

Figura 64. Interfaz de NodeRed para conectar los datos de The Things Network a la base de datos 77

Figura 65. Nodo MQTT 77

Figura 66. Menú de configuración del servidor 78

Figura 67 Menú de configuración de la seguridad 78

Figura 68. Datos extraídos de TTN sin filtrar 79

Figura 69. Datos filtrados 80

Figura 70. Menú de bases de datos desde Grafana 80

Figura 71. Base de Datos InfluxDB 81

Figura 72. Configuración del nodo InfluxDB 81

Figura 73. Paneles de visualización de los datos en Grafana 82

Figura 74. Estación meteorológica. 84

Figura 75. Datos obtenidos a las 9:00 23 de enero 85

Figura 76. Datos obtenidos a las 2PM del 23 de enero 85

Figura 77. Datos obtenidos a las 8AM del 24 de enero 86

Figura 78. Velocidad y dirección del viento a las 9:48 del 24 de enero 87

Figura 79. Previsión del viento en Gijón Tablademareas 87

Figura 80. Consumo del circuito eléctrico 88

Figura 81. Nivel de batería durante 12h 89

Figura 82. Interfaz del nivel de batería 89

Índice de esquemas

Esquema 1. Sensores de la estación 18

Esquema 2. Elementos que componen la estación meteorológica 37

Esquema 3. Esquemático Veleta 40

Esquema 4, Esquemático Anemómetro 42

Esquema 5. Esquemático pluviómetro 43

Esquema 6. Esquemático del circuito completo 56

Esquema 7. Esquemático salidas y entradas del microcontrolador 62

Esquema 8. Esquemático del sistema de alimentación 63

Esquema 9 Esquemático Veleta 64

Esquema 10. Esquemático Anemómetro 65

Esquema 11. Esquemático de la medición de batería 67

Esquema 12. Esquemático de las conexiones del BME 280 68

Introducción

1.1.Motivación

Hoy en día existen dispositivos conectados a la red. Desde la aparición de internet se han ido integrando una gran cantidad de servicios que la utilizan. Primero fueron los ordenadores los que usaban internet para conectarse, pero a medida que ha ido avanzando la técnica, se ha visto la necesidad de utilizar y conectar sensores, cada vez más presentes en el mundo más automatizado que nos rodea.

El aumento del número de dispositivos inteligentes que se quieren controlar ha dado lugar a una nueva revolución tecnológica que está transformando la manera en que se interactúa con el mundo que nos rodea. Esta tecnología es “El internet de las cosas” o IOT por sus siglas en ingles. En esencia, la IOT se refiere a la conexión de dispositivos físicos a través de internet, permitiendo recopilar y procesar datos. Esta capacidad de crear un entorno más inteligente y eficiente que comunica y controla diferentes dispositivos sin la intervención humana directa, posibilita tomar decisiones automáticas que mejoran la eficiencia de los servicios.

Para desplegar la tecnología de la IOT necesitamos:

1. Sensores que recojan datos del entorno y actuadores que realicen acciones en respuesta a esos datos.

2. Conectividad para compartir datos de los diferentes dispositivos a través de internet.

3. Sistemas de Gestión de los dispositivos y de los datos recopilados para realizar el monitoreo, gestión y análisis de estos.

4. Interconexión de múltiples dispositivos de diferentes fabricantes para que trabajen de forma efectiva permitiendo escalar y adaptarse al problema que se está resolviendo.

A lo largo de los siguientes capítulos se describe una posible aplicación de esta tecnología IOT: la realización de una estación meteorológica totalmente autónoma, alimentada completamente con energías renovables, en este caso, con paneles solares. La estación meteorológica consta de anemómetro, veleta, pluviómetro y sensor de temperatura, presión y humedad. Todos estos datos serán recopilados y enviados mediante LoRa a un sistema IOT que los recibirá para posteriormente ser enviados a una base de datos InFlux DB donde se almacenarán y su representación gráfica será accesible en internet mediante Grafana.

La utilización de esta tecnología permite a las personas acceder a la información. Mediante la realización de este proyecto se crea un servicio público para consultar las condiciones medioambientales históricas y actuales en una zona determinada.

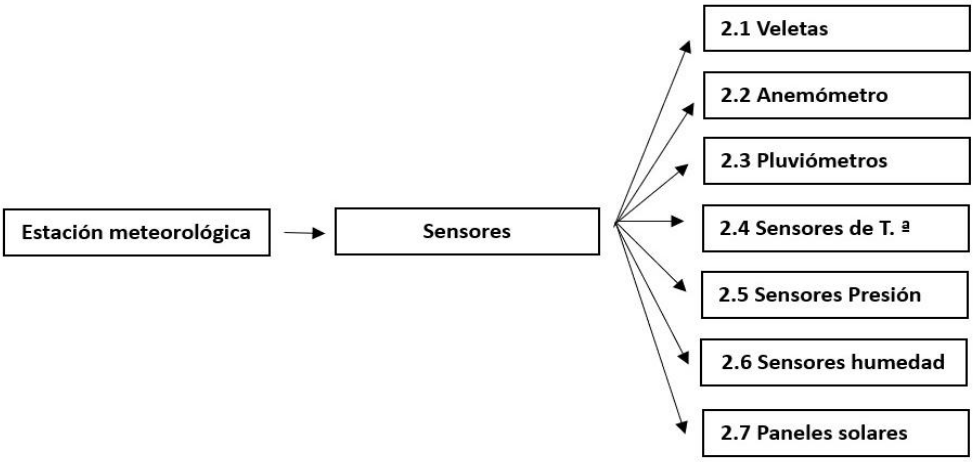
1.2. Objetivos y alcance

Para comenzar con el proyecto, primero se establecen los objetivos que se quieren conseguir:

1. Diseño y fabricación de un sistema de recogida de datos relevantes para la estación meteorológica.
2. Obtener medidas claras y concisas sobre el estado actual de la velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad y presión.
3. Implementar las comunicaciones mediante LoRa para poder transmitir los datos que envía la estación meteorológica.
4. Crear una interfaz clara e informativa sobre los parámetros actuales y pasados recogidos por la estación meteorológica.
5. Hacer un estudio sobre el consumo.
6. Realizar un mantenimiento y comprobar que los paneles solares abastecen correctamente los dispositivos.
7. Realizar pruebas en el exterior y ver la evolución de los datos obtenidos y consumo en diferentes condiciones climatológicas.

2. Estado del arte

En este apartado serán estudiados los sensores de la estación meteorológica que se indican en el ***Esquema** 1*. Se dedica una subsección a cada uno de estos elementos, analizando las distintas posibilidades de veletas, anemómetros, pluviómetros, sensores de temperatura, sensores de presión, sensor de humedad y paneles solares.



Esquema 1. Sensores de la estación

2.1.Veletas

2.1.1. Veleta tradicional

La veleta tradicional es una pieza mecánica generalmente con forma de flecha que gira dependiendo de la velocidad y dirección del viento. Consta en la parte inferior de una cruz que indica los puntos cardinales para saber la dirección que lleva el viento. Se emplea desde la antigüedad debido a su sencillez, pero no proporciona una gran cantidad de datos.

2.1.2. Veletas Electrónicas

La veleta electrónica utiliza sensores electrónicos para medir la dirección del viento (*Figura **1***). Normalmente tiene un potenciómetro como elemento principal del circuito, el cual, al estar sometido a la variación de la dirección del viento, genera un voltaje variable proporcional a la posición angular de la veleta. Se utiliza esta señal para obtener tanto el valor numérico de 0 a 360 grados como la dirección.

Figura 1. Veleta electrónica Maher

2.1.3. Veletas ultrasónicas

Son dispositivos que utilizan sensores ultrasónicos para medir la dirección del viento. Una de las características más destacadas es que no utiliza partes mecánicas móviles (*Figura **2***) como en los otros tipos de veletas. Los sensores, emiten pulsos ultrasónicos que se ven afectados por la velocidad y dirección del viento. Midiendo el tiempo de este proceso determina la dirección del viento.

Figura 2. Veleta ultrasónica Calypso CI-CMI1006

2.2.Anemómetros

2.2.1. Anemómetros de copas

Este tipo de anemómetro es el más utilizado, tanto en ámbitos industriales como de investigación o domésticos. Consta de tres o cuatro copas que se colocan a una distancia equidistante y rotan eje vertical (*Figura **3***). Las copas tienen una forma aerodinámica para tener menor rozamiento en influir lo menos posible en la medida de la velocidad [11]. Son capaces de medir brisas muy suaves y fuertes vientos, debido a la simpleza del sistema y su precisión hace que sea el tipo de anemómetro más comúnmente usado.

Figura 3. Anemómetro de copas SEN0170

2.2.2. Anemómetros de hélice

Se compone de un rotor con hélices (*Figura **4***). Al situarlo en la dirección del viento hace girar las hélices, que generan un voltaje en función de la velocidad del viento. el rotor se diseña para girar a determinadas velocidades según el viento que haga. Estos anemómetros son duraderos y resistentes y pueden soportar condiciones climatológicas adversas.

Figura 4. Anemómetro de hélices 27106-T

2.2.3. Anemómetros de Vainas

Se basa en el principio del tubo de Pitot, el aire entra por una abertura situada en el extremo frontal del tubo. Cuando la corriente de aire entra en el tubo se crea una presión dinámica que es directamente proporcional a la velocidad [10].

Además de la presión dinámica, la presión estática es obtenida mediante un orificio en el lateral del tubo, el cual está perpendicular a la corriente de aire.

La velocidad del aire se calcula obteniendo el diferencial de presión.

2.2.4. Anemómetros ultrasónicos

Pueden ser de dos o 3 ejes. La mayor ventaja que tienen es la ausencia de partes móviles (*Figura **5***), lo cual los hace más duraderos y con menor probabilidad de fallos. Este tipo de anemómetros pueden medir el viento en cualquier dirección y tiene un amplio rango de velocidad [32]. Una propiedad muy interesante es la capacidad de medir las turbulencias provocadas por las ráfagas de viento, lo cual es muy importante en el diseño de puentes o edificios. También son capaces de operar en condiciones climatológicas muy adversas en temperaturas extremas y en ambientes corrosivos.

Figura 5. Anemómetro ultrasónico Darrera 2-D

2.2.5. Anemómetros Laser Doppler

Basado en el efecto Doppler. Se emiten pulsos de luz por láser que rebotan con las partículas de aire y vuelven al sensor (*Figura* **6**). Debido a la velocidad del aire, los pulsos que llegan de vuelta al sensor tienen una frecuencia alterada: si las partículas de aire se alejan, la luz reflejada tiene una frecuencia más baja; si se acercan, la frecuencia es más elevada. Este cambio es el que toma el anemómetro para calcular la velocidad del viento. [10]

Figura 6. Anemómetro Laser Doppler Dantec Dynamics

2.3.Pluviómetros

2.3.1. Pluviómetros graduados

La forma más básica de medir la precipitación es una estructura cilíndrica o cónica abierta por arriba, para permitir la entrada de lluvia (*Figura 7*) Tiene una escala de medida para poder ver la cantidad de precipitación. Hay que vaciar el pluviómetro después de cada medición.

Figura 7. Pluviómetro graduado TFA 47.10001

2.3.2. Pluviómetros de cilindro basculante

Estos pluviómetros están formados por una base sobre la cual se coloca una paleta que bascula. Encima se pone un cono para recoger la lluvia (*Figura **8***). Cuando la lluvia entra en el cono, la sitúa sobre la paleta, y tras cierta cantidad de lluvia, esta bascula por su propio peso. Cuando la paleta toca base se cierra un interruptor o se activa un sensor que indica que ha desbordado el cubo.

Figura 8. Pluviómetro de cubeta basculante TB7

2.3.3. Pluviómetros de sifón

Tiene un tambor que gira a una determinada a velocidad con un papel graduado en el que se registra la precipitación en función del tiempo. Una pluma en su interior que se acciona mediante un flotador escribe en el papel (*Figura **9***) la cual se eleva según la cantidad de precipitación [33]. Este pluviómetro permite conocer con exactitud la precipitación que cayó en un determinado momento.

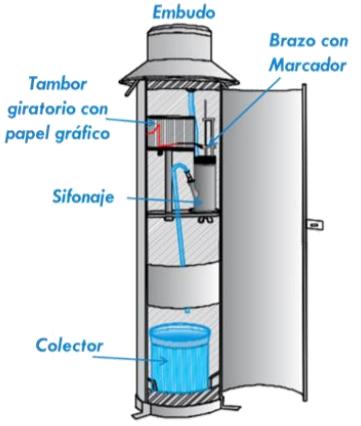


Figura 9. Esquema de un pluviómetro de sifón

2.3.4. Pluviómetro Electrónico

En lugar de embudos y recipientes, este tipo de pluviómetros utiliza sensores que registran la cantidad de precipitación en determinados intervalos de tiempo. Esto permite tener un estudio muy detallado de la lluvia en función del tiempo. Además, pueden almacenar los datos y son capaces de conectarse con otros dispositivos para la transmisión de estos (*Figura **10***).

Figura 10. Pluviómetro eléctrico TFA Dostmann

2.4.Sensor temperatura

2.4.1. Termorresistencias

Miden la variación del valor de la resistencia eléctrica en función de la temperatura. La resistencia de los materiales cambia de manera predecible con la temperatura y los materiales más comúnmente usados son el platino el níquel y cobre (*Figura **11***) [31]. Su mayor ventaja es la precisión y estabilidad a lo largo del tiempo, sin embargo, pueden ser más caros en comparación con otros sensores.

Figura 11. Termorresistencia TR22-A

2.4.2. Termistores

En estos sensores la variación de la resistencia eléctrica no es tan lineal como en las termorresistencias, sino que aumenta de manera brusca. Existen dos tipos principales de termistores. En los termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC) la resistencia eléctrica aumenta de manera abrupta a medida que subimos la temperatura [12]. Una vez alcanzamos una determinada temperatura, la resistencia eléctrica aumenta rápidamente.

Los termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC) (*Figura **12***) son aquellos en los que la resistencia eléctrica disminuye al aumentar la temperatura.

Figura 12. Termistor NTC tipo disco

2.4.3. Termómetros de infrarrojos

Estos sensores miden la temperatura sin hacer contacto directo. Miden la radiación infrarroja emitida por el objeto (*Figura **13***). La cantidad y longitud de onda de la radiación depende de la temperatura [34]. Midiendo estos parámetros de la radiación podemos determinarla.

Figura 13. Termómetro infrarrojo Omega OS130-A

2.4.4. Sensores de Fibra óptica

Se basan en el cambio de las propiedades de la luz que se propaga por la fibra debido a cambios en la temperatura. El estudio más común es el fenómeno de interferencia. En el extremo de la fibra se coloca una capa reflectante, que refleja parcialmente la luz (*Figura **14***). La luz emitida, al chocar con la luz reflejada crea patrones de interferencia [15]. Cuando cambia la temperatura se producen cambios en la longitud de onda de la luz interferente. Esta variación es la que se mide con sensores para determinar la temperatura.

Figura 14. Sensor FR-610-I

2.4.5. Sensores de cristal liquido

La estructura molecular del cristal se modifica debido a una variación de temperatura resultando en un cambio de color (*Figura **15***). Existen dos tipos principales. Los cristales líquidos “chiral nematic” cambian de color en función de la temperatura, son muy útiles en lugares donde una indicación visual es necesitada [35]. Los cristales sólidos “Smectic” pasan de transparente a opaco al llegar a una determinada temperatura. El rango de temperatura para estos dispositivos suele ir desde los -3 grados a los 90 grados.

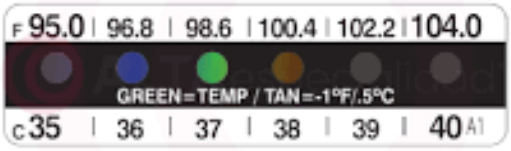


Figura 15. Termómetro LCD

2.5.Sensor barométrico

2.5.1. Barómetros de mercurio

Es un instrumento que mide la presión atmosférica mediante la altura de una columna de mercurio. Consiste en un tubo de vidrio que está cerrado por la parte superior y abierto por la parte inferior. El tubo se llena de mercurio y se sumerge el extremo abierto en un recipiente lleno de mercurio (*Figura **16***). La presión atmosférica empuja el mercurio en el tubo para equilibrar la presión del mercurio con la presión atmosférica. La altura del tubo se mide en milímetros, y al ser la presión del mercurio directamente proporcional, la presión atmosférica se lee directamente del tubo.

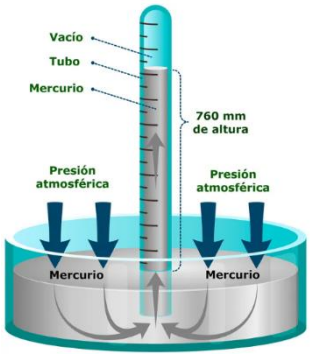


Figura 16. Esquema funcionamiento barómetro de mercurio

2.5.2. Sensores de presión piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico se refiere a la capacidad de algunos materiales de generar una carga eléctrica cuando se le aplican fuerzas [17]. Este sensor este compuesto de un material como el cuarzo o cerámica (*Figura **17***). Cuando se le aplica presión, genera una carga eléctrica que es directamente proporcional a la presión aplicada. Tienen un amplio rango de operación y son de gran precisión, sin embargo, son sensibles a la temperatura.

Figura 17. Sensor piezoeléctrico de presión BIlinli

2.5.3. Sensores de presión de silicio

Utilizan el fenómeno piezorresistivo [18], que consiste en cambios en la resistividad eléctrica del silicio debido a deformaciones mecánicas. Aplicando presión al silicio (*Figura **18***), varia su resistencia, este cambio nos permite determinar la presión ejercida.

Figura 18. Sensor de presión de sicilio Endevco Model 8540

2.5.4. Sensores de presión de película delgada

Estos sensores tienen una fina capa de material para medir los cambios en la presión (*Figura **19***). Utilizan las variaciones en las propiedades mecánicas y eléctricas de la película cuando se le ejerce una presión para determinar su valor [19]. Lo más utilizados son, materiales piezorresistivos, en el que analiza la variación en su resistividad eléctrica, y materiales capacitivos, en el que medimos la capacitancia eléctrica entre dos placas paralelas de las cuales en una se ejerce la presión.

Figura 19. Sensor de presión de película delgada RP-C18.3 ST

2.5.5. Sensores de presión de fibra óptica

Existen varios métodos para medir la presión en determinadas secciones de la fibra óptica, Las técnicas más comunes son, OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo) que mide el tiempo que tarda un pulso de luz en volver después de ser enviado a lo largo de la fibra óptica (*Figura **20***) Si se aplica presión en un punto, el tiempo que tarda en regresar el pulso varia, por lo que, midiendo la variación de tiempo, se puede calcular la presión ejercida. Las fibras ópticas de Bragg son regiones de la fibra donde la periodicidad de la estructura cambia, aplicando presión en estas regiones modifica las propiedades de la periodicidad, midiendo la dispersión de Bragg determina la presión.

Figura 20. Sensor de presión óptico Althen Sensors & controls

2.6.Sensor humedad

2.6.1. Higrómetro de resistencia

Mide la humedad del aire según la variación de la resistencia eléctrica de un material higroscópico (*Figura **21***), el cual es un elemento sensible a la humedad. Tiene la capacidad de absorber y liberar moléculas de agua en función de la humedad del entorno, debido a esto, el volumen varía, y por lo tanto su resistencia eléctrica.

Figura 21. Higrómetro de resistencia HR-31

2.6.2. Higrómetro capacitivo

Tiene dos electrodos separados por un material dieléctrico sensible a la humedad. El material dieléctrico absorbe o libera moléculas de agua variando así su constante y por lo tanto la capacitancia del sensor (*Figura **22***). Mediante un proceso de calibración, convertimos la capacitancia en humedad relativa.

Figura 22. Higrómetro capacitivo AZ-Delivery V1.2

2.6.3. Higrómetros de Polímero conductor

Se basan en la propiedad de ciertos polímeros conductores capaces de cambiar la conductividad eléctrica en función de la humedad presente. La relación es directamente proporcional, a mayor conductividad, mayor será la humedad en el ambiente.

2.6.4. Higrómetros de absorción

Cuando el material absorbe agua, experimenta un cambio en sus propiedades físicas. La medición del cambio de estas propiedades se analiza junto con la cantidad de agua absorbida para obtener la humedad relativa.

2.6.5. Higrómetros de condensación

Mide la humedad del aire mediante la detección del punto de rocío (*Figura **23***), la temperatura en la cual el aire satura con vapor de agua y empieza a condensar. Este higrómetro enfría una superficie hasta que se produce la condensación, se detecta a la temperatura a la cual se produce el punto de rocío y se relaciona la temperatura obtenida con la humedad relativa [36]. Cuanto más alta la temperatura mayor es la humedad relativa.

Figura 23. Higrómetro de condensación IberFluid Instruments

2.7.Paneles Solares

2.7.1. Paneles fotovoltaicos

Estos paneles están compuestos por células fotovoltaicas (*Figura **24***) que son dispositivos semiconductores que generan electricidad cuando la luz incide sobre ellas [16]. El material más común es el silicio cristalino. Las células, se conectan entre sí en los paneles para aumentar la capacidad de generación eléctrica, se pueden conectar en serie para aumentar el voltaje o en paralelo para aumentar la corriente. Estos paneles suelen tener un marco que proporciona una estructura de soporte y una capa de vidrio templado que protege las células.

Figura 24. Panel Fotovoltaico

2.7.2. Paneles monocristalinos

Están compuestos por bloques individuales de silicio monocristalino (*Figura **25***) que se obtiene mediante un proceso de fusión y cristalización que produce un cristal con gran pureza. El rendimiento de este tipo de paneles es bastante elevado sin embargo el coste de producción es mayor.

Figura 25. Panel monocristalino SM20M Cellevia Power

2.7.3. Paneles policristalinos

Las celdas están fabricadas con silicio policristalino. El silicio se funde y se coloca en moldes para obtener las celdas que se observan en la (*Figura **26***). Debido a este proceso el rendimiento es ligeramente inferior al de los paneles monocristalinos pero el coste de producción es menor.

Figura 26. Panel solar policristalino JWS

2.7.4. Células solares de capa fina

Utiliza materiales semiconductores depositados en capas delgadas para generar electricidad a partir de la luz solar. La característica más significativa de estos paneles es la flexibilidad (*Figura **27***), lo que puede facilitar la integración en lugares curvos [23]. Debido a que usa una cantidad de material muy reducido su coste de producción es inferior al de los paneles solares convencionales.

Figura 27. Panel solar capa fina BougeRV

Una vez descritos los sensores y sus variantes, se dispone de un conocimiento teórico para poder elegir los sensores adecuados para este proyecto.

- Veleta: Las veletas a considerar en este proyecto serian la veleta electrónica y la ultrasónica, ambas tienen alta precisión para marcar la dirección del viento y tienen la posibilidad de integrarse en un circuito, un sensor ultrasónico sería mejor debido a la ausencia de partes mecánicas que se deterioran con el tiempo sin embargo su precio es bastante mayor.

- Anemómetros: Similar a las veletas, las que más destacan a la hora de realizar este proyecto son los anemómetros eléctricos y ultrasónicos, ambos con capacidad de conectarse al circuito eléctrico y con rangos de velocidad adecuados para medir la velocidad del viento hasta 250 kilómetros por hora.

- Pluviómetros: El pluviómetro que se requiere tiene que poder vaciarse automáticamente y tener la posibilidad de conectarse al circuito eléctrico Por ello el pluviómetro que se escogerá es el de cilindro basculante que dispone de un sensor que se programará y utilizará para medir la precipitación.

- Sensor de temperatura: Se requiere un sensor para medir la temperatura ambiente por lo que no se necesita un rango muy alto o bajo de temperaturas, se necesita que sea de un tamaño reducido puesto que todo el sistema electrónico tiene que estar en el interior de una caja de protección y además tiene que ser compatible con la interfaz de comunicación, los sensores a considerar en este proyecto serian o una termorresistencia o un termistor.

- Sensor de presión: Se requiere un sensor para medir la presión atmosférica por lo que es necesario un rango desde cientos de hectopascales a miles de hectopascales (de 800 a 1200 hectopascales), que pueda ser integrado en el circuito eléctrico y que tenga habilitadas las comunicaciones. Por estos motivos se consideran el sensor piezoeléctrico, sensor de película delgada y sensor de presión de silicio, estos sensores son compactos, y tienen la posibilidad de comunicarse a través del microcontrolador.

- Sensor de humedad: Se necesita un sensor que pueda medir la humedad en el ambiente, se requiere que funcione con bastante precisión en un entorno muy húmedo como es Asturias, que pueda ser integrado al resto del circuito y que sea compacto. Los higrómetros a tener en cuenta serán el higrómetro de resistencia y el higrómetro capacitivo.

- Panel Solar: Se busca un panel solar que sea capaz de alimentar el circuito y cargar la batería para que tenga suficiente autonomía. Se descarta el panel de película delgada ya que debido a ser tan endeble no lo hace adecuado para estar expuesto a las condiciones meteorológicas adversas. El panel a elegir puede ser monocristalino o policristalino y será elegido en función del voltaje y la corriente que puedan suministrar.

2.8. Comunicaciones LoRa

El desarrollo de LoRa en 2015 marcó una gran diferencia en el medio de transmisión de datos. La capacidad de esta tecnología de comunicación inalámbrica de proporcionar un gran alcance, baja potencia, y soportar un número elevado de dispositivos conectados, ha tenido un impacto relevante en diversas áreas, incluido el monitoreo de las condiciones meteorológicas.

El estudio de las condiciones meteorológicas ha sido siempre de vital importancia:

1) Informar a la sociedad de las condiciones meteorológicas de su entorno para prepararse de próximos eventos climáticos.

2) Impacto en la seguridad pública, alertar a la población y planificación de métodos de actuación en condiciones meteorológicas muy extremas.

3) Tener un conocimiento de las condiciones meteorológicas es crucial en la agricultura para tomar decisiones sobre la siembra y cosecha y como crecerán los cultivos.

4) La industria energética, mayormente las energías renovables, requieren saber qué condiciones meteorológicas hay en el entorno para determinar la eficiencia de la planta energética.

5) Planificación Urbana y construcción, Las condiciones climáticas influyen tanto en el diseño de edificios como la gestión de zonas urbanas.

Si combinamos esta tecnología de transmisión de datos de largo alcance con el estudio de climatología, obtenemos estaciones meteorológicas que pueden ser instaladas en zonas remotas o de acceso limitado con un consumo muy reducido y de bajo coste de mantenimiento.

3. Diseño e implementación

Habiendo establecido un conocimiento teórico previo, la situación actual de la tecnología utilizada en este proyecto y las ventajas que se obtienen. se explicará de la forma más concisa como se puede llevar a cabo la fabricación e instalación de la estación meteorológica.

El diseño propuesto se separa en dos partes bien diferenciadas, diseño de hardware y diseño de software.

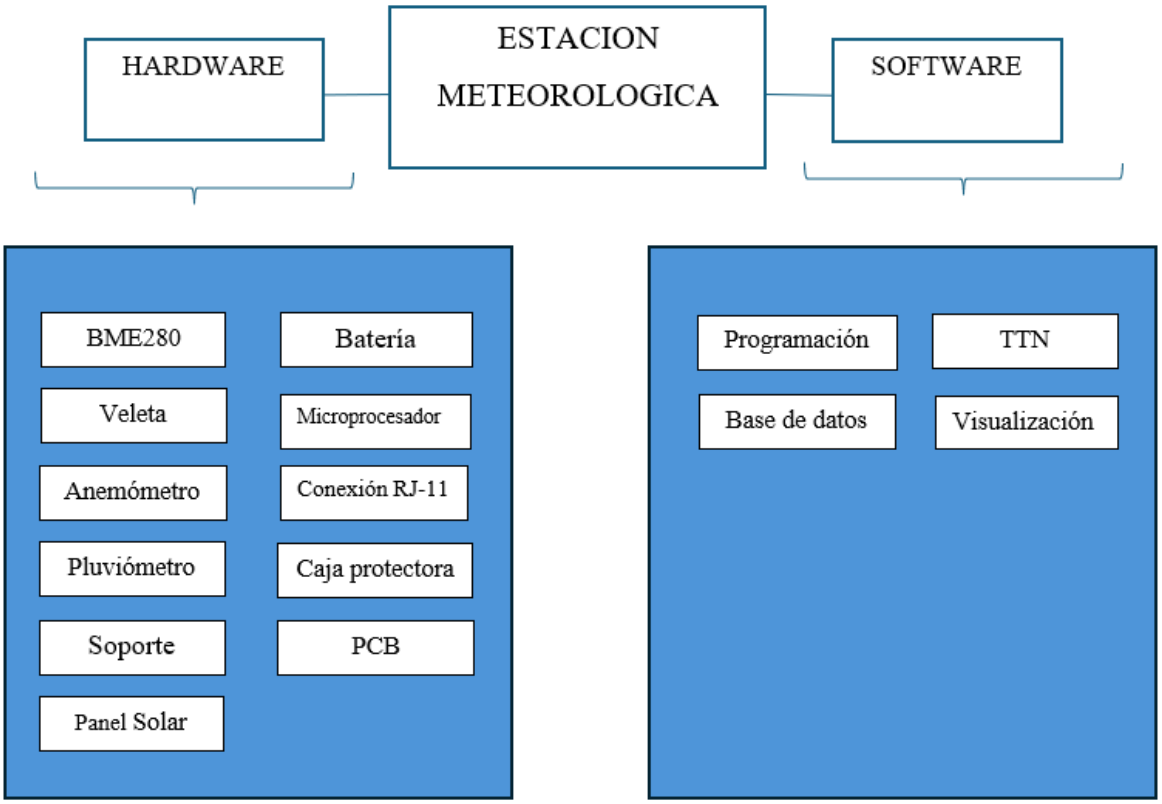
3.1. Características técnicas y funcionales

La estación meteorológica diseñada contara con las siguientes características:

- Anemómetro y Veleta para la medición de la velocidad y dirección del viento.
- Sensores de temperatura humedad y presión.
- Pluviómetro para la medición de la precipitación.
- Gestión de consumo de la electrónica.
- Conexión con red LoRa.
- Almacenamiento en base datos.
- Visualización de datos en tiempo real.
- Instalación de paneles solares para carga de la batería.

El objetivo de este proyecto es obtener medidas lo más precisas posibles de las condiciones climatológicas en cualquier punto de la escuela politécnica y poder visualizarlas desde donde queramos. También dispondremos de históricos, puntos máximos y mínimos para poder analizar los patrones y tendencias.

3.2. Composición básica del sistema



Esquema 2. Elementos que componen la estación meteorológica

3.3.Hardware

Primero, se explicará en detalle las partes físicas que componen la estación meteorológica y su funcionamiento.

3.3.1. Sensor BME280

El sensor BME de la *Figura **28*** es un dispositivo de medición de presión barométrica, temperatura y humedad [27].

El sensor de presión integrado en el BME es un sensor piezoeléctrico que genera una carga eléctrica que podemos convertir a presión atmosférica en hectopascales. La presión medida también es utilizada para calcular la altitud.

El sensor de temperatura es un sensor resistivo, en específico un termistor NTC, su resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura. Mide la temperatura ambiente con gran precisión en grados Celsius o Fahrenheit según la configuración.

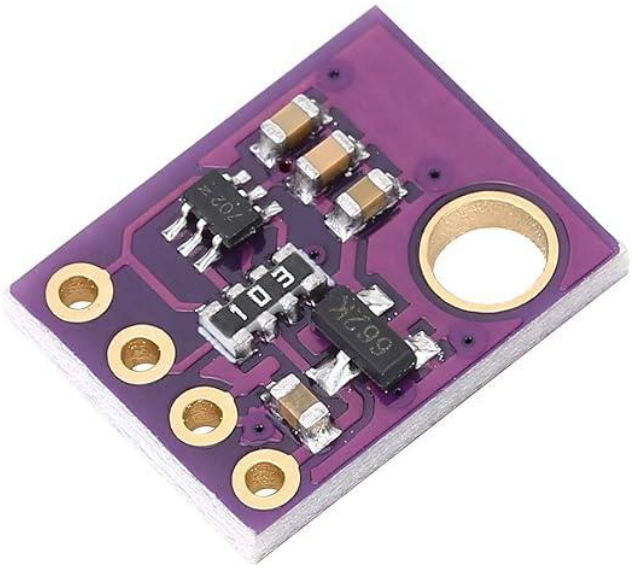


Figura 28. AZDelivery GY-BME28

El sensor integrado para medir la humedad es un higrómetro capacitivo. Mide la humedad relativa del ambiente y proporciona información sobre la cantidad de vapor de agua en el aire expresada en forma de porcentaje.

Además, cuenta con interfaz de serie I2C para realizar las comunicaciones y dispone de una dirección específica para el sensor.

El sensor tiene un regulador de voltaje integrado LM6202 por lo que tiene un rango de operación de 3.3 a 5 voltios.

Este sensor es ideal para ser utilizado en el proyecto, contiene los 3 tipos de sensores de una manera compacta y cuenta con comunicaciones para poder transmitir datos.

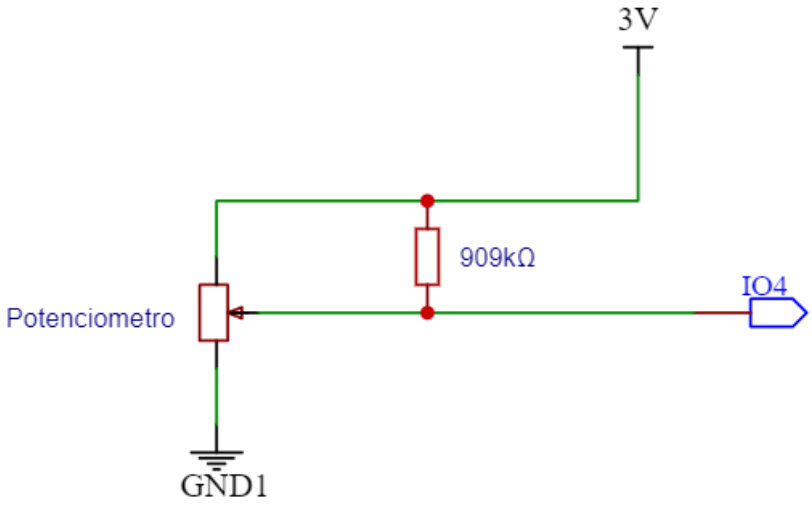
3.3.2. Veleta

Es una veleta electrónica que consta de una flecha delgada que apunta en la dirección del viento y está montada sobre un eje que le permite girar libremente (*Figura **29***). Este dispositivo incorpora componentes electrónicos. A medida que la flecha gira en respuesta a las corrientes de aire, se detecta el movimiento y se proporciona una señal que puede ser utilizada para monitorear la dirección del viento.

Figura 29. Veleta electrónica Davis

El circuito encargado de medir la dirección del viento que se muestra en el *Esquema **3*** cuenta con un potenciómetro de 20 kilo ohmios. Cuando le llega tensión en uno de los extremos, el deslizador mecánico del potenciómetro proporciona un voltaje proporcional a la posición angular de la veleta. Las 3 líneas del circuito se distinguen claramente. La primera línea, destinada a la tensión de entrada, proporciona una tensión de 3 voltios al potenciómetro. La segunda línea, es el cable de salida, que transmite la señal que

indica la dirección del viento. Finalmente, la tercera línea es el cable de masa que establece una referencia de potencial para el circuito.



Esquema 3. Esquemático Veleta

Como el potenciómetro para medir la dirección del viento es circular, hay que tener en cuenta el paso de 20 kilo ohmios a 0 ohmios, es necesario colocar una resistencia con un valor elevado, en este caso, de 909 kilo ohmios para que la veleta siga proporcionando un voltaje mientras pasa por estos límites del potenciómetro. La función principal es asegurar que la tensión de salida no se pierda cuando la veleta pasa por los límites del potenciómetro, donde su resistencia es momentáneamente cero, cuando la veleta se encuentra en tos limites, la tensión resultante en la salida indica que la flecha apunta en la dirección norte.

3.3.3. Anemómetro

Es un anemómetro electrónico que aparte de las paletas para obtener la velocidad del viento contiene un circuito en su interior (*Figura **30***). Este circuito se compone de un relé reed y dos resistencias SMD de 47 ohmios para limitar la corriente cuando se cierra el relé.

Figura 30. Anemómetro Davis y circuito interno

El circuito funciona inicialmente con el anemómetro conectado a la tensión a través de una resistencia de pull-up que nos asegura la tensión de 3V y protege contra cortocircuitos como se muestra en el (*Esquema **4***). Cuando el anemómetro empieza a girar, una vez por vuelta el interruptor reed se cierra y el anemómetro se conecta a tierra, dando así un pulso desde la tensión (VCC) hasta tierra (GND).

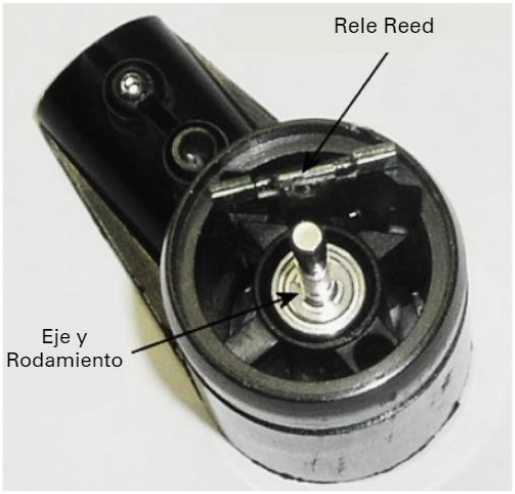
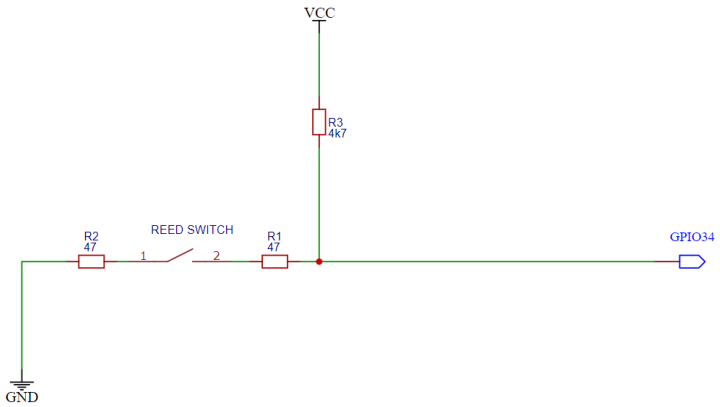


Figura 31. Estructura interna del anemómetro

Podemos calcular la velocidad del viento según los pulsos que se producen en un determinado tiempo.



Esquema 4, Esquemático Anemómetro

3.3.4. Pluviómetro

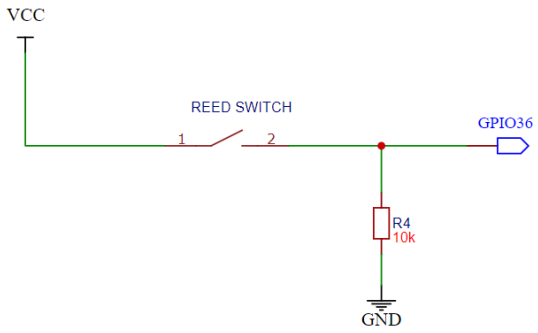
El pluviómetro utilizado en la estación es un pluviómetro de cilindro basculante que se compone de dos partes diferenciadas. La primera, es la estructura, se trata de un cubo colector de lluvia que contiene puntas en la parte superior y un filtro en la parte inferior para evitar que se depositen los residuos (*Figura **32***) en la parte interior contamos con una cubeta más pequeña que se llena con la precipitación y bascula cuando llega a su límite.

Figura 32. Pluviómetro Davis

La parte electrónica funciona con un relé reed. Mientras la cubeta interior no desborde, el circuito está conectado a tierra. Una vez la cubeta se llena de precipitación y desborda se cierra el rele reed, conectando el pluviómetro a tensión y dando así, un pulso desde 0 voltios (GND) a tensión (VCC) *Esquema **5***.

Figura 33. Cubeta del pluviómetro

Midiendo la distancia entre pulsos del pluviómetro podemos calcular los milímetros por hora que caen de lluvia en un determinado tiempo.



Esquema 5. Esquemático pluviómetro

La configuración es similar a la del anemómetro, pero en lugar de tener una resistencia de pull-up tiene una resistencia de pull-down que asegura tener 0 voltios cuando el relé está abierto, cuando se cierra el relé se obtiene un pulso de 3V en el puerto 36.

3.3.5. Batería

La pila 18650 que se observa en la *Figura **34*** se utiliza para alimentar todo nuestro circuito. Es una célula recargable de ion de litio eficiente y compacta. Cuenta con las siguientes características [38]:

- Voltaje nominal de 3.6 voltios.
- Voltaje de corte de carga 4.2 voltios.
- Voltaje de corte de descarga 2.5 voltios.
- Capacidad nominal: Es la cantidad de carga eléctrica que la pila puede suministrar durante un periodo de tiempo expresado en miliamperios hora, en el caso de esta pila: 2800 [mAh].
- Corriente máxima de descarga: 10 amperios.

Figura 34. Pila de ion litio 18650

El consumo de la estación meteorológica se explicará en detalle más adelante, pero por ahora sabiendo que la estación gasta de media 46.4 [mA] a la hora y sabiendo que la la capacidad de la pila es de 2800 [mAh] se estima una duración de 60 h de la carga de la batería concluyendo que la batería 18650 tiene la suficiente capacidad y es una forma eficiente y económica de suministrar la estación meteorológica durante mucho tiempo.

Además, se dispone de un dispositivo llamado "18650 battery shield" [39] (*Figura **35***), el cual protege la pila contra sobretensiones y sobrecargas. También permite conectar los paneles solares a la batería con mayor facilidad.

Un parámetro que hay que tener en cuenta al momento de alimentar el circuito es el voltaje de referencia. En la placa elegida, el voltaje de referencia es dependiente del voltaje de alimentación. Para un voltaje de alimentación de 5V el voltaje de referencia en nuestro circuito es de 3V. Para conseguir 5 voltios este dispositivo cuenta con convertidores elevadores "Step-Up".

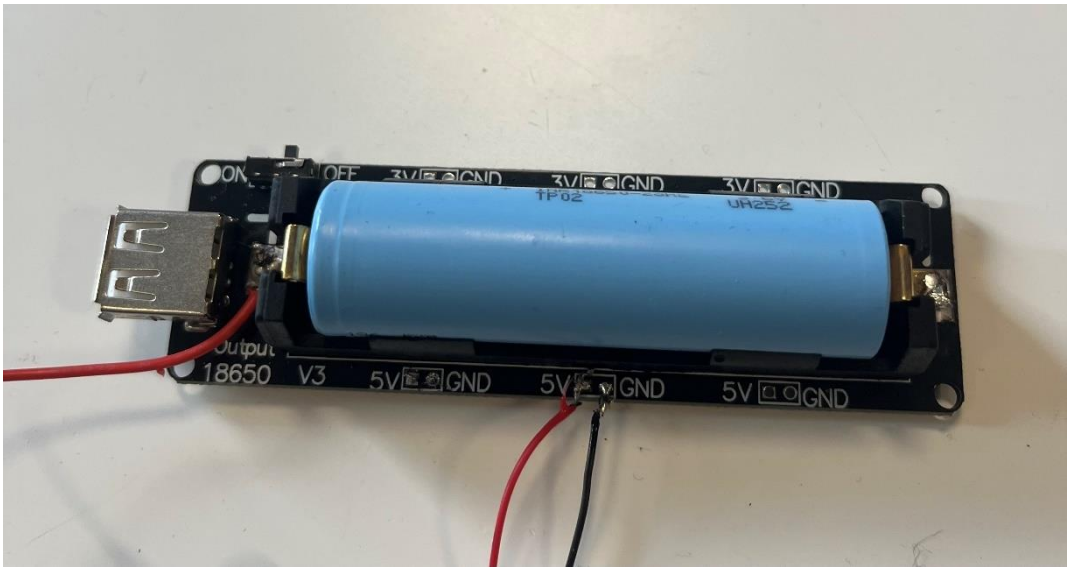


Figura 35. AZ-Delivery 18650 Battery shield

Además, dispone de conexión USB para poder conectar con facilidad los paneles solares al circuito.

3.3.6. Panel Solar

El panel solar utilizado (*Figura **36***) para alimentar el circuito se trata de un panel monocristalino con un voltaje de salida de 5V [40]. Esta elección es ideal puesto que se necesitan 5 voltios para la carga de la batería y también para alimentar nuestro circuito. La corriente máxima es de 1 amperio, la cual es suficiente. Una característica muy importante de este panel es que tiene integrado un convertidor DC-DC que cumple con la función de regular y ajustar la tensión y corriente generada por el panel solar con la carga, que llega a la batería a través del puerto USB.

Figura 36. Panel solar 5v 1A Tinytronics

Considerando la climatología especifica de Asturias, caracterizada por un alto porcentaje de días nublados y lluviosos, se opta por la incorporación de un segundo panel solar para garantizar una carga adecuada de la batería incluso en las condiciones atmosféricas más desfavorables, permitiendo que el sistema continue funcionando de manera óptima incluso si los paneles no trabajan al máximo rendimiento.

3.3.7. Soporte panel solar

Las placas solares se situan sobre una extructura de metal a 45 grados para su optimo funcionamiento. El soporte del panel solar está diseñado y realizado mediante fabricación aditiva para colocarse entre el panel solar y la estructura. Se ha querido diseñar utilizando la mínima cantidad de material necesario mientras mantenemos la máxima resistencia dando lugar al modelo que se enseña en la *Figura **37***. Debido a que el panel solar está expuesto a las condiciones climatológicas externas, el material y el diseño tiene que estar preparado para aguantar estas condiciones y fuerzas externas. Finalmente se ha llegado al diseño que se presenta a continuación y el material elegido es el PETG [8], puesto que tiene excelentes propiedades mecánicas e indeformabilidad térmica.

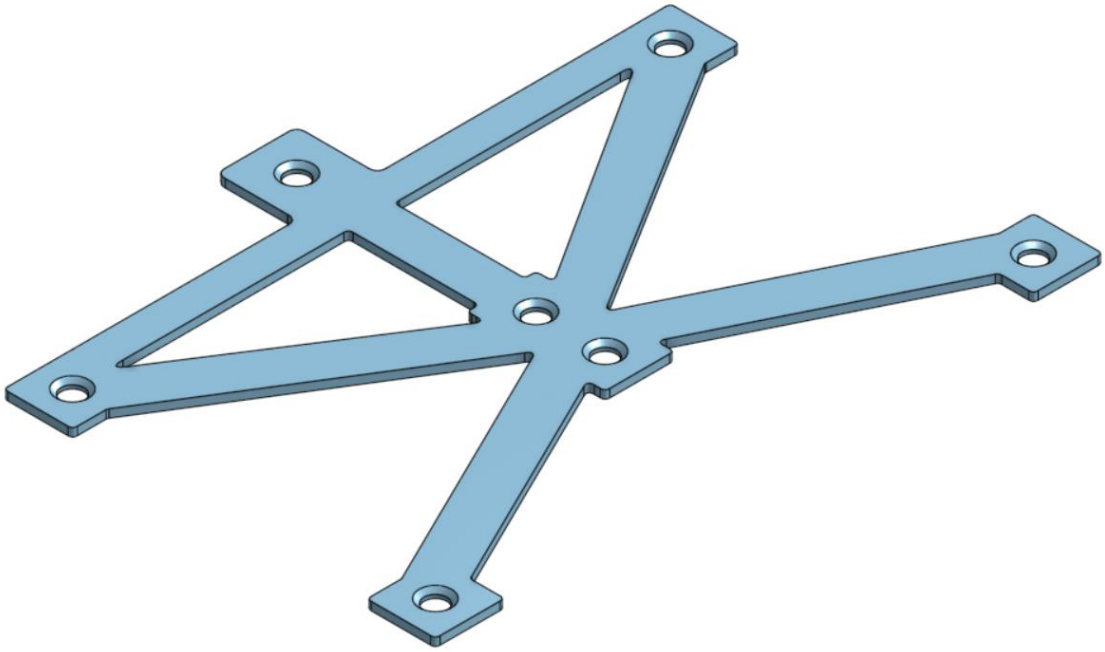


Figura 37. Soporte diseñado en OnShape

Una vez impresos, se procede a instalarlos y comprobar que los paneles están bien agarrados a la estructura (*Figura **38*** y *Figura **39***).

Figura 38. Soporte fabricado

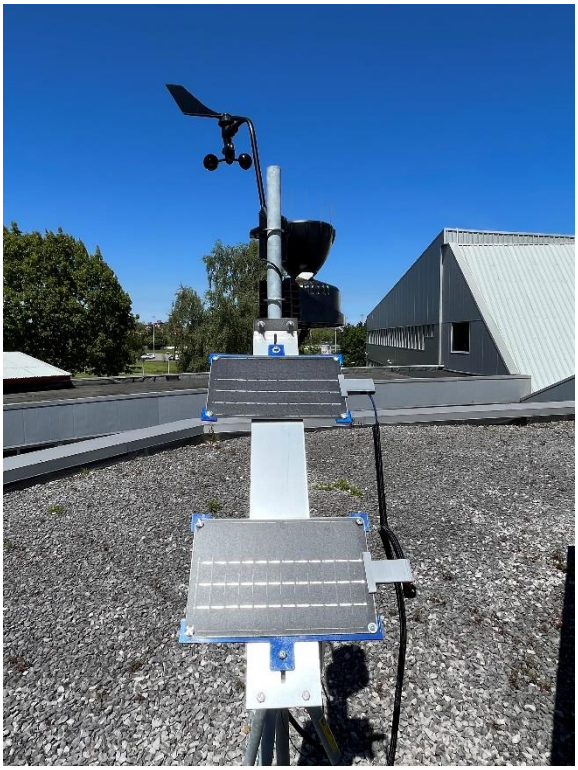


Figura 39. Montaje de los paneles solares

3.3.8. Caja PCB

Se diseña una caja a medida mediante fabricación aditiva para la PCB para mantener todos los componentes electrónicos más aislados y sobre una estructura segura. Los elementos de esta caja son los siguientes:

- Cuatro columnas a la cual se atornilla la PCB.
- Dos agujeros circulares por los cuales se insertan los cables de la veleta, anemómetro y pluviómetro y se conectan a la PCB.
- Una abertura en la pared izquierda para situar correctamente la antena del microcontrolador.
- Dos columnas en la posterior de la caja la cual tiene 4 agujeros en los que se atornilla el 18650 battery shield.

Además, se diseñan unos railes para colocar una tapa y proteger la parte frontal de la caja.

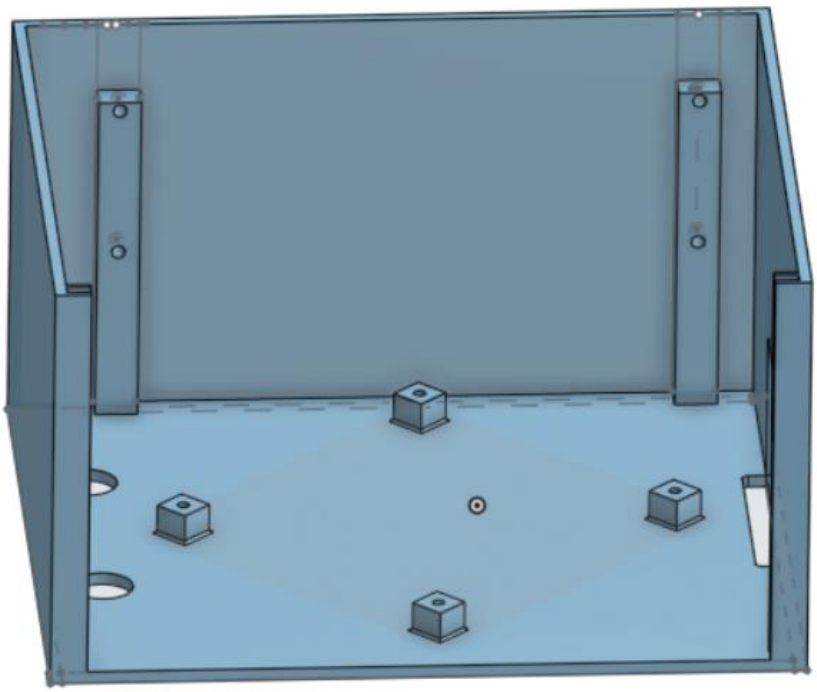


Figura 40. Caja PCB

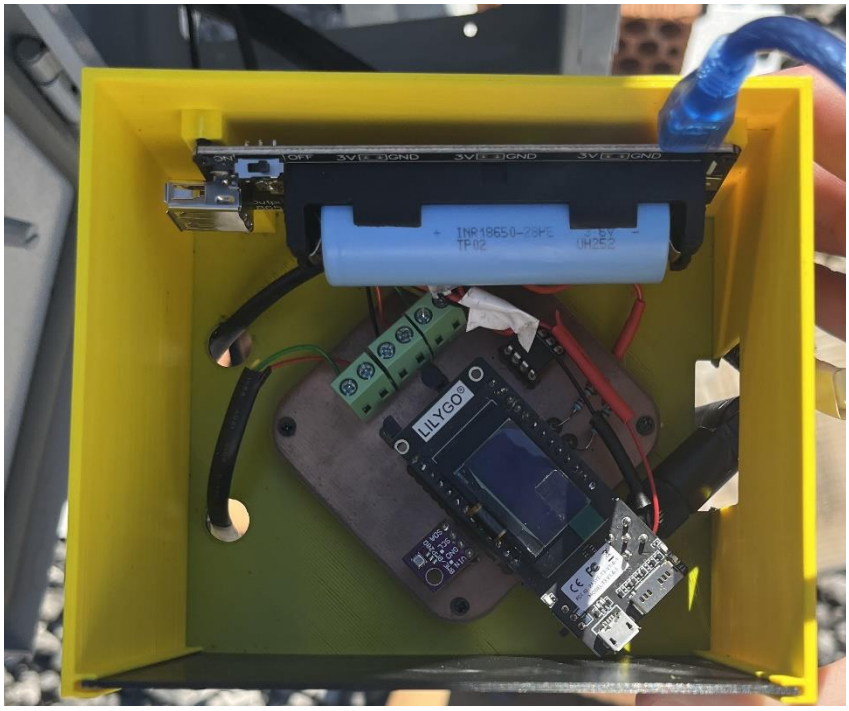


Figura 41. Caja impresa en 3D con todos los componentes colocados

Figura 42. Caja colocada en la estación meteorológica

3.3.9. Microcontrolador

El microcontrolador es una parte fundamental del proyecto, es preciso encontrar uno que pueda cumplir todos los requerimientos del resto de los componentes. Es el encargado de obtener las medidas de la estación meteorológica y el resto de los sensores y enviar la información mediante la red Lora. Los parámetros que tiene que cumplir el microcontrolador son los siguientes:

- Capacidad de ofrecer salidas con tensión de 5V para la alimentación de los componentes electrónicos de nuestro circuito.
- Capacidad de ofrecer la corriente necesaria para alimentar el circuito electrónico.

$$I_{max} = 66\ [mA]$$

- Capacidad de programar entradas y salidas digitales y analógicas.
- Capacidad de programarse con lenguajes de alto nivel, en este caso Arduino IDE, facilitando la programación del código de control, además de la existencia de librerías que permite mejorar la compresión del funcionamiento de diferentes componentes como el sensor BME280.
- Capacidad de uso del protocolo de comunicaciones I2C para el sensor BME280.
- Antena para mandar datos por radiofrecuencia.
- Modulo Lora para el envío de datos.

Inicialmente se contemplaba usar un Arduino micro para la realización de este proyecto. Debido a la implementación de las comunicaciones con LoRa no se disponía de la memoria suficiente para ejecutar el código planteado.

Existen varias opciones disponibles como un Arduino Mega, sin embargo, debido a su reducido tamaño, sus características técnicas, y el módulo LoRa integrado, finalmente, para la realización de este proyecto se ha decidido optar por el microcontrolador ESP32-

Lilygo Lora 32 (*Figura **43***), las características puedes ser extraídas de la hoja de característica del fabricante [41].

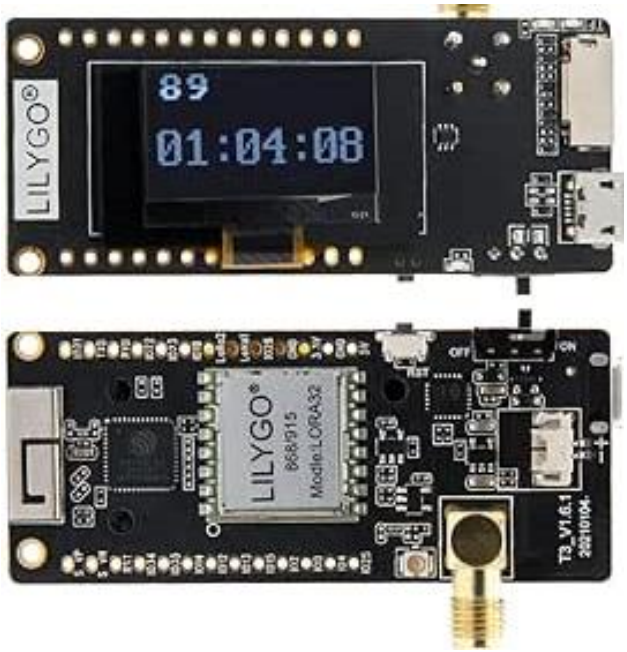


Figura 43. Lilygo Lora 32 T3 V1.6.1

- Microcontrolador: ESP 32 PICO-D4 con Wifi 2.4 GHz.
- Memoria Flash 4MB.
- Memoria SRAM 300KB.
- Modulo Lora con frecuencia de funcionamiento 868/915 MHz.
- Conector con rosca para antena SMA.
- Rango de temperatura: -40ºC ~ 85ºC.
- Conector de batería JST XH2.
- Corriente máxima de carga 500 mA.
- Comunicaciones I2C.
- Convertidores DAC y ADC.

- Ofrece corrientes hasta 1100 mA (*Tabla **1***) para alimentar los componentes de nuestro circuito [42].

Table 11: Absolute Maximum Ratings

Parameter	Description	Min	Max	Unit
VDDA, VDD3P3, VDD3P3_RTC, VDD3P3_CPU, VDD_SDIO[1]	Allowed input voltage	–0.3	3.6	V
I_{output}[2]	Cumulative IO output current	—	1100	mA
T_{STORE}	Storage temperature	–40	85	°C

Tabla 1. Parámetros ESP32

También se debe tener en cuenta el consumo del ESP32 tanto en modo funcionamiento como cuando se activa el modo "sleep" (*Tabla **2***).

- Consumo en modo activo: 45 mA.
- Consumo en modo "sleep": 10µA.

Table 15: Current Consumption Depending on Work Modes

Work mode	Description		Current consumption (Typ)
Modem-sleep[1, 2]	The CPU is powered on[3]	240 MHz	30 ~ 68 mA
		160 MHz	27 ~ 44 mA
		Normal speed: 80 MHz	20 ~ 31 mA
Light-sleep	—		0.8 mA
Deep-sleep	The ULP coprocessor is powered on[4]		150 µA
	ULP sensor-monitored pattern[5]		100 µA @1% duty
	RTC timer + RTC memory		10 µA
	RTC timer only		5 µA
Power off	CHIP_PU is set to low level, the chip is powered off		1 µA

Tabla 2. Consumo de corriente ESP32

3.3.10. Conectores RJ-11

Los conectores RJ-11 (*Figura **44***) son un tipo de conectores que se utilizan para la conexión de dispositivos de comunicación. Se caracterizan por tener entre 4 y 6 contactos. En este proyecto se usan dos cables de conexión RJ-11 de 4 contactos.

El primer conector se utiliza para conectar la veleta y el anemómetro. La funcionalidad de cada contacto es la siguiente.

- Amarillo: Tensión de entrada.
- Verde: Dirección del viento.
- Rojo: Masa.
- Negro: Velocidad del viento.

Figura 44. Conectores Rj-11

El segundo conector es utilizado para el pluviómetro. Para ello solo se necesitan dos de los 4 contactos disponibles.

- Rojo: Tensión de entrada.
- Verde: Señal de salida, conectado a masa y al microcontrolador.

3.3.11. Caja protectora

Es un componente esencial que protege la electrónica y los dispositivos de las condiciones climatológicas adversas como la lluvia, el viento, la humedad y la radiación solar. Está compuesta por un encapsulado metálico con un revestimiento de pintura anticorrosiva para proteger los dispositivos del interior y también para frenar el propio deterioro de la caja en las condiciones medioambientales del exterior como se enseña en la *Figura **45***.

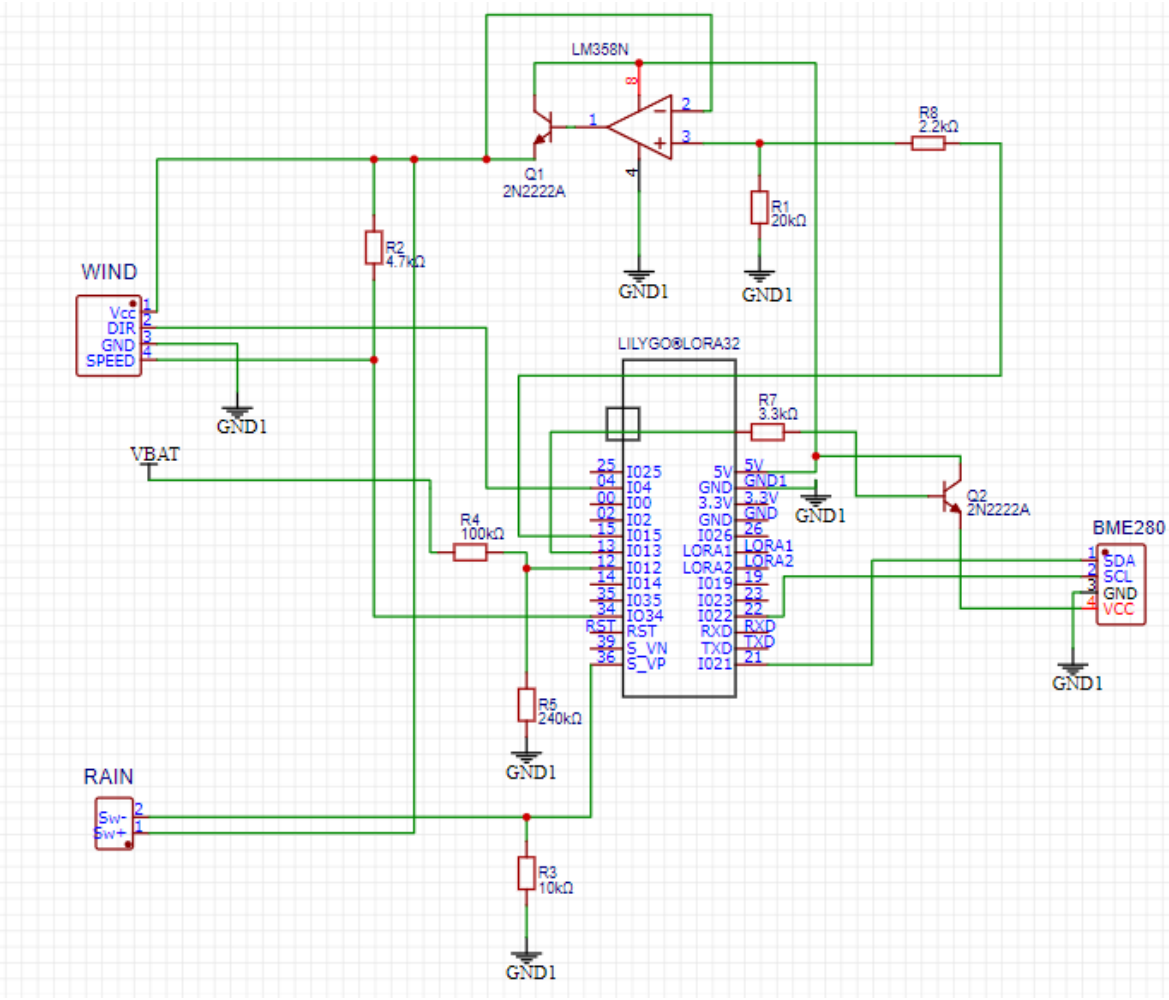
En su interior contiene una placa conectada a tierra para descargar corrientes estáticas y protección contra sobrecargas de la propia estación meteorológica.

Figura 45. Caja hermética de la estación meteorológica

3.3.12. Placa base – PCB

Todos los componentes electrónicos del sistema serán integrados en una PCB, que funcionará como medio físico de comunicación entre los diversos elementos. Este enfoque permitirá crear un conjunto consolidado, compacto y estéticamente agradable, al mismo tiempo que garantiza un rendimiento funcional.

Primero, se muestra el *Esquema **6*** con las conexiones de los elementos.



Esquema 6. Esquemático del circuito completo

Se explican en detalle las conexiones para una mejor compresión del circuito globalmente.

El GPIO15 controla la alimentación, es decir cuando se debe encender o apagar el circuito para una mayor eficiencia y ahorro en el consumo.

EL GPIO13 controla el transistor para el funcionamiento del BME280

Las conexiones del anemómetro y la veleta se realizan desde el RJ-11 denominado "WIND" a sus respectivos puertos de entrada GPIO34 para el anemómetro y GPIO 04 para la veleta, y a la alimentación.

Lo mismo ocurre con el pluviómetro, las conexiones desde el RJ-11 "Rain" a su puerto de entrada GPIO 36 y a la alimentación.

El GPIO12 es utilizado para obtener el nivel actual de la batería.

Para la comunicación del BME280 a través del protocolo I2C se necesita la conexión de los pines SDA y SCL, se conectan al microcontrolador a través del GPIO21 y GPIO22 respectivamente.

Explicado el funcionamiento de las conexiones del esquemático se puede plantear el diseño de la PCB.

Una vez seleccionados todos los elementos necesarios para el funcionamiento del circuito, diseñamos la PCB [6]. En la parte superior se colocan los conectores de la estación meteorológica, dos transistores, un amplificador operacional y dos resistencias. Dando lugar diseño de la *Figura **46*** para la cara superior.

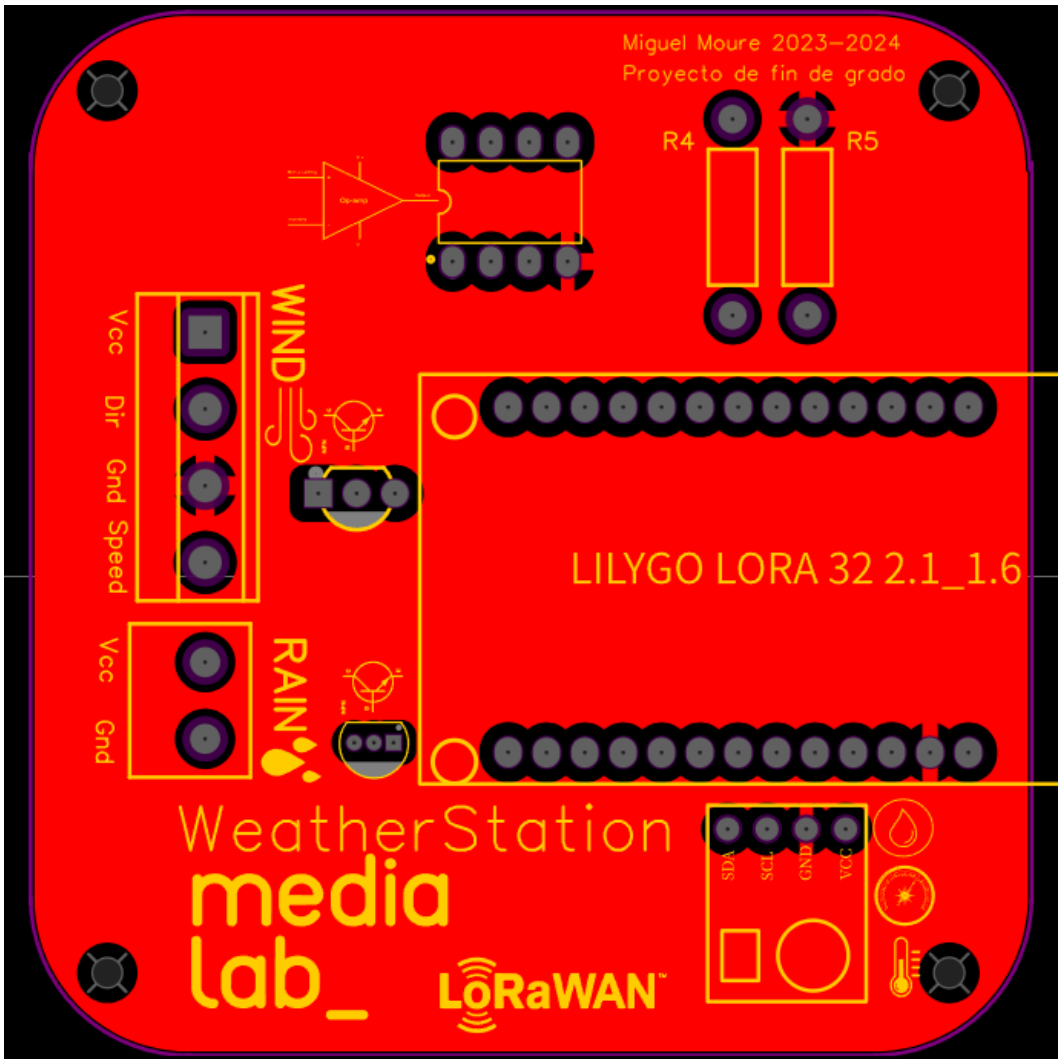


Figura 46. Cara superior PCB

Todas las resistencias necesarias para el correcto funcionamiento de los sensores van por la parte anterior de la placa de circuito impreso. Se ha optado por la utilización de resistencias SMD “Surface mount device” por varias razones: Las resistencias SMD son mucho más ligeras y pequeñas, lo que permite un diseño mucho más compacto, las características de baja inductancia de estas resistencias las hacen adecuadas para aplicaciones de alta frecuencia. Al tener conexiones más cortas, las resistencias SMD tienen una inductancia parasítica menor y al estar en contacto directo con la superficie de la PCB disipan mejor el calor. Se llega al diseño que se muestra en la *Figura **47***.

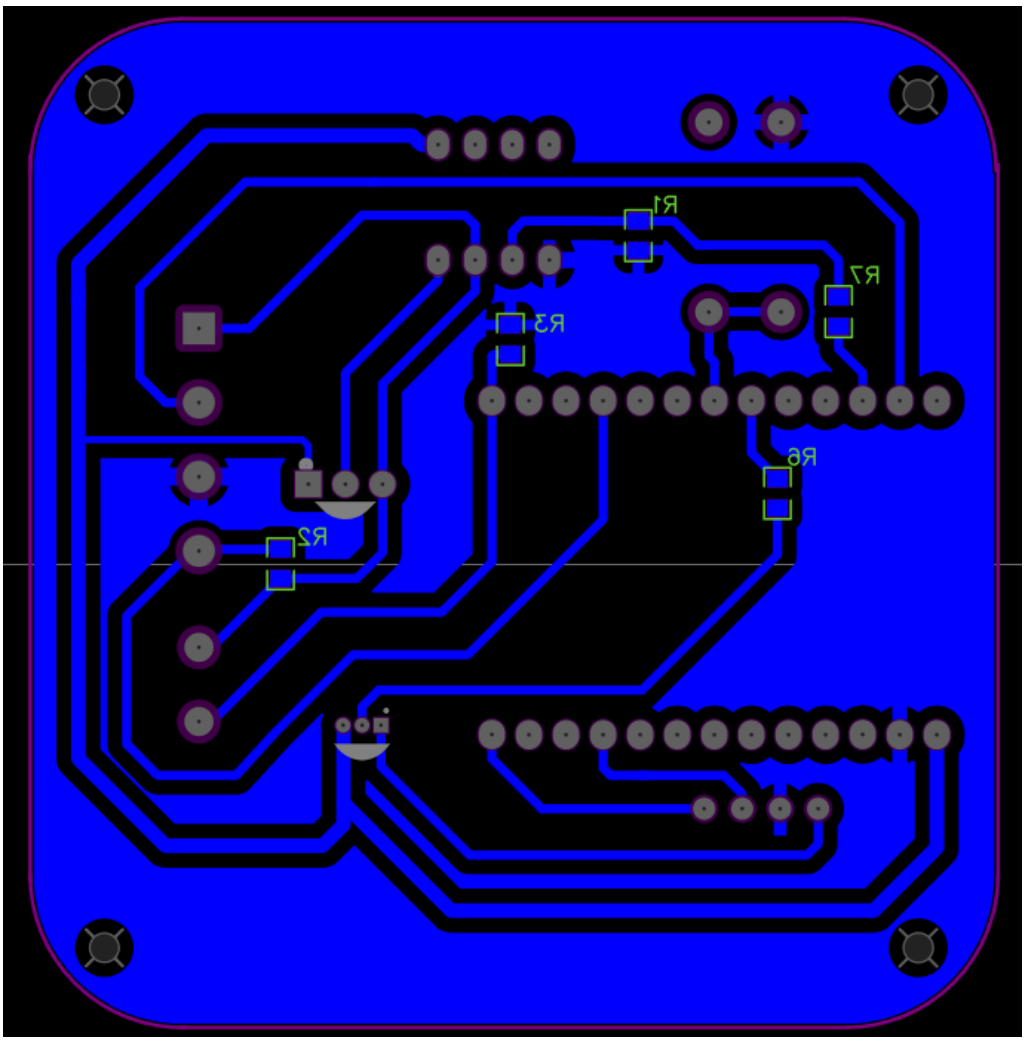


Figura 47. Cara inferior PCB

Como la placa ha sido completamente fabricada y montada en la universidad, los parámetros de diseño que se han elegido para tener más margen de tolerancia en caso de algún fallo de fabricación o de montaje son los siguientes:

- Entradas al microcontrolador o a un circuito integrado a 90 grados con la pista.
- Plano de masa lo más cercano a 2 milímetros de separación.
- Cambiar anchura de los pads, 1,524mm el diámetro y 0,254mm el agujero.
- Separación mínima entre pistas de 0,5mm.
- Grosor mínimo de las pistas 0,5mm y para las pistas de potencia 1mm.
- Resistencias SMD de tamaño 0812.

Una vez preparada la placa, se colocan todos los componentes, quedando de la manera que se muestra en la *Figura **48*** **y** *Figura **49***.

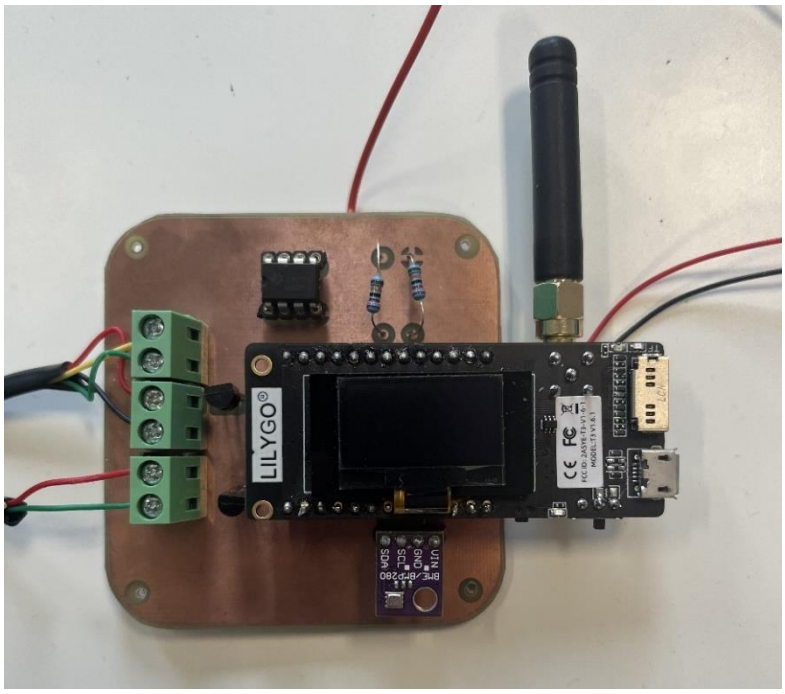


Figura 48. Cara superior una vez fabricada y montados los componentes

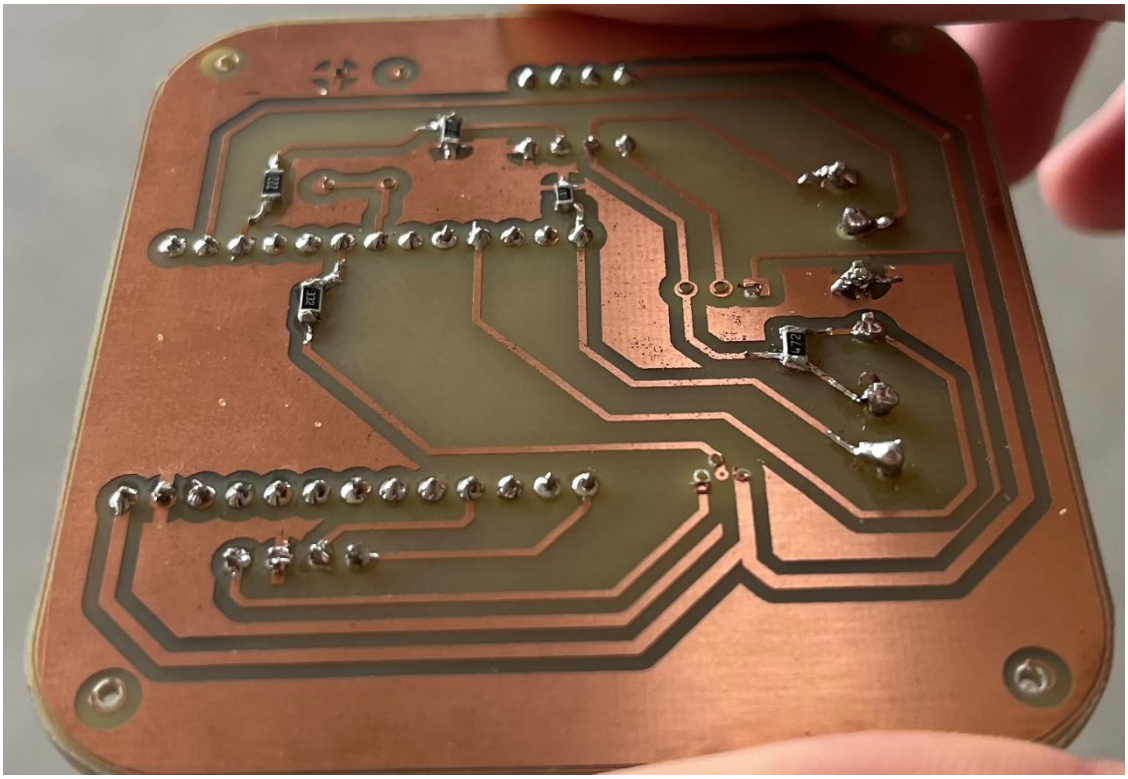


Figura 49. Componentes soldados por la cara inferior

3.4 Funcionamiento

Para explicar en profundidad el funcionamiento del sistema se dividirá en partes diferenciadas apoyadas por el esquemático eléctrico para su mejor compresión.

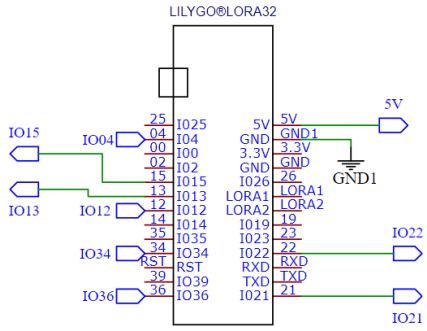
3.4.1. Microcontrolador

Del microcontrolador se necesitarán 4 salidas digitales como se indica en el *Esquema 7*:

- GPIO15: Para definir el voltaje de salida y controlar el encendido y apagado del circuito de alimentación de la estación meteorológica.
- GPIO13: Para el control del sensor BME280.
- GPIO22, GPIO21: Para implementar las comunicaciones I2C del sensor BME280.

2 entradas digitales y 2 analógicas.

- GPIO4: Entrada analógica representativa de la dirección del viento.
- GPIO12: Entrada analógica representativa del nivel de la batería.
- GPIO34: Entrada digital para medir la velocidad del viento.
- GPIO36: Entrada digital para medir la precipitación.

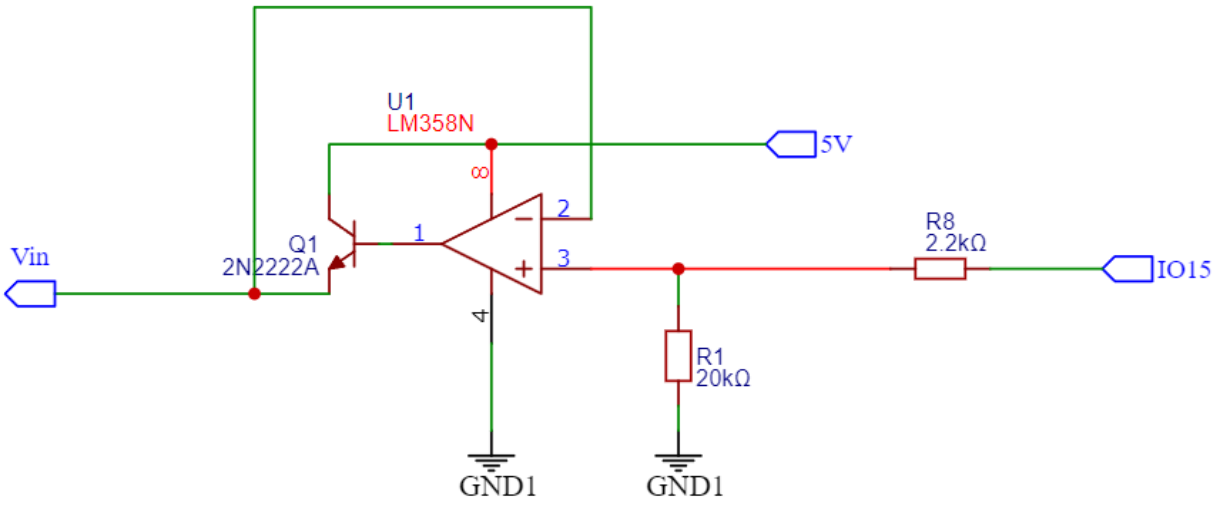


Esquema 7. Esquemático salidas y entradas del microcontrolador

3.4.2. Alimentación

El sistema de alimentación es el que se muestra en el *Esquema **8***. Como previamente se ha mencionado, para una tensión de alimentación del microcontrolador de 5V el voltaje de referencia toma como valor máximo 3V, es decir el rango del conversor ADC es de 0 a 3V. Esto plantea un problema a la hora de tomar medidas de la veleta. El potenciómetro utiliza un rango desde cero voltios hasta la tensión de entrada de la estación meteorológica para proporcionar un valor analógico. Si se conecta el potenciómetro directamente a 5 voltios, se obtienen los siguientes valores analógicos: Para 0 Voltios El valor analógico seria 0 marcando el Norte 0 grados, para 5V el valor analógico seria 4095 marcando el norte 360 grados. Sin embargo, como se ha mencionado antes, el valor máximo que puede leer el conversor ADC es de 3V. Se produce entonces una región entre 3 y 5 voltios en la que el microcontrolador no lee correctamente los valores proporcionados por el potenciómetro.

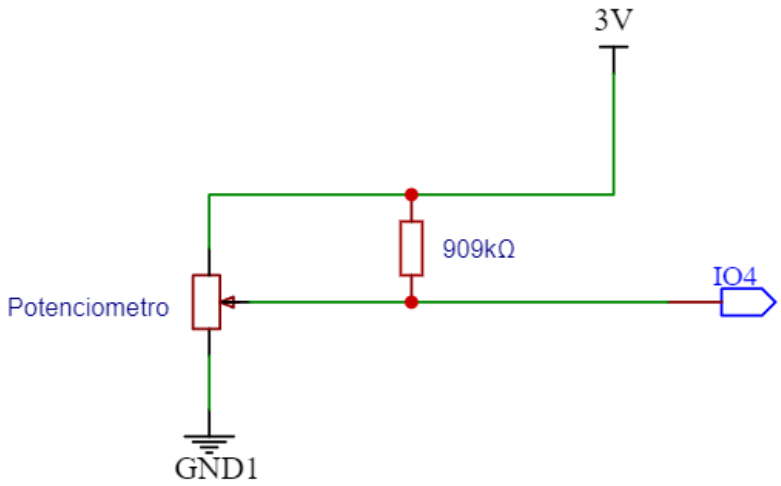
La solución planteada es utilizar el montaje de la figura, que reproduce con componentes discretos el funcionamiento de un regulador lineal para obtener 3 voltios.



Esquema 8. Esquemático del sistema de alimentación

3.4.3. Dirección del viento

La tensión de 3V obtenida según se indicó en el apartado anterior se utiliza para alimentar la estación meteorológica (*Esquema **9***). Cuando el voltaje llega al potenciómetro, este produce un voltaje proporcional que llega a la entrada analógica 04 del microcontrolador. El potenciómetro tiene valores desde 0 a 20 kilo ohmios, 0 ohmios representa el norte, y 10 kilo ohmios el sur obteniendo valores entre 0 y 3 V como se representa en la *Figura **50***.



Esquema 9 Esquemático Veleta

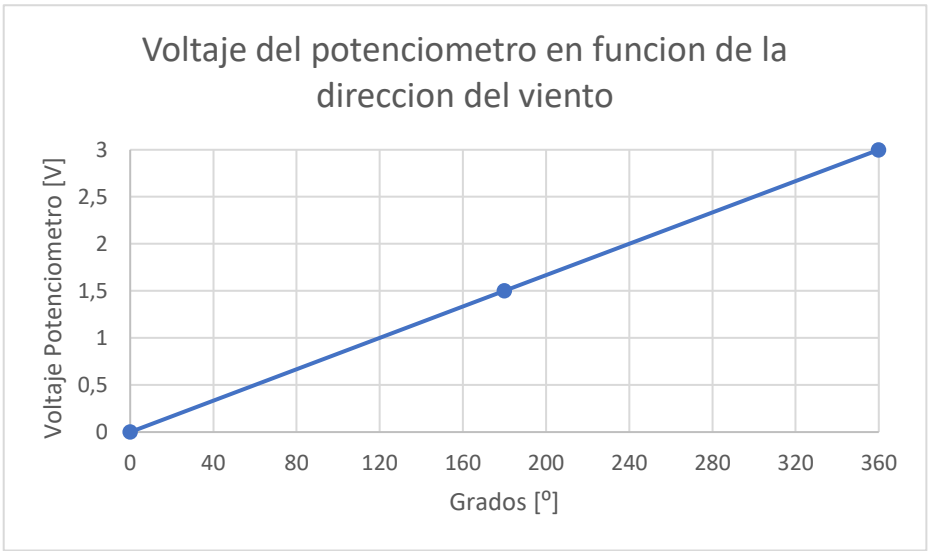
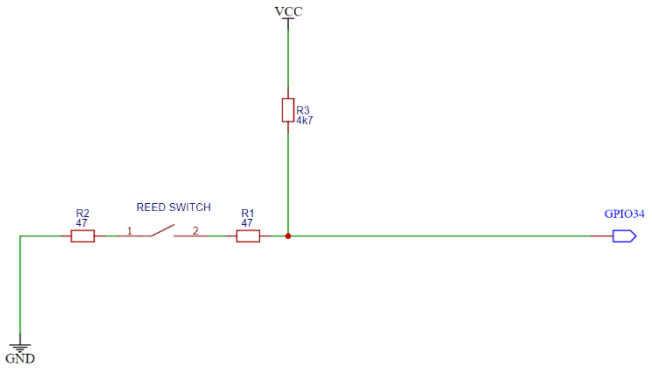


Figura 50. Valores que toma el voltaje del potenciómetro según la dirección del viento

3.4.4. Velocidad del viento

Cuando se alimenta el anemómetro a 3V como se indica *Esquema **10***, en su interior tiene un rele reed que cambia de estado con cada vuelta de las copas, generando así un tren de pulsos como en la *Figura **51***.



Esquema 10. Esquemático Anemómetro

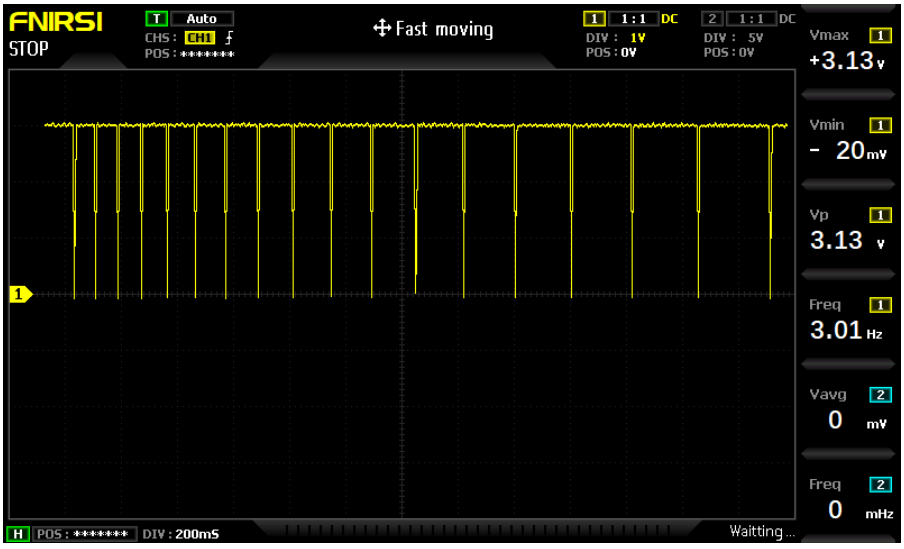


Figura 51. Pulsos del anemómetro visualizados con un osciloscopio

Podemos transformar la cantidad de pulsos en velocidad según la formula provista por el fabricante de la veleta. Siendo P el número de pulsos y T el periodo de muestreo.

$$V = P\ \frac{2.25}{T}\ [mph] \qquad (1)$$

$$V = \frac{1.61[\frac{km}{h}]}{1\ [mph]} \quad (2)$$

Podemos pasar de millas por hora a kilómetros por hora con un factor de conversión

3.4.5. Precipitación

El sistema de medir la precipitación utiliza flancos descendentes para calcular la cantidad de lluvia que cae en un determinado tiempo. Para esto, son necesarios dos pulsos, es decir, que la cubeta del pluviómetro desborde dos veces. También se especifica por el fabricante que el tamaño de la cubeta es de 0.2 milímetros de agua.

$$Precipitacion = \frac{0.2[mm]}{T[ms]} * \frac{3600000[ms]}{1\ [hr]} \quad (3)$$

Cuando se produce el primer desbordamiento y se produce un flanco descendente se inicia un temporizador, cuando se produce el segundo desbordamiento ya tenemos un intervalo de tiempo entre dos pulsos como se puede visualizar en la *Figura **52*** en el que podemos calcular la cantidad de precipitación por hora.

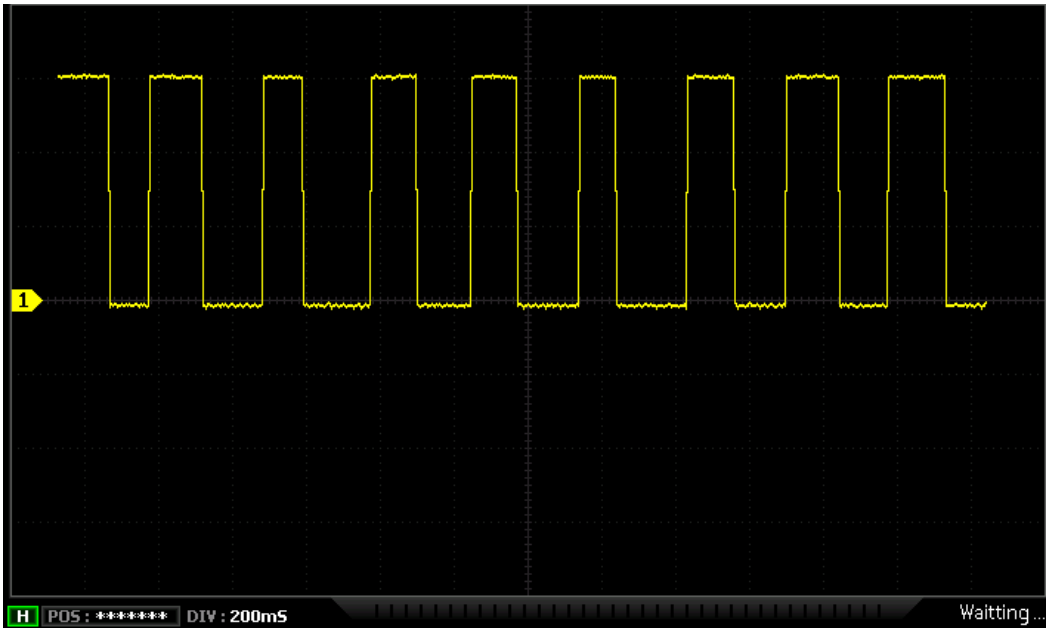


Figura 52. Pulsos del pluviómetro visualizados con un osciloscopio

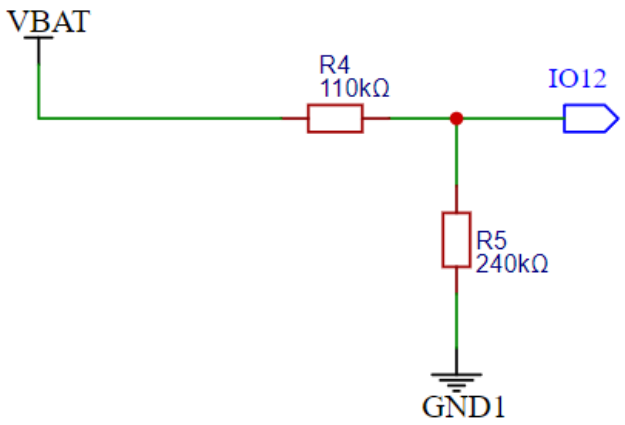
3.4.6. Nivel de batería.

Para medir el nivel de batería es preciso utilizar otro divisor de tensión debido a que el voltaje máximo que suministra la batería es de 4,2V y la referencia máxima de nuestro microcontrolador es de 3V. Para ello se usa un divisor resistivo con los valores de resistencia incluidos en el *Esquema **11***, aprovechando casi todo el rango de conversión del convertidor para obtener mayor precisión en las medidas.

$$4.2 * \frac{240\ k\Omega}{(240K\Omega + 110K\Omega)} = \ 2.88\ [V] \tag{4}$$

$$I_{loss} = \frac{3{,}7[V]}{350000[\Omega]} = 10.57\ [\mu A] \tag{5}$$

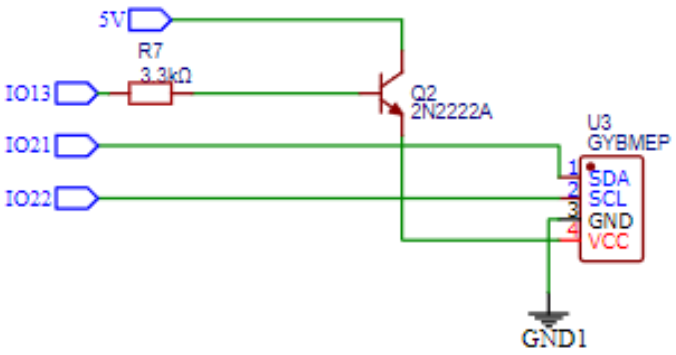
Si bien este divisor resistivo estará permanentemente conectado a la batería, los valores de resistencia elegidos hacen que la corriente que demanda sea muy pequeña (Según se recoge en la ecuación), por lo que su influencia en el tiempo de descarga de la batería es despreciable.



Esquema 11. Esquemático de la medición de batería

3.4.7. Temperatura, Presión y Humedad

El sensor utilizado nos permite la lectura de estos parámetros. El consumo del sensor es menor de 1 miliamperio mientras mide y menor de 5 microamperios cuando está en reposo. Para evitar que el sensor este midiendo continuamente se utiliza un transistor como se indica en el *Esquema **12***, cuando emitimos un pulso por el puerto digital activamos el transistor y se pone en conducción, alimentado el sensor y realizando las medidas, una vez tomadas, se pone en corte el transistor para apagar el sensor.



Esquema 12. Esquemático de las conexiones del BME 280

Para realizar las comunicaciones se utiliza el protocolo I2C (*Figura **53***), es un protocolo de comunicación serial de dos hilos utilizado para la interconexión de microcontroladores.

Las dos líneas de comunicación son SDA (Serial Data Line) y SCL (Serial Clock line) que permiten la transferencia de datos entre los dispositivos de manera bidireccional. Este sistema opera con una topología maestro esclavo [28]. El microcontrolador es el maestro, que inicia las comunicaciones y transferencia de datos y el sensor el esclavo que responde a las peticiones de envío de datos recogiendo las medidas y transfiriéndolas.

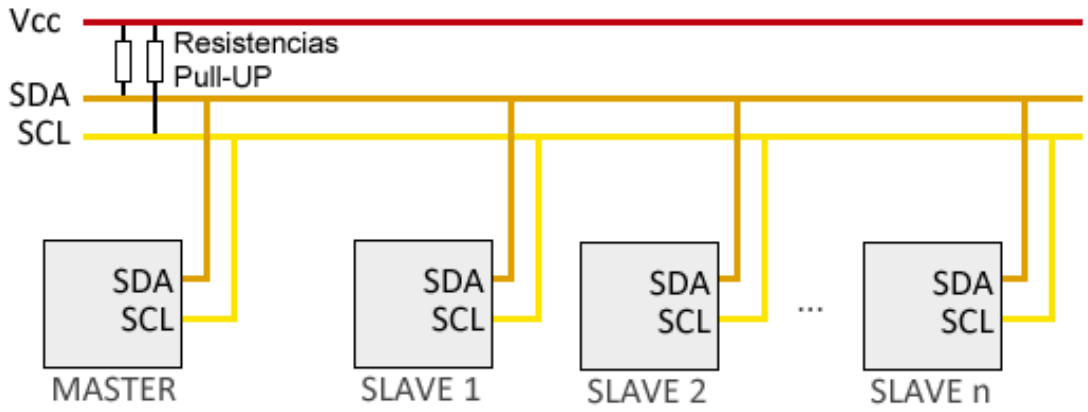


Figura 53. Protocolo de comunicación I2C

3.5.Software

El microcontrolador elegido para este proyecto es compatible con Arduino IDE, lo que nos permite tener a disposición muchos recursos y librerías lo que permite trabajar adecuadamente con todos los elementos del hardware y realizar la máxima optimalización posible del funcionamiento de la estación meteorológica.

3.5.1. Programación ESP32

El código propuesto para implementar la estación meteorológica se compone de 5 partes diferenciadas.

- Código de configuración: En él, se declaran las variables globales, las librerías necesarias y los pines de entrada y salida que se usan para conectar los sensores de la estación meteorológica y los pines necesarios del módulo LoRa.

- Seguridad: Este código se introducen las credenciales para vincular nuestro modulo Lora en la página “The things Network”.

- Sensores: Se definen todas las funciones para obtener las medidas adecuadas de la estación meteorológica y también se empaquetan en bytes todas las mediciones para ser enviadas.

- Dormir: Una de las implementaciones más significativas del programa es el modo “Sleep”, el cual hará disminuir drásticamente el consumo de la estación meteorológica al solo encender el microcontrolador para enviar datos.

- Envío de datos: Es el código principal, en el, se activan los transistores para encender y apagar nuestro circuito, se da la orden de envío de datos.

3.5.2. Red Lora con The Things Network

En la *Figura **54*** se puede observar un esquema de los elementos que componen una red Lora

1) Dispositivo con Modulo Lora emisor de datos, en este proyecto, el dispositivo Lora es la Lilygo Lora 32.

2) Gateway: Dispositivo Receptor de datos, se dispone de un Gateway ya instalado en el espacio MediaLab.

3) Servidor de Red Lora: Servidor donde quedan guardados los datos que se transfieren entre el dispositivo emisor y el Gateway, se hará uso de un servidor online llamado The Things Network.

4) Aplicaciones de usuario: Se utilizan los datos guardados en el servidor para crear bases de datos y visualizaciones, se hará uso del stack MING.

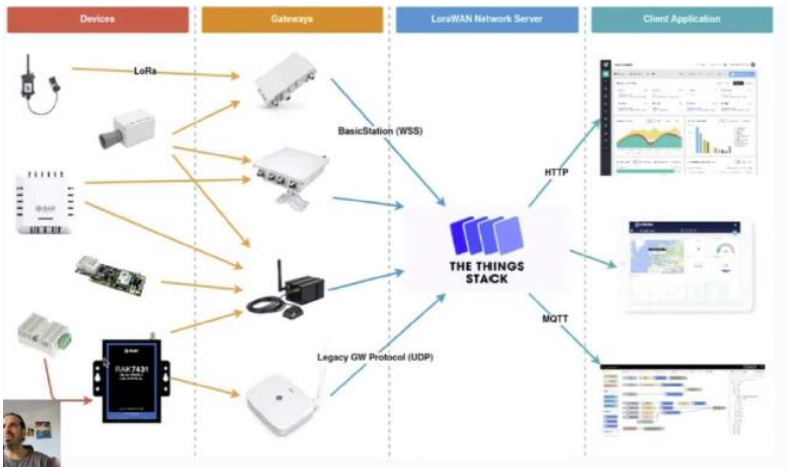


Figura 54. Esquema Red LoRa

El primer paso para crear una red Lora, es configurar el dispositivo de receptor de datos. Se utiliza un dispositivo llamado Gateway como el que se observa en la *Figura **55*** para recibir la información de la estación meteorológica.

Figura 55. MikroTik wAP Lr8 kit

Los Gateway cuentan con una antena para captar las señales con un ancho de banda de 868 MHz, que es el ancho de banda de la región europea. El modelo elegido ha sido el MikroTik wAP LR8 kit con la antena 868 Omni (*Figura **56***).

Figura 56. MikroTik 868 Omni antena

Para cablear el Gateway, se conecta la antena por conexión SMA/RP-SMA y por cable ethernet al router de internet.

Figura 57. Conexiones del Gateway

Figura 58. Gateway con antena conectado a un router de internet

Una vez tenemos el Gateway cableado y configurado como en la *Figura **57*** y *Figura **58***, se tiene que dar de alta en la página The Things Network (*Figura **60***). Para ello hay que rellenar los siguientes campos:

1) Propietario del Gateway.

2) Gateway EUI: Es el Gateway ID que se puede encontrar en la etiqueta inferior del Gateway instalado (*Figura **59***).

3) Frecuencia: Es necesario seleccionar la frecuencia. En Europa se utiliza 868 MHz debido a que tiene una buena capacidad de penetración de obstáculos como pueden ser paredes o puertas y tiene un gran alcance de señal.

Figura 59. Etiqueta del Gateway

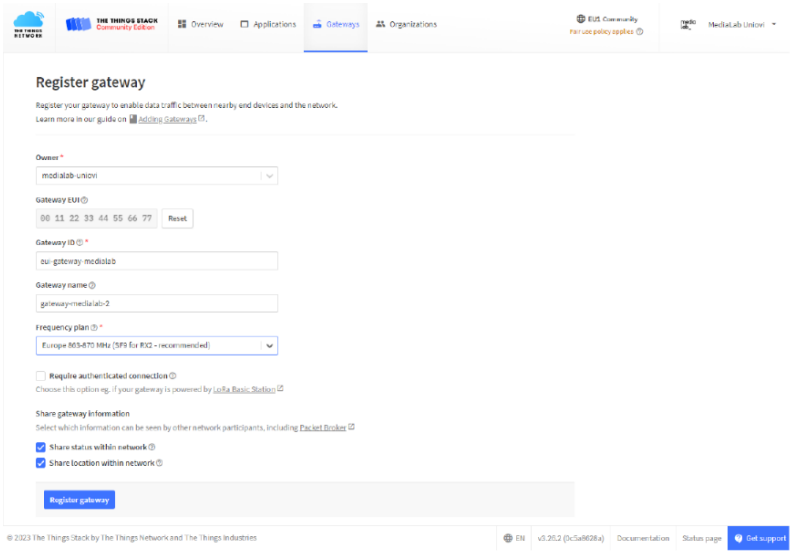


Figura 60. Menú de registro del Gateway

Una vez registrado el Gateway se tiene que registrar también la estación meteorológica en la página The Things Network (*Figura **61***).

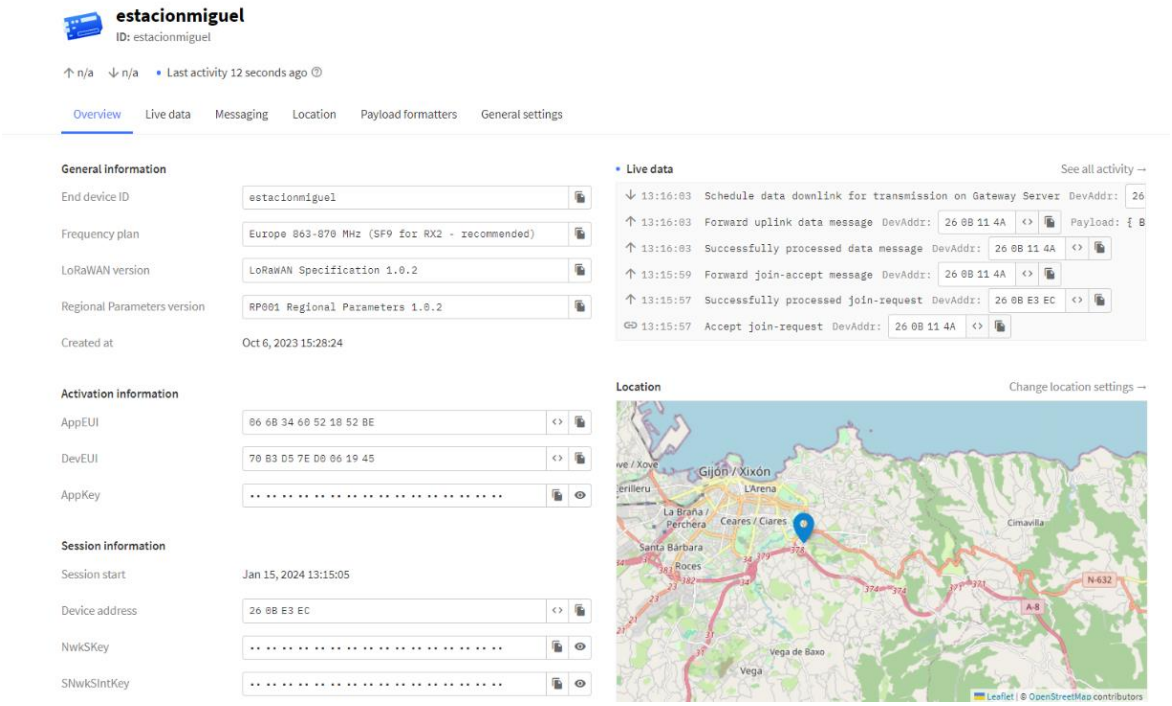


Figura 61. Menú principal de la estación meteorológica registrada en The things network

Tras registrar el dispositivo. Se generan tres credenciales:

- AppEUI: Es un identificador de 64 bits que permite que la red identifique la aplicación que recibe y manda datos.
- DevEUI: Es un identificador de 64 bits único que se asigna a cada dispositivo para ser capaz de identificarlo en la red.
- AppKey: Clave de seguridad que se comparte entre el dispositivo y la red, se utiliza para cifrar y descifrar los mensajes.

Estos tres elementos son fundamentales para establecer una comunicación segura en una red LPWAN y son las que hay que introducir en el código del microcontrolador para realizar el envío de datos. La estructura seria la siguiente:

1) El microcontrolador, en la PCB, recoge medidas claras de la estación meteorológica.

2) Se programa el código de envío de datos el cual cuenta con líneas dedicadas la introducción de las credenciales mencionadas para vincular el dispositivo LoRa al Gateway. Un factor a tener en cuenta es que el envío de información se realiza a través de bytes de información. Es necesario crear un código de codificación y descodificación en bytes para recibir correctamente los datos en The Things Network.

Para transformar los valores medidos a bytes, en primer lugar, se convierten a enteros multiplicando por potencias de 10 dependiendo de cifras decimales que se quieran representar. Una vez obtenidos los valores enteros es necesario convertirlos a bytes. Hay que tener en cuenta que en un byte puede tomar valores entre 0 y 255 y para algunos valores, como puede ser la presión que toma valores mayores a 1000 hectopascales, serán necesarios múltiples bytes. Debido a esto, el número de bytes empleado es 19. El código de conversión de los valores decimales de salida del equipamiento es el indicado en el ANEXO 3.

El código de descodificación de bytes se implementa en el servidor The Things Network, que toma cada byte y lo transforma en el valor decimal correspondiente *ANEXO**5***.

3) Una vez se asegura la correcta conexión entre dispositivo Lora y Gateway podemos comprobar los datos recibidos tal como se ve en la *Figura **62***.

Figura 62. Datos enviados desde la estación meteorológica

3.5.3. Base de datos

Tras desplegar la red LoRa que transmite datos desde el microcontrolador dentro de la estación meteorológica al gateway que se ha instalado dentro del espacio MediaLab, y la correcta recepción de los datos en la página The Things Network, el siguiente paso es llevar los datos desde la página Web a una base de datos personal, a la que luego se podrá acudir para diseñar una interfaz sencilla y clara con todos los parámetros que se adquieren.

En el proyecto se ha utilizado un sistema de tipo Docker denominada BalenaOS (*Figura **63***), es una plataforma de código abierto que permite instalar contenedores que tienen paquetes de aplicaciones que se pueden ejecutar de manera aislada. El stack utilizado se conoce como MING, compuesto por Mosquitto, influxDB, Node-RED y Grafana. Para el uso de estas aplicaciones usaremos una RaspBerry PI 3 ya configurada en el espacio MediaLab.

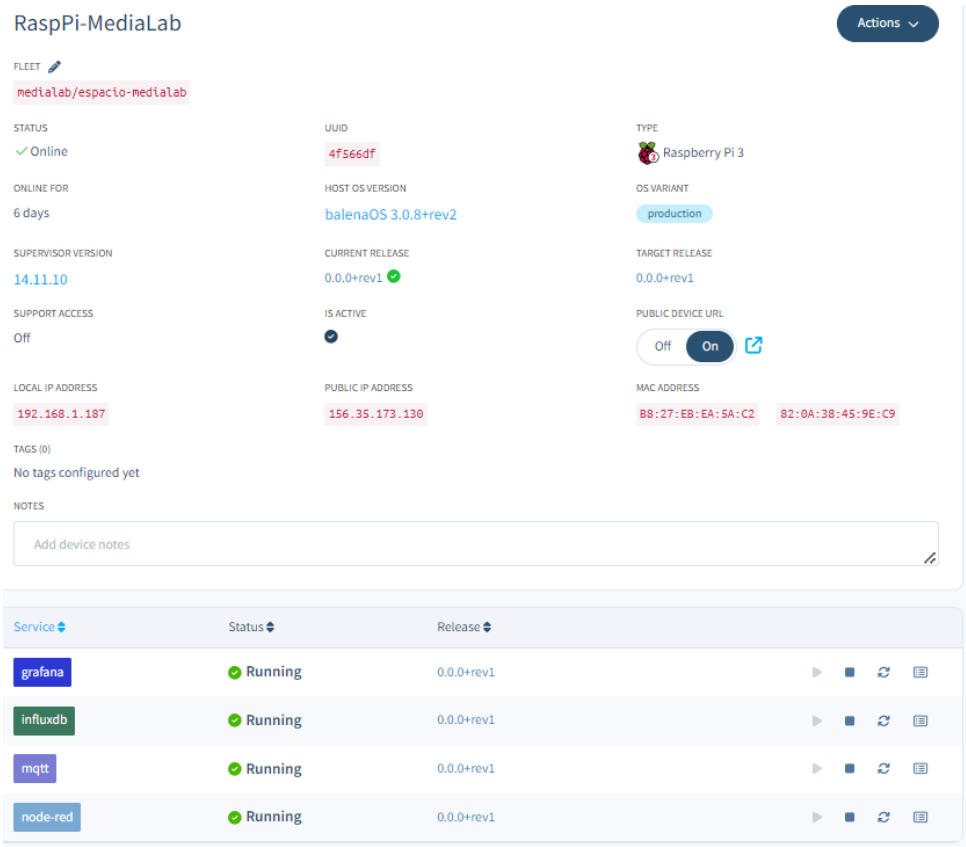


Figura 63. Menú Raspberry en BalenaOS

La aplicación que se utiliza para realizar las interconexiones entre diferentes aplicaciones es Node-Red, que nos permite conectar las aplicaciones a través de una interfaz sencilla. La estructura es la vista en la *Figura **64***.

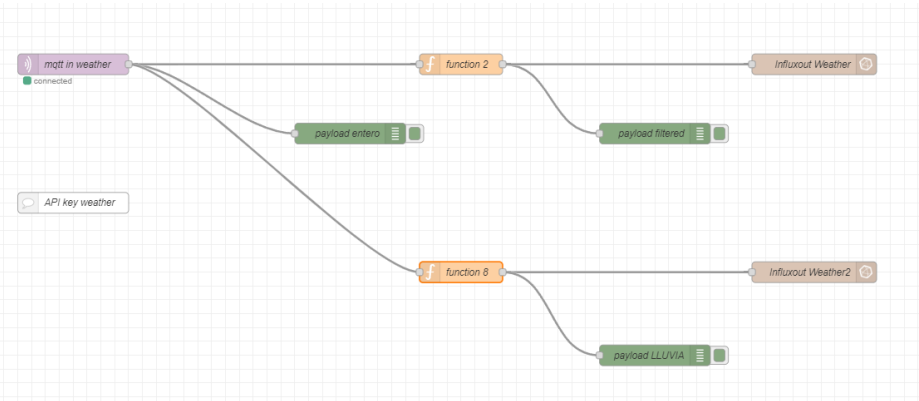


Figura 64. Interfaz de NodeRed para conectar los datos de The Things Network a la base de datos

Necesitaremos:

- Nodo MQTT IN: Para sacar los datos de la página TTN.
- Nodos Función: Se crean funciones para filtrar los datos que sacan de TTN.
- Nodos Debug: Donde podemos visualizar si los datos se transportan correctamente.
- Nodos InfluxDB OUT: Configurado para que los datos lleguen a la base de datos deseada.

El primer paso para realizar las conexiones es crear el nodo MQTT (*Figura **65***).

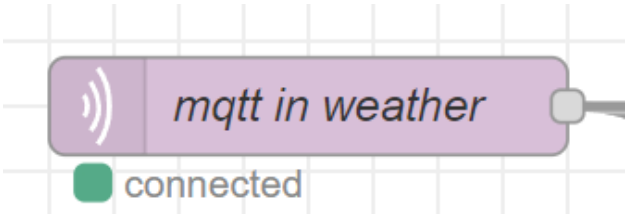


Figura 65. Nodo MQTT

Inicialmente tenemos que vincular el servidor, en este caso el servidor de The Things Network en el que se tiene registrada la estación meteorológica y a donde llegan los datos (*Figura **66***).

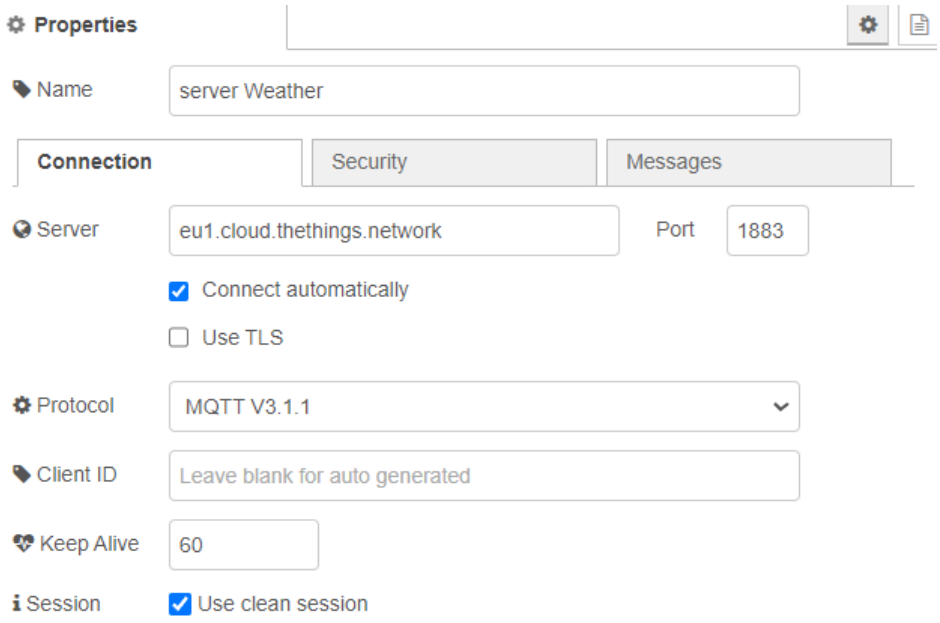


Figura 66. Menú de configuración del servidor

Teniendo el servidor, el siguiente paso será crear la seguridad de nuestro sistema, para ello se hará uso de una clave de API, que es una cadena de caracteres alfanuméricos que se utiliza para autenticar y autorizar el acceso a los datos. actúa como un mecanismo de seguridad para garantizar que los usuarios o aplicaciones con esta llave puedan acceder a los datos.

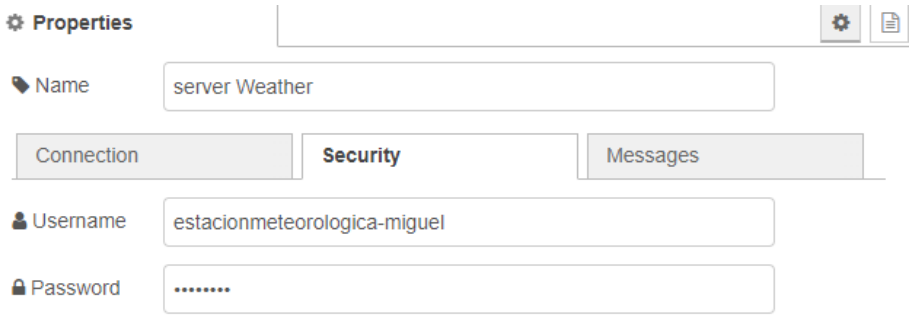


Figura 67 Menú de configuración de la seguridad

Configurado y conectado el nodo MQTT, se podrán visualizar los datos de la siguiente manera (*Figura **68***).

Figura 68. Datos extraídos de TTN sin filtrar

Se puede observar que aparte de los datos que recoge la estación meteorológica también nos indica más información como los identificadores (IDs), la hora de llegada de los datos, la localización y otros parámetros. A la base de datos solo se quiere que lleguen las variables que se están midiendo, por lo tanto, es necesario crear una función que descarte la información adicional. (*ANEXO**6***)

Se crean variables para cada uno de los parámetros a medir, se asigna el valor que llega desde la estación meteorológica y se meten en un array de elementos. Lo que llegara a la base de datos serán únicamente los datos filtrados como se ve en la *Figura **69***.

Figura 69. Datos filtrados

El último paso para acabar la red de datos por Lora es configurar el nodo InfluxDB. Este nodo recoge los datos filtrados y los almacena en una base de datos.

Para ello accedemos a la aplicación Grafana (*Figura **70***) donde se pueden crear y configurar bases de datos para su posterior uso en esta aplicación.

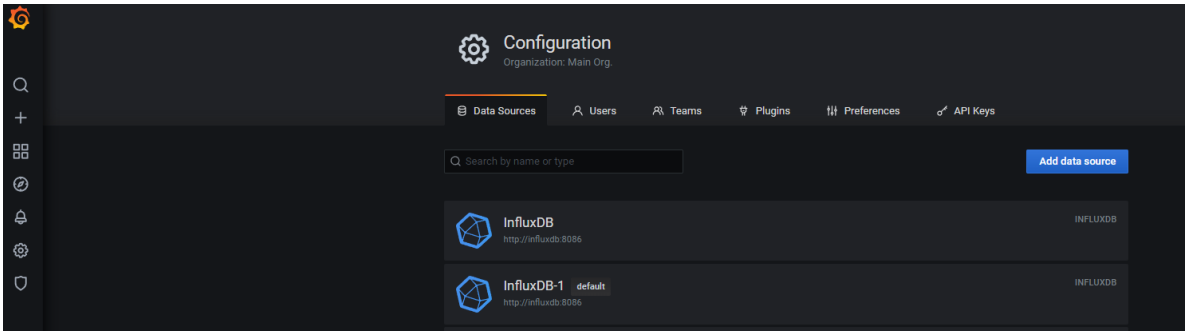


Figura 70. Menú de bases de datos desde Grafana

Al crear una base datos se establece como predeterminada (*Figura **71***) para poder usarla posteriormente en las visualizaciones de datos.

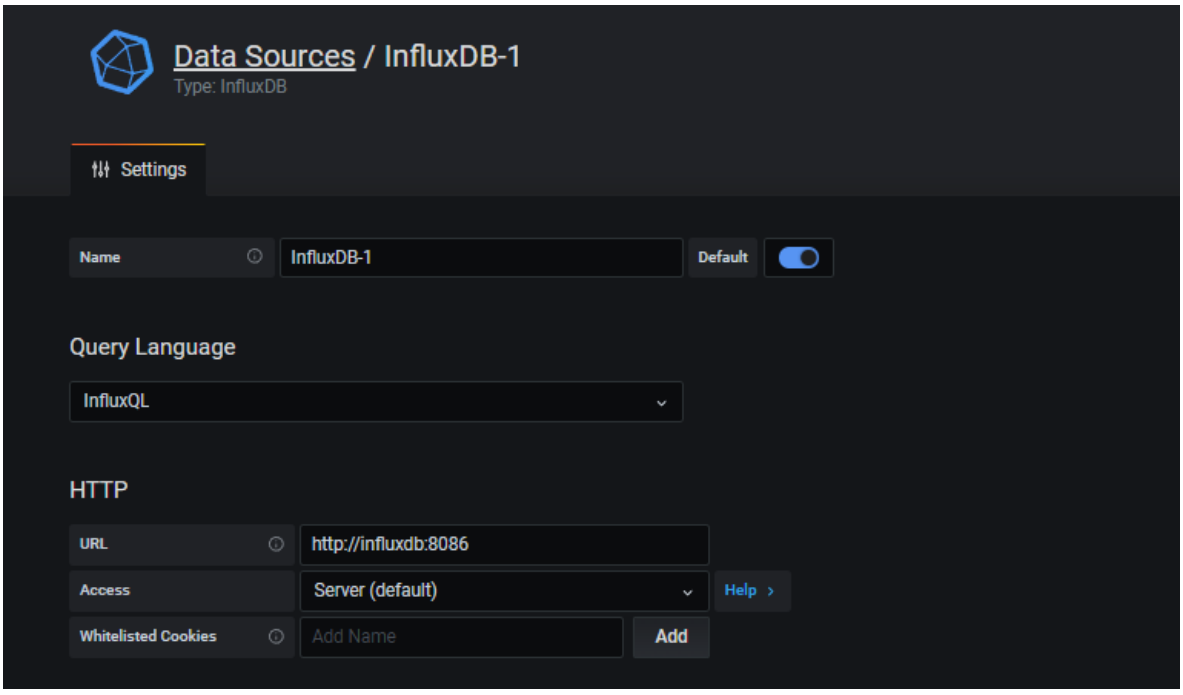


Figura 71. Base de Datos InfluxDB

Una vez creada la base de datos, se vuelve a Node-RED para la configuración del nodo InfluxDB OUT como en la *Figura **72***.

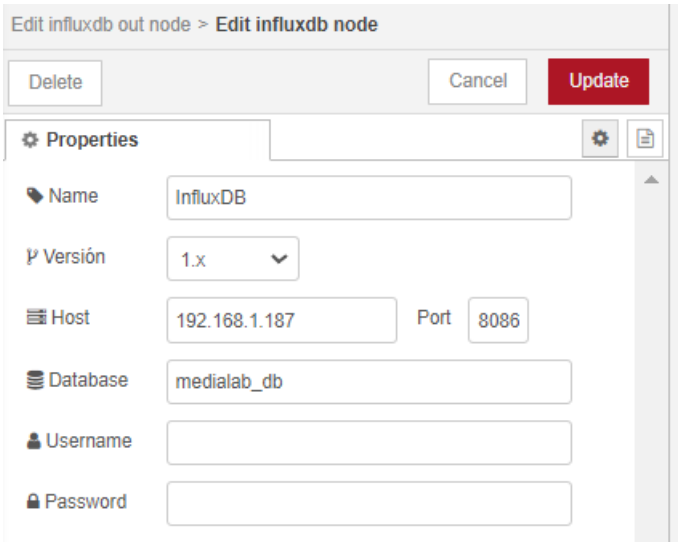


Figura 72. Configuración del nodo InfluxDB

En el menú de configuración es necesario rellenar dos campos:

1) Host: Se escribe la dirección IP local que podemos encontrar en el menú de la Raspberry Pi 3 de BalenaOS.

2) Base de datos: Se escribe el nombre de la base de datos en la que se quieren guardar los datos.

Una vez configurados todos los nodos en Node-Red, se comprueba que se han conectado correctamente y se le da a la opción de "Deploy" para iniciar el proceso de transferencia de datos desde The Things Network (TTN) hasta nuestra base de datos.

3.5.4. Aplicación Web

Una vez que llegan los datos filtrados a la base de datos, se puede hacer uso de la aplicación Grafana [5], que es una plataforma de código abierto para la visualización y análisis de datos. Permite la creación de paneles con los que se puede interactuar y cuadros de mando para monitorear y analizar los datos. Una de las sus mayores ventajas es que es compatible con una gran cantidad de bases de datos, entre ellas, InfluxDB. Habiendo creado la base de datos en la plataforma, permite el acceso a todas las variables filtradas que se han mandado desde la estación meteorológica resultando en la creación del panel representado en la *Figura **73***.

Figura 73. Paneles de visualización de los datos en Grafana

La interfaz propuesta para visualizar los datos se divide en varios paneles con diversos gráficos que se explicaran a continuación.

- En la izquierda de la pantalla se pueden ver claramente 4 números con diferentes colores. Empezando por arriba, en amarillo se puede visualizar la temperatura, a continuación, en verde, el porcentaje de humedad, después, en violeta, la presión atmosférica en hectopascales y por último, en azul, la precipitación en milímetros por hora.

- En el centro de la pantalla se puede visualizar un gráfico acorde a las cuatro variables previamente mencionadas. En cada uno de ellos se observa un histórico de las medidas, cuyo rango de tiempo puede ser modificado desde minutos a días. En la parte inferior de cada grafico se encuentra una leyenda que muestra, el máximo, el mínimo, el valor medio y el actual.

- La zona derecha de la interfaz está dividida en dos partes. En la parte superior se sitúa la dirección y la velocidad del viento. La dirección está representada con una flecha, imitando el comportamiento de una brújula, debajo de la flecha se pueden ver los grados y la abreviación de la dirección del viento. A su lado, hay un indicador de velocidad dividido en 4 zonas, de verde a rojo en función de la velocidad del viento. Debajo de estos dos parámetros encontramos un gráfico que muestra un histórico de la velocidad del viento.

  En la zona inferior encontramos un indicador del nivel de batería desde 0 V a 4.2 V y a su lado un histórico donde se puede ver gráficamente los procesos de carga y descarga.

4. Resultados experimentales

En esta sección de la memoria se muestran los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento de la estación meteorológica. Se verificará su correcto funcionamiento en diversas condiciones meteorológicas.

Para obtener dichos resultados se ha colocado la estación meteorológica en el tejado del edificio polivalente de la Escuela Politécnica de Ingeniería Gijón.

Hay que tener en cuenta que los sensores tomaran medidas cada 5 minutos.

Imagen de la primera medición, realizada el martes 23 de enero a las 9:00 AM en el tejado del edificio polivalente. (*Figura **74***).

Figura 74. Estación meteorológica.

A primera hora las mediciones se indican en la *Figura **75***.

Figura 75. Datos obtenidos a las 9:00 23 de enero

Las primeras lecturas, de mayor temperatura fueron tomadas mientras se comprobaba el funcionamiento y el transporte hasta el tejado dentro de la universidad. Una vez colocada fuera, se aprecia en la gráfica como la temperatura disminuye hasta mínimos de 10 grados y aumenta la humedad relativa hasta el 78 %.

Una vez pasadas 5h, las medidas registradas a las 2 PM son las siguientes:

Figura 76. Datos obtenidos a las 2PM del 23 de enero

Se puede observar cómo aumenta la temperatura desde 10 a 21 grados en la *Figura **76***. Esto es debido a que el sol ha estado incidiendo en la estación meteorológica todo este tiempo, además calentando la caja protectora que contiene todos los componentes y dando

medidas ligeramente superiores a la realidad. La solución fue colocar la caja protectora fuera de la incidencia solar.

A continuación, se muestran los datos tomados en la madrugada del 24 de enero, desde las 8 PM del 23 de enero hasta las 8 AM del 24 de enero.

Figura 77. Datos obtenidos a las 8AM del 24 de enero

A medida que se pone el sol, se puede observar una gran disminución de las temperaturas, llegando a mínimos de 6 grados a las 3:30 AM, debido al frio y a la condensación, la humedad aumenta a valores del 95 % como se observa en la *Figura **77***.

La velocidad media del viento de este día fue de 6 kilómetros por hora con dirección noreste.

La veracidad de estos datos se puede confirmar consultando las previsiones meteorológicas en internet. Se toma como ejemplo la velocidad media del miércoles 24 de enero a las 9:48 de la mañana como se puede observar en la hora del ordenador en la parte inferior derecha. Las rachas de viento como se observa en la *Figura **78*** tienen una velocidad de aproximadamente 4.3 km/h en dirección sureste.

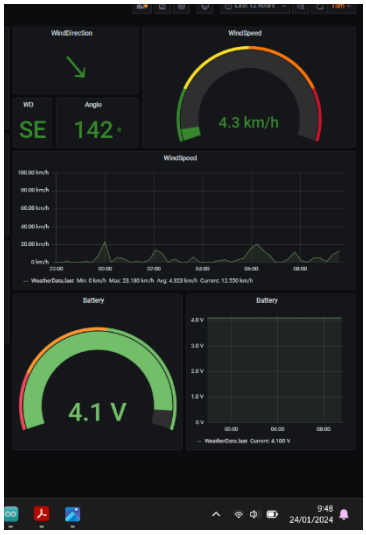


Figura 78. Velocidad y dirección del viento a las 9:48 del 24 de enero

Si se buscan las previsiones en internet (*Figura **79***), se encuentra lo siguiente [46].

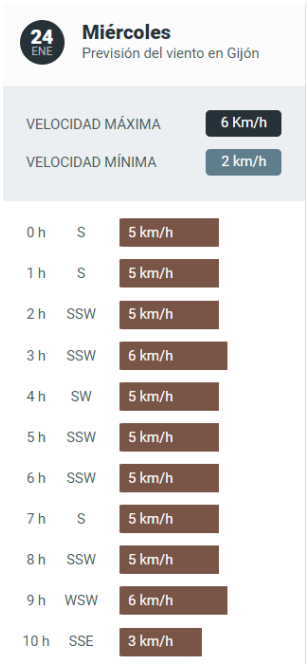


Figura 79. Previsión del viento en Gijón Tablademareas

Entre las 9 y las 10 los vientos varían entre suroeste y sudeste, como se puede observar en el gráfico.

El consumo de batería es muy satisfactorio. A continuación, se muestra la *Figura **80***, que representa el consumo de corriente en un ciclo de envío de datos.

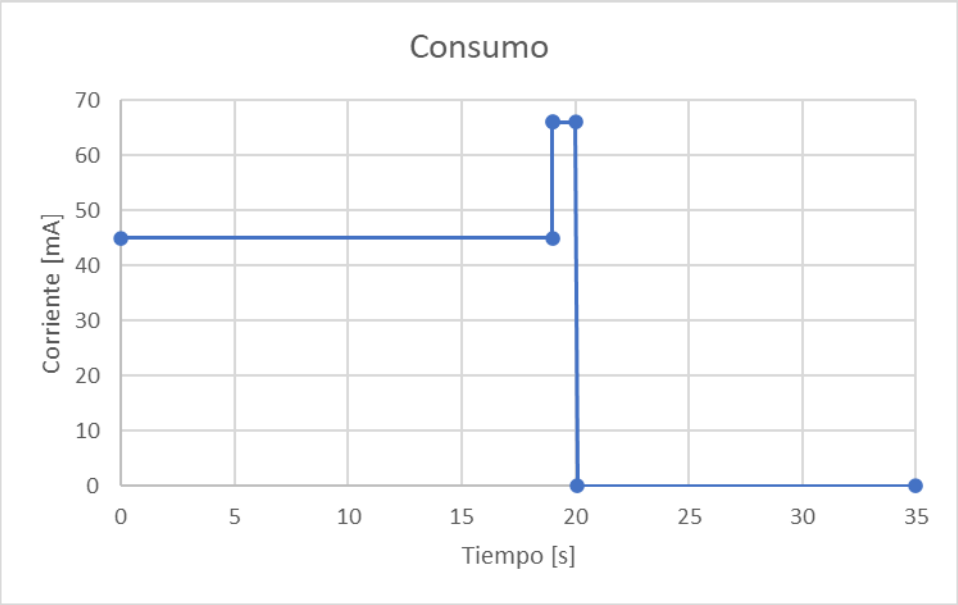


Figura 80. Consumo del circuito eléctrico

Cuando se enciende el microcontrolador el consumo en activo es de 45[mA], una vez se toman las medidas se envían los datos a través de LoRa lo que produce un pico de consumo de 66 [mA]. El proceso de adquisición y envío de datos dura 30 segundos. Una vez enviado, se configura el microcontrolador en modo "DeepSleep" obteniendo un consumo de 50 microamperios (≈ 0 [mA]).

La media de consumo de la estación meteorológica es la siguiente:

$$\frac{\mathbf{45\ mA * 28\ s + 66\ mA * 2s}}{\mathbf{330s}} = \mathbf{4,22\ mA} \qquad (6)$$

A continuación, se realizará un estudio del nivel de batería durante un ciclo de 24h desde el martes 23 de enero a las 11 de la mañana.

Desde que se colocó la estación meteorológica y debido a las aceptables condiciones meteorológicas de ese día el nivel de la batería se mantuvo en 4,1 V e incluso pudo aguantar toda la noche transmitiendo datos sin bajar el nivel de la batería (*Figura **81***). A la

mañana siguiente, debido a las excelentes condiciones meteorológicas la batería se cargó hasta su voltaje nominal máximo de 4.2 V como se observa en la *Figura **82***.

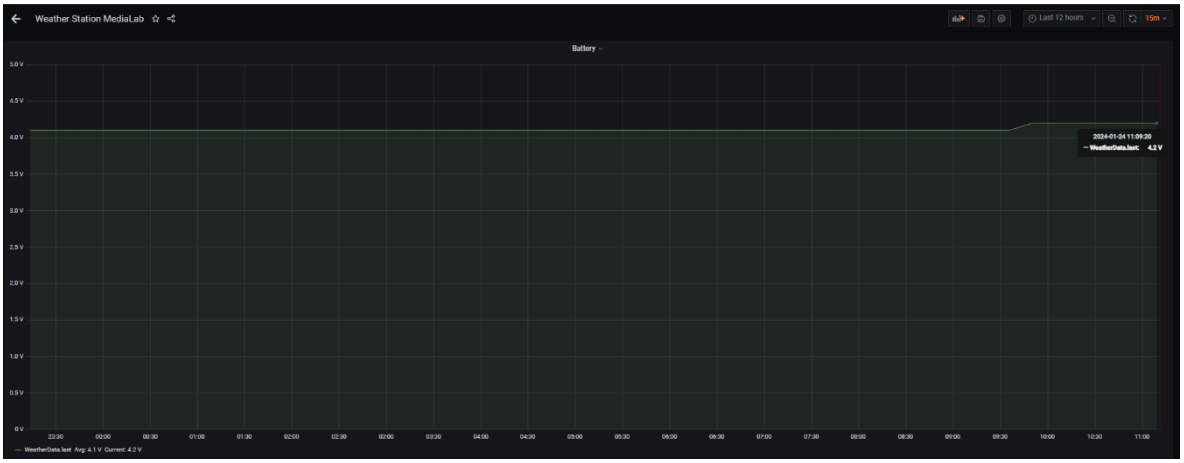


Figura 81. Nivel de batería durante 12h

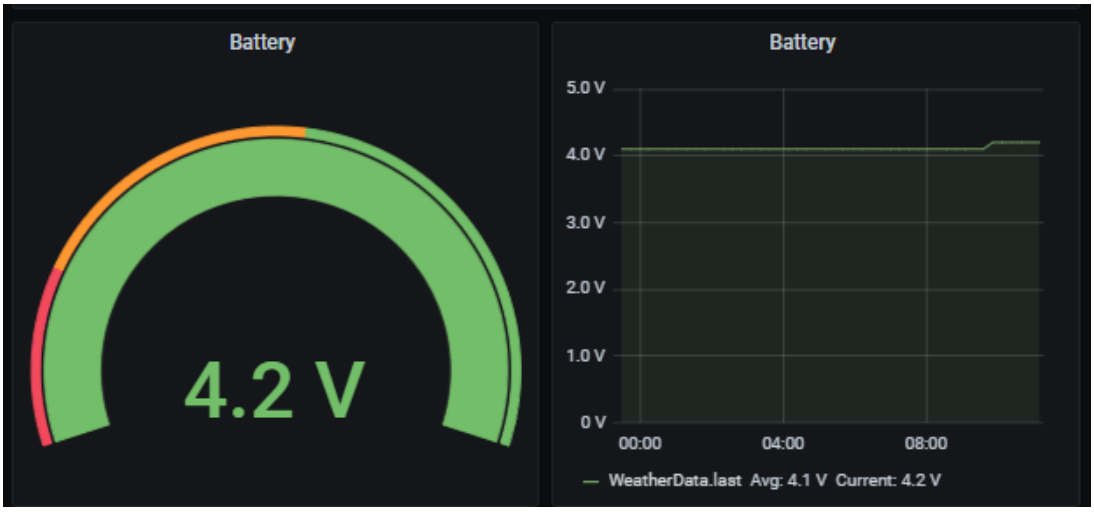


Figura 82. Interfaz del nivel de batería

5. Planificación Temporal

En este apartado se presenta la planificación que se ha seguido durante estos meses para el desarrollo del proyecto en la *Tabla **3***. La duración de este proyecto ha sido de 4 meses y medio. Iniciando con una reunión en el MediaLab con Ramón Rubio en la que se aclaró que objetivos tendría que cumplir.

Una vez aclarados los objetivos comienza la búsqueda de información para la realización de este proyecto, tipos de sensores y su funcionamiento, proyectos similares y búsqueda de componentes electrónicos. Teniendo todo lo necesario para realizar el proyecto, primero se realizan pruebas para comprobar que una vez conectados todos los componentes la estación meteorológica.

Tras conseguir un diseño optimo y funcional en una placa de pruebas protoboard y diseñada la PCB con todos los componentes y conexiones se realiza la fabricación y montaje de la estación meteorológica.

Una vez montada y conectada se lleva al exterior para obtener resultados experimentales.

Teniendo la estación meteorológica completamente operativa y los suficientes datos se procede a completar y entregar la documentación de este proyecto.

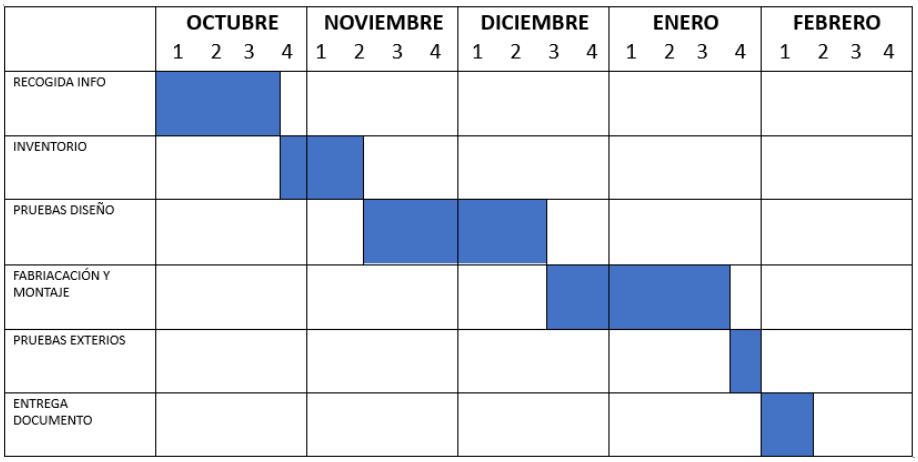


Tabla 3 Planificación Temporal

6. Conclusiones y futuro

6.1. Conclusiones

Una vez realizado el diseño y montaje, y probar el funcionamiento de la estación meteorológica en diferentes condiciones climáticas es correcto afirmar que se han cumplido satisfactoriamente los objetivos planteados al inicio del proyecto.

1. Se ha conseguido diseñar y fabricar una herramienta, en este caso, una placa de circuito impreso para recoger los datos de los sensores de la estación meteorológica.

2. Se consigue obtener medidas claras y reales sobre el estado actual de las condiciones climatológicas, contrastado con paginas externas de internet.

3. La estación se comunica satisfactoriamente mediante comunicación LoRa, capaz de enviar datos desde el tejado del edificio hasta el espacio MediaLab.

4. Se crea una interfaz clara y concisa que permite ver todos los datos recogidos de una manera vistosa y apta para todos los públicos.

5. Se confirma que la estación meteorológica es autosuficiente, tras semanas de pruebas, la batería se mantiene a niveles estables de funcionamiento.

6. El estudio de consumo da resultados muy satisfactorios, el diseño del circuito esta optimizado para un consumo muy eficiente. El modo “Deep Sleep” contribuye significativamente a esta reducción.

7. La estación meteorológica se instala en el tejado del edificio polivalente de la universidad de Oviedo, aguantando rangos de temperatura desde 3 grados a 25 grados, rachas de viento, y lluvia sin alterar el funcionamiento de este.

6.2.Trabajos futuros

Las aplicaciones para futuros trabajos son muy amplias.

- Utilización de la estación meteorológica para monitorear las condiciones climáticas en campos de agricultura y ayudar en la toma de decisiones de la siembra, cosecha y gestión de riegos.

- Uso de la estación en plantas de generación de energía renovables para la evaluación de condiciones ambientales y conseguir una gestión eficiente de la producción de energía.

- Estación meteorológica para precauciones y alertas, una aplicación que cabe resaltar es el uso de la estación con la integración de un panel LED en carreteras y puentes para advertir de condiciones meteorológicas adversas.

También se quiere mencionar diferentes campos en los que se puede seguir desarrollando la estación meteorológica.

- Integración de un sensor PPM y un sensor de CO2 para medir las partículas suspendidas en el aire y la contaminación atmosférica.

- Incorporación de sensores ultrasónicos, que es una tecnología que se ha desarrollado durante estos últimos años, debido a la ausencia de partes móviles, la duración de estos sensores es mayor que los electrónicos manteniendo una gran precisión.

- Implementar un software para gestión remota de los parámetros de la estación.

7. Bibliografía

[1] J. S. Gómez-Meza, S. V. Matute-Arias, y T. J. Negrete Peña, “Diseño de un prototipo IoT para el monitoreo de material particulado en espacios reducidos utilizando ESP32 con servidor hospedado en la nube”, Sinergia Académica, vol. 4, núm. 3, pp. 1–18, 2021.

[2] J. E. Candelo, G. Caicedo, y F. Castro, Métodos para el Estudio de la Estabilidad de Voltaje en Sistemas de Potencia.

[3] P. Bertoleti, Proyectos com ESP32 y LoRa. Editora NCB, 2019.

[4] J. Estaller et al., “Battery impedance modeling and comprehensive comparisons of state-of-the-art cylindrical 18650 battery cells considering cells’ price, impedance, specific energy and C-rate”, en 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2021, pp. 1–8.

[5] T. Leppänen, “Data visualization and monitoring with Grafana and Prometheus”, 2021.

[6] J. A. Barrera Pacheco, “Fundamentos de Placas de Circuito Impreso”, Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4, vol. 11, núm. 22, pp. 15–17, 2023.

[7] J. M. Marais, R. Malekian, y A. M. Abu-Mahfouz, “LoRa and LoRaWAN testbeds: A review”, en 2017 IEEE AFRICON, 2017, pp. 1496–1501.

[8] K. Szykiedans, W. Credo, y D. Osiński, “Selected mechanical properties of PETG 3-D prints”, Procedia Eng., vol. 177, pp. 455–461, 2017.

[9] J. M. Orduña Huertas y V. A. Llombart, Arquitectura y programación de microcontroladores. Universitat de València, 1996.

[10] M. Salazar, “Anemómetros: Una guía exhaustiva para entender, elegir y comprar el instrumento adecuado”, Sodeintec, 28-mar-2023. [En línea]. Disponible en:

https://sodeintecsas.com/anemometros-una-guia-exhaustiva-para-entender-elegir-y-comprar-el-instrumento-adecuado/. [Consultado: 10-oct-2023].

[11] F. Brajovic, "Cómo usar un Anemómetro de copa", Cromtek.cl, 22-jul-2021. [En línea]. Disponible en: https://www.cromtek.cl/2023/05/30/como-usar-un-anemometro-de-copa/. [Consultado: 10-oct-2023].

[12] M. Dos Santos, "Guía completa sobre los termistores de temperatura: funcionamiento, aplicaciones y ventajas", tfmfwH84@NjhsqeEJ834Muyh, 22-nov-2023. [En línea]. Disponible en: https://polaridad.es/termistor-de-temperatura/. [Consultado: 12-oct-2023].

[13] Digikey.com. [En línea]. Disponible en: https://www.digikey.com/en/articles/how-to-accurately-sense-temperature-using-thermistors. [Consultado: 12-oct-2023].

[14] [En línea]. Disponible en: http://file:///C:/Users/Miguel/Desktop/Dialnet-FundamentosDeClimatologia-267903.pdf. [Consultado: 10-oct-2023].

[15] CEM, "…la Fibra Óptica sirve para medir temperatura y otras magnitudes?", Revista e-medida, 15-dic-2019. [En línea]. Disponible en: https://www.e-medida.es/numero-15/la-fibra-optica-sirve-para-medir-temperatura-y-otras-magnitudes/. [Consultado: 12-oct-2023].

[16] M. Hilcu, "¿Cómo Funcionan las Placas Solares Fotovoltaicas?", Otovo Blog, 16-sep-2020. [En línea]. Disponible en: https://www.otovo.es/blog/placas-solares/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas/. [Consultado: 21-oct-2023].

[17] "KistlerB2bFrontend", Kistler.com. [En línea]. Disponible en: https://www.kistler.com/ES/es/sensor-de-presion-piezoelectrico/C00000138. [Consultado: 16-Oct-2023].

[18] M. Por, "Sensor de presión piezoresistivo", Electricity - Magnetism, 26-oct-2023. [En línea]. Disponible en: https://www.electricity-magnetism.org/es/sensor-de-presion-piezoresistivo/. [Consultado: 16-oct-2024].

[19] GESTIONMAX, “Rfp602 sensor de presiÓn de pelÍcula delgada (0~1.0kg) para arduino”, Nafcom.es. [En línea]. Disponible en: https://nafcom.es/sensorica/rfp602-sensor-de-presion-de-pelicula-delgada-0-1-0kg-para-arduino/gmx-niv519-con7338.htm. [Consultado: 16-oct-2023].

[20] S. B. el G. de C. de A. en El ambiente, no I. M. S. la V. N. De un ser humano, ya S. Q.- Micos, y F. o. biológicos., “Sensores de humedad tipos y aplicaciones”, Guemisa.com. [En línea]. Disponible en: https://guemisa.com/articulos/tutorial-humedad.pdf. [Consultado: 17-oct-2023].

[21] “Presion (II)”, Mec.es. [En línea]. Disponible en: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/presion2/medir2.htm. [Consultado: 17-oct-2023].

[22] J. S. Vera, “Tipos de placas solares. ¿Qué diferencia hay entre unas y otras?”, Experta Solar, 08-may-2023. [En línea]. Disponible en: https://expertasolar.com/guia-de-placas-solares-tipos-caracteristicas-usos/. [Consultado: 21-oct-2023].

[23] Solarplak.es. [En línea]. Disponible en: https://solarplak.es/energia/paneles-solares-de-capa-fina-que-son-y-cuales-son-sus-caracteristicas/. [Consultado: 21-oct-2023].

[24] Unirioja.es. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8079673. [Consultado: 23-oct-2023].

[25] Jesús, “Conexión Gateway: Definición, Funciones y Beneficios”, Tutoriales Dongee, 27-oct-2023. [En línea]. Disponible en: https://www.dongee.com/tutoriales/que-es-conexion-gateway-definicion-funciones-y-beneficios/. [Consultado: 23-oct-2023].

[26] Waveshare.com. [En línea]. Disponible en: https://www.waveshare.com/w/upload/7/75/BME280_Environmental_Sensor_User_Manual_EN.pdf. [Consultado: 20-oct-2023].

[27] S. Santos, “Guide for BME280 sensor with Arduino (pressure, temperature, humidity)”, Random Nerd Tutorials, 02-jul-2019. [En línea]. Disponible en: https://randomnerdtutorials.com/bme280-sensor-arduino-pressure-temperature-humidity/. [Consultado: 28-oct-2023].

[28] "I2C - Puerto, Introducción, trama y protocolo", HeTPro-Tutoriales, 28-oct-2017.

[29] K. Siemiatkowski, J. P. Kröhling, y K. Knapp, "Grafana: The open observability platform", Grafana Labs. [En línea]. Disponible en: https://grafana.com/. [Consultado: 02-feb-2024].

[30] "¿Qué es el PETG?", Filament2print.com. [En línea]. Disponible en: https://filament2print.com/es/blog/49_petg.html. [Consultado: 1-nov-2023].

[31] "Termorresistencias", Jemartermometria.com. [En línea]. Disponible en: https://jemartermometria.com/termorresistencia. [Consultado: 21-oct-2023].

[32] "Anemómetro Ultrasónico 2D", Darrera, 03-abr-2018. [En línea]. Disponible en: https://www.darrera.com/wp/es/producto/hd52-3d-anemometro-ultrasonico-2d/. [Consultado: 14-oct-2023].

[33] "PLUVIOGRAFO, REGISTRADOR DE LA PRECIPITACION", Rumtor.com. [En línea]. Disponible en: https://www.rumtor.com/pluviografo.html. [Consultado: 16-oct-2023].

[34] "Termómetro de infrarrojos digital hasta 550oC", Termometros.com, 02-oct-2013. [En línea]. Disponible en: https://www.termometros.com/Term%C3%B3metro-de-infrarrojos-digital-hasta-550%C2%BAC. [Consultado: 21-oct-2023].

[35] M. Por, "Sensor de temperatura de cristal líquido", Electricity - Magnetism, 26-oct-2023. [En línea]. Disponible en: https://www.electricity-magnetism.org/es/sensor-de-temperatura-de-cristal-liquido/. [Consultado: 12-oct-2023].

[36] "Higrómetro de espejo enfriado de alta precisión", Iberfluid.com. [En línea]. Disponible en: https://www.iberfluid.com/producto/higrometro-de-espejo-enfriado-de-alta-precision. [Consultado: 02-feb-2024].

[37] M. Hilcu, "Placas solares monocristalinas: Características y precios", Otovo Blog, 03-mar-2022. [En línea]. Disponible en: https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/. [Consultado: 02-feb-2024].

[38] "Tenpower 18650 Li-ion battery - 2800mAh - 10A - INR18650-28HE", Tinytronics.nl. Disponible en: https://www.tinytronics.nl/shop/en/power/batteries/18650/tenpower-li-ion-battery-2800mah-10a-inr18650-28he. [Consultado: 28-oct-2023].

[39] "18650 battery shield expansion V3 Puerto Micro USB", AZ-Delivery. [En línea]. Disponible en: https://www.az-delivery.de/es/products/battery-expansion-shield-18650-v3-inkl-usb-kabel. [Consultado: 28-oct-2023].

[40] "Solar panel with DC-DC converter and USB - 5V 1A", Tinytronics.nl. [En línea]. Disponible en: https://www.tinytronics.nl/shop/en/power/solar-energy/solar-panels/solar-panel-with-dc-dc-converter-and-usb-5v-1a. [Consultado: 4-nov-2023].

[41] "LoRa32 V2.1_1.6", LILYGO®. [En línea]. Disponible en: https://www.lilygo.cc/products/lora3. [Consultado: 14-oct-2023].

[42] Espressif.com. [En línea]. Disponible en: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico_series_datasheet_en.pdf. [Consultado: 15-nov-2023].

[43] "LoraWan - Caso práctico TTN alta de Gateway y Aplicación. Parte 1", BConsultors, 30-dic-2020. [En línea]. Disponible en: https://bconsultors.com/2020/12/30/lorawan-caso-practico-ttn-alta-de-gateway-y-aplicacion-parte-1/. [Consultado: 13-oct-2023].

[44] C. Li y Z. Cao, "LoRa networking techniques for large-scale and long-term IoT: A down-to-top survey", ACM Comput. Surv., vol. 55, núm. 3, pp. 1–36, 2023.

[45] E. Murdyantoro, R. Setiawan, I. Rosyadi, A. W. W. Nugraha, H. Susilawati, y Y. Ramadhani, "Prototype weather station uses LoRa wireless connectivity infrastructure", J. Phys. Conf. Ser., vol. 1367, núm. 1, p. 012089, 2019.

[46] "Viento en Gijón. Previsión del viento hora a hora, velocidad y dirección del viento en Gijón", Tablademareas.com. [En línea]. Disponible en: https://tablademareas.com/es/asturias/gijon/prevision/viento. [Consultado: 23-enero-2024].

[47] A. E. de Meteorologia, “El Tiempo: Gijon - Gijon/Xixon (Asturias) - Prediccion 7 dias - Tabla - Agencia Estatal de Meteorologica - AEMET. Gobierno de España”.

[48] “LoRaWan – Parámetros de Enlaces Up/Down – GIRNI”, Edu.ec. [En línea]. Disponible en: http://blog.espol.edu.ec/girni/category/dispositivos-lora/lorawan-enlaces-up-down-parametros/. [Consultado: 8-oct-2024].

[49] “The things network”, Thethingsnetwork.org. [En línea]. Disponible en: https://www.thethingsnetwork.org/airtime-calculator. [Consultado: 12-oct-2023].