



**Centro Universitario de la Defensa  
en la Escuela Naval Militar**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Estación meteorológica portable para su despliegue autónomo en  
aplicaciones de la Armada*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Álvaro José Benítez Heredia

**DIRECTORES:** Jose Ignacio Iglesias Prado

**CURSO ACADÉMICO:** 2023-2024

**Universida<sub>de</sub>Vigo**





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Estación meteorológica portable para su despliegue autónomo en  
aplicaciones de la Armada*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

Universida<sub>de</sub>Vigo



## **RESUMEN**

Desde que el ser humano puede levantar la cabeza, la existencia y el origen de los factores meteorológicos han sido objeto de estudio. Con el transcurso de la historia, numerosos conflictos bélicos se vieron influenciados por la meteorología, teniendo un papel importante precisamente en las flotas de muchos países. La recogida de datos de los buques y su aplicación para desarrollar posteriores modelos continúan siendo imprescindibles para que la meteorología se encuentre tan avanzada como lo está hoy en día.

En el presente proyecto se desarrolla una estación meteorológica portátil alimentada por energía solar que tiene como objetivo facilitar el acceso a los datos meteorológicos en cualquier destacamento de la Armada, especialmente en buques. Para ello, se ha seguido un proceso que encuadra una selección de componentes, una codificación de estos y un diseño estructural. Se han tenido en cuenta las complicaciones que entraña el medio marino y por ello condiciones como la estanqueidad han sido consideradas durante su desarrollo. Para conseguir la máxima precisión y fiabilidad en los datos que aporta, se ha realizado un proceso de validación comparando los resultados con la red de estaciones de MeteoGalicia y con los sensores usados en las Lanchas de Instrucción.

## **PALABRAS CLAVE**

Estación meteorológica, Funcionamiento autónomo, Armada, Meteorología, Energía solar.



# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor, Jose Ignacio, por su gran dedicación desde el primer día hasta el último. Su implicación en el trabajo ha sido motivo de estímulo y motivación para nunca bajar los brazos.

También como no puede ser de otra manera agradecer el apoyo incondicional de mi familia, siempre confiando en mi e intentando sacar mi mejor versión. De la misma forma agradecer a mi pareja su incansable apoyo diario.

Por último, agradecer a quienes verdaderamente han compartido conmigo las mañanas y tardes de trabajo, mis compañeros de estudio y amigos.





## CONTENIDO

Índice de Figuras .....	3
Índice de Tablas.....	6
1 Introducción y objetivos .....	7
1.1 Contexto y motivación .....	7
1.2 Objetivos .....	8
1.3 Estructura .....	9
2 Estado del arte .....	11
2.1 Concepto de meteorología .....	11
2.1.1 Definición .....	11
2.1.2 Fenómenos estudiados por la meteorología.....	11
2.1.3 Tipos de meteorología .....	12
2.1.4 Diferencia entre predicción y observación .....	13
2.1.5 Diferencia entre meteorología y climatología .....	13
2.2 Contexto histórico .....	13
2.2.1 Edad Antigua .....	13
2.2.2 Edad Moderna.....	14
2.2.3 Mitad del siglo XIX .....	15
2.2.4 Meteorología contemporánea .....	15
2.3 Influencia de la meteorología en la historia .....	17
2.3.1 Conflictos bélicos internacionales .....	17
2.3.2 Guerra Civil española .....	18
2.4 Meteorología en las Fuerzas Armadas .....	19
2.4.1 Generalidades .....	19
2.4.2 Requerimientos y tipos de información meteorológica .....	21
2.4.3 Meteorología en la Armada .....	22
2.5 Instrumentos y estaciones de meteorología .....	24
2.5.1 Generalidades .....	24
2.5.2 Instrumentos a bordo de los buques de la Armada .....	26
3 Desarrollo del TFG.....	27
3.1 Componentes.....	27
3.1.1 Descripción .....	27
3.1.2 Principio de funcionamiento .....	34
3.2 Diseño de la estación meteorológica.....	39

3.2.1 Fuente de energía .....	39
3.2.2 Diseño estructural .....	42
3.3 Circuito.....	46
3.3.1 Generalidades .....	46
3.3.2 Montajes individuales .....	46
3.4 Programa .....	52
3.4.1 Generalidades .....	52
3.4.2 Sintaxis del IDE de Arduino.....	52
3.4.3 Códigos de los componentes .....	56
4 Prueba y Validación .....	69
4.1 Prueba preliminar .....	69
4.1.1 Introducción.....	69
4.1.2 Resultados obtenidos .....	69
4.2 Validación preliminar .....	71
4.2.1 Introducción.....	71
4.2.2 Intensidad del viento.....	71
4.2.3 Temperatura y humedad .....	72
4.3 Validación con estaciones de MeteoGalicia .....	72
4.3.1 Introducción.....	72
4.3.2 Viento .....	75
4.3.3 Temperatura y humedad .....	76
4.3.4 Lluvia.....	76
4.4 Validación en LLII.....	77
4.4.1 Introducción.....	77
4.4.2 Viento .....	77
4.4.3 Temperatura y humedad .....	77
5 Conclusiones y líneas futuras .....	79
5.1 Conclusiones .....	79
5.2 Líneas futuras .....	80
6 Bibliografía.....	81
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales .....	83
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales .....	84
Anexo III: Presupuesto Detallado .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Cuaderno de bitácora del USS Jamestown durante un fuerte huracán en 1880 [2].....	7
Figura 2-1 Portada del libro de Aristóteles “Los meteorológicos” [9].....	14
Figura 2-2 Primer mapa meteorológico sinóptico (1820) [8].....	15
Figura 2-3 Sondeo con globos sonda en Madrid (1914) [8].....	16
Figura 2-4 Imagen satélite de borrasca en el cantábrico procesada por el satélite METEOSAT 9 [8] .....	17
Figura 2-5 Informe meteorológico del teniente coronel Stagg [16].....	18
Figura 2-6 Pronósticos de ERA-CLIM para el 5 de junio de 1944 [17] .....	18
Figura 2-7 Mapa de presiones de los días 19 al 22 noviembre de 1936 [20].....	19
Figura 2-8 Oficina Meteorológica de Defensa, ENM (Derecha: pluviómetro. Izquierda: anemómetro y veleta). Fuente: propia.....	20
Figura 2-9 Ejemplo de mensaje formalizado METREP ALFA [21].....	21
Figura 2-10 Representaciones gráficas (Derecha: mapa de superficie. Izquierda: mapa satélite) [21] .....	22
Figura 2-11 Portada de libro manuscrito en el Real Observatorio de la Armada (1799-1813) [26] 23	
Figura 2-12 Ejemplo de barómetro .....	24
Figura 2-13 Ejemplo de pluviómetro .....	25
Figura 2-14 Instrumentos usados en el JSE. (Derecha: barómetro. Izquierda: hidrógrafo). Fuente: propia .....	26
Figura 3-1 Captura del interfaz del IDE Arduino. Fuente: propia .....	28
Figura 3-2 Placa de Arduino MEGA 2560 [28] .....	28
Figura 3-3 Sensor de humedad DTH22. Fuente: propia.....	29
Figura 3-4 Veleta y anemómetro. Fuente: propia.....	30
Figura 3-5 Sensor de lluvia. Fuente: propia .....	30
Figura 3-6 Sensor de luz Dolla Tek. Fuente: propia .....	31
Figura 3-7 Sensor luz ultravioleta GUVVA-S12SD. Fuente: propia.....	31
Figura 3-8 Placa solar. Fuente: propia.....	32
Figura 3-9 Módulo solar CN3791. Fuente: propia .....	32
Figura 3-10 Baterías de litio 18650 en su soporte. Fuente: propia.....	33
Figura 3-11 Pantalla OLED 96”. Fuente: propia .....	33
Figura 3-12 Lector tarjeta microSD. Fuente: propia .....	34
Figura 3-13 Reloj RTC. Fuente: propia.....	34
Figura 3-14 Distribución interna de resistencias de la veleta. Fuente: propia.....	35
Figura 3-15 Interruptor de láminas. Fuente: propia .....	36
Figura 3-16 Gráfica de corriente de carga frente a voltaje.....	38

Figura 3-17 Mapa de irradiación media en invierno [30].....	41
Figura 3-18 Perfil de estantería usado para realizar el soporte. Fuente: propia .....	42
Figura 3-19 Corte del perfil de estantería usado para realizar el soporte. Fuente: propia.....	43
Figura 3-20 Perfil de estantería soldado a 60° para realizar el soporte. Fuente: propia .....	43
Figura 3-21 Orificio de entrada de los sensores de viento en la caja. Fuente: propia .....	44
Figura 3-22 Sensores de viento y placa solar sobre la caja. Fuente: propia.....	44
Figura 3-23 Montaje de la estación finalizado. Fuente: propia .....	45
Figura 3-24 Pantalla OLED fijada al metacrilato. Fuente: propia.....	45
Figura 3-25 Esquema de montaje de la fuente de alimentación. Fuente: propia.....	47
Figura 3-26 Esquema de montaje del sensor DTH22. Fuente: propia .....	47
Figura 3-27 Esquema de montaje del anemómetro. Fuente: propia.....	48
Figura 3-28 Esquema de montaje de la veleta. Fuente: propia.....	48
Figura 3-29 Esquema de montaje del sensor de lluvia. Fuente: propia.....	49
Figura 3-30 Esquema de montaje del sensor de luz. Fuente: propia .....	49
Figura 3-31 Esquema de montaje del sensor UV. Fuente: propia.....	50
Figura 3-32 Esquema de montaje de la pantalla OLED. Fuente: propia.....	50
Figura 3-33 Esquema de montaje del reloj. Fuente: propia.....	51
Figura 3-34 Esquema de montaje del lector microSD. Fuente: propia .....	52
Figura 4-1 Gráfica de intensidad del viento (kts) respecto al tiempo (s) en prueba preliminar. Fuente: propia .....	70
Figura 4-2 Gráfica de temperatura (°C) respecto al tiempo (s) en prueba preliminar. Fuente: propia .....	70
Figura 4-3 Gráfica de humedad (%) respecto al tiempo (s) en prueba preliminar. Fuente: propia..	70
Figura 4-4 Gráficas comparativas de anemómetro en validación preliminar. Fuente: propia .....	71
Figura 4-5 Gráficas comparativas de sensor de temperatura en validación preliminar. Fuente: propia .....	72
Figura 4-6 Gráficas comparativas de sensor de humedad en validación preliminar. Fuente: propia .....	72
Figura 4-7 Localización de las estaciones de la red de MeteoGalicia elegidas.....	73
Figura 4-8 Estación de Sober. Fuente: propia .....	74
Figura 4-9 Estación de Prado. Fuente: propia .....	74
Figura 4-10 Estación de Gargamala. Fuente: MeteoGalicia .....	75
Figura 4-11 Gráficas comparativas de anemómetro con MeteoGalicia. Fuente: propia.....	75
Figura 4-12 Gráficas comparativas del sensor de temperatura con MeteoGalicia. Fuente: propia..	76
Figura 4-13 Gráficas comparativas del sensor de humedad con MeteoGalicia. Fuente: propia .....	76
Figura 4-14 Gráficas comparativas del anemómetro en la validación final. Fuente: propia.....	77

Figura 4-15 Gráficas comparativas del sensor de temperatura en la validación final. Fuente: propia .....78

Figura 4-16 Gráficas comparativas del sensor de humedad en la validación final. Fuente: propia.78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Fenómeno y unidad de medida. ....	12
Tabla 2-2 Fenómeno e instrumento de medida .....	25
Tabla 3-1 Relación entre dirección, voltaje y resistencia.....	36
Tabla 3-2 Componentes y respectivos consumos.....	40
Tabla 3-3 Conexiones de la fuente de alimentación a Arduino .....	46
Tabla 3-4 Conexiones del sensor DTH22 a Arduino .....	47
Tabla 3-5 Conexiones del sensor de lluvia a Arduino.....	48
Tabla 3-6 Conexiones del sensor de luz a Arduino .....	49
Tabla 3-7 Conexiones del sensor UV a Arduino.....	49
Tabla 3-8 Conexiones de la pantalla OLED a Arduino.....	50
Tabla 3-9 Conexiones del reloj OLED a Arduino.....	51
Tabla 3-10 Conexiones del lector microSD a Arduino .....	51
Tabla A3-1 Presupuesto de componentes. ....	85
Tabla A3-2 Presupuesto de montaje.....	86

## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este primer capítulo se centra en la motivación de la realización de este proyecto, enmarcándolo dentro de un contexto, y sirviendo de ayuda para comprender cuáles son los objetivos que se buscarán durante todo su desarrollo. Además, se detalla la forma en la que queda estructurada la presente memoria.

### 1.1 Contexto y motivación

Las inclemencias meteorológicas siempre han acompañado al ser humano, influenciando en su comportamiento hasta tal punto de actuar como motor de cambio social. Aunque hoy en día los meteorólogos cuentan con numerosos instrumentos y estaciones para registrar datos y dar forma a las predicciones, no siempre ha sido así. Con el paso del tiempo la meteorología se ha ido desarrollando, pasando por diversas etapas que se explicarán en el siguiente capítulo, hasta llegar a ser la ciencia en la que se ha convertido. Todos los avances que ha experimentado la meteorología en el transcurso de la historia tienen un nexo conector: la recogida de datos. De hecho, los meteorólogos también pueden basar sus predicciones sobre reconstrucciones hechas sobre el tiempo pasado gracias a modelos, pero estos necesitan de la información recogida anteriormente para ser considerados fiables [1].

Muchos de los datos que existen de siglos anteriores provienen precisamente de cuadernos de bitácora, libro en el cual los marinos reflejan los hechos acontecidos durante sus guardias, entre ellos los datos meteorológicos. En 1879 el USS Jeanette se vio envuelto entre témpanos de hielo en el estrecho de Bering, durante los dos años de agonía en los que una tripulación de 33 personas luchó por sobrevivir, también hicieron registros extremadamente valiosos y únicos en aquella época sobre vientos, nubosidad, humedad o temperatura (ver Figura 1-1) [2]. Estos datos fueron recopilados por un proyecto estadounidense denominado Old Weather Artic. Esto es un ejemplo de la importancia que llega a tener datos registrados correctamente, ya que servirán para elaborar predicciones precisas y comprender el tiempo presente.

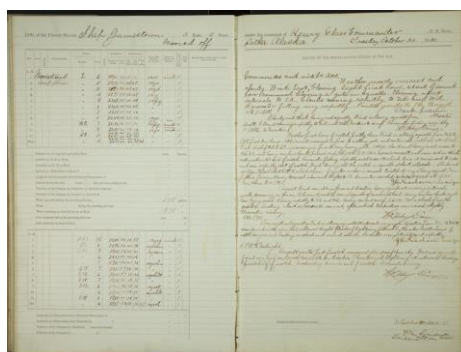


Figura 1-1 Cuaderno de bitácora del USS Jamestown durante un fuerte huracán en 1880 [2]

Ubicándonos en el marco marino, o militar en general, hay que ser conscientes de que la meteorología también puede ser un enemigo, perteneciente a lo conocido como “*Batalla del tiempo*”. Por ello, el Centro Español de Meteorología (CEM) cuenta con especialistas que trabajan integrados en la estructura del Mando Operaciones (MOPS) en la base de Retamares (Madrid). Aunque desempeñan varias labores, un alto porcentaje es destinado a operaciones de la Armada y del Ejército del Aire y del Espacio. Su trabajo es aportar información en la que después mandos militares se basan para tomar importantes decisiones, tales como reducir la carga de las aeronaves en el destacamento de Marfil, afectadas por la lluvia y tormentas o la elección de la ruta de reconocimiento de los C-295 Vigma o de los ya obsoletos P3 Orion. Además, los buques de la Armada desplegados en el Cuerno de África son notificados de la entrada de fuertes vientos monzónicos y los F-18 que actúan en el Báltico reciben de este personal cualificado avisos diarios de fenómenos adversos [3].

Como es observado a través de la función que llevan a cabo, el CEM es totalmente conocedor de la importancia y responsabilidad que tiene la meteorología en las Fuerzas Armadas (FAS) [3].

Presentada ya la importancia de recopilación de datos, así como la relevancia para el desarrollo de misiones, es lícito pensar que la Armada necesita recibir información constantemente, partes meteorológicas y predicciones a varios días vista. El planeamiento es una parte fundamental del éxito de una operación, y no se entiende una preparación sin su matriz de impacto meteorológico, para ello normalmente se usan fuentes nacionales, como la ya mencionada AEMET, y fuentes internacionales, como por ejemplo “*passageweather*”. De forma recomendable cuando algún buque de la Armada recalca en algún puerto extranjero se debe recoger información de las fuentes locales de dicho país. En cuanto a fuentes nacionales, AEMET cuenta con una red de estaciones que alimentan tanto predicciones como estudios climatológicos. Por otro lado, es importante destacar que también existen fuentes más concretas en ámbito nacional, casi todas las comunidades autónomas cuentan con su propia fuente meteorológica., La Red Agrometeorológica de la Región de Murcia, MeteoGalicia o la Red de Información Agroclimática de Andalucía son algunas de las más reconocidas.

Pero si importante es la predicción, también lo es tener un fácil acceso a los datos en todo momento, la opción de que existan en las unidades de la Armada una estación portátil de meteorología que sea capaz de coleccionar datos de magnitudes como temperatura, presión, humedad, precipitaciones, dirección e intensidad de viento, y que además sea alimentada con placas solares podría ser un avance de gran utilidad para misiones, ejercicios y situaciones tácticas dónde en ocasiones se pueden necesitar. Olvidando momentáneamente de los barcos, para un batallón de desembarco del Cuerpo de Infantería de Marina también sería provechoso poder adquirir una estación meteorológica como la que se pretende elaborar, que funcione con la luz solar y que proporcione datos tan importantes durante el desarrollo de unas maniobras.

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) busca precisamente encuadrarse en esa posición, la de aportar datos de manera fiable y eficiente, elaborar una estación totalmente portable, que sea capaz de cambiar de posición en escasos minutos, que soporte inclemencias y que proponga alternativas a los métodos usados en los barcos, cada vez más obsoletos por el inevitable paso del tiempo.

## **1.2 Objetivos**

Como su título vaticina, el objetivo principal de este proyecto es la elaboración de una estación portable de meteorología, que solo aprovechando la energía solar y ocupando un tamaño reducido sea capaz de proporcionarnos datos meteorológicos hasta en las situaciones más adversas y complicadas, conociendo ya de la importancia que esto supone. Su funcionalidad y su utilidad serán los principales pilares sobre los que se basará su diseño. Principalmente destinada para aplicación en buques, esta estación de relativo pequeño tamaño podrá ser usada también en unidades de Infantería de Marina o destinos en tierra donde se le pueda sacar un rendimiento positivo.



Ser capaz de aplicar los conocimientos estudiados durante el grado sobre electrónica y fundamentos de programación a través de la placa Arduino y transportarlos a un uso efectivo en el ámbito profesional es fundamental para el desarrollo de este proyecto. Desenvolverse en unos fundamentos antes de la elaboración del proyecto poco desarrollados y superar los problemas que se encontrarán por el camino con el único fin de realizar una estación meteorológica lo más completa y útil posible para las unidades de la Armada sería extremadamente satisfactorio.

Adentrándose un poco más en la estructura del trabajo y objetivos menores, el primero será comprender el microcontrolador que usará la estación, familiarizarse con la plataforma Arduino y el lenguaje de programación C++ reducido. Esto ayudará a obtener uno de los pilares del objetivo principal, ser capaz de resolver problemas comunes cada vez que se montan circuitos algo más exigentes de lo que acostumbran.

Lo siguiente en orden cronológico será la correcta elección de componentes, ser capaces de escoger los sensores de formada adecuada y que vayan en total sintonía con Arduino y con las características de espacio y consumo que busca el proyecto. En varias ocasiones se han encontrado más de una forma de obtener un mismo dato, sin embargo, la elección no será al azar, nada más lejos de la realidad, el objetivo será comparar y seleccionar la que más pueda aportar y contribuir al correcto funcionamiento.

Una vez con los componentes encima de la mesa, el siguiente objetivo será programarlos y hacerlos funcionar primero de forma individual para después pasar a cohesionarlos y realizar el montaje sobre la placa para que trabajen de forma simultánea y sincronizada en tiempo. La idea de la programación será conseguir el mayor rendimiento de los sensores buscando su menor consumo, teniendo en cuenta que la estación no necesariamente debe estar 24 horas trabajando.

En cuanto al montaje, aunque lo primero es asegurar que las conexiones y el circuito están hechos correctamente, características como la ergonomía y buena distribución de los componentes estarán siempre presentes. Además, asegurar la fijación de los componentes a la estación es considerado un pilar fundamental para que el proyecto sea realmente viable. Por último, en el ámbito del diseño, pese a que muchos sensores necesitan estar al descubierto, otros tienen que evitar el contacto con el agua, por lo tanto, la estanqueidad es otra característica que buscaremos en el diseño de la estación.

Finalmente, anexos sobre implicaciones sociales, económicas y medioambientales, reflexiones éticas y presupuesto serán el broche para que la elaboración de la estación se tome en consideración y pueda ser vista en un futuro sobre unidades de la Armada.

### **1.3 Estructura**

Conociendo el contexto, motivación y objetivos del presente trabajo, en este apartado se expondrá el camino a seguir para ir cumpliendo en orden cronológico cada uno de los objetivos planteados, con la idea de que también sirva para entender el proceso de elaboración de principio a fin y la organización de la presente memoria.

Este documento consta de 6 capítulos, cada uno de ellos con una previa y breve introducción que pone en contexto lo que se va a exponer en ellos. En el primero de ellos, Introducción y Objetivos, se hablará de la motivación para la realización del proyecto y su finalidad, el contexto en el que se encuadra, sus objetivos primordiales y secundarios y por último una descripción de la estructura de la memoria, dónde se encuentra.

El segundo capítulo, Estado del Arte, trata de definir de manera precisa el concepto principal que más se va a tratar en el trabajo, la ciencia de la meteorología, además de situarla y puntualizar la importancia que tiene para la historia, finalizando con la influencia que ha tenido en la historia naval de España y dejando claro el lugar que meritoriamente ocupa en la Armada.

El tercer capítulo será el Desarrollo del trabajo, paso a paso se irá desgranando el proceso de elaboración. En primer lugar, constará de una descripción de componentes para después explicar el montaje y el diseño estructural, así como los fundamentos del entorno de desarrollo de Arduino y una explicación del código de la estación.

Una vez con la estación montada, lo siguiente será realizar una comparación de resultados con diferentes fuentes que serán desarrolladas en el mismo. Esta comparación servirá como validación, y será el contenido del cuarto capítulo. Donde también se comentarán algunas consideraciones necesarias a la hora de usar la estación para que sea lo más preciso posible.

En el quinto capítulo, se presentarán las conclusiones obtenidas una vez realizado el proyecto. Además, se numerarán unas posibles líneas futuras a través de las cuales el proyecto podría adquirir valor añadido.

Por último, el sexto capítulo mostrará todas las referencias usadas para realizar la presente memoria. A este último apartado le seguirá en forma de anexos unas breves reflexiones sociales, económicas, medioambientales, éticas y un presupuesto detallado.

## 2 ESTADO DEL ARTE

El segundo capítulo de la presente memoria tendrá como función definir la ciencia de la meteorología y explicar el desarrollo de esta a lo largo de la historia, desde los primeros conocimientos hasta las tecnologías más avanzadas, pasando por su indudable influencia histórica. Siendo uno de los objetivos principales, uno de sus apartados mostrará la vital importancia de la fiabilidad de una fuente meteorológica y su impacto en la Armada. Por último, se expondrán las maneras de recibir datos con las que cuenta la Armada hoy en día en sus diferentes unidades.

### 2.1 Concepto de meteorología

#### 2.1.1 Definición

La meteorología es una rama multidisciplinaria de la ciencia encargada de estudiar los fenómenos atmosféricos y su intensidad en un determinado lugar y en un momento concreto. Proviene de *meteoron* que significa “alto en el cielo” y *logos* que significa “conocimiento”. Cuando se habla de fenómenos atmosféricos se incluyen algunos como precipitaciones, temperatura, humedad relativa o visibilidad. Así mismo, esta ciencia incluye el estudio de todos los factores que lo provocan. Muchos de ellos aparentemente pueden llegar a parecer independientes, por ejemplo, la orografía de una ciudad o área. Sin embargo, es uno de los mayores influentes, por ejemplo, la distribución de la geografía de una región afecta a si llueve o nieva en ella. O las diferencias de presiones, que provocan viento, que a su vez mueve masas de aire que generaran cambios de temperaturas o nubes. Por ello, es importante puntualizar que el hecho de que una fuerza sea invisible no quiere decir que sus consecuencias sean de menor importancia y la meteorología es un buen ejemplo de ello, sino el mejor. El arcoíris cuando el brillo del sol sustituye a la lluvia, una tormenta, la calima o el rocío típico de la mañana son también consecuencia de los fenómenos meteorológicos más generales. Y lo mismo ocurre con los más hostiles, como puede ser una DANA (Depresión Aislada de Niveles Altos) o un frente [4].

#### 2.1.2 Fenómenos estudiados por la meteorología

Desde que el humano puede levantar la cabeza, los factores meteorológicos han sido una constante incertidumbre. De hecho, hoy en día, casi todos los planes, todos los trabajos y todos los acontecimientos de la vida diaria dependen de una forma u otra de sus consecuencias.

Los factores atmosféricos, cada uno con sus variantes, intensidades y unidades de medida (ver Tabla 2-1) que van a ser estudiados son los que a continuación se describen:

- Temperatura, posiblemente el más conocido y el primero que llega a la mente cuando se habla de dato meteorológico, quizás el elemento más determinante e importante. Suelen

establecerse unos valores máximos y mínimos según la época del año que varían relativamente poco con el historial climatológico.

- Lluvia, posiblemente el siguiente dato informativo más crucial. A diferencia de la temperatura varía mucho en intensidad en un intervalo de tiempo relativamente corto. Es originado por la condensación de las nubes, formando gotas de agua que se precipitan sobre la superficie terrestre. Si hiciese unas temperaturas lo suficientemente bajas, esta precipitación podría darse en forma de granizo o nieve. Su unidad de medida es el  $mm/m^2$ .
- Humedad, su valor se suele dar en porcentaje y se refiere a la humedad relativa, dimensiona el vapor de agua existente en el aire. Siendo humedad absoluta la que proporciona la cantidad de agua por unidad de aire, la relativa da porcentaje siendo el 100% el máximo que puede existir en el aire sin que precipite.
- Presión atmosférica, magnitud importante porque determina la estabilidad del tiempo. Cuando su valor es alto, indica estabilidad, cuando su valor es bajo el tiempo es inestable. Normalmente también aporta mucha información lo separada que estén en distancia las isobaras, que son líneas que unen puntos con la misma presión. Se suele medir en hPa, aunque también es común ver bar y atm como unidades.
- Viento, las diferencias de presión y en menor medida los cambios de temperatura provocan movimiento de aire. Existe la velocidad del viento sostenido y las rachas. Se mide en nudos, y su valor se suele dar acompañado de su dirección.
- Niebla, va muy ligado a la visibilidad y a la nubosidad. No es más que la formación de nubes a baja cota, cerca de la superficie terrestre [5].

Fenómeno	Unidad
Temperatura	° C
Lluvia	$mm/m^2$
Humedad	%
Presión atmosférica	hPa
Viento	Nudos (kts)

**Tabla 2-1 Fenómeno y unidad de medida.**

Siendo estos los más generales, existen muchos fenómenos más encuadrados dentro de distintas clasificaciones, que los dividen en luminosos, ópticos, hidrológicos, atmosféricos, acústicos geológicos, climatológicos e incluso biológicos. Algunos ejemplos son: truenos, tornados, granizos, eclipses o tormentas eléctricas. La mayoría de ellos son variantes de los desarrollados en el párrafo anterior [5].

### 2.1.3 Tipos de meteorología

El adjetivo de interdisciplinaria se atribuye generalmente a la meteorología porque estudia todas las propiedades físicas que se acontecen en la atmósfera y las fusiona con elementos como los océanos o el sol. Debido al abanico tan amplio que engloba, la meteorología se divide en ramas, las que a continuación se exponen [6]:

- Sinóptica, consiste en comprender los sistemas meteorológicos para encontrar predicciones en un corto período, observando la atmósfera de forma continua.
- Macrometeorología, es como la sinóptica, pero abarca el planeta en su totalidad, entendiéndolo como un conjunto de flujos e interacciones.
- Mesometeorología, analiza la meteorología en un radio de aproximadamente 2000  $km^2$ .

- Hidrometeorología, comprende los comportamientos del agua y abarca desde lluvia hasta nevadas.
- Dinámica, es la rama que se encarga de estudiar el movimiento de la atmósfera, su circulación y sus consecuencias en el tiempo.
- Física, analiza cómo se relaciona el comportamiento de la atmósfera con elementos como el sol o los océanos.
- Experimental, utiliza datos de satélites y demás instrumentos meteorológicos mediante técnicas de observación y experimentación.

#### *2.1.4 Diferencia entre predicción y observación*

La parte de la definición en la que se especifica que la meteorología estudia un momento concreto, se refiere a la predicción de la meteorología. Realizar una predicción no es más que estudiar las propiedades y futuros valores de las condiciones meteorológicas en un intervalo relativamente corto de tiempo, el cuál si se intenta alargar se perderá precisión y fiabilidad. De hecho, una precisión comienza a ser exacta en un periodo inferior a 24 horas. A su vez, acotar la región de estudio también favorece a obtener una buena predicción, por ello siempre es recomendable usar fuentes locales. El arte de prever qué ocurrirá en un futuro cercano en la atmósfera y por ende que fenómenos se darán, es lo que se conoce comúnmente como predicción [4]. Sin embargo, la observación se reduce a saber y conocer la intensidad de los fenómenos que se están dando en un lugar y momento determinado.

#### *2.1.5 Diferencia entre meteorología y climatología*

Para finalizar con este apartado y tras haber aclarado algunos conceptos relacionados con esta complicada ciencia, es importante recordar que la meteorología y la climatología, aunque tengan similitudes, son dos ciencias diferentes. Mientras que la primera se ocupa de las capas de la atmósfera más cercanas a la vida humana y a corto plazo, la segunda en un mucho mayor periodo de tiempo saca una visión más global y general de los fenómenos meteorológicos de una zona. Es por ello por lo que el concepto de previsión como lo hemos aclarado anteriormente se encuadra exclusivamente en la meteorología. La diferencia de dos previsiones separadas en el tiempo para un mismo día se justifica por la inmensa cantidad de errores que se asumen con el paso de las horas, hasta los factores a priori más insignificantes serán los que acaben diferenciando una buena previsión de la mejor. Para entenderlo, las suposiciones serán las mayores enemigas de las predicciones, como suele pasar en cualquier aspecto de la vida cotidiana [7].

## **2.2 Contexto histórico**

### *2.2.1 Edad Antigua*

La curiosidad es algo inherente a las personas, por lo tanto, en los comienzos de la humanidad la incertidumbre del tiempo atmosférico era un quebradero de cabeza. Como ya se ha comentado, se podría decir que la meteorología existe desde que un humano puede mirar al cielo. En un principio los fenómenos se asociaban a creencias sobrenaturales y movimiento de astros, tendencias que han perseguido al desarrollo de la meteorología hasta hace bien poco.

Entorno al siglo V a.C, la civilización griega ya trataba de relacionar los fenómenos hasta entonces sobrenaturales con la ciencia, ya nombres conocidos como Tales de Mileto relacionan estos dos conceptos en busca de una respuesta. De la mano del filósofo y matemático griego Aristóteles nacen los

primeros escritos sobre meteorología (ver Figura 2-1), de hecho, a él se debe su nombre explicando anteriormente [8].



Figura 2-1 Portada del libro de Aristóteles “Los meteorológicos” [9]

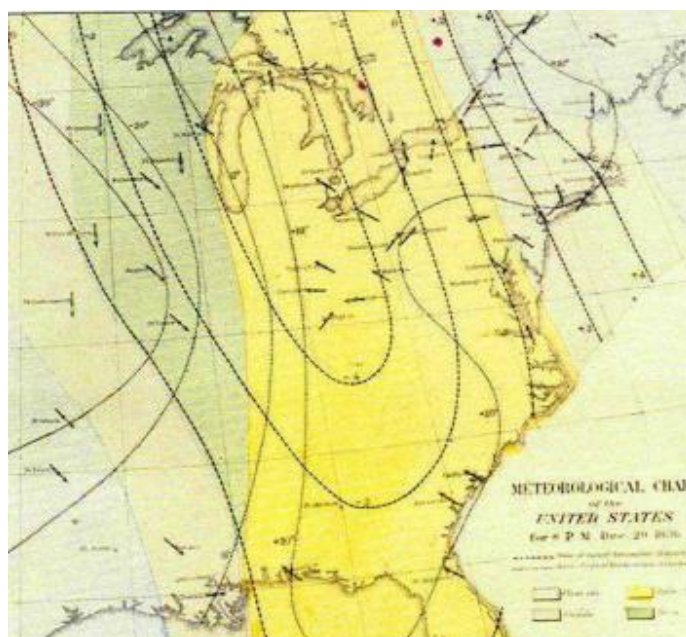
En estos textos Aristóteles argumenta de forma descriptiva teorías sobre la formación de nubes y lluvia o el ciclo hidrológico. Por ejemplo, no duda en aclarar que el agua es el componente que se condensa para dar lugar a una nube. Además, es para enorgullecerse que este libro fue traducido del griego al latín y divulgado al resto del continente europeo en España, en la Escuela de Traductores de Toledo [10]. Dichos estudios servirían para que siglos después se pudiese continuar desarrollando esta complicada ciencia. Con el paso del tiempo comenzaron a nacer los primeros meteorólogos, por ejemplo, el español José de Acosta en el siglo XVI, muy arraigados a los conceptos enunciados por Aristóteles ya que no se atrevían a contradecir a tal genio.

### 2.2.2 Edad Moderna

Con la llegada de la edad Moderna, la ciencia meteorológica comenzó a desvincularse de sus uniones con los conceptos astronómicos presentes en la ciencia aristotélicas y proseguidas por los científicos árabes. Estos pensamientos comenzaron a mezclarse y extender su aceptación a través de la tradición originando dichos populares. Por ejemplo, las “cabañuelas”, un método tradicional en el cual se observan los primeros 12 días del año atribuyendo los períodos de cosecha y cultivo, predicen supuestamente las épocas de calor, frío y lluvia.

En esta época comienzan a nacer los primeros instrumentos de medidas, que, aunque hayan avanzado tecnológicamente, son similares a los que se emplean en la actualidad. Galileo en 1607 inventa el termómetro, Torricelli hace lo mismo con el barómetro en 1643 y el anemómetro es inventado por Hooke en 1667. Durante esta época se trataba de contrastar los datos recogidos por los aparatos de medidas que se iban elaborando con la realidad, tratando a su vez de justificar sus argumentos y afianzar los conceptos. Para ello se apoyaban, como es lógico, en científicos y una vez más en las observaciones de los marinos. Los conocimientos sobre la atmósfera cada vez comienzan a ser más certeros y los datos observados necesitan ser distribuidos. En 1654 se crea la primera red de observatorios de Europa con mediciones comparables y poco después la primera sociedad gestora de redes, la Sociedad Meteorológica Palatina. A finales de siglo XVIII, algunos científicos ya afirmaban que se podían hacer predicciones a uno o días vista, evitando ciertos desastres, la mayoría de ellos, marítimos. Los

acontecimientos históricos van sucediendo y poco a poco se va comprendiendo la importancia de la predicción de la presión atmosférica (ver Figura 2-2) como supuesto pilar fundamental de la meteorología [8].



**Figura 2-2 Primer mapa meteorológico sinóptico (1820) [8]**

### *2.2.3 Mitad del siglo XIX*

Al comienzo de este siglo se había conseguido desarrollar observaciones, incluso su representación sinóptica, sin embargo, aunque era útil para investigaciones científicas, no servía para la recopilación de estos datos y su transmisión de forma casi inmediata a los meteorólogos, lo que de verdad años después iba a ser la pieza clave.

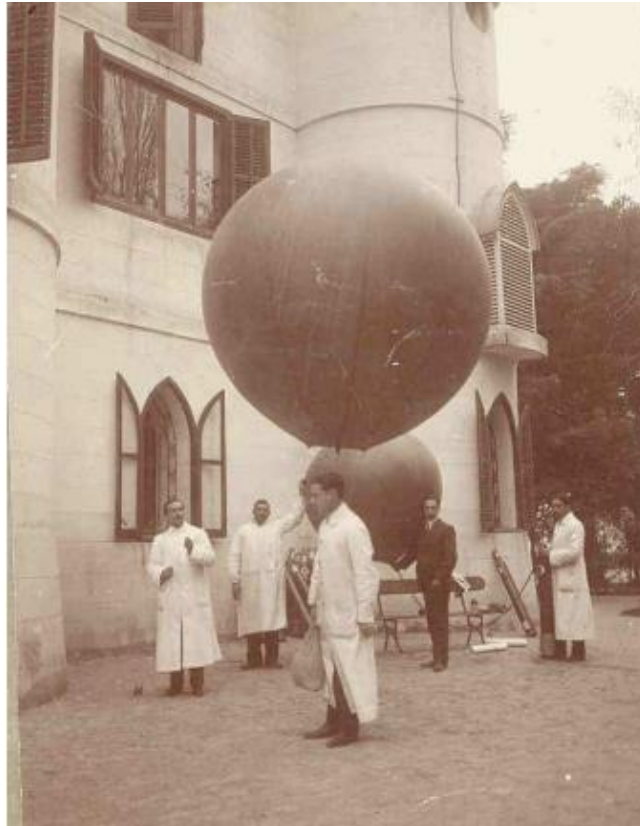
Desde que se comenzaron a transmitir las primeras observaciones, se hacía por línea telegráfica gracias al invento del telégrafo en 1840 [11]. Este hecho propició que a partir de mediados de este siglo fueran naciendo las primeras instituciones con la capacidad de difundir predicciones de forma satisfactoria. Muchos colectivos, por ejemplo, el marítimo, aprovecharon este desarrollo y el éxito de estas instituciones fue reconocido por los gobiernos. Sin embargo, la necesidad imperiosa de los distintos países de cooperar para trabajar en una misma línea hizo que en 1873 tuviera lugar el primer Congreso Meteorológico Internacional en la ciudad de Viena, originándose la Organización Meteorológica Internacional, demostrando desde entonces la importancia de una coordinación internacional en este campo [10].

Hasta entonces, la meteorología se definía como una ciencia enmarcada entre la observación, registro de datos y experiencia. Otras ciencias se encontraban en aquella época bastante más desarrolladas y estudiadas. El limitado conocimiento sobre la atmósfera forzaba a que fuera una ciencia casi al completo empírica.

### *2.2.4 Meteorología contemporánea*

Fue para comienzos del siglo XX cuando Vilhelm Bjerknes, procedente de Noruega, enfocó la predicción como un problema de la observación de la atmósfera, siendo este el fundamento por el que se rige actualmente las predicciones climatológicas. Demostró que los datos que hasta entonces se recogían no valían para hacer una predicción de fiabilidad aceptable, además se ceñían a la superficie de

la tierra y el difícil problema necesitaba de valores atmosféricos. Las primeras veces que se medían datos de la atmósfera fue con globos sonda (ver Figura 2-3), mediante los cuales se podían registrar datos muy valiosos sobre las capas altas de la atmósfera [10].



**Figura 2-3 Sondeo con globos sonda en Madrid (1914) [8]**

Gracias a los meteorólogos noruegos, entre ellos el hijo del propio Bjerknes, el modelo matemático de las ecuaciones sobre la atmósfera fue descubierto. Estos científicos dejaron claro la inviabilidad de resolver dicho problema en un tiempo útil para realizar una buena predicción. Razón por la cual, el matemático Lewis Fry Richardson, recogiendo el guante del noruego, vaticinó que estas ecuaciones no serían resueltas hasta que un ordenador con la suficiente velocidad computacional fuera capaz de hacerlo. Además, estimó una fecha para la aparición de un ordenador de estas características. Richardson acertó, y por 1950 los métodos numéricos eran realizados y solventados con creces [10].

De forma simultánea y exponencial, la anteriormente mencionada Organización Meteorológica Internacional seguía mejorando en sus labores, observando como el crecimiento en coordinación iba de la mano con las nuevas técnicas meteorológicas. Los gobiernos apreciaban como para sus intereses nacionales convenía que la tendencia siguiera siendo ascendente. De hecho, tras ver su vital influencia en la Segunda Guerra Mundial, precisamente en 1950 nace la Organización Meteorológica Mundial, cuyo papel era apoyar y gestionar las actividades realizadas por los propios programas nacionales, denominados Servicios Meteorológicos Nacionales, que en el caso de España sería la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET [12].

En la metodología contemporánea, los satélites (ver Figura 2-4) y tecnologías de teledetección como radares constituyen las fuentes principales para que potentes ordenadores puedan traducir la vigilancia de la atmósfera en unas predicciones altamente fiables. Los satélites fueron lanzados por primera vez en 1957 [13].



Hoy en día, el sofisticado desarrollo de las técnicas y la ciencia meteorológica aporta numerosos beneficios a la sociedad, el conocimiento de la atmósfera roza unos límites impensables hace siglos y proporciona unas predicciones de gran calidad necesarias para el día a día de cualquier ser humano.

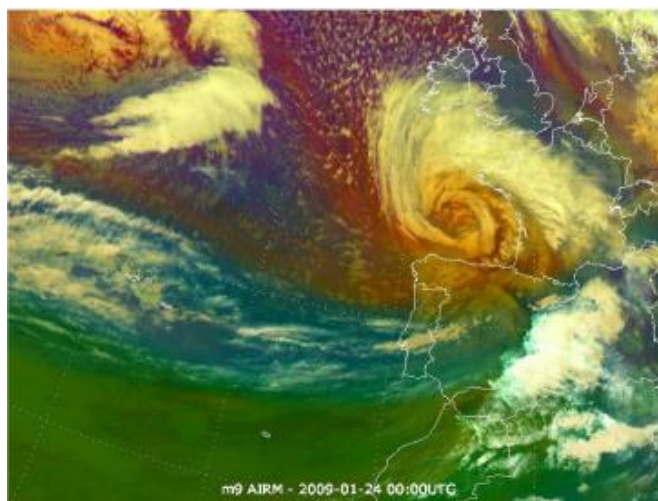


Figura 2-4 Imagen satélite de borrasca en el cantábrico procesada por el satélite METEOSAT 9 [8]

## 2.3 Influencia de la meteorología en la historia

### 2.3.1 Conflictos bélicos internacionales

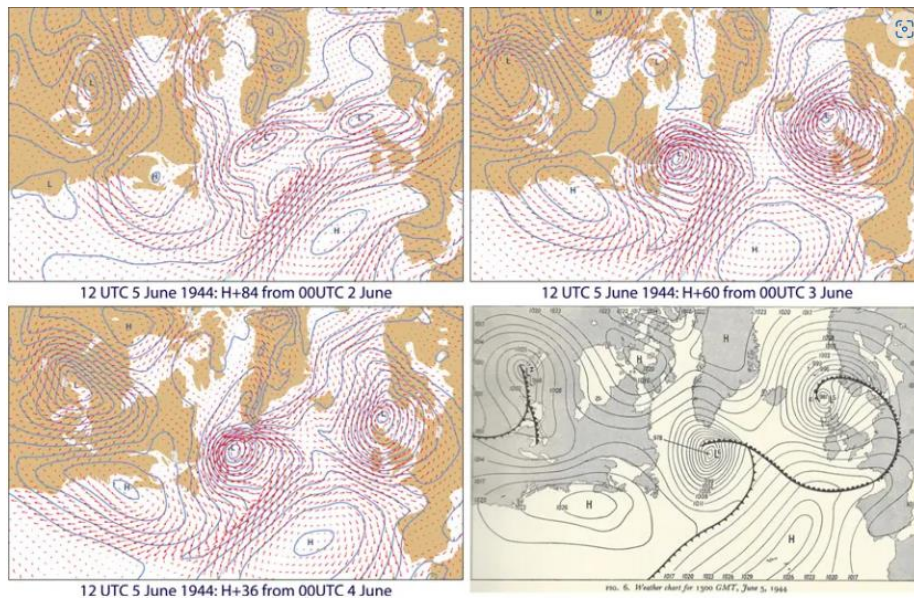
A lo largo de la historia las condiciones meteorológicas han demostrado ser un arma de “doble filo”, pudiéndose convertir en el peor y más incontrolable de los enemigos, en ocasiones el más impredecible o sirviendo como base de un planeamiento táctico correctamente dirigido y planificado. Llena de ejemplos de esta índole, la historia demuestra que la meteorología tuvo mucho que ver en el devenir de la historia, con ejemplos como la invasión de Italia por Aníbal o China a cargo de Genhis Kahn [14] [15].

Numerosos casos emblemáticos e históricos pueden venir a la mente cuando se habla de influencia de la meteorología en el desarrollo de conflictos bélicos, los cuáles de haber existido las fuentes nacionales e internacionales de las que se disfrutan hoy en día, quizás habrían tomado otro rumbo y el devenir de la historia sería un tanto diferente.

Famoso día D, el 6 de junio de 1944, los aliados desembarcan en la playa francesa de Normandía, precediendo la mayor invasión por mar de la historia, sin embargo, esa fecha no era la planeada por las tropas aliadas. La garantía para esta operación militar se fundamentaba en que las condiciones meteorológicas fueran favorables pero un informe de un joven británico (ver Figura 2-5), el teniente coronel Stagg, quien quedó al mando de las previsiones meteorológicas, advierte que la meteorología solo mejoraría durante cortos períodos de tiempo fechados en el día señalado para la historia [16].

**Figura 2-5 Informe meteorológico del teniente coronel Stagg [16]**

Las treguas prometidas por el informe no llegaban y el inicio de la operación se llevó a cabo sin mejoría. Llegaba entonces un momento de inflexión histórico de vital importancia (ver Figura 2-6), el acierto de la previsión permitió que vuelos a baja cota, bombardeos, avistamientos de la localización de enemigos en tierra y demás actividades se pudieran llevar a cabo.



**Figura 2-6 Pronósticos de ERA-CLIM para el 5 de junio de 1944 [17]**

Los alemanes no contaban con los expertos y detallados análisis de los aliados ni mucho menos con el desembarco con tales inclemencias meteorológicas. Los vencedores construyeron en la previsión meteorológica y en la sorpresa los cimientos de una victoria para la historia.

### 2.3.2 Guerra Civil española

Si bien el anterior caso no parece ya lo suficientemente trascendente, en el marco nacional también existen otros ejemplos. Verano de 1936, verano seco y extremadamente cálido, cuyas condiciones calurosas se alargaron hasta bien entrado el otoño. Llegado los días de la conocida “Batalla de Madrid”, entre el extraño clima con dominio de las temperaturas altas y el sol, la situación climatológica se torció hacia la normalidad de la estación, las nubes aparecieron y el viento comenzó a arreciar [18].

El ataque del ejército franquista no sería efectivo sin apoyo de las aeronaves, de esta forma se aprovechó que el día 8 de madrugada el último frente frío pasó, cuando las operaciones militares con apoyo de aviación serían más sencillas y al llegar las claras del día el ataque se produjo. Los siguientes días fueron de estabilidad meteorológica, incluso temperaturas de nuevo algo altas para las fechas, pero al llegar la tarde del 11 de noviembre las inclemencias meteorológicas regresaron impidiendo movimientos aéreos. Sin embargo, el día 13 trajo consigo un amanecer frío y con mala visibilidad, donde el bando nacional aprovechó para realizar un ataque y consolidarse en el cerro de Garabitas. Como este ejemplo hay más casos durante el transcurso de la batalla madrileña hasta que el 20 de noviembre de 1936 entró una DANA (ver Figura 2-7) que traería consigo inestabilidad y condiciones climatológicas adversas con las que jugar y arriesgarse [19].

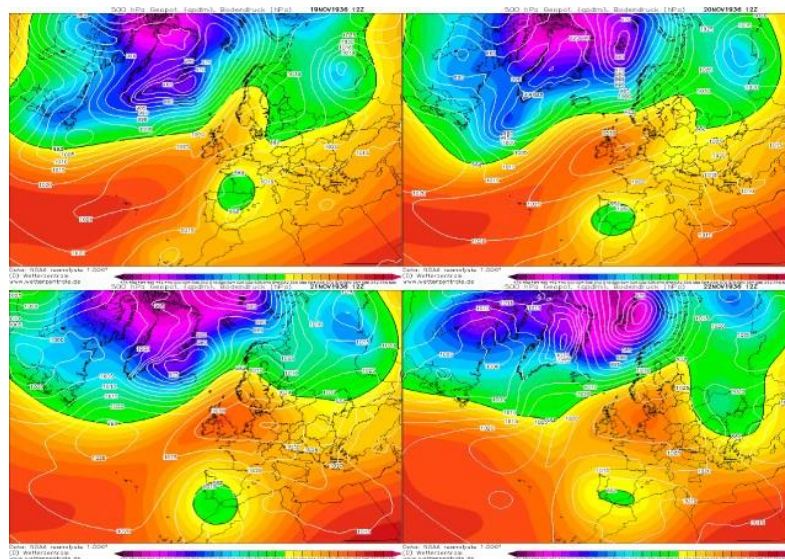


Figura 2-7 Mapa de presiones de los días 19 al 22 noviembre de 1936 [20]

## 2.4 Meteorología en las Fuerzas Armadas

### 2.4.1 Generalidades

Por razones que ya se han podido explicar en capítulos y apartados anteriores, se puede suponer que meteorología y defensa son dos conceptos que van muy unidos. Como ya se comentó en la introducción, AEMET se encarga del apoyo meteorológico de las FAS, y lo hace a través del Servicio de Aplicaciones para Defensa (SAD). Además, tiene un centro de predicciones instalado en el Mando de Operaciones del Estado Mayor de la Defensa y otras unidades que enumerarán a continuación, entre las que se destacan las Oficinas Meteorológicas de Defensa, una de ellas ubicadas precisamente en la Escuela Naval Militar (ENM) (ver Figura 2-8) [21]. La Agencia Estatal de Meteorología llegó incluso a participar en misiones como la misión de Defensa Aérea de los Países Bálticos.



**Figura 2-8 Oficina Meteorológica de Defensa, ENM (Derecha: pluviómetro. Izquierda: anemómetro y veleta).  
Fuente: propia**

Para el funcionamiento de su labor el SAD cuenta con diferentes secciones:

1. Sección de Coordinación Operativa
2. Centro Nacional de Predicción de la Defensa
3. Servicio de Apoyo Meteorológico OTAN
4. Oficinas Meteorológicas en Unidades de Defensa
5. Oficinas Meteorológicas Móviles de Defensa

Vista la trascendencia que tuvo esta arma en la Segunda Guerra Mundial, la fuerza aérea especialmente necesitaba el desarrollo de esta ciencia. Por ello, los servicios nacionales deben su razón de ser a la necesidad requerida en el siglo XX por la aviación. Apareció el término de Weather War y las FAS, fundamentalmente el Ejército del Aire y Armada, incluyeron en sus planes de acción buques especializados en la meteorología, meteorólogos a bordo de los aviones y las nuevas técnicas vertidas por la escuela noruega ya previamente comentada.

En la actualidad, existe un convenio actualizado entre ambos organismos, AEMET y las Fuerzas Armadas, donde la agencia se compromete a aportar siempre las técnicas más avanzadas a los requerimientos específicos de los Ejércitos y la Armada. Con la infraestructura descrita en el primer párrafo del presente apartado, las unidades disfrutaban de un respaldo de 24 horas en cuanto a necesidades meteorológicas se refiere, dedicando, además, un 11% del personal a estos organismos y 19% de presupuesto. Y lo hace además de a los ejércitos, a organismos y centros pertenecientes a organismos de Defensa, Unidades extranjeras basadas en territorio español y a Unidades internacionales en las que se integren unidades españolas [22].

Una actividad militar realmente se ve afectada por el impacto de la meteorología y las consecuencias que provocan, por lo tanto, nace hoy en día el concepto de las ayudas tácticas a la decisión. En todas las unidades operativas se establecen unos límites, en muchas ocasiones recogidos en las doctrinas, que dictan como pueden perjudicar las condiciones climatológicas al desarrollo de un ejercicio militar, en ocasiones vetándolo ya que supondría poner en grave riesgo bien a los materiales o bien al más preciado de los recursos, el humano.

La OTAN no establece ninguna norma o modelo para la gestión de las predicciones meteorológicas, siendo España el único país de la alianza que se apoya de forma exclusiva en un órgano plenamente civil como es la AEMET. Sin embargo, el resto de los países que componen la OTAN, incorporan en su estructura organismos que son los que aportan información sobre predicciones, aunque estos se apoyen realmente en sus respectivos servicios nacionales.

### 2.4.2 Requerimientos y tipos de información meteorológica

A la hora de originar un parte meteorológico, el tipo de predicción variará dependiendo si hablamos de tiempos de paz, crisis o conflicto. En tiempos de paz, el parte meteorológico se basará en predicciones climatológicas. Considerando tres fases de ejercicio:

1. Preparación: apoyo climatológico.
2. Toma de decisión: predicción en un plazo de 12 a 15 días.
3. Ejecución de ejercicio: predicción corto plazo.

Por otro lado, en situaciones de crisis o conflicto, el apoyo de la agencia debe ser constante, con partes muy fiables con plazos a muy corto y medio plazo.

Para proseguir es conveniente aclarar que, según la OMM, los tiempos quedan de la siguiente forma:

1. Predicción inmediata: hasta 2 horas.
2. Predicción a corto plazo: de 12 a 72 horas.
3. Predicción a medio plazo: de 72 a 240 horas.

Existen numerosos mensajes normalizados, a los que incluso en ocasiones se le otorga una clasificación de seguridad mayor que CONFIDENCIAL. Por ejemplo, el METREP ALFA (ver Figura 2-9), que aporta una predicción general de 24 horas, otra de 48 y 72 horas y un último apartado de alertas meteorológicas.

```
METREP ALFA

CONFIDENCIAL
ZONA DE VALIDEZ: CASAS DE UCEDA
EMISION: 27/OCTUBRE/2003
DESTINATARIOS: BRIPAC (UINT).

1.- PREDICCIÓN GENERAL A 24 HORAS
DÍA 27 / OCTUBRE / 2003.
MUY NUBOSO O CUBIERTO CON CHUBASCOS DÉBILES A MODERADOS EN TODA EL
ÁREA Y NIEVE EN LAS CUMBRES MÁS ALTAS DE LA SIERRA. TEMPERATURAS SIN
CAMBIOS IMPORTANTES Y VIENTOS DE COMPONENTE SUR FLOJOS CON
INTERVALOS MODERADOS ESPECIALMENTE EN LAS ZONAS ALTAS.
TEMPERATURA MÁXIMA PREVISTA EN UCEDA: 13 ° C

2.- PREDICCIÓN GENERAL A 48 Y 72 HORAS:
DÍA 28 / OCTUBRE / 2003.
PROSIGUE LA SITUACIÓN ESTACIONARIA. LAS TEMPERATURAS DIURNAS
EXPERIMENTARÁN UN LIGERO ASCENSO Y LOS VIENTOS SEGUIRÁN SIENDO
ENTRE FLOJOS Y MODERADOS DE COMPONENTE SUR.
TEMPERATURAS MÁXIMA PREVISTA EN UCEDA: 14 ° C

DÍA 29 / OCTUBRE / 2003.
ALGUNAS PRECIPITACIONES DÉBILES Y PERSISTENTES EN LAS PRIMERAS HORAS.
TENDENCIA A UNA DISMINUCIÓN LENTA DE LA NUBOSIDAD QUEDANDO EL CIELO
PARCIALMENTE NUBOSO (3-5/8) A PARTIR DE MEDIODÍA EN EL ÁREA DE LA SIERRA
Y NUBOSIDAD ALGO MÁS ESCASA EN EL RESTO. SIN QUE SE ESPEREN
PRECIPITACIONES POR LA TARDE. LOS VIENTOS ROLARÁN A LO LARGO DEL DÍA A
COMPONENTE NORTE Y ESTE Y LAS TEMPERATURAS DESCENDERÁN
LIGERAMENTE A LO LARGO DE LA TARDE.
TEMPERATURA MÁXIMA PREVISTA EN UCEDA: 12 ° C

ALERTAS METEOROLOGICAS:

NINGUNA
```

**Figura 2-9 Ejemplo de mensaje formalizado METREP ALFA [21]**

No solo los mensajes sirven como apoyo meteorológico, también se aportan representaciones gráficas tales como: mapas de superficie (ver Figura 2-10 derecha), mapas de viento y temperatura en altura, mapas de oleaje, mapas de temperatura en la superficie del mar, etc. Imágenes satélite (ver Figura 2-10 izquierda) o radar también son usadas como medio de información y, por último, informes climatológicos. Estos últimos se basan en información recopilada normalmente los últimos 30 años y usualmente contienen descripción general, geográfica y orográfica. A mayores, incluyen cuadros de valores climatológicos (números de días al año que llueve, números de días al año nublados o despejados, valores mínimos y máximos de temperatura, etc.), informes sobre fenómenos peligrosos en la zona y más datos complementarios [21].

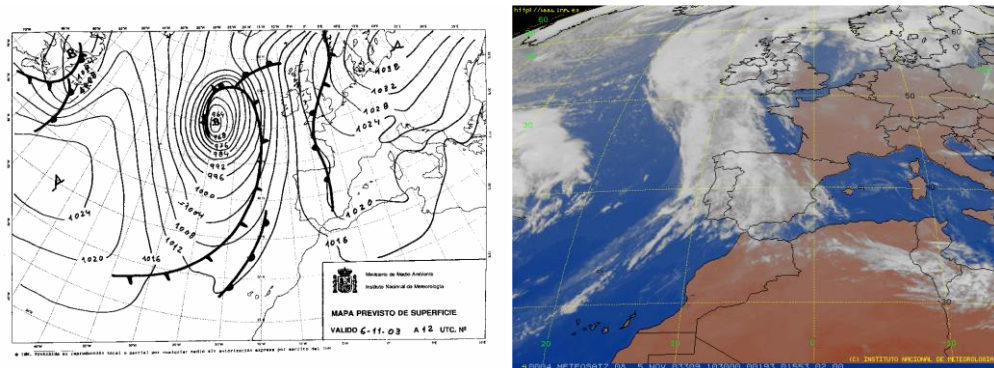


Figura 2-10 Representaciones gráficas (Derecha: mapa de superficie. Izquierda: mapa satélite) [21]

### 2.4.3 Meteorología en la Armada

Los factores meteorológicos influyen y han influido en la navegación marítima, desde que los primeros barcos usarán el viento como medio de propulsión, seguido por los numerosos desastres ocasionados por las inclemencias climatológicas. Existen más ejemplos además del que se va a comentar, por ejemplo, graves contratiempos ocasionados por el mal tiempo hicieron que en el siglo XIX la flota anglo-francesa aliada se viera derrotada en la Guerra de Crimea, sacudida por una robusta tormenta [23].

Uno de los acontecimientos con más trascendencia fue el desastre de la despectivamente llamada “Armada Invencible”, que dio lugar a la famosa frase del Rey Felipe II, cuando la influencia de la meteorología interfirió en la batalla naval contra la Armada inglesa: “*Yo envíe a mis naves a luchar contra los hombres, no contra los elementos*”. La “Gran Armada”, como se llama a la flota española, partió de Lisboa el 28 de mayo de 1588 con vientos totalmente desfavorables, convirtiendo en un suplicio el tránsito hasta Finisterre y provocando que las naves tuvieran que recalar en el puerto de A Coruña. Tras repararse del duro contratiempo, el 25 de julio se reanuda la marcha, pero no es hasta el 29 de julio que la Armada avista tierra inglesa.

El plan concebido consistía en sorprender a los enemigos que esperaban en Plymouth, con ninguna posibilidad de partir debido a que ni el tiempo ni el estado de la mar lo permitían, pero Medina Sidonia, sucesor de Álvaro de Bazán a cargo de la Gran Armada, buscando lo mejor para la flota decidió no atacar, pese a tener a los ingleses acorralados en su propio puerto por el viento y el oleaje. Muchos historiadores aseguran que la suerte se echó en el momento que se tomó aquella decisión.

Después de este suceso, las tropas españolas, seguían rumbo a Flandes y simultáneamente la flota española sufría varios accidentes. Los encuentros, sin poder denominarlos aún batalla naval se fueron dando durante el mes de agosto. En el último enfrentamiento de esta guerra anglo-española, el duque Medina Sidonia manda a sus tropas fondear frente a Calais, para que los Tercios pudieran embarcar. Fuertes vientos y peligrosas corrientes azotaban el lugar elegido para echar el ancla, provocando dispersión y desarticulación de la Gran Armada, aunque sin registrar numerosas bajas y con tan solo una nave perdida. De momento, la Gran Armada, siendo superior en número estaba fracasando en la batalla

y a finales de agosto cayeron en una sucesión de borrascas y temporales. Los mandos decidieron buscar refugios en la costa oeste de Irlanda, sin ningún éxito, ya que se perdieron 28 buques. Finalmente, tras más de un mes de sacudidas por las galernas, la flota española comienza a llegar a la costa Cantábrica, a ciudades como Santander o Laredo, con mucho perdido, pero con el honor intacto [24].

En la actualidad, gracias a que el manual de apoyo meteorológico contempla los procedimientos operativos para unidades de la Armada, las unidades navales reciben diariamente avisos e información meteorológica general. Se reciben por radiodifusión a 0600Z y 1800Z el Boletín Meteorológico Marítimo de Alta Mar, avisos del Instituto Hidrográfico y por petición de los buques se reciben Boletín Meteorológico Costero y los mensajes normalizados descritos anteriormente, siendo los más comunes el METREP ALFA, BRACO y CHARLIE. También existen boletines sobre aeronáutica y las imágenes y representaciones gráficas nombradas anteriormente. La conexión a internet en buques de la Armada es cada vez más accesible, sin embargo, la información meteorológica obtenida por ese medio será estrictamente complementaria.

Por otro lado, también se ha visto que la recopilación de datos es extremadamente importante para que en un futuro los informes climatológicos se puedan levantar. Por ello, se establece que los barcos que naveguen durante un periodo superior a 24 horas y se encuentren a más de 30 millas tendrán que transmitir datos climatológicos mediante el mensaje METOBS, a las 0000Z, 0600Z, 1200Z y 1800Z. Cuando estas condiciones ocurran en una agrupación, se designará un buque de guardia que recibirá y transmitirá la información [21].

Además, los buques de la Armada tienen medios propios de obtener datos meteorológicos de forma instantánea, pero como es lógico suponer no disfrutan de una capacidad de hacer una predicción meteorológica ni obtener datos sobre datos atmosféricos avanzados.

Por último, mencionar la labor del Observatorio de San Fernando, ciudad de marinos por excelencia. En el Real Observatorio de la Armada, además de ser el responsable de la custodia, conservación, mantenimiento y difusión a cargo del Estado de la unidad básica de tiempo, también ostenta el cargo de aportar la red de datos climatológicos más antigua, plasmada en un libro manuscrito (ver Figura 2-11) [25].

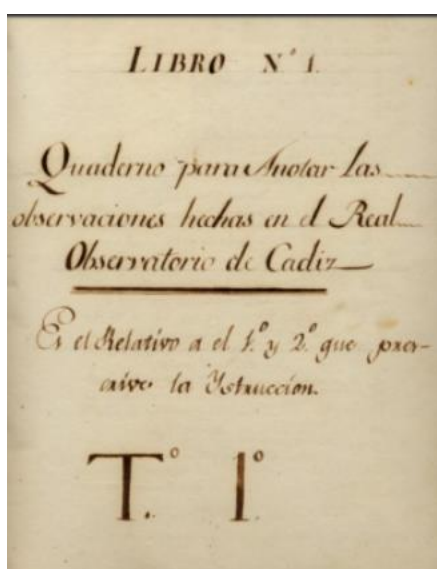


Figura 2-11 Portada de libro manuscrito en el Real Observatorio de la Armada (1799-1813) [26]

## 2.5 Instrumentos y estaciones de meteorología

### 2.5.1 Generalidades

Los instrumentos meteorológicos son básicamente las herramientas que nos permiten realizar una medición de los parámetros meteorológicos. Prácticamente todos los fenómenos descritos anteriormente tienen varias formas de ser medidos, que, aunque han variado a lo largo de la historia, muchos de ellos mantienen su funcionamiento.

Mientras que algunos de ellos registran los datos para aportar un valor después de un tiempo establecido de medida, otros aportan el valor de forma continua e instantánea. Un conjunto de instrumentos conformará una estación, existiendo tres tipos de estaciones:

1. Terrestres
2. Marítimas
3. Superficie

La OMM establece unos requisitos en la implementación de estaciones para que estas sean validadas dentro de una región. En cuanto al lugar elegido, este debe ser accesible para su mantenimiento y despejado de posibles obstáculos. De igual forma, los equipos tienen que estar bien calibrados y orientados adecuadamente evitando las interferencias mutuas.

Una vez que se toman los datos, las estaciones deben de ser capaz de transmitir la información obtenida, acompañada de imágenes y representaciones gráficas que servirán para una posible predicción posterior. Hoy en día existen estaciones automáticas que suelen registrar datos cada 10 minutos aproximadamente.

A continuación, se expondrán los instrumentos más comunes y clásicos (ver Tabla 2-2):

1. Barómetro, medidor de presión atmosférica (ver Figura 2-12). El sensor se comprime y expande en función de la presión y plasma los movimientos un cilindro envuelto por una gráfica donde los datos quedan registrados con normalmente tinta, denominado barógrafo.



**Figura 2-12 Ejemplo de barómetro**

2. Termómetro, cuya función es medir temperatura. Consiste en un tubo capilar recto, relleno de mercurio, que sube o baja el nivel según los cambios de temperatura del aire.



A cada lado del termómetro se puede poner la escala que se requiera, pero normalmente se usan grados centígrados.

3. Hidrógrafo, para medir humedad relativa, trata de un haz que se dilata cuando el aire se humedece y se contrae en caso contrario. Como en el barógrafo, un sistema de palancas hace que estos valores queden plasmados en un tambor con una gráfica escalada del 0 al 100%.
4. Pluviómetro (ver Figura 2-13), para medir la cantidad de lluvia precipitada en una zona, compuesto por dos cilindros, uno en el interior del otro, siendo el interior el vaso medidor. El agua entra en el vaso medidor que tiene una regla donde cada centímetro suele equivaler a un milímetro de lluvia.



**Figura 2-13 Ejemplo de pluviómetro**

5. Anemómetro, determina la velocidad del viento. Está formado por una estructura giratoria de 3 brazos separados 120° los cuales son movidos por el empuje del viento. Tienen una equivalencia de m/s a km/h o nudos.
6. Veleta, suele ir colocada cerca del anemómetro y determina en tiempo real y de una manera visual la dirección proveniente del viento.

Fenómeno	Instrumento
Temperatura	Termómetro
Lluvia	Pluviómetro
Humedad	Hidrógrafo
Presión atmosférica	Barómetro
Viento	Anemómetro

**Tabla 2-2 Fenómeno e instrumento de medida**

### 2.5.2 Instrumentos a bordo de los buques de la Armada

Conforme el ya mencionado ROA iba creciendo en cuánto conocimiento de la atmósfera, se fue percibiendo que los datos tomados se veían influenciados por los factores meteorológicos. Por esta razón, el ROA se vio obligado a desarrollar la obtención de datos meteorológicos. Hoy en día la Armada cuenta con dos estaciones automáticas, una en la Isla de Alborán y otra en el ROA, perteneciendo a la AEMET, que las integra en la Red Meteorológica Nacional.

A bordo de los barcos y unidades de la Armada, los instrumentos no están tan desarrollados, ni mucho menos poseen una estación automática, sin embargo, existen métodos tradicionales e instrumentos parecidos a los descritos en el subapartado anterior para conocer los datos y poder registrarlos en el ya referenciado “Cuaderno de bitácora”.

Para cumplir esta función, normalmente en los puentes de gobierno de los buques existen repetidores que exponen los valores en pantallas repartidas por todo el compartimento. A continuación, se mostrarán alguno de los métodos que tiene el Buque Escuela “Juan Sebastián de Elcano” (JSE) (ver Figura 2-14) para obtener los datos vistos anteriormente. Siendo este probablemente el buque de la Armada que use los métodos más tradicionales o menos actualizados.



Figura 2-14 Instrumentos usados en el JSE. (Derecha: barómetro. Izquierda: hidrógrafo). Fuente: propia

Existen barcos algo más especializados por la misión que desempeñan, por ejemplo, el Buque de Investigación Oceanográfica (BIO) “Hespérides” realiza expediciones de carácter científico a la Antártida. El BIO cuenta con una estación de meteorología que, con una recogida de datos continua, alimenta de forma satisfactoria a través de la AEMET a la OMM. Dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la estación es capaz de dar datos de una manera ininterrumpida y que se pueden observar en la página web del CSIC, en el apartado de SADO DASH BOARD [27].

La recogida de datos de forma instantánea ha demostrado ser lo más importante para poder obtener una buena predicción y elaborar un buen informe climatológico. El proyecto busca facilitar la obtención de estos datos, además de ofrecer una mayor accesibilidad a los datos en todo momento y en un lugar concreto. Es una buena opción para seguir contribuyendo a que la Armada sea una de las principales fuentes de datos meteorológicos y continuar con el legado que dejaron los primeros marinos, que ya eran consciente de que la meteorología iba a ir ligada al medio marino para siempre.

## 3 DESARROLLO DEL TFG

En el siguiente capítulo se explicará paso a paso la elaboración de la estación, cuyo proceso comenzará con la elección de sus componentes. Se empezará con la prueba y el estudio del funcionamiento de cada componente por separado de forma individual, para después ir integrándolos poco a poco dando paso al diseño final. Cada sensor consta de un código programado en el lenguaje C++ reducido que gracias al microprocesador que integra la placa Arduino Mega conformarán una estación de meteorología portable capaz de registrar los datos en una tarjeta micro SD.

### 3.1 Componentes

#### 3.1.1 Descripción

El componente principal de la estación y que hará que funcione será el microcontrolador. Para ello, se ha optado por elegir la plataforma Arduino, en concreto la placa Mega 2560 REV3. Una placa de Arduino es un recurso que usando el programa C++ reducido es capaz de controlar y aportar alimentación a los sensores y módulos auxiliares que componen el presente proyecto. Como se procederá a explicar más detenidamente en la descripción del software, Arduino utiliza la codificación para programar y asignarle el funcionamiento adecuado a los componentes.

La herramienta Arduino básicamente conecta los sensores y demás componentes con el microcontrolador que lleva inherente en la placa. Este microcontrolador realmente es el que va a ser programado a través del entorno de desarrollo de Arduino IDE v.2.2.1 (ver Figura 3-1). Esta versión es similar pero relativamente mejorada respecto a las anteriores, presenta ciertas características que lo hacen ser muy sencillo para la aplicación del usuario. Entre sus características, se puede destacar que es posible tener conectadas diferentes placas y seleccionar una o que ofrece un monitor serial que presenta los datos e información recibida a través de los sensores conectados a la placa. Además, se pueden incluir bibliotecas desde el exterior o bien buscarlas en su directorio y muestra facilidades para corregir el código y mejorarlo. Aunque no es la única forma de programar la plataforma Arduino, es la interfaz que ofrece mayor facilidad y cantidad de recursos.

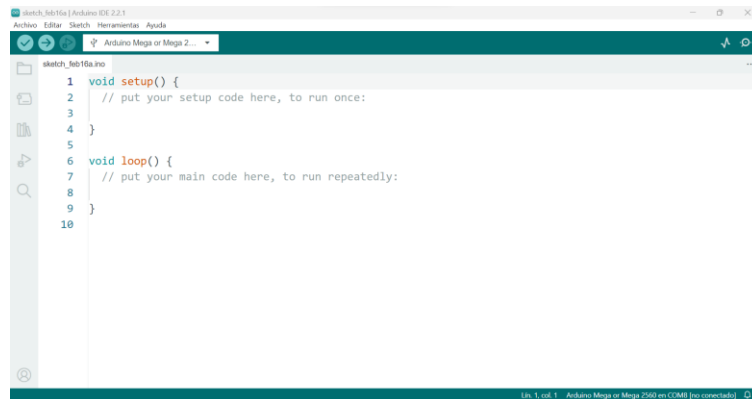


Figura 3-1 Captura del interfaz del IDE Arduino. Fuente: propia

El microcontrolador va incorporado en una placa electrónica formando un circuito interno de gran fiabilidad que conecta el microcontrolador con los diferentes pines tanto analógicos como digitales, que pueden estar configurados en modo salida o modo entrada.

Desde sus comienzos en 2005 en un colegio de Italia, Arduino se ha consolidado, contando hoy en día con una extensa comunidad. Es una plataforma cargada de documentación, implementación y mejoras continuas. También es importante destacar que es de hardware libre y de muy bajo coste teniendo en cuenta las prestaciones que ofrece.

La comunicación en Arduino puede ser a través de los pines digitales y analógicos o mediante diferentes interfaces de hardware como son: UART, I2C (circuito integrado) o SPI (Interfaz Periférica Serie). En este proyecto se usará casi en su totalidad la comunicación I2C, que se describirá más adelante, aunque uno de los componentes usa SPI.

Generalmente el I2C es utilizado para conectar sensores a distancias cortas mientras que SPI se adecua más a usos de transmisión (puede transmitir y recibir al mismo tiempo), trabajando a velocidades más altas y eficientes. Por otro lado, UART es un receptor y transmisor asíncrono más similar al I2C que al SPI, pero presenta la ventaja de la posibilidad de trabajar con más de un dispositivo esclavo.

Aunque la seleccionada sea la Mega 2560 REV3 (ver Figura 3-2), por su gran cantidad de pines y mayor velocidad de procesador, existen un extenso número de placas originales de la empresa Arduino y también numerosas copias cuyo funcionamiento es parecido, aunque no llega a ofrecer las mismas prestaciones. Las más populares son:

- Arduino UNO, sin duda la más común.
- Arduino NANO, la versión más pequeña.
- Arduino Galileo, con compatibilidad con Linux.
- Arduino Yún, con conexión a Wifi.

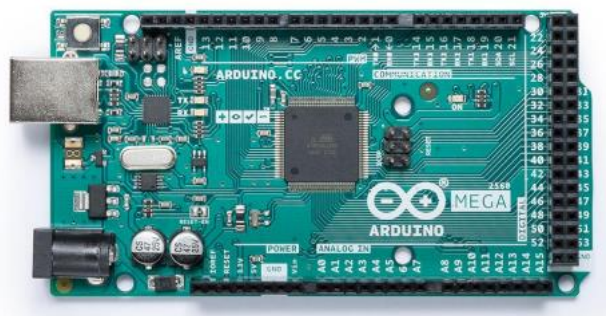


Figura 3-2 Placa de Arduino MEGA 2560 [28]

La placa de Arduino Mega 2560 REV3, con su microcontrolador ATmega2560, presenta posibilidades para ser utilizada en numerosas aplicaciones. Consta de 54 puertos digitales, 16 analógicos, un consumo de corriente comprendido en el rango de 50 a 200 mA y una tensión de funcionamiento de 5 V. Se puede alimentar entre 7 y 12 V, ya sea mediante USB o mediante el pin  $V_{in}$ . Además, su procesador opera a una velocidad de 16 MHz. Por otro lado, sus límites de temperatura de funcionamiento se sitúan entre -40 y 85 °C, con lo que queda prácticamente asegurado su funcionamiento en los escenarios de actuación de los barcos de la Armada [29].

Continuando con el resto de los componentes, resaltar que no todos los descritos en el presente apartado aportan datos meteorológicos, se dividirán en sensores meteorológicos, y por otro lado los componentes auxiliares, que buscan mejorar el diseño, cumplimiento de los objetivos y acceso a datos de la estación.

Los que a continuación se desarrollan y enumeran pertenecen al primer grupo:

1. Sensor de temperatura y humedad (ver Figura 3-3). Para medir estas importantes magnitudes se ha seleccionado el sensor DTH22. El sensor usa una señal digital que otorga fiabilidad y estabilidad a la estación, pese a ser de pequeño tamaño tiene una larga distancia de transmisión, lo que le permite ser usado en diferentes aplicaciones.

Su rango de voltajes de funcionamiento coincide con el aportado por la placa Arduino, con una precisión de 0,5 °C. Este sensor con salida digital es capaz de facilitar valores entre -40 y 125 °C, aunque su funcionamiento ideal se encontrará entre los 0 y 50 °C. De esta misma forma, también es capaz de dar porcentajes de humedad relativa hasta del 100 % con un 2 % de precisión y resolución de 8 bits, lo que equivale a 0,1 %.

Diseñado para tomar 2 muestras por segundo, su consumo no supera los 2,5 mA.

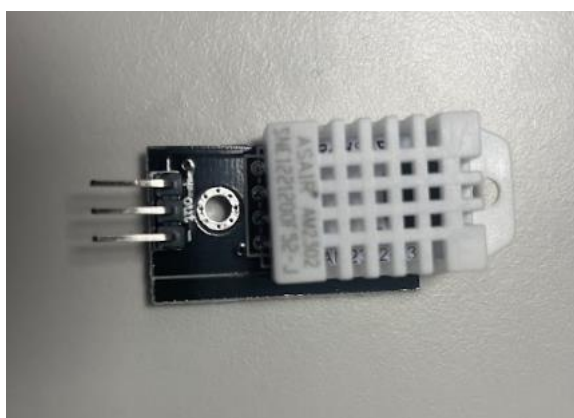


Figura 3-3 Sensor de humedad DTH22. Fuente: propia

2. Sensores de viento (ver Figura 3-4). Sin duda uno de los factores meteorológicos que más preocupa y afecta a la navegación de cualquier barco, en especial a los que lo usan como método principal de propulsión, es el viento, tanto como dirección e intensidad. El sensor se compone de una veleta y un anemómetro compuestos por componentes magnéticos que interactuarán con electrónicos y cerrarán sendos circuitos electrónicos.

Para medir la velocidad del viento el anemómetro contará pulsos por unidad de tiempo, asignándole un valor a cada cierre del circuito.

Por otro lado, la veleta necesita montaje electrónico más complejo, ya que consta de 8 resistencias que combinadas con los imanes permite diferenciar 16 posiciones diferentes que marcarán la dirección del viento.

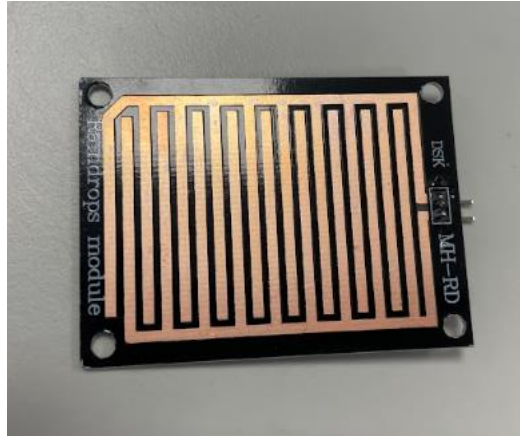
El montaje necesita de una alimentación de 5 V y ha sido fundamentalmente elegido por su coste cero gracias a su disponibilidad en el laboratorio de investigación, además de por la integración de dos magnitudes de una forma relativamente sencilla.



**Figura 3-4** Veleta y anemómetro. Fuente: propia

3. Sensor de lluvia (ver Figura 3-5). Las precipitaciones son el eterno enemigo de las condiciones meteorológicas favorables, aunque la importancia recalca en su predicción, se ha decidido añadir un sensor de reconocimiento de gotas de lluvia, que actúe como alerta de comienzo de precipitaciones sobre todo en momentos en los que el tránsito por exterior no es recomendado o autorizado.

Se ha elegido el sensor de marca Aishad, trabaja con voltajes desde 3,3 a 5 V, con posibilidad de entrada tanto analógica como digital. Elegido por su compatibilidad con Arduino, además de por características que lo hacen útil para diferentes casos, puede funcionar como interruptor y también puede configurarse para medir intensidad. Pese a ser el sensor que mayor problemática presenta en su instalación, el único junto a los relacionados con viento que siempre debe estar en el exterior, viene equipado con orificios de tornillos para su colocación, que será explicada posteriormente. Su consumo es muy bajo, no superando el valor de 0,06 mA, acorde con su pequeño tamaño, 32 x 14 mm.

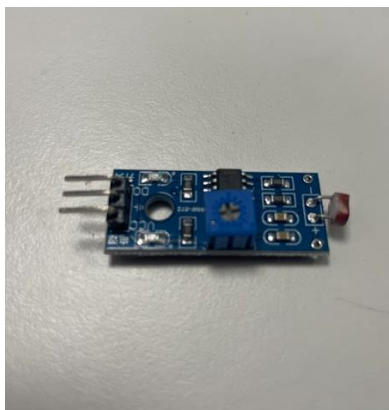


**Figura 3-5** Sensor de lluvia. Fuente: propia

4. Sensor de intensidad de luz (ver Figura 3-6). El módulo de intensidad de luz de Dolla Tek ha sido instalado para determinar la existencia de la luz ambiente. Elegido por su compatibilidad con Arduino, por su tamaño y por su fácil instalación, condición que especialmente en este sensor que se encontrará expuesto hay que destacar.

Este sensor de importancia meteorológica menos significativa lo usaremos para conocer la existencia de luz solar, dato muy importante a la hora de conocer las horas de sol diarias y poder estimar el estado de la fuente de energía.

Consiste en un sensor de entrada digital, alimentado por 5 V y con un consumo algo más elevado que el resto de los componentes, unos 30 mA.



**Figura 3-6 Sensor de luz Dolla Tek. Fuente: propia**

5. Sensor UV GUVA-S12SD (ver Figura 3-7). Como complemento se ha decidido añadir un sensor de luz ultravioleta, el cual es capaz de captar longitudes de onda comprendidas entre 240 y 370 nm, luz UV-A y UV-B. Consiste en una placa que acepta valores de entre 2,5 y 5 V, es compatible con Arduino y genera un consumo de 5 mA.

Su elección ha venido determinada por trabajar con salida analógica ya que aportará mucha más información, siendo capaz de determinar el índice UV de la luz incidente.

Normalmente en los barcos se trabaja bastantes horas en zonas exteriores, por lo que conocer este dato será de utilidad a la hora de establecer límites de exposición a la luz solar, sobre todo en latitudes próximas al ecuador.



**Figura 3-7 Sensor luz ultravioleta GUVA-S12SD. Fuente: propia**

Dejando a un lado los sensores, a continuación, se procede a explicar el resto de los componentes que conforman la estación meteorológica, desde su fuente de energía hasta elementos para poder almacenar y transmitir los datos recogidos.

1. Placa Solar 3 W (ver Figura 3-8). Según especificaciones técnicas, en condiciones normales de 25°C, esta placa solar de 235x160x17mm entrega una potencia de 3 W cuando recibe mínimo 1 kWh/m<sup>2</sup>. A máxima potencia, es decir cuando se alcanza el máximo rendimiento, entrega un voltaje de 5,36 V y una intensidad de 0,55 A. Puntualizar que, a mayor valor de intensidad a máxima potencia, mayor será el rendimiento. La tensión de salida cuando esté el circuito abierto es de 6,71 V y cuando exista cortocircuito, el valor de la corriente es de 0,66 A. En futuros apartados se explicará y justificará la elección de esta placa.



**Figura 3-8 Placa solar. Fuente: propia**

2. Módulo solar CN3791 (ver Figura 3-9). El módulo solar tiene la función expresa de permitir cargar las baterías a través de la placa solar. Según el fabricante, está diseñado para cargar las baterías a una intensidad autoprogramable y voltaje constante de 4,2 V.

Trabaja con un seguidor constante de punto de máxima potencia que explicaremos más adelante, permite auto recarga de modo automático, protector de sobrecarga de batería y una franja de temperatura de -40 a 85 °C.



**Figura 3-9 Módulo solar CN3791. Fuente: propia**

3. Batería de litio 18650 (ver Figura 3-10). Compuesta por ion de litio, con un voltaje de carga de 3 a 4,2 V y una capacidad de 3100 mAh, necesita una corriente de carga de 3 A.

Su tamaño no es excesivamente pequeño, comparable aproximadamente al tamaño de un dedo pulgar. Ofrece un tiempo de carga de alrededor de 2 horas y media. Según especificaciones técnicas, su voltaje a máxima carga son 3,7 V. Sin embargo, se necesitan entregar a Arduino 5 V. Para ello se podría usar un convertidor de voltaje, pero en este caso se va a utilizar una base para las baterías con salidas a 3 y 5 V, en la cual se puede conectar los pines procedentes del módulo solar de 3 V y por otro lado la salida de los 5 V requeridos para alimentar a la placa. Además, tiene una salida USB que en este proyecto no vamos a usar.





Figura 3-10 Baterías de litio 18650 en su soporte. Fuente: propia

4. Pantalla OLED 22D1306 (ver Figura 3-11). Esta pantalla se compone de 128 x 64 bits integrados, y su tamaño es de 22 x 11 mm o 96", aunque el módulo ocupa 27 x 27 mm. Puede ser alimentada de 3 a 5 V. Ofrece un consumo de corriente de 20 mA, cuenta con control de corriente de brillo de contraste de 256 pasos, lo que le hace estable a la hora de mostrar los datos en la pantalla. Ha sido seleccionada por su pequeño tamaño, su bajo consumo y a su compatibilidad con Arduino gracias a su interfaz de comunicación I2C.

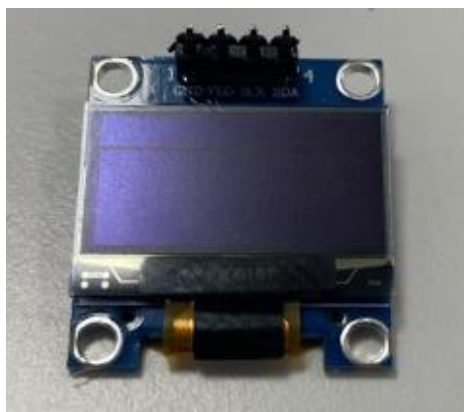


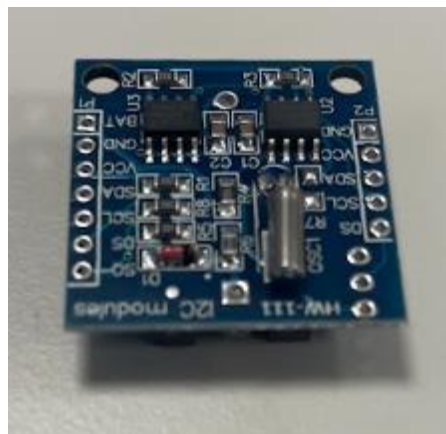
Figura 3-11 Pantalla OLED 96". Fuente: propia

5. Lector microSD (ver Figura 3-12). Este componente de la marca Tecnoit ha sido implementado para poder almacenar en un fichero todos los datos recogidos por la estación, para su posterior visualización o uso. Aunque el módulo solo funciona con 3,3 V, puede estar alimentado por 5 o 3,3 V, esto es posible gracias a un convertidor de tensión que provoca su caída. Se trata del único componente que usa interfaz de comunicación SPI. Consume aproximadamente 80 mA, siendo uno de los componentes con mayor consumo. Sin embargo, también es un componente no esencial cuyo uso en ciertos días donde no interese guardar los datos recogidos por la estación o se necesite ahorrar energía puede ser restringido. Por último, destacar que se pueden emplear tarjetas de capacidad estándar (SC) o de alta capacidad (HC).



**Figura 3-12** Lector tarjeta microSD. Fuente: propia

6. Reloj RTC (ver Figura 3-13). El componente que a continuación se describe tiene la sencilla función de marcar la hora con una precisión de segundos. Capaz de ofrecer fecha, hora y día de la semana, tiene instalada una batería que lo podría hacer funcionar durante más de 9 años. Su voltaje de uso es de 3,3 V, su conexión es mediante I2C y es capaz de aguantar temperaturas es de entre -40 y 85 °C. Ha sido seleccionado este módulo de tiempo por su precisión y tamaño.



**Figura 3-13** Reloj RTC. Fuente: propia

### 3.1.2 Principio de funcionamiento

Una vez descritos todos los componentes, lo siguiente sería entender su forma de funcionar de forma interna e individual. Como se especificó antes, la mayoría de los componentes usan entradas bien digitales o bien, analógicas. Sin embargo, también hay algunos que usan el protocolo I2C. Esta interfaz requiere solamente dos conexiones, SCL y SDA. Se trata de una comunicación síncrona, la transferencia de datos se realiza por una sola vía, la del cable SDA, mientras que la conexión SCL se trata de la señal de reloj. Además, es fundamental entender el concepto maestro-esclavo, pilar principal de la comunicación I2C, aunque también es usado en otros tipos como SPI. Como su propio nombre vaticina, este protocolo consiste en que el dispositivo maestro, en este caso la placa Arduino, recibe información de los sensores, los esclavos, que tienen almacenado una serie de datos. El maestro informa de que está a la escucha y de que puede recibir uno a uno los datos que guardan los esclavos. El I2C aporta la característica de que un dispositivo puede ser bien maestro o esclavo, y ambos transmiten de forma unidireccional.

Por otro lado, los sensores de entrada digital son capaces de diferenciar entre 0 y 1, ya sea con pulsos o con comparadores de tensiones umbrales. Mientras que los de entrada analógica son aquellos que miden las magnitudes, y tras convertirlas en una señal de corriente continua, entregan al microprocesador un valor numérico, pudiendo ser este directamente la magnitud buscada o siendo necesario realizar una

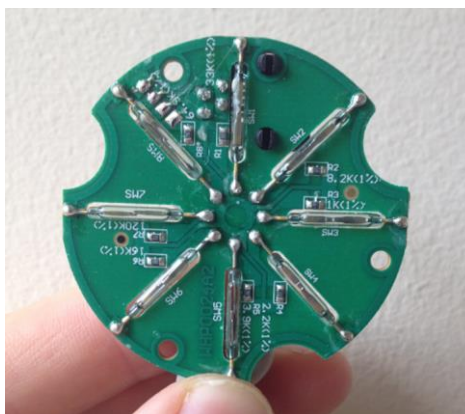
aplicación de factores de conversión para pasarlo a unidades más comunes o de fácil entendimiento para quien las lee. Normalmente ambos tipos de sensores tienen un montaje electrónico diferente, que se verá en su correspondiente apartado de “montaje”.

A continuación, se describen el principio de funcionamiento de cada uno de los sensores implementados.

1. Sensor DTH22. Sensor de entrada digital cuyo funcionamiento permite transmitir el valor comprensible de la magnitud sin necesidad de que en el código haya que convertirlo. Transmite una trama de 40 bits que lo hacen ser un sensor de muy alta precisión, incluyendo códigos de corrección de errores. Además, lleva integrada una resistencia pull-up, lo que hace que su montaje sea aún más sencillo. Una resistencia pull-up va dispuesta entre el pin de entrada y la fuente de energía y se encarga de que el estado siempre sea HIGH cuando no se aplica ninguna señal. Aunque se podría usar un condensador para mejorar la precisión, en este caso no ha sido necesario.

En las memorias adjuntas al código lleva instalado un coeficiente de calibración que lo ayudan para su mejor calibración y sensibilidad. El sensor está conectado con el microcontrolador través un pin digital, es decir, con la placa Arduino, que se encarga de arrancarlo con una señal sin la cual el DTH22 no funcionaría. Es después de esta señal de comienzo cuando el sensor comienza a mandar datos de 40 bits dónde la cantidad de “1” decidirán los valores entregados por el sensor. Para ello lleva integrado un sensor de humedad capacitivo y para la temperatura consta de un termistor que mide la temperatura del aire que lo atraviesa.

2. Veleta. Es importante destacar ya que en numerosas ocasiones se confunde, que las veletas deben marcar la dirección de donde viene el viento, y no al contrario. Para ello, este dispositivo cuenta con una placa con ocho interruptores de láminas, ocho resistencias y con un imán que conforme gira, se encarga de cerrar y abrir los circuitos, haciendo variar el valor de la resistencia (ver Figura 3-14).



**Figura 3-14 Distribución interna de resistencias de la veleta. Fuente: propia**

El imán cierra dos circuitos por cada posición que toma, por lo que la veleta puede diferenciar entre 16 posibles direcciones de viento. La forma de interpretarlas será montando un divisor de tensión de forma que cada rango de voltajes corresponderá con una de las 16 combinaciones posibles de resistencia. El voltaje obtenido será la entrada analógica a la que va conectado uno de los pines del sensor y viene dado por la siguiente expresión:

$$V_{Veleta} = V_{Total} \frac{R_{veleta}}{R + R_{veleta}}$$

Donde:

- $V_{Veleta}$  es el voltaje entregado en el pin analógico.

- $V_{Total}$  es el voltaje que entrega Arduino a la veleta, 5 V.
- $R_{veleta}$ , es el valor de la resistencia que ofrece la veleta.
- $R$ , es el valor de la resistencia de 10 k $\Omega$  integrada en el circuito provocando la caída de tensión.

Dado que la intención es proporcionar siempre el viento relativo, la veleta marcará la marcación de la dirección del viento, quedando relacionado la marcación con los voltajes y resistencias de la siguiente forma (ver Tabla 3-1):

Dirección	Voltaje (V)	Resistencia (k $\Omega$ )
180	2,52	10,160
157 BR	1,3	3,510
135 BR	4,88	406,66
112 BR	0,25	0,53
90 BR	0,29	0,62
67 BR	0,2	0,42
45 BR	0,58	1,31
22 BR	0,4	0,87
0	0,92	2,25
22 ER	0,78	1,85
45 ER	2,02	6,78
67 ER	1,92	6,23
90 ER	3,04	15,51
112 ER	2,65	11,28
135 ER	2,85	13,25
157 ER	2,25	8,18

**Tabla 3-1 Relación entre dirección, voltaje y resistencia**

3. Anemómetro, este sensor como se observa en anteriores imágenes tiene tres cazoletas que son movidas por la fuerza del viento. A su vez éstas mueven el núcleo del sensor que contiene, y, al igual que la veleta, un imán en su interior, que por cada vuelta activa dos veces un interruptor de láminas (ver Figura 3-15).



**Figura 3-15 Interruptor de láminas. Fuente: propia**

El anterior dispositivo a efectos electrónicos funciona igual a un botón, por lo que su entrada en el microcontrolador será digital. De esta forma, mediante el código se contará el número de pulsos en un determinado tiempo y se le aplicará un factor de conversión y de corrección especificada en posteriores apartados para entregar los datos en su unidad más común en el ámbito naval, en nudos. Las equivalencias son las siguientes:

$$\begin{aligned} 1 \text{ nudo} &= 1 \text{ milla/h} \\ 1 \text{ milla} &= 1852 \text{ m} \end{aligned}$$

La velocidad del viento vendrá dada por la velocidad angular que sigue el dispositivo, calculada con la velocidad lineal que tiene el extremo de los brazos del anemómetro. Por lo tanto, la expresión será:

$$\text{Velocidad del viento} = (2 \pi r \frac{n}{2}) / t \text{ m/s}$$

Donde:

- r es el radio medido desde el centro del núcleo hasta el extremo del brazo ( $r = 9 \text{ cm}$ )
- n es el número de señales, aparece dividido entre dos debido a que cada vuelta supone un par de señales.
- t es el tiempo transcurrido entre una medición y otra.

Para pasarlo a nudos será necesario aplicar los siguientes factores de conversión:

$$\text{Velocidad del viento} = \pi r n \frac{m}{s} \frac{3600 s}{1 h} \frac{1 km}{1000 m} \frac{1 mn}{1,852 km} \text{ nudos.}$$

4. Sensor de lluvia. Se trata del único sensor que tiene salida tanto analógica como digital, ya que su placa de superficie niquelada consta de una resistencia variable que cambia su valor debido a su contacto con el agua. La placa es resistente a la oxidación y tiene conductividad eléctrica.  
Por un lado, la salida digital está regulada por un nivel de umbral, impuesto por una resistencia. Esto servirá para indicar simplemente si llueve o no en ese instante. El valor 0 indicará lluvia y el valor 1 sequedad. Por otro lado, a través de un comparador LM393, se pasa de un valor de sensor a una señal analógica que saldrá representada por valores de 0 a 1023. Indicará la intensidad de la lluvia ante la que se encuentra la estación, siendo 1023 un estado de no precipitaciones y 0 humedad relativa 100% con respecto a la placa.
5. Sensor de intensidad de luz. Este sensor es un LDR, Light Dependent Resistor. Esto significa que la luz que le llega hace que la resistencia varíe su valor. Cuánto más luz, menor resistencia presenta y, al contrario, si incide menos intensidad de luz aumenta el valor de la resistencia. La resistencia que ofrece varía de forma exponencial. Esto quiere decir que la tensión que llega a la salida analógica también aumenta cuando baja el nivel de luz y viceversa. Básicamente, un LDR es un sensor en el que la conductividad aumenta con la luz. Vendrá representado por un máximo de 1023 si existe total luminosidad y 0 en oscuridad absoluta.
6. Sensor UV GUA-S12SD. Este sensor, que también funciona con una entrada analógica se encarga de captar la radiación ultravioleta existente. Y lo hace mediante un fotodiodo S12SD. Un fotodiodo es un dispositivo que transforma la luz incidente en corriente eléctrica.

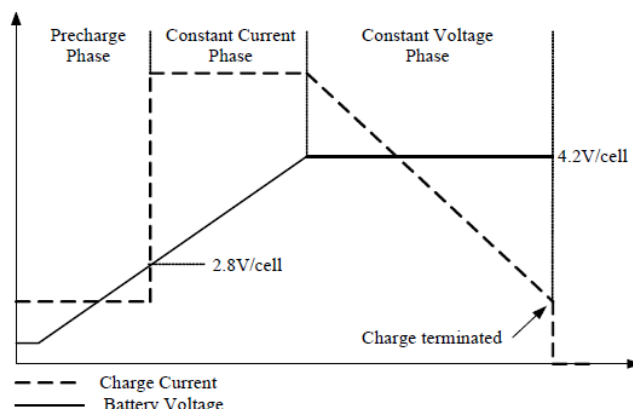
Esta especie de diodo con sensibilidad al efecto fotoeléctrico genera la corriente que se convierte en voltaje a través del amplificador SGM8521. El valor que ofrece el sensor va de 0 a 1023, que mediante el código y utilizando factores de conversión obtenemos el índice ultravioleta.

A continuación, se desarrolla la forma de funcionamiento de cada uno de los componentes usados:

1. Placa Solar. Este elemento se encarga de captar la luz solar y a través de ciertos procesos, transformar la energía natural en energía eléctrica. Funcionan gracias al efecto fotoeléctrico, este consiste en que algunos electrones se emiten cuando la luz incide en la superficie del material, formando así la corriente eléctrica. Cada celda solar de la superficie de la placa está hecha de material semiconductor, y bajo cada celda se establece una serie de conexiones que hacen que se conduzca la electricidad. Una sola célula fotovoltaica no produciría la suficiente electricidad, por ello, una placa configura muchas de ellas en serie.

A la placa solar implementada se le conecta el módulo solar, al que transmitirá la corriente necesaria para cargar las baterías.

2. Módulo Solar. Este tipo de módulo solar carga constantemente las baterías manteniendo intensidad y voltaje contante (ver Figura 3-16). El ciclo de carga comienza cuando el voltaje en el pin VCC está por encima de 3,8 V y el de la batería por debajo de 3,7 V. Si cuando comienza el ciclo, la batería está por debajo de 66,5%, la carga se hará por goteo. Cuando la batería llega a su máximo, la intensidad de carga comienza a bajar. Una vez que la batería baje el 95,5%, un nuevo ciclo volverá a comenzar.



**Figura 3-16 Gráfica de corriente de carga frente a voltaje**

3. Batería de litio 18650. Lo que se busca con las baterías es que sean capaces de almacenar la cantidad de energía suficiente para que la estación pueda funcionar durante las horas nocturnas. Aunque durante el día también serán las baterías las que alimenten los sensores, estarán en continúa auto recarga controlada por el módulo solar.

Este tipo de baterías debe su nombre a que usa un compuesto de litio como electrodo. Sus partes son un ánodo y un cátodo, los electrones se mueven de uno a otro mediante un electrolito, creando la diferencia de potencial necesaria para que exista corriente. Al cargar las baterías, los electrodos negativos, iones de litio, vuelven al electrodo positivo.

Este tipo de baterías cilíndricas son láminas superpuestas y enrolladas hasta dar lugar a la forma que las caracteriza. Además, cuentan con una serie de componentes que regulan la carga y la temperatura a la que se someten.

4. Pantalla OLED 128X64. Esta pantalla está formada por numerosos puntos LED que se encienden o apagan en función de la información que le llega a través de su controlador SSD1306. De hecho, OLED traducido sería “diodo orgánico de emisión de luz”. Arduino envía señales a través de I2C que llegan al driver interno SSD1306 que envía los datos a la pantalla OLED.
5. Lector micro SD. Como ya se ha comentado, este componente es un registrador de datos, que ofrece la ventaja de poder almacenar datos de forma casi ilimitada. Las tarjetas SD no se borra cuando se corta la alimentación y pueden ser leídas en ordenadores. Por el contrario, como ya se especificó, consume bastante y exige mucho al microprocesador. Como se observa en la imagen del apartador anterior, su funcionamiento es básico. Consta del soporte de la tarjeta SD, que conecta con el circuito integrado de cambio a nivel lógico, el regulador de voltaje LDO LM1117 que hace que pueda ser alimentado tanto a 3,3 como 5 V.
6. Módulo de tiempo RTC. Este componente consta del reloj en tiempo real DS1307 además de una batería que se encarga de almacenar datos, en concreto 64 registros, aunque 8 de ellos son usados para el registro del reloj, los otros 56 son reservados para la RAM. Su interfaz de conexión es mediante I2C, por lo tanto, necesita de unas condiciones de inicio, arranque y parada. Se iniciará cuando se cambie de alto a bajo en la línea SDA mientras que al contrario sería parada. El DS1307 consta de un circuito para detectar fallos de forma automática, circuito del oscilador y circuito de registros en la RAM.

## 3.2 Diseño de la estación meteorológica

### 3.2.1 Fuente de energía

Antes del diseño estructural de la estación, la primera toma de decisión fue qué tipo de fuente de alimentación usar. En línea con la eficiencia y autonomía buscada como uno de los objetivos principales, se ha elegido la energía solar como principal fuente de energía.

Para ello, es primordial realizar una buena estimación, calcular el consumo total de todos los sensores y de la placa Arduino para adquirir una placa solar que sea capaz de proporcionar en las peores condiciones de radiación solar el consumo mínimo para que la estación pueda no solo funcionar, sino también recargar unas baterías que sean capaz de almacenar la energía suficiente para suministrarla a la placa durante las horas nocturnas. La cantidad de horas de sol de un día varía según varios factores, por un lado, depende la época del año y, por otro lado, depende de la latitud y longitud.

Los cálculos de la producción de energía de la placa se van a realizar en todo momento en lugar menos favorable del territorio español. Por lo tanto, tanto las horas de sol como la radiación solar serán tomadas referenciadas a la zona Norte de España en un día de invierno. Para contextualizar, hay que destacar que la provincia con más horas de sol media diarias se encuentra en el Sur de España, Huelva, con 3500 horas de sol. En contraposición, Vizcaya acoge el pueblo con menos horas de sol, 1700 horas. Estos valores cambian totalmente dependiendo de la latitud, por ejemplo, la zona con más horas de sol se encuentra en Arizona (4000 horas) y, sin embargo, Islandia se posiciona como el país con menos horas de sol, tan solo 1000 en todo el año.

Los datos obtenidos a continuación, reflejados en la Tabla 3-2, son datos recogidos empíricamente y contrastados la mayoría con fichas técnicas de los sensores. Para medir el consumo, hemos usado un polímetro digital conectado en serie, obteniendo así la intensidad que recorre los sensores.

Componente	Consumo (mA)
Arduino Mega	200
DTH22	2,5
BMP280	0,0027
Lluvia	0,06
Anemómetro/Veleta	0,72
DLR (Intensidad de luz)	30
GUVA-S12SD	5
Micro SD	80
Pantalla OLED	20
Reloj	0,001
Total	340

**Tabla 3-2 Componentes y respectivos consumos**

La selección de la placa, cuyas características quedaron explicadas en el apartado anterior, se dividirá en diferentes pasos que quedan enumerados a continuación:

1. Consumo total de la estación. Una vez con el total, se debe aplicar un aumento del valor, que aporte seguridad a la hora de trabajar, el coeficiente aplicado será de 1,2, es decir se harán los cálculos para el consumo con un valor de:

$$I = 340 \cdot 1,2 \approx 400 \text{ mA}$$

2. Conocer el valor de la potencia instantánea que debe suministrar la placa. La tensión que pasará por todos los componentes será de 5 V, por lo que atendiendo a la expresión de potencia:

$$P = V I \text{ (W)}$$

$$P = 5 \cdot 400 = 2000 \text{ mW}$$

3. Elección de la placa comercial. Atendiendo a lo mencionado previamente, la producción de energía también debe ser suficiente para almacenarse en las baterías, que aportarán la potencia necesaria a la estación durante la noche. Para estimar el cálculo del coeficiente de seguridad en este caso, se ha tenido en cuenta que, en España, un día de invierno cuenta con aproximadamente 9 horas de sol. Por lo tanto, el coeficiente será de 1,5.

$$P = 2000 \cdot 1,5 = 3000 \text{ mW}$$



La placa seleccionada deberá ser de 3 W, es importante destacar que este valor es el que dará la placa para una irradiación solar de al menos 1 kWh/m<sup>2</sup>. No llegando a dar el valor deseado si la irradiación no supera este valor.

4. Estudio de la irradiación solar. En primer lugar, hay que aclarar que la irradiación solar (suma de radiación directa e indirecta) se considera la densidad de energía solar que radia el sol sobre la superficie de la tierra, suponiendo esta como un plano horizontal. Según datos obtenidos en estaciones de referencia de la Red Radiométrica Nacional de AEMET basados en el período de 1992 a 2005 (ver Figura 3-17), la irradiación solar media indirecta en el período de invierno en el norte de España, siendo esta la época del año en la que menos radia el sol en la superficie es de aproximadamente 1 kWh/m<sup>2</sup> al día [30].

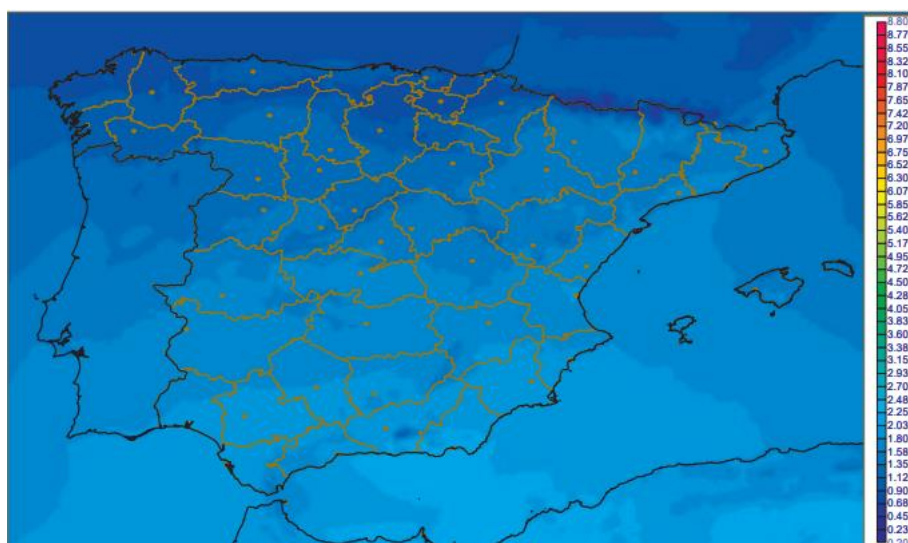


Figura 3-17 Mapa de irradiación media en invierno [30]

5. Inclinación placa solar. Los datos reflejados en la última figura no reflejan la realidad de una placa solar que se disponga con un ángulo determinado de inclinación superior a 0°. Por lo tanto, se debe buscar el ángulo idóneo para obtener el mayor rendimiento posible de esta fuente de energía renovable, que estará condicionada a la latitud en la que se trabaje y a la época del año.

Normalmente, se puede aplicar una regla que constituye que en verano se le deben restar 15° a la latitud y en invierno se debe aumentar esta en los mismos grados. Como en el resto de toma de decisiones, se tiene en cuenta cuál será el peor caso, siendo indudablemente el invierno y con una latitud aproximada en el norte de España de 43°, la placa utilizada como fuente de energía para nuestra estación meteorológica estará inclinada 60°. Pese a que en verano será menos eficiente ya que el sol incidiría de una manera perpendicular si estuviera más inclinada, esta falta de eficiencia será suplida con la mayor irradiación solar según datos del Atlas [31].

Lo siguiente que se debe seleccionar son las baterías. De la tabla se vuelve a extraer el mismo dato que para la placa, la estación consumirá 340 mA, que con el coeficiente de seguridad se convertirá en 400 mA. Los siguientes pasos de su elección se desarrollan a continuación:

1. Conversión a mAh. Para el cálculo de las baterías, el dato con el que se ha de trabajar es el valor de consumo por hora:

$$I = 400 \cdot 24 = 9600 \text{ mAh}$$

2. Elección de las baterías comerciales. Una vez se ha realizado la conversión de unidades, ahora se debe considerar el coeficiente de seguridad, igual que se hizo con la placa. Sin embargo, en este caso no será necesario porque se considera que el coeficiente aplicado anteriormente sumado a que por valores de las baterías comerciales se usarán 4 baterías de las descritas anteriormente, que suponen una capacidad de 12000 mAh.

### 3.2.2 Diseño estructural

En el adjetivo de portable que el título de este proyecto presenta, va implícito que la estación deberá tener un tamaño considerable para que una sola persona sea capaz de transportarla de un lugar a otro e instalarla en un nuevo punto del barco o unidad. El tamaño final del montaje junto a los sensores y fuente de alimentación ocupará aproximadamente 30 cm de largo, 20 cm de ancho y una altura de 45 cm.

La estación está compuesta por una estructura IP65 (EN 60529), es decir, que ofrece un grado de protección frente al polvo y al agua, siendo estanca ante ambas sustancias. La caja tiene un tamaño 300x250x120 mm y consta de 12 aperturas, de las cuáles se intentarán usar las menos posibles. Por estos orificios saldrán las conexiones de los componentes que necesiten estar en el exterior, como son el sensor LDR, el sensor de luz ultravioleta o el sensor de lluvia entre otros.

Por otro lado, el medio marino tiene acostumbrado a los inevitables movimientos del barco, conocidos como “pantocazos”, cabezadas y guiñadas que harían que sin una buena sujeción los circuitos interiores tuvieran poca posibilidad de sobrevivir a bordo de los buques. Para ello, tanto la placa de Arduino como la protoboard han sido selladas a la superficie interior de la caja mediante una cinta de doble cara, no teniendo que realizar más orificios que los indispensables. Además, otros elementos que sufrirían son las conexiones entre cableado y sensores, por lo tanto, en la mayoría de ellos se han unido con soldadura de estaño.

La premisa en todo momento ha sido mantener la estanqueidad y proteger los circuitos electrónicos que se encuentran en su interior, dado que estos, así como algunos componentes, no son resistentes al agua. A parte de las aperturas que trae la propia caja de fábrica, el soporte de la placa solar y de los sensores de viento van atornillado a la tapa de la caja. Para realizar estos orificios, se ha usado la herramienta Dremel, con el grosor estrictamente necesario. Posteriormente se ha sellado con varios puntos de silicona tanto por el exterior como por el interior para asegurar la estanqueidad.

En cuanto al soporte de la placa, se ha usado un perfil de estantería metálico reciclado. El ancho del perfil es de 3 cm y consta de orificios de dos tipos diferentes como se observan en la Figura 3-18.



Figura 3-18 Perfil de estantería usado para realizar el soporte. Fuente: propia

Sin embargo, lo más idóneo para el montaje era dividirlo en dos perfiles rectangulares y unirlos con soldadura de electrodo formando el ángulo especificado anteriormente,  $60^\circ$ . Atendiendo al largo necesario del perfil que quedaría atornillado a la caja, el largo del otro perfil se obtendría con la siguiente expresión trigonométrica:

$$\cos 60^\circ = \frac{l_1}{l_2}$$

Siendo:

- $l_1$  el largo del perfil fijado a la caja.
- $l_2$  el largo del perfil fijado a la placa.

La división del perfil de estantería se hizo en el laboratorio de mecánica. Se fijó en el banco de ensayo y usando una radial se dividió en dos perfiles rectangulares que aún tendrían que ser divididos en piezas aún más cortas (ver Figura 3-19). El procedimiento para este último trabajo fue similar.



**Figura 3-19** Corte del perfil de estantería usado para realizar el soporte. Fuente: propia

La soldadura se solicitó al taller de mecánica de la ENM, situado en el barrio industrial. Las piezas fueron soldadas con un ángulo de  $60^\circ$  tal y como se requería (ver Figura 3-20).



**Figura 3-20** Perfil de estantería soldado a  $60^\circ$  para realizar el soporte. Fuente: propia

Para proceder a su unión a la caja, se usan tornillos D-933 M8X16 8.8 ZN, arandelas D-9021 M8 ZN y tuercas D-934 M8 ZN. Ajustándolo lo máximo posible, para de nuevo asegurar la estanqueidad en el interior de la caja.

Una vez la caja queda sellada a las dos piezas, la unión de estas con la placa solar se realiza mediante tornillos tuercas y arandelas nuevamente. Como se observa en la Figura 3-21, por la parte posterior de la caja se realiza un orificio con el taladro para que el palo que soporta a los sensores de viento se introduzca y descansa sobre el fondo de la caja.



**Figura 3-21** Orificio de entrada de los sensores de viento en la caja. Fuente: propia

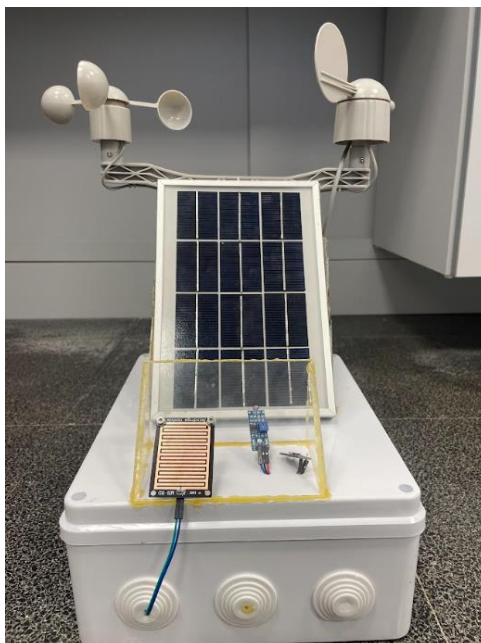
Colocando la estructura de los sensores de viento en el lugar destinado para ello, se obtiene un paso más para la consecución del objetivo primordial, que los sensores y su fuente de energía se encuentren unificados en una misma estructura, la cual puede ser portada por una sola persona (ver Figura 3-22).



**Figura 3-22** Sensores de viento y placa solar sobre la caja. Fuente: propia

Para finalizar con el montaje estructural de la estación, se necesitan proteger los diferentes sensores que por su funcionamiento tienen que ir colocados en el exterior. Dos de ellos debido a que la luz tiene

que incidirles, ya que dictaminan la existencia de luz solar e índice ultravioleta. Estos van protegidos por una estructura de metacrilato en la parte delantera, y apoyado sobre esta estructura con aproximadamente 45 grados de inclinación va el sensor de lluvia, que necesita ir completamente en el exterior para que las gotas incidan sobre él en caso de lluvia. La inclinación es debida a que el agua debe mojar la placa, pero no debe quedarse sobre ella (ver Figura 3-23).



**Figura 3-23 Montaje de la estación finalizado. Fuente: propia**

El metacrilato también ha sido usado para cerrar el área que crea la proyección de la placa en la caja, en su interior se sitúa la pantalla OLED (ver Figura 3-24). Todas las superficies usadas de este material usadas han sido selladas con silicona.



**Figura 3-24 Pantalla OLED fijada al metacrilato. Fuente: propia**

### 3.3 Circuito

#### 3.3.1 Generalidades

Como son un número elevado de componentes los que están conectados a la placa de Arduino, para el montaje de la estación completa se usará una placa “protoboard”. Gracias a ella se ganará seguridad en la conexión de los numerosos pines además de la posibilidad de ser algo más organizados. Cuando se juntan tantos circuitos electrónicos juntos, si falla algo la única forma de encontrar rápidamente un error es siendo organizado y meticulado con su montaje.

El montaje completo se encontrará en el interior de la caja hermética. Generalmente los cables de color rojo son los que están conectados a las salidas de 3,3 o 5 V, los negros son los conectados a tierra (GND) y, por último, se le ha intentado asignar a cada sensor un color diferente, aunque en algunos casos no ha sido posible respetar esta norma.

#### 3.3.2 Montajes individuales

A continuación, se especifica y explica el circuito electrónico que forman cada uno de los componentes de forma individual. Hay que aclarar que los colores que se visualizan en los siguientes esquemas no se corresponden con los que realmente están conectados en el circuito.

1. Fuente de energía. Para alimentar la placa y para conseguir que se cumpla una de las condiciones fundamentales del presente proyecto, establecida en el mismo título, se implementará una placa solar cuyo funcionamiento ha sido explicado en apartados previos. La placa solar se encargará de recargar las 4 baterías, que colocadas en paralelo tendrán la misma salida de voltaje, sin embargo, se sumarán sus intensidades.

La placa solar y las baterías estarán conectadas por el módulo de carga solar, que regulará la carga de estas baterías y evitando sobrecarga y otros problemas posibles. Como se ha mostrado anteriormente, las baterías van montadas en una base con salida y entrada de 3 V, 5 V y USB. La entrada de 3 V se reserva para la conexión con el módulo solar, es decir, con la placa solar. La otra salida, de 5 V, saldrán los pines para alimentar la placa Arduino, tal y como se indica en la Figura 3-25 y la Tabla 3-3. La salida USB no la usaremos para ninguna función.

PIN EXT	PIN ARDUINO
5 V	V <sub>in</sub>
GND	GND

Tabla 3-3 Conexiones de la fuente de alimentación a Arduino

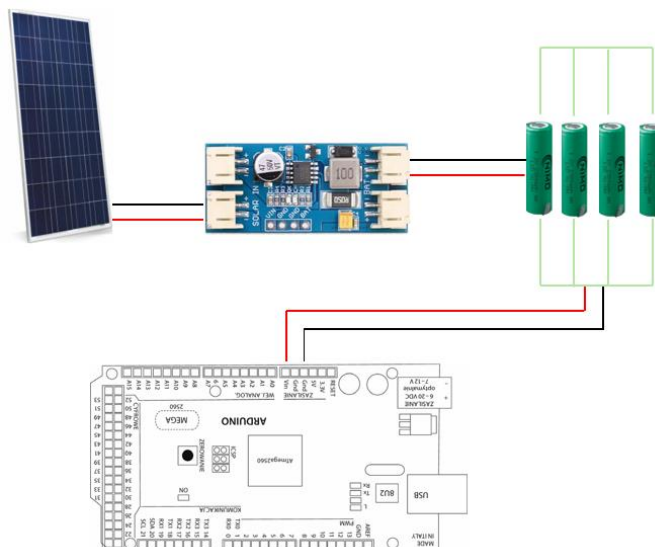


Figura 3-25 Esquema de montaje de la fuente de alimentación. Fuente: propia

2. Sensor de temperatura y humedad DTH22. El DTH22 va conectado a la placa Mega 2560 conectando su pin rotulado como DO con el pin digital 2, el rotulado como GND irá al pin GND de Arduino y el VCC irá a la salida de 3,3 V como indica sus especificaciones técnicas (ver Figura 3-26 y Tabla 3-4).

PIN SENSOR	PIN ARDUINO
VCC	3,3 V
GND	GND
DO	2

Tabla 3-4 Conexiones del sensor DTH22 a Arduino

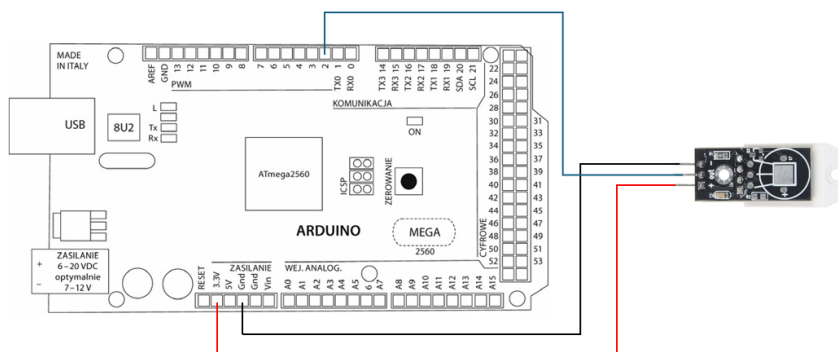


Figura 3-26 Esquema de montaje del sensor DTH22. Fuente: propia

3. Anemómetro. Tanto el anemómetro como la veleta conforman un módulo cuya salida estaba inicialmente implementada como una RJ11. Sin embargo, para su integración en el proyecto, se cortó quedando los cables como se observan en la Figura 3-27. Los correspondientes al anemómetro según las especificaciones técnicas son los dos interiores.

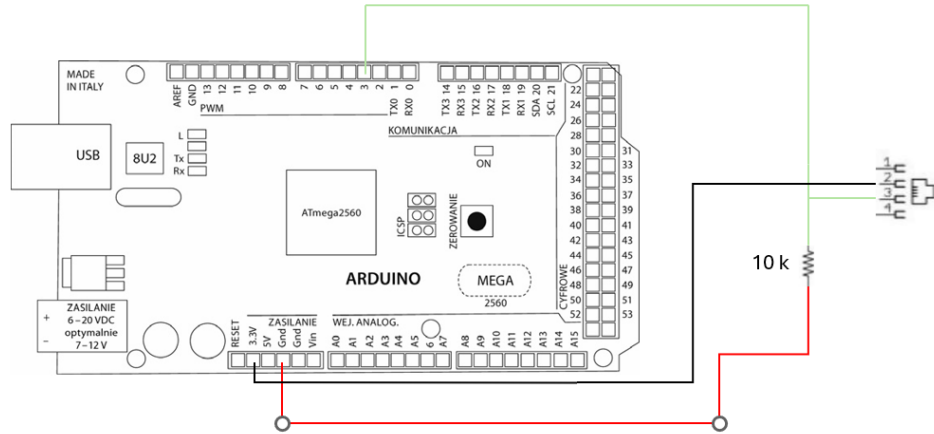


Figura 3-27 Esquema de montaje del anemómetro. Fuente: propia

4. Veleta. En cuanto a la dirección del viento, en su funcionamiento se explicó que había que obtener los datos de una resistencia, realizando un divisor de tensión. El divisor de tensión se logra con una resistencia, según las especificaciones técnicas de 10 kΩ, en serie con el sensor, siendo este realmente otra resistencia. Como la tensión se mide en paralelo, sacamos del punto entre las dos resistencias el voltaje, que será la entrada analógica de este sensor, A2 (ver Figura 3-28).

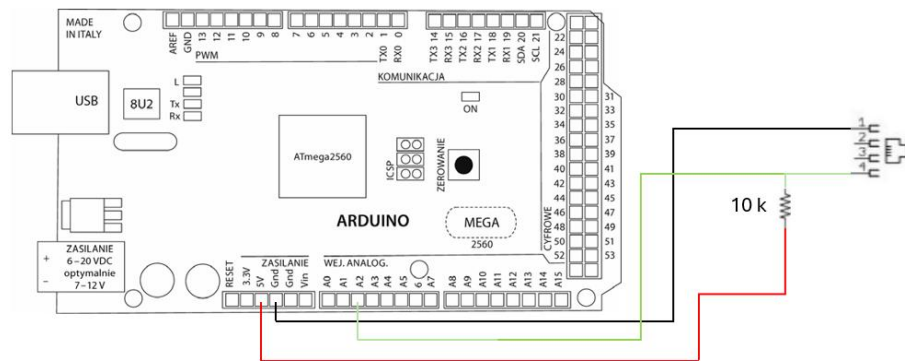


Figura 3-28 Esquema de montaje de la veleta. Fuente: propia

5. Sensor de lluvia. Este sensor tiene la peculiaridad de estar compuesto por dos piezas realmente, la placa de superficie niquelada que va conectada con dos pines directamente al comparador, que transforma la salida de la placa en voltaje de 0 a 5 V. El comparador es el que entrega los datos a Arduino y establece las conexiones, VCC a 3,3 V según fabricante, GND a GND, el pin marcado como DO al pin digital de Arduino 6 y el AO al pin analógico de Arduino A3 (ver Figura 3-29 y Tabla 3-5).

**PIN SENSOR    PIN ARDUINO**

VCC	3,3 V
GND	GND
DO	5
AO	A3

Tabla 3-5 Conexiones del sensor de lluvia a Arduino



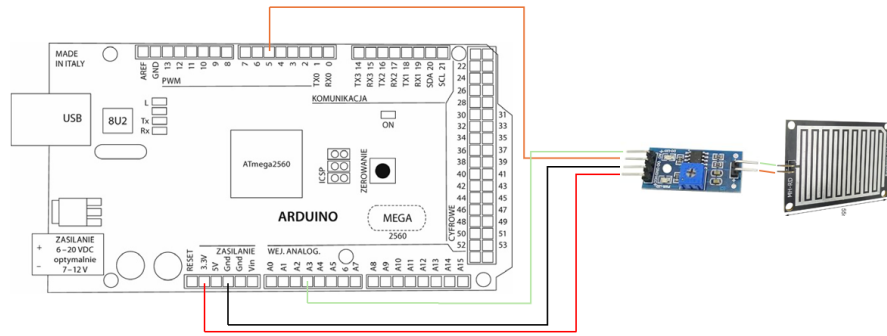


Figura 3-29 Esquema de montaje del sensor de lluvia. Fuente: propia

6. Sensor de intensidad de luz. El sensor de luz vuelve a ser un sensor sencillo en cuanto a conexión se refiere, con un pin DO conectado directamente al pin 6, alimentada por 5 V al CC según indicaciones del fabricante y GND a GND (ver Figura 3-30 y Tabla 3-6).

**PIN SENSOR    PIN ARDUINO**

VCC	5 V
GND	GND
DO	6

Tabla 3-6 Conexiones del sensor de luz a Arduino

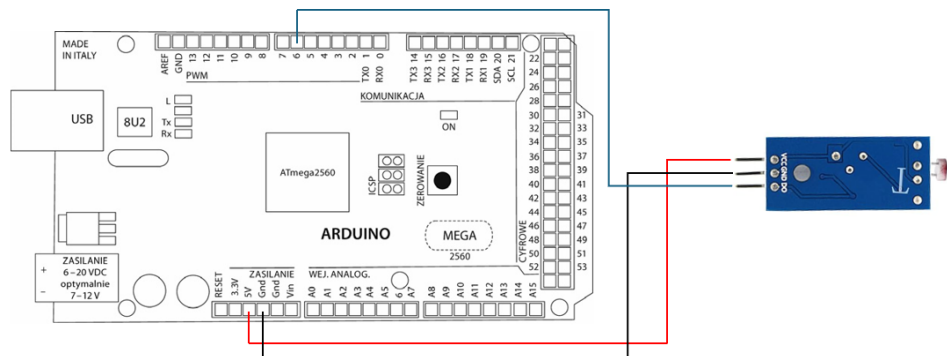


Figura 3-30 Esquema de montaje del sensor de luz. Fuente: propia

7. Sensor UV GUVA-S12SD. El último de los sensores también es de conexión directa y sencilla, su pin de salida analógica es rotulado como SIG y va unido directamente al pin A2. El VCC al pin de salida de 5 V de Arduino debido a especificaciones técnicas y GND a GND (ver Figura 3-31 y Tabla 3-7).

**PIN SENSOR    PIN ARDUINO**

VCC	5 V
GND	GND
SIG	A2

Tabla 3-7 Conexiones del sensor UV a Arduino

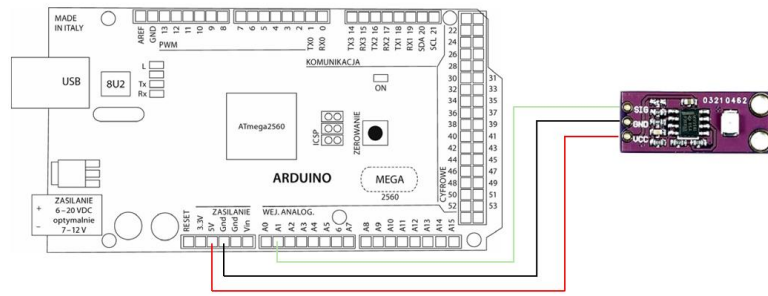


Figura 3-31 Esquema de montaje del sensor UV. Fuente: propia

8. Pantalla OLED. El primero de los componentes no considerados sensores presenta un interfaz de comunicación I2C, lo que quiere decir que además de alimentación y conexión a tierra solo necesita dos líneas de comunicación más. SDA y SCL vienen indicado en la placa con su mismo nombre lo cual hace su conexión sencilla e intuitiva (ver Figura 3-32 y Tabla 3-8).

PIN SENSOR	PIN ARDUINO
VCC	3,3 V
GND	GND
SDA	SDA 20
SCL	SCL 21

Tabla 3-8 Conexiones de la pantalla OLED a Arduino

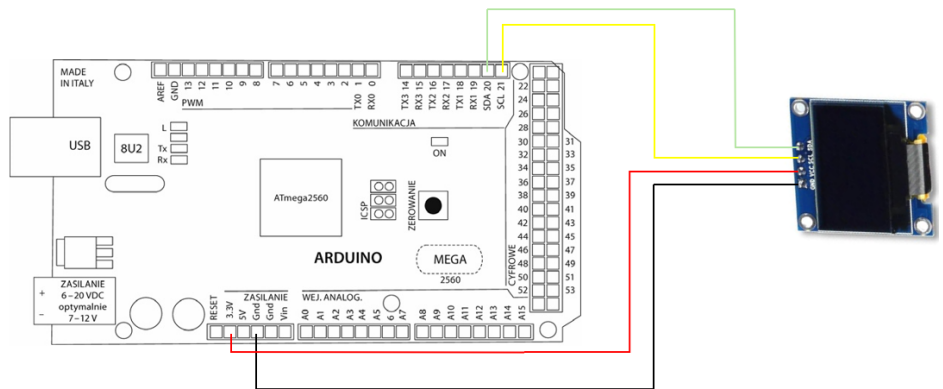


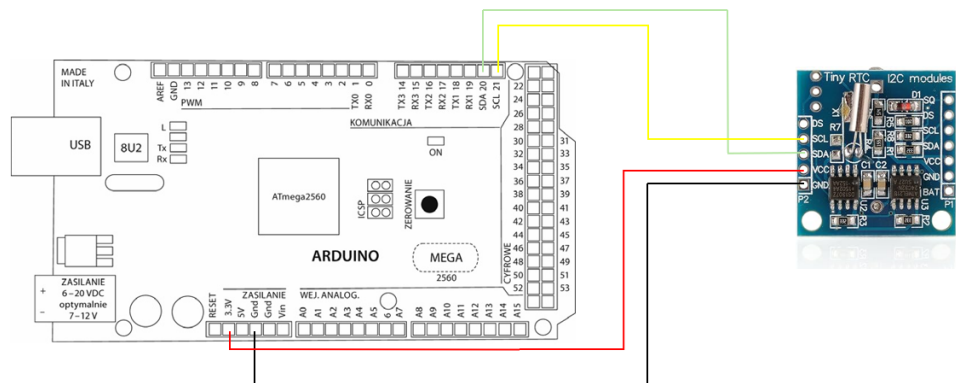
Figura 3-32 Esquema de montaje de la pantalla OLED. Fuente: propia

9. Reloj. Este segundo componente encargado de marcar la hora en todo momento también se conecta con I2C, lo cual significa que su conexión es exactamente igual que en el caso anterior (ver Figura 3-33 y Tabla 3-9).

**PIN SENSOR    PIN ARDUINO**

VCC	3,3 V
GND	GND
SDA	SDA 20
SCL	SCL 21

**Tabla 3-9 Conexiones del reloj OLED a Arduino**



**Figura 3-33 Esquema de montaje del reloj. Fuente: propia**

10. Lector micro SD. Con este componente se debe tener especial atención ya que es el único que establece una comunicación SPI, ya que era incompatible realizar una comunicación I2C. Por lo tanto, además de fuente de alimentación y conexión a tierra, se necesitan 4 líneas de conexión más (ver Figura 3-34 y Tabla 3-10).

**PIN SENSOR    PIN ARDUINO**

VCC	3,3 V
GND	GND
MISO	MISO 50
MOSI	MOSI 51
SCK	SCK 52
CS	7

**Tabla 3-10 Conexiones del lector microSD a Arduino**

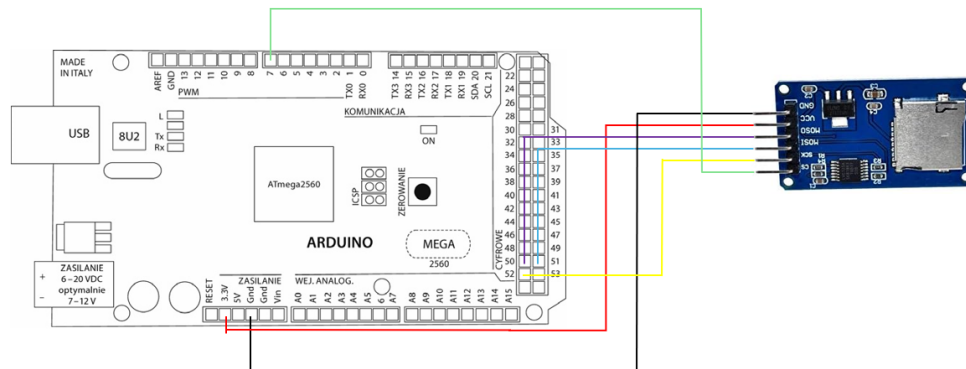


Figura 3-34 Esquema de montaje del lector microSD. Fuente: propia

### 3.4 Programa

#### 3.4.1 Generalidades

Durante la presente memoria, se ha hecho un recorrido por todo el desarrollo del proyecto, empezando por su motivación y antecedentes, siguiendo con la descripción de sus componentes, explicando cómo deben estar conectados para su correcto funcionamiento y entendiendo el funcionamiento interno de cada sensor. Ahora ha llegado el momento de explicar cómo se debe codificar a través del entorno de desarrollo integrado de Arduino (IDE) cada sensor para que muestre los datos buscados.

El IDE de Arduino consiste en una aplicación que es compatible con PC, Mac y Linux, y su interfaz es bastante sencilla. Tiene un editor de código, el compilador para detectar errores y el cargador para subir el código a la placa. Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, el lenguaje usado para programar el microcontrolador integrado de la placa de Arduino es C++ reducido.

Aunque las versiones de IDE de Arduino han ido actualizándose, son bastante similares entre ellas y los códigos suelen ser compatibles para diferentes versiones. Lo primero que se debe hacer al abrir la aplicación es seleccionar el puerto y la placa de Arduino que esté conectada al ordenador.

Es importante diferenciar entre códigos y librerías, las librerías son documentos que serán referenciadas en los códigos y que contienen información necesaria para que los códigos funcionen correctamente. Al guardarse el archivo, el código se guarda dentro de una carpeta con el nombre del archivo y con la extensión. ino.

Dentro de la aplicación existe la opción de monitor serie, el cual muestra los mensajes que manda el Arduino al ordenador, es decir, es la ventana donde se verán los datos que recogen los sensores. Normalmente aparece debajo justamente del editor de código, que es dónde se va a programar el código. El IDE se encarga de traducir este código a un archivo sexagesimal para que el microcontrolador lo comprenda, esto lo hace concretamente el compilador. Además, este detecta errores y los muestra sombreados en rojo en el editor. A través de un programa denominado AVRDUDE, el archivo sexagesimal lo sube a la memoria flash del microcontrolador.

#### 3.4.2 Sintaxis del IDE de Arduino

Dejando atrás la explicación sobre del Hardware de Arduino, a continuación, se va a desarrollar cómo funciona el lenguaje de programación y sus funciones. En todo lenguaje de programación, como en los idiomas, se necesita ser muy meticuloso con los signos de puntuación. Al final son herramientas para que la comunicación entre el compilador y el editor funcione correctamente. Los siguientes son los más importantes:

- “ // ”. Las dos barras son una forma de añadir un comentario al código, es decir, el texto que siguen a las barras no será compilado ni ejecutado. Suele ser usado para explicación del código o como guía para la programación. En un proyecto como este, cuando existen gran cantidad de variables y funciones, se necesitan explicaciones con detalle para que sea comprendido correctamente.
- “ ; ”. El uso del punto y coma es muy similar al uso del punto y aparte cuando se habla castellano. Sirve para comunicar que se ha completado una sentencia del código y que, a partir de ese punto, se va a escribir algo nuevo, independiente de lo anterior. Normalmente también se suele cambiar de renglón después de usar este signo de puntuación. El olvido de esta herramienta es el error más común a la hora de comenzar a programar.
- “ { } ”. Los corchetes se usan para delimitar la parte de código que pertenece a una función. Estos signos aparecerán justo después de cada función, la falta de concordancia entre el número de corchetes provoca otro gran número de errores cuando se compilan los códigos.
- “ </>= ”. Como se puede intuir, estos signos sirven para poder hacer la comparativa entre dos valores diferentes con los que se estén trabajando en el programa.

Además del uso reservado de estos signos de puntuación, existen una serie de palabras reservadas las cuales realizan un trabajo específico y cambian de color al ser escritas en el editor. Es decir, no podemos nombrar variables ni funciones usando esas palabras, ya que daría error, también algo común. Algunos ejemplos son: TRUE, FALSE, HIGH, LOW, INPUT, OUTPUT.

Por otro lado, están los trozos de códigos que se van a usar dentro del programa, ya sea tan solo una vez o repetidamente. Estos trozos de código son denominados funciones, y ayudan a la limpieza y correcta estructura del código. Las funciones vienen definidas por un nombre que se le asigna en mismo código. Además de las funciones que pueden ser creadas por los usuarios, hay varias funciones ya definidas por el IDE de Arduino y son las más usadas generalmente.

Para llamar a una función dentro del programa es necesario teclear su nombre y abrir un paréntesis posteriormente. Dentro del paréntesis vendrán declarados los parámetros que exige dicha función, sin embargo, en muchos de ellos el interior del paréntesis quedará vacío, esto significa que no devuelve ningún valor ni información. Como ya se ha visto, después del paréntesis vendrán los corchetes que recogen la parte de código que se debe ejecutar cuando se llame a la función.

Las funciones ya preestablecidas por Arduino más importantes son “setup()” y “loop()”. Estas funciones deben estar declaradas en todo código que se quiera cargar en una placa. De hecho, al abrir un nuevo Sketch del IDE de Arduino aparecen ya declaradas estas dos funciones, que van a ser explicadas a continuación.

La función setup() recogerá todas las acciones que solo se necesiten hacer una vez y es lo primero que ejecuta el microcontrolador. Por ejemplo, iniciar la comunicación serie (normalmente en 9600 baud), configurar los pines en modo entrada o salida, mostrar mensajes de inicio de código o corrección de errores. Es una función sin argumentos y viene precedida por la palabra “void”, lo cual significa que no devuelve ningún valor.

Una vez se ejecuta la función setup(), se ejecuta la función loop(). Esta función recoge la parte de código que se va a repetir una y otra vez. Como la anterior, es una función sin necesidad de argumentos y que tampoco devuelve ningún valor, por lo tanto, también va acompañado de la palabra void. A continuación, entre corchetes, se escribe el código que será ejecutado repetidamente. Este bucle en el que consiste esta función se repite a una velocidad marcada por el microcontrolador que contiene la placa, en el caso de este proyecto es 9600 bits por segundo.

A continuación, se procede a enumerar todas las funciones del IDE que han sido usadas en el código del presente proyecto, acompañadas de una breve explicación de su funcionamiento y utilidad.

1. `PinMode()`. Configura los pines digitales ya sea como entrada o como salida, normalmente como entrada. No devuelve nada y la sintaxis es `pinMode(pin, mode)`, donde `pin` es el pin de Arduino que se quiere configurar y `mode` decide si actuará como INPUT u OUTPUT.
2. `DigitalRead()`. Lee y devuelve el valor, HIGH o LOW, de un pin digital determinado. En cuanto a su sintaxis, se escribe `digitalRead(pin)`, donde `pin` se refiere al pin de donde debe leer el valor.
3. `AnalogRead()`. Lee y devuelve el valor, de 0 a 1024 o bien de 0 al voltaje con el que se trabaje, en este caso 5 V. Su sintaxis es `analogRead(pin)`, donde `pin` se refiere al pin de donde debe leer el valor.
4. `Delay()`. Esta función se encarga de detener el programa, pero no devuelve ningún valor. Se escribe de la forma `delay(ms)`, donde `ms` es el tiempo en microsegundos y marca el tiempo que se encuentra detenido el programa.
5. `Millis()`. No tiene argumentos y su sintaxis es fácil, simple se escribe `millis()`. Devuelve la cantidad de microsegundos transcurridos desde que se cargó el programa.
6. `AttachInterrupt()`. Sirve para detener el programa por completo, durante la interrupción el valor de `millis()` no se incrementa y `delay(ms)` deja de ser utilizable. Es usada sobre todo para realizar conteos en un tiempo determinado. Cuenta con una sintaxis algo más compleja, `attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin), ISR, mode)`, donde `digitalPinToInterrupt(pin)` se refiere al pin dónde se va a realizar la interrupción, `ISR` es correspondiente a la función que se ejecuta durante la interrupción y `mode` sirve para definir cuando se debe activar el interruptor. La función por no devuelve ningún valor.
7. `DetachInterrupt()`. Con esta función se da por finalizada la interrupción y como en la anterior tampoco devuelve nada. El parámetro que necesita es el `digitalPinToInterrupt(pin)`, por lo tanto, la función se escribe `DetachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin))`.
8. `Serial.begin()`. Esta función sirve para establecer la velocidad de transmisión, el dato se establece en bits por segundo (baud). Para la comunicación con el monitor serie es necesario configurar este con la misma velocidad, esta configuración aparece en la esquina superior derecha de la ventana del monitor serie. Su único argumento es la velocidad de comunicación y la sintaxis queda `Serial.begin(baud)`.
9. `Print()`. Es la función más usada durante todo el código y sirve para mostrar información al usuario a través de algún componente. La información que se muestra generalmente es el valor de la variable que se añade como argumento dentro del paréntesis, o también llamado parámetro. Si es requerido que después de mostrar el valor, los siguientes salgan en diferente renglón, se le debe añadir "ln" a la función, quedando la sintaxis de tal manera: `println()`. Aunque no solo se pueden mostrar parámetros, también es posible mostrar palabras, escribiéndolas entre comillas en el interior del paréntesis. Los espacios también deben ser escritos entre comillas. Además, la función irá precedida de una palabra que indicará sobre donde se debe proyectar el valor, las dos que se han usado son:
  - `Serial.print()`. El parámetro aparecerá en el monitor serie del IDE de Arduino.
  - `Display.print()`. Esta función es usada para que muestre el parámetro en la pantalla OLED con la que se trabaja en el siguiente proyecto. Además, necesita que la siguiente sentencia sea `display.display()`, sin argumento.
  - `myFile.print()`. El parámetro se almacenará en el archivo de la tarjeta microSD.

Aunque no son funciones preestablecidas como tal, existen unas estructuras reservadas como son “#define” o “#include”. La primera de ellas permite declarar un valor que será constante durante todo el programa. Por otro lado, “#include” es usada para incluir librerías del exterior, cuyo contenido será requerido durante la ejecución del código.

Con el tipo de funciones ya definidos, el siguiente paso es conocer el concepto de variables dentro del IDE de Arduino. Las variables de programación son una herramienta más de esta aplicación que nos permite almacenar información y acceder a ella dentro del código. Estos datos son guardados en la propia memoria del microcontrolador, cada variable se corresponde con una dirección dentro de la memoria. Los valores que toman las variables se van actualizando y cambiando conforme el código se va ejecutando. Los tipos variables se diferencian por la información que es capaz de almacenar cada una. Esto es debido al espacio que ocupan, por ejemplo, no se requiere el mismo espacio para almacenar números enteros que almacenar números decimales.

Lo primero que se debe hacer a la hora de escribir un código es crear las variables que van a ser usadas durante su desarrollo, esta acción se conoce como declaración de variables. Para ello se necesita definir el tipo de variable y un nombre, que como ya se ha comentado no puede ser igual a ninguna de las palabras reservadas por IDE de Arduino. Los nombres son totalmente libres, exceptuando el caso anterior y tampoco puede contener espacios ni caracteres especiales tales como \$, /, ¡, &... Ejemplo declaración de variable: *int pulsosAnem*, donde “int” es el tipo de variable y “pulsosAnem” es el nombre que se ha decidido otorgarle.

Los tipos de variables más usados en el código del presente proyecto son los que a continuación se enumeran:

1. Variable decimal. Esta variable almacena números decimales y es usada la palabra reservada “float”. Es importante destacar que el separador decimal no será escrito con una coma, sino con un punto. Esta variable reserva 4 bytes de memoria y un rango de valores muy superior a la variable “int”.
2. Variable “char”. Esta variable ocupa un solo byte y es capaz de almacenar todo el abecedario.
3. Variable entera. Tipo de variable capaz de recoger números enteros y es precedido por la palabra “int”. Reserva una memoria de 2 bytes, lo cual es relativamente poco para toda la memoria del microcontrolador. Si es necesario que todo el rango que abarca vaya destinado a valores positivos, en lugar de “int” se utilizará “unsigned int”. Si el rango que ofrece este tipo de variable es demasiado reducido, existe una alternativa para ampliar la capacidad a 4 bytes, y se declarará como “long” o “unsigned long” en caso de que se necesiten solo valores positivos.

Una vez declarada la variable, sea del tipo que sea, se debe inicializar esta variable para poder asignarle valores. La declaración y la asignación de un valor inicial se puede realizar en la misma sentencia. Ejemplo: *int pulsosAnem = 0*.

Además de los tipos de variables, existen ciertas palabras reservadas que sirven para matizar el uso la declaración de estas variables. Por ejemplo, si se desea que el valor de una variable nunca cambie, se ha de añadir la palabra “const” en su declaración. Otro ejemplo de este tipo es el uso de la palabra reservada “volatile”. Si lo que se necesita es que el valor cambie debido a alguna función que se ejecuta simultáneamente al resto del código, se requiere añadir la palabra “volatile” al declarar la variable. Este ejemplo es usado en las interrupciones normalmente.

Por último, otro de los recursos más usados en el código es la implementación de condiciones, es decir, fragmentos de códigos que serán repetidos hasta que una condición deje de darse. La palabra reservada que se usa para ello es “if(){}”. La condición se introduce en el interior de los paréntesis y las sentencias que se introduzcan entre los corchetes será lo que se ejecute mientras que la condición se esté

cumpliendo. Este recurso puede ir acompañado de la palabra reservada “else{ }”. Esta función hará que se repita el código mientras que no se cumple lo que exige la condición previa.

### 3.4.3 Códigos de los componentes

En este apartado se intentará desgranar al máximo el contenido de cada código, explicando cada sentencia y separándolo por componentes. En la mayoría de ellos se va a seguir una estructura parecida. En primer lugar, se declaran variables y se incluyen librerías, aunque hay algunas variables que son creadas e inicializadas directamente en las funciones principales. Para definir los pines de entrada de los sensores generalmente se nombran las variables con la palabra pin seguida del nombre del sensor con la primera letra en mayúsculas. Ejemplo: *pinDTH*. Posteriormente se crean las funciones principales de cada componente, las funciones “setup()” y “loop()”, que irán seguidas también del nombre del componente con la primera letra en mayúsculas. Ejemplo: *setupLluvia()*. Cada componente tendrá sus respectivas funciones principales con la sintaxis que se acaba de mencionar y estas funciones irán incluidas en el “setup()” y “loop()” del código completo.

Por lo tanto, la estructura es:

- Declaración de variables y librerías.
- Creación de las funciones principales de cada componente.
- Creación de las funciones principales del código completo.

El primer sensor que aparece es el sensor de luz, al cual se le asigna el pin digital 6.

```
const int pinLuz = 6;
```

Su función *setupLuz()* es sencilla. En ella se inicializa la comunicación a una velocidad de 9600 baud, como el resto de los componentes y se configura el pin digital 6 en modo entrada.

```
void setupLuz() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa comunicación en 9600 baud.
  pinMode(pinLuz, INPUT); // Configura el pin del sensor de luz como entrada.
}
```

Al ser un sensor digital, como ya se ha explicado anteriormente, devuelve el nivel de voltaje del pin, HIGH o LOW. En su función *loopLuz()* se abre una condicional en la que si el sensor devuelve 0 (LOW), muestra la palabra “Día”, por el contrario muestra la palabra “Noche”. Además, en el comienzo de la función se crea una nueva variable que va a ser la que almacene el valor HIGH o LOW.

```
int IntensidadLuz = digitalRead(pinLuz);
if (IntensidadLuz == LOW){
  Serial.println("Dia");
  myFile.println("Dia");
  display.println("Dia");
  display.display();
}else{
  Serial.println("Noche");
  myFile.println("Noche");
  display.println("Noche");
  display.display();
}
```



Siguiendo con la programación de los sensores, el siguiente que aparece es el sensor de temperatura y humedad. Dicho sensor está conectado al pin digital 2 y las librerías que necesitan son la “Adafruit.Sensor.h” y la librería “DHT.h”. La extensión de todas las librerías que se incluyen en el código tienen la extensión “.h”. Estas librerías sirven para configurar de manera correcta este sensor, ya que facilita la calibración y selección del tipo de DHT, ya que existen varios. Se encarga también de hacer conversiones y lecturas del propio sensor.

```
#include "Adafruit_Sensor.h"
#include "DHT.h"
const int pinDHT = 2;
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht = DHT(pinDHT, DHTTYPE);
```

En su función “setupHumedad()” simplemente se inicializa el sensor y la comunicación.

```
void setupHumedad() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa comunicación en 9600 baud.
  dht.begin(); // Inicializa el dht22.
}
```

Al comienzo de la función “loopHumedad()”, se crean variables de tipo decimal que almacenan los datos que recoge en la librería DHT.h. Además, a través de una condicional analiza si el sensor se está leyendo correctamente, en caso contrario lo muestra en el monitor serie.

```
void loopHumedad() {
  float h = dht.readHumidity(); // Crea variable, lee y almacena valor de humedad.
  float t = dht.readTemperature(); // Crea variable, lee y almacena valor de temperatura.
  if (isnan(h) || isnan(t)) { // Asegura de que no existe error en la lectura del sensor.
    Serial.println("Error en la lectura!");
    return;
  }
}
```

Una vez realizada esta comprobación, lo siguiente es mostrar en pantalla y guardar en la tarjeta micro SD los valores de temperatura y humedad.

```
Serial.print("Humedad: ");
myFile.print("Humedad");
display.print("Humedad: ");
display.display();
Serial.print(h);
myFile.print(h);
display.print(h);
display.display();
Serial.print(" % ");
myFile.print(" % ");
display.println(" % ");
display.display();
// Muestra los datos de temperatura.
Serial.print("Temperatura: ");
myFile.print("Temperatura: ");
display.print("Temperatura: ");
display.display();
```

```

Serial.print(t);
myFile.println(t);
display.print(t);
display.display();
Serial.println(" C");
myFile.println(" C");
display.println(" C");
display.display();
}

```

Uno de los sensores con una programación algo menos sencilla es el anemómetro, consiste en contar pulsos y lo realiza mediante una interrupción, por lo que su pin es digital y se le asigna el 3. Como ya se explicó, la variable que almacena la cantidad de pulsos es usada dentro de una interrupción por lo que es de tipo volátil. La velocidad del viento se almacena en una variable decimal puesto que daremos datos de números no enteros. Para el temporizador se usa una variable que almacena el tiempo transcurrido en milisegundos, necesita que sean positivos y un suficiente espacio de memoria reservado. Por lo tanto, se almacena en una variable unsigned long.

```

const int pinAnem = 3;
//Define las diferentes variables del anemómetro.
volatile int PulsosAnem; // Variable que cuenta los pulsos. Es volátil ya que funciona dentro de una interrupción.
float velocidadViento; // Variable que indica la velocidad del viento, valor mostrado en pantalla.
unsigned long tiempoInicioAnem; // Variable para poder implementar el temporizador.

```

En su función “setupAnem()”, como siempre, se inicializa la comunicación y se configura el pin digital como entrada. También inicializa las variables creadas anteriores, de esta forma guarda el tiempo de inicio de conteo con la función millis() y el contador lo pone a 0. También crea una interrupción en la que se realiza la función “contarPulsoAnem()”.

```

void setupAnem() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa comunicación en 9600 baud.
  pinMode(pinAnem, INPUT); // Configura el pin del anemómetro como entrada.
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinAnem), contarPulsoAnem, RISING); // Crea una interrupción durante la cual se contarán los pulsos.
  PulsosAnem = 0; // Inicializa el contador de pulsos a 0.
  tiempoInicioAnem = millis(); // Guarda el tiempo de inicio de conteo.
}
void contarPulsoAnem() {
  PulsosAnem++; // Incrementa el contador de pulsos
}

```

La función principal “loopAnem()”, se crea una condición que se cumple cuando ha transcurrido al menos 1 segundo desde el último conteo. Si es así, se vuelve al código, es decir, se detiene el conteo. Con el valor que tiene en ese momento la variable “PulsosAnem”, se calcula la velocidad del viento con la expresión ya explicada y la muestra en pantalla y lo guarda en la tarjeta micro SD. Antes de volver a comenzar el conteo, reinicia el tiempo y el contador para un nuevo proceso.

```

void loopAnem() {
  //if ( millis() - tiempoInicioAnem > 1000) { // Si ha transcurrido 1 s, se introduce en el If.
  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinAnem)); // Detiene el conteo para realizar el cálculo.
  velocidadViento = (PulsosAnem * 3.14 * 0.0913 * 3.6 * 1000 / (1.8 * 1.2 * (millis() - tiempoInicioAnem))); // Calcula la velocidad del viento en nudos según el número de pulsos.
}

```

```

//Muestra la velocidad del viento en pantalla.
Serial.print("Velocidad del viento: ");
myFile.println("Velocidad del viento: ");
display.print("Viento:");
Serial.print(velocidadViento);
myFile.println(velocidadViento);
display.print(velocidadViento);
Serial.print(" kts ");
myFile.println(" kts ");
display.print(" kts ");
display.display();

// Reinicia tanto el contador como el temporizador.
PulsosAnem = 0;
tiempoInicioAnem = millis();
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinAnem), contarPulsoAnem, RISING);//Reanuda el conteo.
    }
    
```

Continuando con los sensores de viento, en este caso la veleta va conectada a un pin analógico, el A2. Lo primero es crear ciertas variables que hacen posible almacenar el valor analógico que se entrega en el pin A2 además de poder conocer los valores de voltaje y resistencia que provocan la posición de la veleta.

```

const int veletaPin = A2;
int veletaValor;//Variable que almacena el valor recibido en el pin analógico.
float veletaVoltaje;//Variable que almacena el valor del voltaje que esta ofreciendo el sensor.
float veletaResistencia;//Variable que almacena el valor de la resistencia que esta ofreciendo el sensor.
    
```

Se inicializa la comunicación y se configura el pin analógico como entrada en la función “setupVeleta()”.

```

void setupVeleta() {
Serial.begin(9600); // Inicializa comunicación en 9600 baud.
pinMode(veletaPin, INPUT);
    
```

En la función “loopVeleta()” se almacena el valor analógico que se entrega en el pin A2, se convierte en voltaje usando una función de conversión “fmap()” y se conoce el valor de la resistencia que está ofreciendo la configuración de imanes y resistencias del interior de la veleta mediante una expresión ya desarrollada anteriormente.

```

float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void loopVeleta() {
veletaValor = analogRead(veletaPin); //Lee y almacena el valor analógico.
veletaVoltaje = fmap(veletaValor, 0, 1023, 0.0, 5.0);//Convierte el valor analógico en voltaje
veletaResistencia = veletaVoltaje * 10000 / (5.0 - veletaVoltaje); //Expresión de divisor de voltaje.
    
```

Para mostrar los datos en pantalla y en la tarjeta, se crea al final del loopVeleta() una sucesión de condicionales en función de los rangos de voltaje que marcarán la posición de la veleta.

```
if(0.9 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.94) {
    Serial.println("0");
    myFile.println("0");
    display.println("0");
    display.display();
}
if (0.76 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.8) {
    Serial.println("22ER");
    myFile.println("22ER");
    display.println("22ER");
    display.display();
}
if (2.0 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 2.04) {
    Serial.println("45ER");
    myFile.println("45ER");
    display.println("45ER");
    display.display();
}
if (1.89 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 1.95) {
    Serial.println("67ER");
    myFile.println("67ER");
    display.println("67ER");
    display.display();
}
if (3.01 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 3.07) {
    Serial.println("90ER");
    myFile.println("90ER");
    display.println("90ER");
    display.display();
}
if (2.62 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 2.68) {
    Serial.println("112ER");
    myFile.println("112ER");
    display.println("112ER");
    display.display();
}
if (2.82 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 2.88) {
    Serial.println("135ER");
    myFile.println("135ER");
    display.println("135ER");
    display.display();
}
if (2.22 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 2.28) {
    Serial.println("157ER");
    myFile.println("157ER");
    display.println("157ER");
    display.display();
}
```

```
if (2.49 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 2.55) {
    Serial.println("180");
    myFile.println("180");
    display.println("180");
    display.display();
}
if (1.27 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 1.33) {
    Serial.println("157BR");
    myFile.println("157BR");
    display.println("157BR");
    display.display();
}
if (1.45 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 1.51) {
    Serial.println("135BR");
    myFile.println("135BR");
    display.println("135BR");
    display.display();
}
if (0.22 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.27) {
    Serial.println("112BR");
    myFile.println("112BR");
    display.println("112BR");
    display.display();
}
if (0.27 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.32) {
    Serial.println("90BR");
    myFile.println("90BR");
    display.println("90BR");
    display.display();
}
if (0.17 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.22) {
    Serial.println("57BR");
    myFile.println("57BR");
    display.println("57BR");
    display.display();
}
if (0.54 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.66) {
    Serial.println("45BR");
    myFile.println("45BR");
    display.println("45BR");
    display.display();
}
if (0.37 < veletaVoltaje && veletaVoltaje < 0.44) {
    Serial.println("22BR");
    myFile.println("22BR");
    display.println("22BR");
    display.display();
}
```

Siguiendo con otro sensor analógico, al pin A1 está conectado el sensor ultravioleta. Se necesitan dos variables, una para almacenar el valor que se entrega el pin A1 y otra para almacenar su conversión a voltaje.

```
const int pinUV = A1;
float UVValor;//Variable que almacena el valor recibido en el pin analógico.
float UVVoltaje;// Variable que almacena el valor analógico pasado a voltaje.
```

Su función principal “setupUV()” de nuevo es sencilla, inicializa comunicación y es el único sensor que configura el pin analógico como salida.

```
void setupUV() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa comunicación en 9600 baud.
  pinMode(pinUV, OUTPUT);//Configura el pin del sensor UV como entrada.
}
```

Para mostrar los datos, en su función “loopUV()”, almacena la lectura analógica y realiza la conversión a voltaje. Después lo convierte en voltaje y con la relación que ya se ha comentado en el apartado de funcionamiento muestra el índice ultravioleta.

```
void loopUV() {
  UVValor = analogRead(A1); //Lee y almacena el valor analógico.
  UVVoltaje = UVValor / 1024 * 5.0; //Convierte el valor analógico en voltaje.
  Serial.print("Indice UV = ");
  myFile.println("Indice UV = ");
  display.print("Indice UV = ");
  if (0 < UVVoltaje && UVVoltaje < 0.1) {
    Serial.println("0");
    myFile.println("0");
    display.println("0");
    display.display();
  }
  if (0.1 < UVVoltaje && UVVoltaje < 0.2) {
    Serial.println("1");
    myFile.println("1");
    display.println("1");
    display.display();
  }
  if (0.2 < UVVoltaje && UVVoltaje < 0.3) {
    Serial.println("2");
    myFile.println("2");
    display.println("2");
    display.display();
  }
  if (0.3 < UVVoltaje && UVVoltaje < 0.4) {
    Serial.println("3");
    myFile.println("3");
    display.println("3");
    display.display();
  }
}
```

```
if (0.4 < UVoltaje && UVoltaje < 0.5) {  
    Serial.println("4");  
    myFile.println("4");  
    display.println("4");  
    display.display();  
}  
if (0.5 < UVoltaje && UVoltaje < 0.6) {  
    Serial.println("5");  
    myFile.println("5");  
    display.println("5");  
    display.display();  
}  
if (0.6 < UVoltaje && UVoltaje < 0.7) {  
    Serial.println("6");  
    myFile.println("6");  
    display.println("6");  
    display.display();  
}  
if (0.9 < UVoltaje && UVoltaje < 1) {  
    Serial.println("9");  
    myFile.println("9");  
    display.println("9");  
    display.display();  
}  
if (1 < UVoltaje ) {  
    Serial.println("10");  
    myFile.println("10");  
    display.println("10");  
    display.display();  
}
```

El último de los sensores, el sensor de lluvia es el único que tiene entrada digital y analógica. La analógica está asignada al pin A3 y la digital al pin 5.

```
const int pinAlluvia = A3; // Entrada analógica.  
const int pinLluvia = 5; // Entrada digital.
```

En este caso, se deben configurar los dos pines en modo entrada en el “setupLluvia()”. También se inicia la comunicación.

La función principal “loopLluvia()” consta de dos tramos. El primero en el cual se realiza una condicional que lee el pin digital, si este devuelve HIGH o 1 indica que no está lloviendo, por el contrario, si se almacena LOW o 0 significa que el sensor está mojado.

```
void loopLluvia(){  
    int lluviaValor = digitalRead(pinLluvia); // Crea variable, lee y almacena datos del puerto digital.  
    //Muestra datos del sensor de lluvia.  
    if(lluviaValor == 1){  
        Serial.println("No llueve ");  
        myFile.println("No llueve ");  
    }
```

```

    display.println("No llueve ");
    display.display();
}else{
    Serial.print("Lluvia ");
    myFile.println("Lluvia ");
    display.println("Lluvia ");
    display.display();
}

```

La segunda parte, la variable almacena el dato analógico recibido en el pin A3 y se crea una condición. Si el valor supera 500 y además el pin digital lee 0, la lluvia es moderada. Sin embargo, si el valor es inferior a 500 indica que la lluvia está siendo intensa.

```

int lluviaAValor = analogRead(pinAlluvia); // Crea variable, lee y almacena datos del puerto analógico.
if (lluviaAValor < 500){
    Serial.println("Intensa");
    myFile.println("Intensa");
    display.println("Intensa");
    display.display();
}
if (lluviaAValor > 500 && lluviaAValor == 0 ){
    Serial.println("Moderada ");
    myFile.println("Moderada ");
    display.println("Moderada");
    display.display();
}
}

```

Una vez desarrollada la explicación de todos los sensores, lo siguiente es comprender el funcionamiento del resto de componentes. La forma de programarlos, al menos sus funciones `setup()`, es muy parecida. Sin embargo, por lo general necesitan de un mayor número de librerías y funciones más especiales o difíciles de ver en otros códigos. Se desarrollarán a continuación en un orden que va desde imprescindible a más prescindible.

En primer lugar, aparece la pantalla OLED. Para que los datos aparezcan representados en pantalla es necesario incluir tres librerías. La primera de ellas es la librería `Wire.h`, esta es necesaria para que se pueda usar la conexión I2C, establece de una forma sencilla mediante diversas funciones las dos líneas de comunicación entre el componente y el microcontrolador. La siguiente es la librería `GFX`, esta es una librería gráfica que sirve para dibujar en la OLED, en base a unos gráficos ya creados. Sin embargo, para que puedan aparecer los datos en pantalla necesita de una librería complementaria, la librería `SSD1306`. Esta librería es diseñada exclusivamente para el controlador que lleva integrado la pantalla. Ambas sirven para configurar ciertos parámetros de la representación gráfica que se va a realizar, algunos de estos parámetros son: anchura, altura, tamaño de letra o color.

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#define SCREEN_WIDTH 128 // Definir el ancho de la pantalla.
#define SCREEN_HEIGHT 64 // definir la altura de la pantalla.
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire);

```



En este componente, y por primera vez hasta ahora, las funciones principales son prácticamente iguales. Tanto `setupPantalla()` como `loopPantalla()` se encargan de limpiar la pantalla, establecer el tamaño, color y posición inicial de texto. Además, la primera de ellas incluye la inicialización de la comunicación y una condicional para asegurar que la dirección del sensor ha sido reconocida correctamente.

```
void setupPantalla() {
    Serial.begin(9600);// Inicializa comunicación en 9600 baud.
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // Asegura que se reconoce la pantalla correctamente.
        Serial.println(F("No se pudo encontrar la pantalla OLED"));
        for(;;);
    }
    display.clearDisplay(); //Limpia la pantalla.
    display.setTextSize(1); // Establece el tamaño de texto.
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE); // Establece el color del texto.
    display.setCursor(0,0);// Establece la posición inicial del texto.
}

void loopPantalla() {
    //Vuelve a realizar los mismos pasos que en el setup.
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    display.setCursor(0,0);
}
```

El programa del reloj es uno de los que más requiere el contenido de su librería. Además, es el único que usa variables de tipo “char”, que son palabras o caracteres. La librería `RTClib.h` añade las dependencias necesarias para que el reloj marque la hora correctamente.

```
#include <RTClib.h>
RTC_DS1307 rtc;
char daysOfTheWeek[7][12] = {
    "Domingo",
    "Lunes",
    "Martes",
    "Miercoles",
    "Jueves",
    "Viernes",
    "Sabado"
};
```

Como acostumbran las funciones `setup()`, en ella se inicializa la comunicación y se comprueba con una condición si se lee el componente correctamente. A continuación, se pone en hora el reloj, sin embargo, tiene el inconveniente de que guarda la última hora a la que se compiló.

```

void setupReloj () {
  Serial.begin(9600);// Inicializa comunicación en 9600 baud.
  if (! rtc.begin()) { // Asegura que se reconoce la pantalla correctamente.
    Serial.println("No se localizó reloj");
    Serial.flush();
    while (1);
  }
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));// Adjusta la fecha y hora.
}

```

La función `loopReloj()` se encarga de mostrar la hora actual continuamente con una precisión de segundos. Además, muestra el día de la semana con letras, el mes y el año. Lo hace con una función tipo “`now()`”.

```

void loopReloj () {
  // Muestra la hora en pantalla.
  DateTime now = rtc.now();
  Serial.print(now.year(), DEC);
  myFile.println(now.year(), DEC);
  display.print(now.year(), DEC);
  display.display();
  Serial.print('/');
  myFile.println('/');
  display.print('/');
  display.display();
  Serial.print(now.month(), DEC);
  myFile.println(now.month(), DEC);
  display.print(now.month(), DEC);
  display.display();
  Serial.print('/');
  myFile.println('/');
  display.print('/');
  display.display();
  Serial.print(now.day(), DEC);
  myFile.println(now.day(), DEC);
  display.println(now.day(), DEC);
  display.display();
  Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
  myFile.println(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
  display.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
  display.display();
  Serial.print(" ");
  myFile.println(" ");
  display.print(" ");
  display.display();
  Serial.print(now.hour(), DEC);
  myFile.println(now.hour(), DEC);
  display.print(now.hour(), DEC);

```

```

display.display();
Serial.print(':');
myFile.println(':');
display.print(':');
display.display();
Serial.print(now.minute(), DEC);
myFile.println(now.minute(), DEC);
display.print(now.minute(), DEC);
display.display();
Serial.print(':');
myFile.println(':');
display.print(':');
display.display();
Serial.println(now.second(), DEC);
myFile.println(now.second(), DEC);
display.println(now.second(), DEC);
display.display();

```

Continuando con los componentes, el siguiente que aparece es lector de la tarjeta MicroSD. Para su uso, se añade la librería SD.h y se declara el pin de conexión en el pin digital 7.

```

#include <SD.h>
//Define variables lector MicroSD
const int pinSD = 7;
File myFile;

```

Para registrar los datos en la micro SD, la sintaxis de programación varía un poco respecto a la estructura empleada para los sensores, ya que es un componente que no necesita de una función loop(). Por el contrario, sí que necesita como el resto de los componentes una inicialización y comprobación de que ha sido conectado correctamente, esto se realiza en el interior de la función setupMicroSD(). Además, este componente tiene que crear archivo extensión .txt en la memoria de la tarjeta MicroSD. Por lo tanto, lo primero que hace es comprobar si ya existe, si aún no ha sido creado, genera un archivo .txt para que se almacenen los datos. Si ha tenido que crearlo, vuelve a comprobar si existe dicho archivo.

```

void setupMicroSD() {
    Serial.begin(9600);// Inicializa comunicación en 9600 baud.
    if (!SD.begin(pinSD)) { //Asegura de que no existe error en la lectura del componente.
        Serial.println("Fallo en la inicialización");
        while (1)
        }
    //Comprueba si ya existe el archivo Registro.txt
    if (SD.exists("Registro.txt"))
        Serial.println("Registro.txt ya existe");//Muestra si ya existe el archivo Registro.txt
    else {
        Serial.println("Registro.txt no existe");//Muestra si inicialmente no existe el archivo Registro.txt
        myFile = SD.open("Registro.txt", FILE_WRITE);//Crea y abre el archivo Registro.txt
        myFile.close();//Cierra inmediatamente el Registro.txt
        //Comprueba si en este momento ya existe el archivo Registro.txt
        if (SD.exists("Registro.txt"))
            Serial.println("Ya se creado Registro.txt");//Muestra en pantalla si se ha creado con éxito.
    }
}

```

```
    Serial.println("Ya se creado Registro.txt");//Muestra en pantalla si se ha creado con éxito.
else
    Serial.println("No se ha podido crear Registro.txt.");//Muestra en pantalla si no ha podido ser creado.
}
```

Con todas las variables y funciones declaradas y librerías incluidas, las últimas sentencias de código son las funciones principales. En la función `setup()` se llamada a todas sus homólogas de cada componente, y para el otro tipo de función principal se procede de la misma forma. El orden del llamamiento de las funciones `loop()` es en el que se requiere que los datos aparezcan en la pantalla. Ya sea por aleatoriedad o por idoneidad de código. Además de las funciones principales de cada componente, también se llama a alguna función complementaria de las explicadas anteriormente y se abre el fichero para que se puedan ir almacenando los datos enviados en cada función. Por último, se esperan 5 segundos y se cierra el fichero.

```
void setup() {
    setupPantalla();
    setupReloj();
    setupLuz();
    setupHumedad();
    setupUV();
    setupVeleta();
    setupLluvia();
    setupPluviometro();
    setupAnem();
    setupMicroSD();
}
// Funciones loop() de todos los sensores y componentes.
void loop() {
    myFile = SD.open("Registro.txt", FILE_WRITE);// Abre el archivo Registro.txt
    loopPantalla();
    loopReloj();
    loopLuz();
    loopHumedad();
    loopUV();
    loopLluvia();
    loopAnem();
    loopVeleta();
    loopPluviometro();
    contarPulsoAnem();
    delay(5000); // Espera 5 segundos durante los cuáles los datos quedan mostrados en pantalla.
    myFile.close();//Cierra el archivo Registro.txt
}
```

## 4 PRUEBA Y VALIDACIÓN

En este apartado se realizarán diversas pruebas que servirán para validar la elaboración de la estación meteorológica. Se comenzará con una prueba preliminar y se continuará con una validación de resultados que constará de tres fases. La prueba preliminar servirá para ver la precisión de la estación además de para observar qué tipo de errores surgen cuando se despliega el proyecto. Por otro lado, en las fases de validación se recogerán valores que serán comparados con datos de la Red de Estaciones de Meteorología y con los recogidos en los sensores de las Lanchas de Instrucción (LLII). Antes de comenzar con el análisis de los resultados, es conveniente aclarar que todas las unidades de todas las magnitudes que a continuación se exponen son las que se relacionan en la Tabla 2-1 .

### 4.1 Prueba preliminar

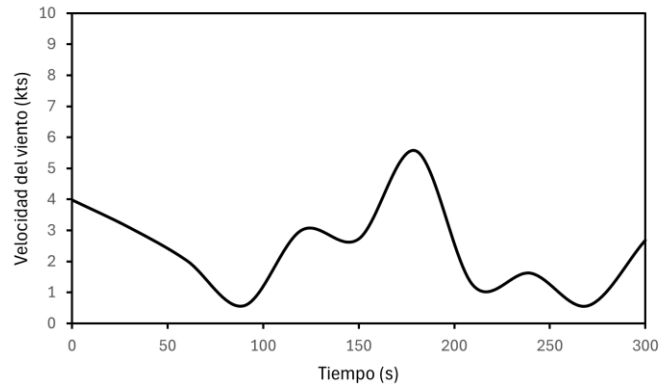
#### 4.1.1 Introducción

Antes de validar los datos obtenidos por la estación, primero se tuvo que probar si la estación era capaz de entregar datos de todas las magnitudes requeridas. Aunque cada sensor fue probado de forma individual y después todos de forma simultánea, era preciso poner a funcionar la estación alimentada por la energía solar, con el montaje ya comenzado y con los circuitos integrados dentro de la caja. Esta prueba se realizó en las inmediaciones del Laboratorio de Robótica del CUD-ENM.

#### 4.1.2 Resultados obtenidos

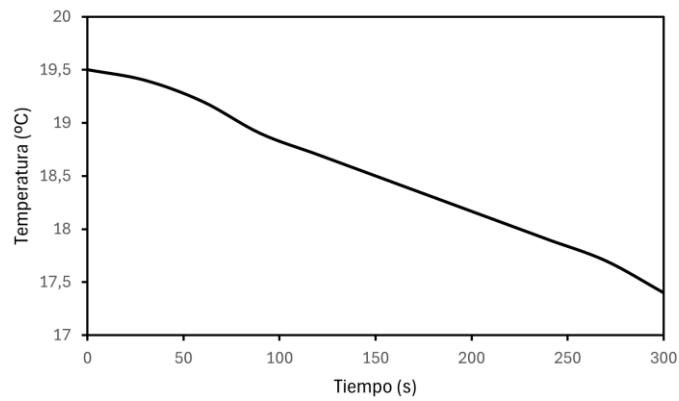
Aunque la idea principal no era verificar si los datos eran exactos, sí había que analizar si los valores estaban dentro de un rango coherente en concordancia con la situación meteorológica del día de la prueba. La estación fue capaz de entregar datos y mostrarlos en pantalla, además de guardarlos en la tarjeta micro SD, lo que permitió la observación posterior de estos. Las magnitudes recogidas fueron dirección e intensidad de viento, humedad y temperatura.

El viento del día de dicha prueba era flojo, por lo que la dirección del viento no era constante, aun así, la veleta demostró su valía. En cuanto a la intensidad, se mostraban en pantalla unos datos coherentes a lo que se podía apreciar, un viento bastante flojo e incluso hubo calma en algún momento (ver Figura 4-1).



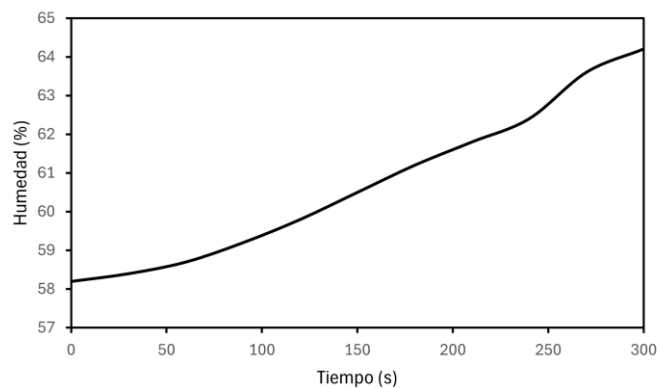
**Figura 4-1** Gráfica de intensidad del viento (kts) respecto al tiempo (s) en prueba preliminar. Fuente: propia

La estación se encontraba en el interior del laboratorio y fue puesta a la intemperie segundos antes de comenzar a medir. Debido a esto al analizar los datos de temperatura recogidos, se puede observar en la Figura 4-2 como la tendencia es a decrecer. De nuevo los valores son similares a la realidad.



**Figura 4-2** Gráfica de temperatura (°C) respecto al tiempo (s) en prueba preliminar. Fuente: propia

Por el mismo problema que se acaba de mencionar, la humedad en este caso tiende a aumentar, ya que en el exterior (en las proximidades de la ría) existía claramente más humedad que en el interior (ver Figura 4-3).



**Figura 4-3** Gráfica de humedad (%) respecto al tiempo (s) en prueba preliminar. Fuente: propia

## 4.2 Validación preliminar

### 4.2.1 Introducción

La primera validación que se llevó a cabo se realizó mediante una salida en la LLII, donde se recogieron datos tanto en puerto como en la mar. Las magnitudes que se pudieron medir fueron: temperatura, humedad, intensidad y dirección del viento. Para cada una de ellas se tomaron diez medidas separadas un minuto en tiempo. En general, para todas las magnitudes se han descartado los resultados iniciales por ser bastante dispares debido a razones que se desarrollarán en cada subapartado.

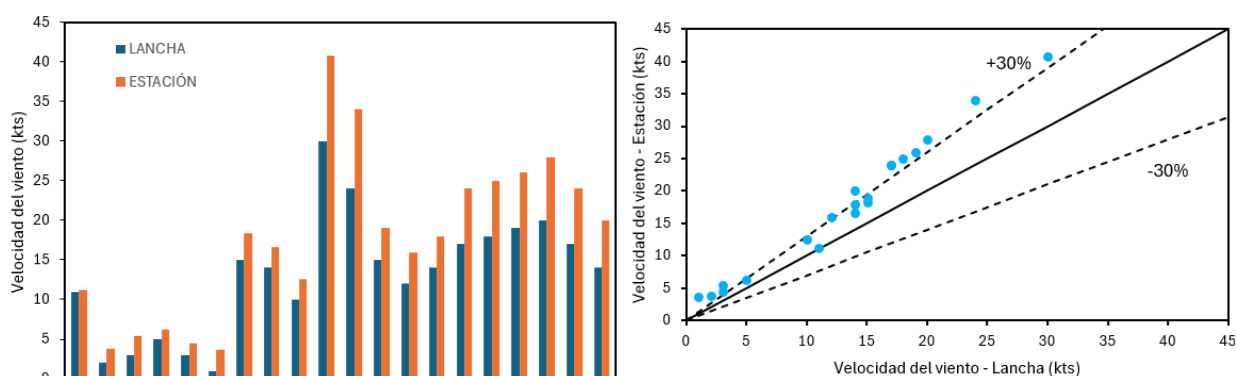
La estación fue colocada en la lancha, concretamente en el combés, 30 minutos antes de que comenzase a medir. Esto pudo resultar clave para que el sensor de temperatura y humedad tuviera tiempo para calibrarse y diese valores muy precisos en referencia a los recogidos en la lancha.

Además, también hay que destacar que el montaje de la estación aún no estaba finalizado. Simplemente se llevó el circuito en el interior de la caja para que pudiese ser transportado.

En los siguientes subapartados se pueden observar los resultados de ambas estaciones. Las gráficas que se sitúan a la izquierda muestra la comparación y las de la derecha cuanto difiere de ser totalmente precisa. Se muestra en línea discontinua los puntos que marcan unos límites que se especificarán en las propias imágenes.

### 4.2.2 Intensidad del viento

Como ya se ha mencionado, la estación indicará el viento relativo. Por lo tanto, se consideró adecuado realizar diez medidas en puerto, donde el viento relativo y el real son el mismo. Además de las diez medidas navegando (ver Figura 4-4).



**Figura 4-4 Gráficas comparativas de anemómetro en validación preliminar. Fuente: propia**

Como se puede observar, existe una tendencia de arrojar valores algo más altos la estación que el sensor instalado en la lancha. Por ello, y atendiendo a las indicaciones del fabricante, se decidió analizar el porcentaje de aumento y así estudiar si añadir un factor de corrección para futuras medidas. Dividiendo cada valor de la lancha entre su correspondiente de la estación (descartando las dos primeras medidas) y haciendo la media aritmética de todos estos valores se obtuvo un valor de 0,747. En caso de usar este dato, multiplicaría el valor aportado por la estación.

Sin embargo, se optó por descartar esta corrección debido a que la estación fue probada aproximadamente 3 metros por debajo del anemómetro de la lancha, siendo este seguramente el factor más determinante para que la estación diera valores distintos.

### 4.2.3 Temperatura y humedad

El procedimiento para validar el sensor de temperatura fue muy parecido al anteriormente descrito para la intensidad de viento. Se tomaron la mitad de las medidas en puerto y la otra mitad en la mar. Los datos recogidos, como se puede observar, fueron muy satisfactorios (ver Figura 4-5). Aunque en esta ocasión al contrario que con la intensidad del viento, no se aprecia un patrón de diferencia estable. Resaltar la buena reacción del sensor de temperatura ante el decremento de temperatura cuando la lancha se hace a la mar, que se suele dar de forma general debido a la mayor exposición que existe en el medio marino.

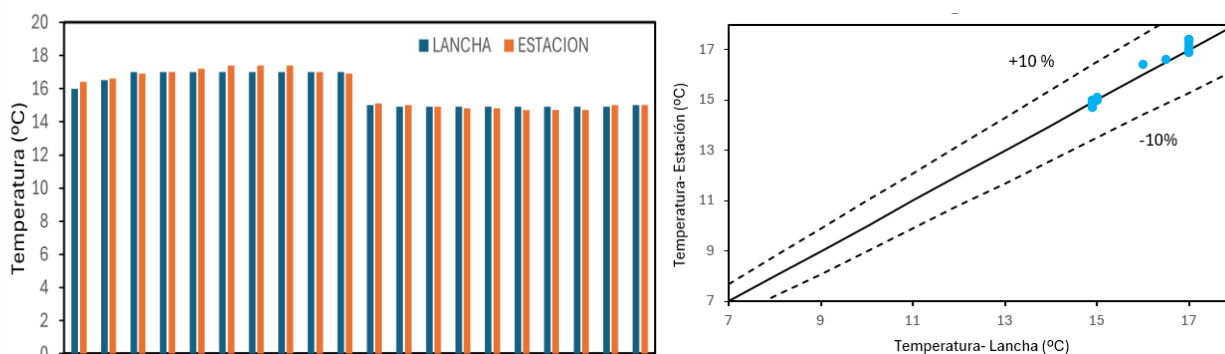


Figura 4-5 Gráficas comparativas de sensor de temperatura en validación preliminar. Fuente: propia

Para la humedad de nuevo se repite el procedimiento de toma de medidas del resto de magnitudes. Para este valor, la lectura en la lancha es algo más imprecisa, debido a la poca precisión del sensor. Sin embargo, al igual que la temperatura, los valores obtenidos son muy cercanos. En la Figura 4-6 se comparan ambos conjuntos de valores.

En comparación con lo ocurrido con la temperatura, la humedad se mantiene algo más constante durante todas las medidas, incluso sufre un pequeño decremento cuando se sale a la mar.

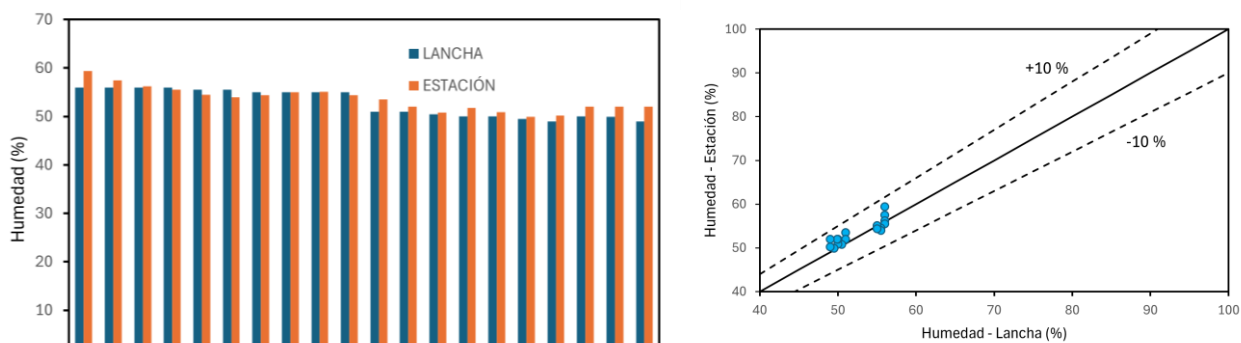


Figura 4-6 Gráficas comparativas de sensor de humedad en validación preliminar. Fuente: propia

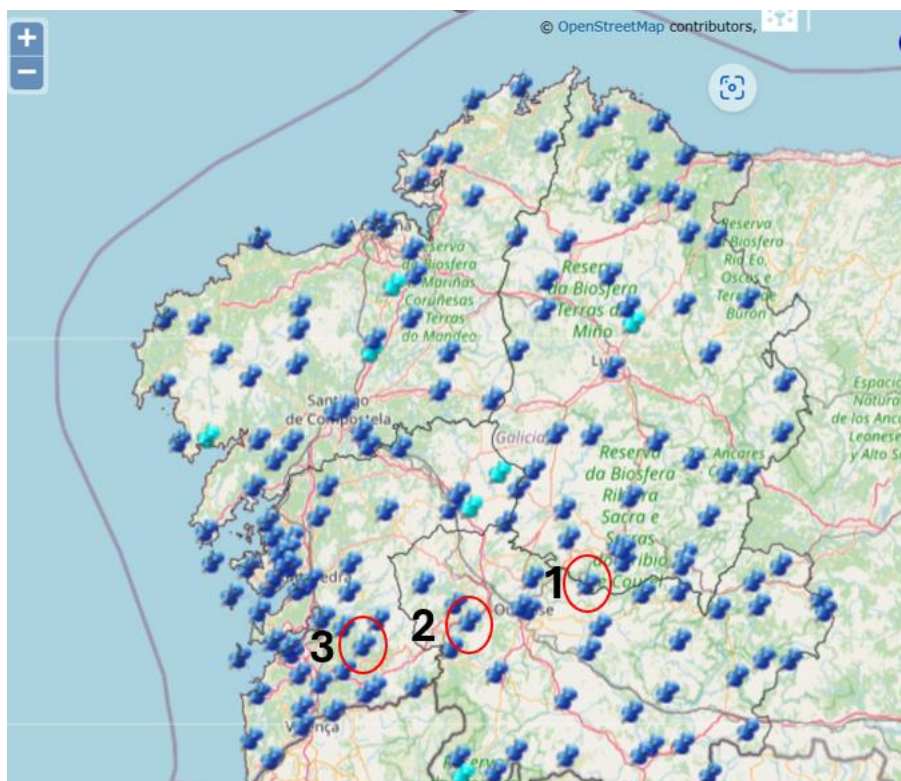
## 4.3 Validación con estaciones de MeteoGalicia

### 4.3.1 Introducción

La Unidad de Observación y Predicción Meteorológica (MeteoGalicia) se estructura en diferentes áreas de trabajo. Además de realizar predicciones y desarrollar modelos meteorológicos cuenta con una red de estaciones distribuida por toda la comunidad gallega. Además de las estaciones principales,



señaladas en azul marino, también existen estaciones colaboradoras, señaladas en azul celeste (ver Figura 4-7).



**Figura 4-7 Localización de las estaciones de la red de MeteoGalicia elegidas**

Como se puede entrever, hay un elevado número de estaciones. Aunque no todas ellas ofrecen los mismos tipos de datos, la mayoría sí que ofrecen datos de temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, radiación solar y presión. Algunas de ellas cuentan incluso con dos sensores iguales, pero a diferentes alturas. Por ejemplo, ofrecen el valor de la temperatura a 2 metros y en el mismo suelo.

Las estaciones visitadas no fueron elegidas de forma aleatoria. Aunque dos zonas se encuentren cerca en distancia, la climatología de estas se ve muy influenciada por la distancia al mar y por su geografía. Especialmente, la comunidad gallega consta de una clasificación climática amplia que dicta la vida agrícola además de otras diversas cuestiones, entre las que se encuentran los factores meteorológicos [32]. Por lo tanto, la selección de las estaciones de la red de MeteoGalicia fueron escogidas buscando la diversidad de climas, además de por accesibilidad a la estructura y teniendo en consideración que estuvieran situadas a una altura comparable a la que se podía colocar la estación del presente proyecto.

Por disponibilidad, lo máximo que se estuvo en cada estación fueron 30 minutos y solo se pudo medir de nuevo temperatura, humedad e intensidad del viento. La web de MeteoGalicia ofrece resúmenes mensuales y diarios diez minutales acompañados de gráficas, además de datos en tiempo real actualizados cada 10 minutos. Y, por otro lado, la estación ofrece datos instantáneos, lo cual se difiere al dato que ofrece cada 10 minutos las estaciones de la red de estaciones de MeteoGalicia. Aun así, se solventó el problema cogiendo la media de los datos recogidos entre un minuto antes y un minuto después de la hora que ofrecía MeteoGalicia.

Para terminar de concretar, el montaje de la estación estaba más avanzado, la caja se encontraba cerrada, aunque la estanqueidad aún no se podía asegurar y la sujeción de los sensores exteriores tampoco.

Las estaciones visitadas son las que a continuación se enumeran:

1. Estación de Xabrega, Sober (Lugo) (ver Figura 4-8). Esta estación ofrece datos de temperatura y humedad a 1,5 metros, así como velocidad del viento a 2 metros. Situada en el Cañón del Sil y a una altitud de 37 metros sobre el nivel del mar, este punto fue considerado uno de los más idóneo para recopilar sus datos debido a la intensificación que sufre el viento debido a la geografía de la zona y por el clima de interior en el que se encuadra. Además, la accesibilidad a la estación era sencilla y la altura de los sensores muy similar a los de la estación.



**Figura 4-8 Estación de Sober. Fuente: propia**

2. Estación de Prado, Castrelo de Miño (Ourense) (ver Figura 4-9). Situada a una altura de 122 metros sobre el nivel del mar, pero con una orografía algo menos influyente a su alrededor, esta estación aporta datos de la temperatura y humedad a 1,5 metros y de viento a 2 metros. Fue elegida por su altura, superior que la anterior y por el clima algo más húmedo y cercano a la costa, esperando datos de humedad relativa algo más altos.



**Figura 4-9 Estación de Prado. Fuente: propia**

- Estación de Gargamala, Mondariz (Pontevedra) (ver Figura 4-10). Situada a 235 metros sobre el nivel del mar, su accesibilidad era algo más compleja y los datos tuvieron que ser tomados a unos 20 metros de ella aproximadamente. Daba datos de temperatura y humedad a 1,5 metros y de viento a 10 metros, como suele ser normal para un sensor de viento. Esta estación fue seleccionada para ver como difería la estación del proyecto respecto a unos datos recogidos en una altura algo significativa respecto al nivel del mar y con bastantes metros de diferencia entre un punto y otro. Además, era una zona más cercana a la costa, con un clima más húmedo y con rachas de viento más arbitrarias.

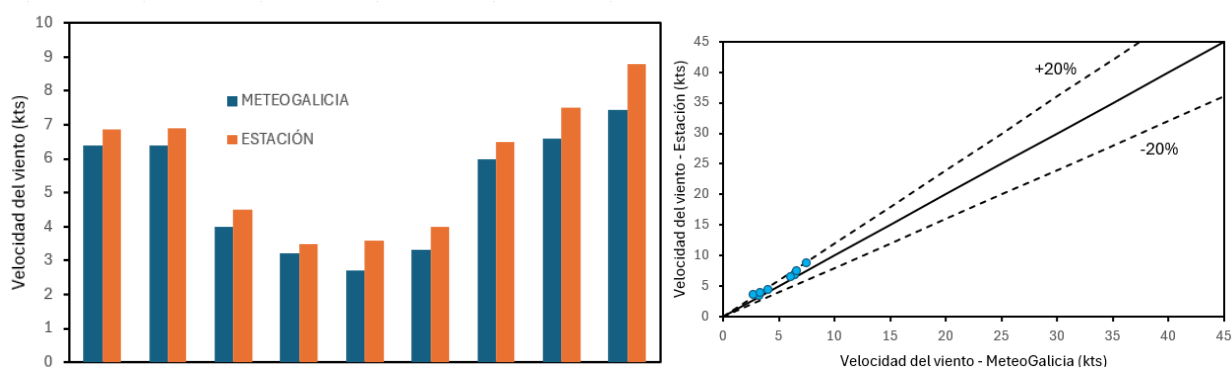


**Figura 4-10 Estación de Gargamala. Fuente: MeteoGalicia**

Como se ha mencionado antes, para la visita a todas estas estaciones, que se realizaron en el mismo día, la estación tampoco se encontraba montada al completo. Este aspecto se considera influyente para el análisis de los resultados obtenidos, que no fueron tan satisfactorios como la prueba preliminar.

### 4.3.2 Viento

Para comparar las medidas de intensidad del viento, lo primero fue descartar las rachas de viento que eran notoriamente valores más elevados que los que producía la intensidad del viento sostenido. Como para el resto de las magnitudes se pudieron comparar solamente 3 valores, que son representados en la Figura 4-11 en el mismo orden que se explicaron en el subapartado anterior.



**Figura 4-11 Gráficas comparativas de anemómetro con MeteoGalicia. Fuente: propia**

Un dato importante es que no se observa ningún cambio de tendencia de los valores en la estación de Gargamala, donde la toma de datos fue a dos alturas bastante dispares. Esto muestra que la estación responde bien también cuando el punto de aplicación no se encuentra en el punto exacto de estudio.

El resto de los datos son bastante similares y con una precisión más aceptable que la observada en la validación preliminar.

### 4.3.3 Temperatura y humedad

A diferencia de en la validación preliminar, el sensor de temperatura y humedad no fue tan preciso. Aunque se esperó algunos minutos para su estabilización antes de comenzar a recoger datos y se ve en la Figura 4-12 y la Figura 4-13 como la tendencia es de acercarse en valor en cada estación, se puede sacar la conclusión de que este sensor necesita más tiempo para comenzar a ser fiable.

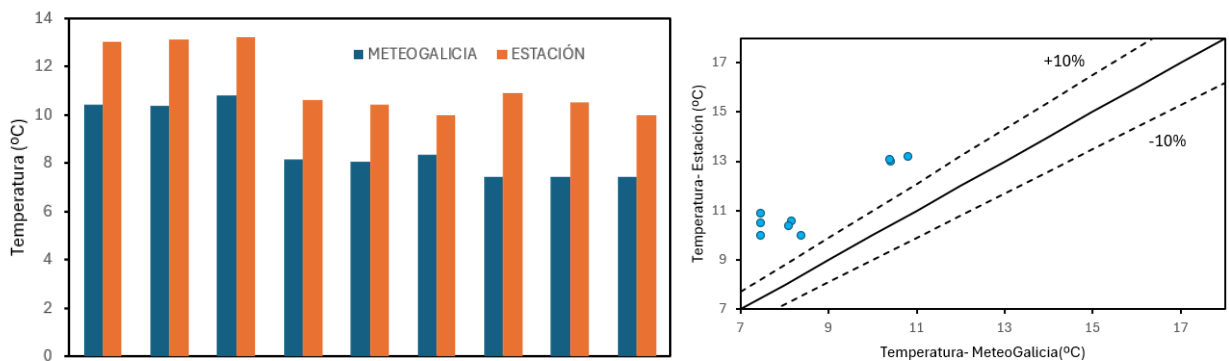


Figura 4-12 Gráficas comparativas del sensor de temperatura con Meteogalicia. Fuente: propia

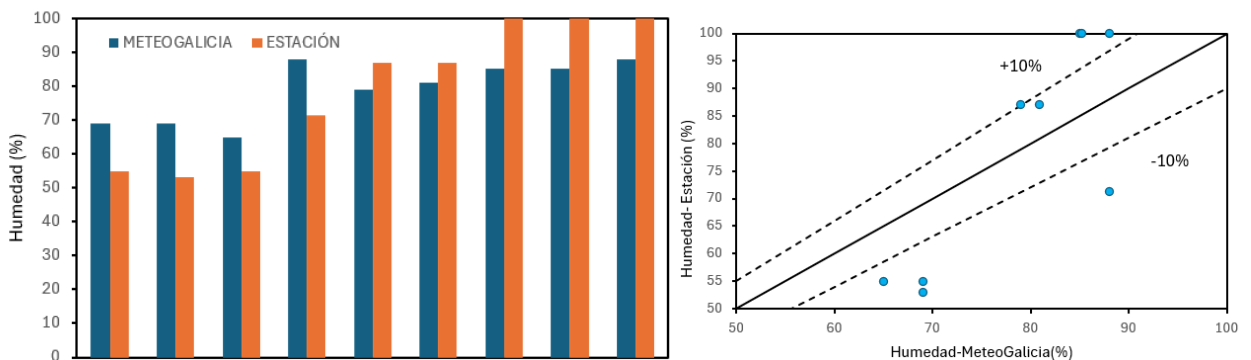


Figura 4-13 Gráficas comparativas del sensor de humedad con Meteogalicia. Fuente: propia

La estanqueidad en esta fase de la validación no estaba asegurada para el montaje, por lo que el sensor de temperatura y humedad se vieron influenciados, siendo los valores de temperatura más altos que los reales en todos los casos. Con la humedad pasa algo similar, dando valores más altos en la estación de Gargamala, donde comenzó a llover y la humedad se condensó en el interior de la caja, sin causar estragos en el circuito.

### 4.3.4 Lluvia

Debido a que el sensor que tiene la estación solamente es capaz de dictaminar si llueve o no y diferenciar entre lluvia moderada o intensa, los datos recogidos no pueden ser comparados con los de Meteogalicia. Sin embargo, si se pudo observar que es capaz de indicar cuando comienza a llover y diferenciar cuando son algunas gotas de cuando la lluvia comienza a ser más notoria.

También quedo claro que el sensor debe contar con unos grados de inclinación para que el agua pueda recorrerlo y no retenerse en él, impidiendo que pueda informar de cuando ha dejado de llover.

## 4.4 Validación en LLII

### 4.4.1 Introducción

Con la estación ya montada casi al completo, a falta de sellar las piezas de metacrilato para completar la estanqueidad de todos los componentes, se realizó una última validación que se llevó a cabo de nuevo en las lanchas de instrucción. Se realizaron las medidas en un día lluvioso y con la mar típica de un día así, con olas de aproximadamente un metro. Debido a estas inclemencias meteorológicas, respetar la exactitud en diferencia de tiempo entre medidas fue algo más complicado, además se buscó que el rango de valores, sobre todo para la intensidad de viento, fuera lo suficientemente amplio, por lo tanto, se tomaron medidas cuando el viento relativo era fuerte, moderado y flojo. El viento se registró en aproximadamente veinte mediciones mientras que la temperatura y humedad fueron registradas en la mitad de ellas.

### 4.4.2 Viento

Para medir el viento, la lancha es un lugar más idóneo que las estaciones de MeteoGalicia. Y aunque en la validación preliminar, por el proceso de montaje en el cual se encontraba la estación, no se pudo poner la estación cerca del anemómetro de la lancha, en este caso solo había poco más de un metro de diferencia entre los dos sensores de velocidad de viento, ya que se colocó en el puente alto.

De nuevo los valores dieron algo más elevados, pero el error fue menor, como se puede observar en la Figura 4-14. Por lo que el valor de factor de corrección obtenido en la primera fase de validación finalmente fue descartado por completo.

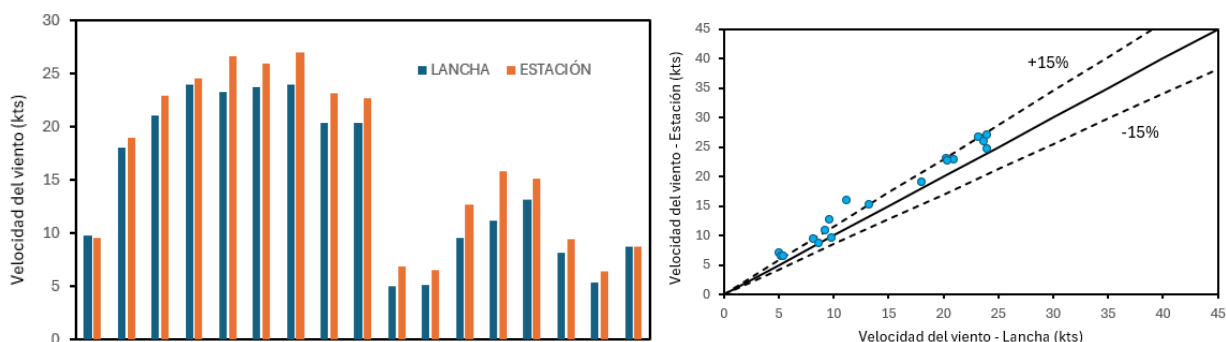


Figura 4-14 Gráficas comparativas del anemómetro en la validación final. Fuente: propia

### 4.4.3 Temperatura y humedad

Los primeros medidos de este sensor fue la temperatura, cuando aún no habían comenzado las precipitaciones. Como ocurrió en las mediciones de MeteoGalicia, la estación fue colocada pocos minutos antes de comenzar a medir, por lo tanto, se puede observar la tendencia a mejorar la precisión y acercarse a los valores que daba la lancha. Como ocurrió en el segundo día de pruebas, y se puede apreciar en las gráficas (ver Figura 4-15), los valores de temperatura vuelven a ser algo mayores que los de la lancha. Sin embargo, esto se puede achacar al mismo problema que en el apartado anterior, la localización del sensor de temperatura.

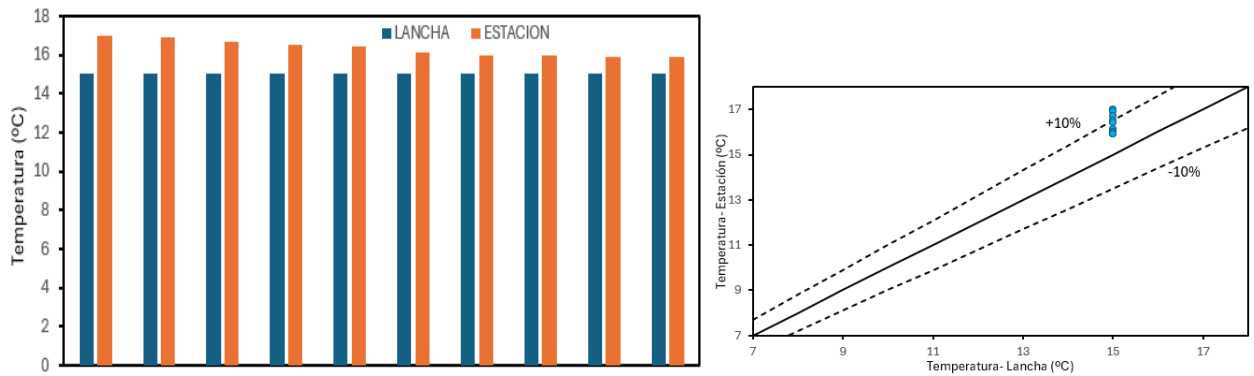


Figura 4-15 Gráficas comparativas del sensor de temperatura en la validación final. Fuente: propia

En la segunda mitad de mediciones se comenzaron a registrar datos de humedad (ver Figura 4-16). Cuando se comenzó a registrar esta magnitud, la lluvia comenzó a intensificarse, y aunque la estanqueidad de la estación permitió que siguiera dando datos, los valores de humedad comenzaron a ser algo inexactos, tendiendo a ser bastante altos debido a que la estanqueidad seguía sin ser completa.

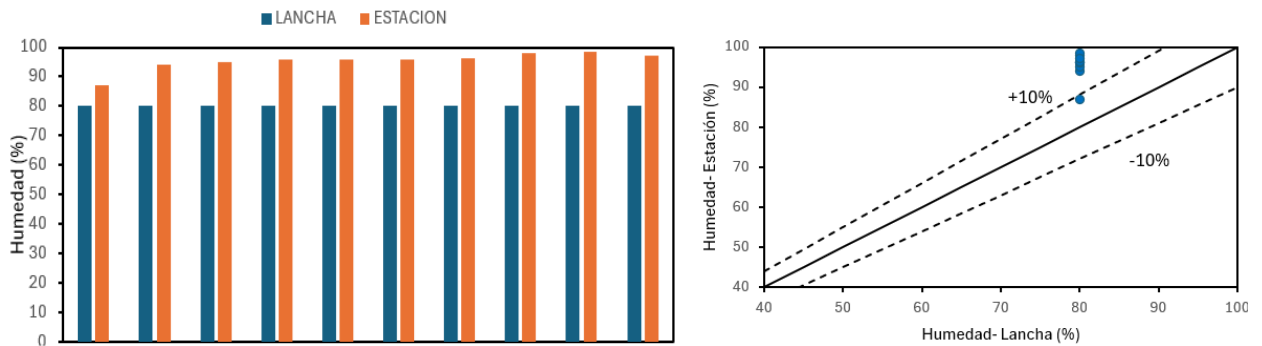


Figura 4-16 Gráficas comparativas del sensor de humedad en la validación final. Fuente: propia

Con esta última salida se ponía fin a la fase de validación, dando lugar a la corrección de ciertos errores poco significativos que habían sido percibidos y pasando a la finalización del montaje, tal y como se explica en el capítulo de Desarrollo del TFG.

El análisis global de la estación se ha considerado satisfactorio, con valores generalmente muy parejos y con errores cuyo origen estaba claro y pueden ser subsanados en aplicaciones futuras para cumplir los objetivos generales establecidos en el comienzo de la presente memoria.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

En este Trabajo Fin de Grado se ha propuesto una estación autónoma portátil para su implementación en buques de la Armada. Para ello, se ha desarrollado dicha estación alimentada con energía solar acoplada a baterías recargables capaz de dar valores meteorológicos fundamentales, como son la intensidad y dirección del viento o temperatura y humedad y almacenarlos acompañado de su hora exacta en una tarjeta micro SD, así como mostrar los datos por una pantalla. Este objetivo que se marcó al inicio del trabajo no hubiera sido alcanzado sin una buena aplicación de los contenidos de las materias y de los conocimientos que se han adquirido durante el grado.

Arduino es una herramienta muy útil que ha servido para dar forma y crear la estación. El continuo aprendizaje del IDE de Arduino y las mejoras progresivas durante la fase de programación de los componentes, han permitido que el uso de estos se enfoque de la manera que más se adecuase al propósito general de la estación. La familiarización con el lenguaje usado y con las características de Arduino, antes poco conocido ralentizó un poco el comienzo del trabajo.

La programación de los sensores y componentes auxiliares de la estación fue la tarea con mayor dedicación temporal debido a la diversidad de principios físicos en los que se basa cada una de las variables medidas. La complejidad se vio también acrecentada por el uso de diferentes librerías y versiones del IDE de Arduino, lo que incluso imposibilitó la implementación de los sensores encargados de dar valores de presión y cantidad de lluvia previamente seleccionados.

Pese a ser trabajoso, la integración de todos los componentes fue satisfactoria. Se tuvo que ser muy meticuloso a la hora de realizar el montaje e intentar respetar la buena y eficiente distribución del espacio, teniendo en consideración las características de los diferentes tipos de componentes con los que se trabajaba. De hecho, se han encontrado dificultades por falta de sujeción en las conexiones y su complejidad para volver a conectarlas cuando el montaje de la estación ya era más avanzado. La integración de los diferentes códigos fue rápida, se consiguió el objetivo de representación de datos de una forma clara e intuitiva y de que ningún sensor alterara su correcto funcionamiento al ejecutar el código completo de la estación.

En cuanto al diseño estructural de la plataforma, no se aleja mucho de lo inicialmente pensado. Cabe destacar que, aunque al practicar diversos orificios en la estructura de la estación la condición de estanqueidad se vio ligeramente comprometida, se pudo comprobar que no afecta en gran medida al funcionamiento global de la estación meteorológica.

Centrándose en el análisis de los resultados, los datos obtenidos han cumplido las especificaciones establecidas previamente para la estación. Es importante destacar que la estación demostró seguir

funcionando y aportando datos incluso en unas condiciones meteorológicas bastante adversas. Comparando los datos recogidos con los de las estaciones de MeteoGalicia y los sensores de las LLII, se puede considerar validado el funcionamiento de la estación meteorológica para su despliegue autónomo en destacamentos de la Armada.

Valorando un poco todas las dificultades encontradas, la mayor dificultad se ha encontrado a la hora de conseguir que el sensor de presión y el pluviómetro funcionarán. Pese a los reiterados intentos, finalmente se tuvo que descartar la opción de integrarlos. Otra dificultad encontrada pero esta vez sí resuelta fue conseguir mantener la estanqueidad con la implementación de los sensores que sí debían estar en la intemperie.

Por último, personalmente pienso que este trabajo ha sido un reto personal para mí. Me ha servido para darme cuenta de lo presente que está la programación y sus aplicaciones en nuestros días. Finalmente, me gustaría señalar que se han conseguido la mayoría de los objetivos marcados y que las dificultades han sido trabajadas y revertidas para conseguir una estación que realmente pueda ser usada y sirva de apoyo para la Armada, y así darle su importante y merecido lugar a la meteorología.

## **5.2 Líneas futuras**

Tener una estación meteorológica portátil capaz de recoger datos en un punto concreto puede ser muy útil, sobre todo cuando se tiene en cuenta el avance que existe hoy en día en cuanto a recogida de datos e implementación de la inteligencia artificial. Basándonos en la recopilación de datos durante un buen período de tiempo, se podría estudiar la posibilidad de realizar predicciones a corto plazo sin la necesidad de disponer de series meteorológicas a largo plazo. Además, desde el punto de vista operativo, diseñar la forma de fijar la estación a la plataforma donde se implemente debe ser un casi obligado siguiente paso.

Por último, ser capaces de crear un sistema de representación gráfica de los datos en tiempo real para mostrarlos al usuario podría ser un gran avance para que este proyecto se convierta en un invento totalmente innovador y de alto valor añadido, que lo diferencie realmente de otras estaciones ya existentes en el mercado.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Moore, *The Wtether Experiment : The pioneers who sought to see the future*.
- [2] @NatGeoES, «Extraen décadas de informes meteorológicos de antiguos cuadernos de bitácora», National Geographic. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2019/10/extrane-decadas-informes-meteorologicos-antiguos-cuadernos-bitacora>
- [3] «Revista Nacional de Defensa n° 397, 2022».
- [4] @NatGeoES, «La Meteorología», National Geographic. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/la-meteorologia>
- [5] «Meteorología: qué es, ramas, historia e importancia», <https://humanidades.com/>. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://humanidades.com/meteorologia/>
- [6] «Ramas de la meteorología | Indeed.com». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.indeed.com/orientacion-profesional/desarrollo-profesional/ramas-meteorologia>
- [7] @NatGeoES, «¿Qué diferencia a la climatología de la meteorología?», National Geographic. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/que-diferencia-a-la-climatologia-de-la-meteorologia>
- [8] M. Palomares Calderón de la Barca, «Brebe historia de la meteorología». AEMET.
- [9] Aristóteles, *Los meteorológicos*.
- [10] D. J. G.-L. Martínez y D. C. G.-L. Martínez, «EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA METEOROLOGÍA Y SU APORTACIÓN A LA INVESTIGACIÓN AEROESPACIAL», 2022.
- [11] aemetblog, «El cuerpo de Observadores de Meteorología: más de 100 años de una excelente labor callada e imprescindible en la encrucijada de los nuevos tiempos.», Aemetblog. Accedido: 26 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aemetblog.es/2022/04/24/el-cuerpo-de-observadores-de-meteorologia-mas-de-100-anos-de-una-excelente-labor-callada-e-imprescindible-en-la-encrucijada-de-los-nuevos-tiempos/>
- [12] «Historia de la OMI y la OMM», Organización Meteorológica Mundial. Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://wmo.int/es/acerca-de-la-omm/historia-de-la-omi-y-la-omm>
- [13] Boletín OMM, «El sistema Mundial de la Organización Meteorológica Mundial: una historia de éxito.» 2010.
- [14] «Cuando Aníbal puso en jaque al poderoso Imperio romano». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/cuando-anibal-puso-en-jaque-al-poderoso-imperio-romano\\_19319](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/cuando-anibal-puso-en-jaque-al-poderoso-imperio-romano_19319)

- [15] E. Press, «Una ola de clima templado facilitó el imperio de Genghis Khan». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-ola-clima-templado-facilito-imperio-genghis-khan-20140311102630.html>
- [16] curis2ria, «La meteorología y el desembarco de Normandía», Curistoria. Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.curistoria.com/2011/07/la-meteorologia-y-el-desembarco-de.html>
- [17] M. Gómez, «¿Influyó el tiempo en el Desembarco de Normandía?», Eltiempo.es. Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.es/noticias/el-tiempo-en-el-desembarco-de-normandia>
- [18] F. Llorente Martínez, «La batalla de la ciudad Universitaria». Agencia Estatal de Meteorología, 2022.
- [19] El Mundo, *La Guerra Civil Española Mes a Mes*. Biblioteca El Mundo, 2005.
- [20] «Home page wetterzentrale.de». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.wetterzentrale.de/>
- [21] «PDC-3.11.1 Apoyo METEO a las FAS.»
- [22] A. E. de Meteorología, «AEMET y el M. de Defensa renuevan el convenio de apoyo meteorológico a las Fuerzas Armadas - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». Accedido: 26 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.aemet.es/es/noticias/2015/07/Firma\\_Convenio\\_AEMET\\_Defensa](https://www.aemet.es/es/noticias/2015/07/Firma_Convenio_AEMET_Defensa)
- [23] M. Á. García Couto, «La biblioteca del instituto nacional de Meteorología». Instituto Nacional de Meteorología, 2008.
- [24] J. Castillo Culsán, «La Gran Armada de Felipe II y la Contra Armada de 1589. Un estudio geográfico e historiogeográfico.», Universidad de la Laguna, 2016.
- [25] Armada, «Sección de Hora - Real Observatorio de la Armada - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 26 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/cienciaobservatorio/pr efLang-es/06Hora>
- [26] Á. alcázar Izquierdo, «Meteorología y Defensa». Agencia Estatal de Meteorología, 2018.
- [27] «SADO Dash Board». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.utm.csic.es/sdb/#/pages/sadoDashboard>
- [28] «A000067-datasheet.pdf». Accedido: 16 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>
- [29] «Mega 2560 Rev3 | Documentación de Arduino». Accedido: 16 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/#suggested-libraries>
- [30] J. M. Sancho Ávila, «Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima EUMESAT.» Agencia Estatal de Meteorología, 2005.
- [31] J. Alvarado Ladrón de Guevara, «Cálculo y Diseño de una Instalación Fotovoltaica Aislada.», Politécnica de Madrid, 2017.
- [32] M. A. Rodríguez Guitian, «Clasificaciones climatológicas aplicadas a Galicia.», Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural, 2007.

## **ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES**

Comenzando con el ámbito social, el instrumento que se ha diseñado y elaborado buscaba su utilidad en las FAS, sin embargo, tras consultar páginas en la que obtener información sobre la meteorología y su influencia, es inevitable pensar lo importante e influyente que son las condiciones meteorológicas para el día a día de cualquier persona. Nadie comienza una semana sin pensar con que tiempo se va a encontrar, pero la verdad es que existen ciertas profesiones y gremios en los que no solo resulta influyente, sino también determinante.

El sector primario en general, y la agricultura y la pesca en particular dependen íntegramente de los factores climatológicos. De hecho, en agricultura existe el término de “manejo de invernadero”, el cuál abarca muchos factores y decisiones que dependen de la temperatura, humedad o viento predominante en el día. Por otro lado, la pesca también es totalmente dependiente de la meteorología, aunque más a la rama de la predicción, poder disfrutar de una estación a bordo de los buques de pesca que se hacen diariamente a la mar sería un avance para este tipo de buques cuyo equipamiento generalmente no es el más adecuado.

La implementación de la estación en los campos de cultivo o en los tradicionales buques de pesca puede suponer un aumento de la eficiencia de este sector e incluso una mejoría en sus condiciones de trabajo, sobre todo para la gente de mar.

Cambiando a términos ambientales, toda la implicación de esta placa reside en uso de energía renovable como es la energía solar. Además del poco consumo del proyecto, el uso de la radiación emitida por el sol para proporcionar energía hace que no se contribuya en ningún caso al consumo de ningún tipo de energía. El único tipo de gasto energético que se ha producido ha sido escasos días en los que se ha necesitado taladrar la caja y para cortar el metacrilato, que se cortó con una cortadora láser CNC.

Además, la buena planificación en la elaboración ha supuesto que no hayan existido despilfarros de materiales ni errores a la hora de tratar con ellos. El tratamiento de los materiales usados tampoco ha supuesto una generación de residuos preocupante.

Por último, en consideraciones económicas, en la elaboración del presente TFG se ha recurrido bastante por diversos motivos a rehusar materiales, lo cual supone una disminución en el coste total del proyecto. Esto sumado a que los componentes usados en Arduino son generalmente baratos hacen que el impacto económico haya sido inferior a lo esperado. Pese a ello, en la elección de componentes, el precio de mercado no ha sido un factor estrictamente influyente. Como ya se ha comentado en el párrafo anterior, el consumo eléctrico ha sido bajo por lo que tampoco se ha gastado mucho en él.

Para finalizar este apartado, se debe mencionar que este proyecto cumple con la responsabilidad e implicación de hacer que estos tres factores tan importantes hoy en día tengan unos resultados positivos.

## **ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES**

En una sociedad en la que todo es cuestionable y todo parece tener un mal trasfondo, el uso de las nuevas tecnologías y sus usos en la vida cotidiana, aunque son respaldadas por un gran número de expertos y curiosos, también llevan consigo una crítica constante.

Aunque parezca complicado, hoy en día también existen personas que reniegan de las nuevas tecnologías, posiblemente liderados por el pensamiento de incredulidad de muchos escépticos de los avances tecnológicos. Pese a ser una decisión totalmente respetable, también resulta evidente que se pierden un gran número de aplicaciones y que tarde o temprano se van a quedar obsoletos en algún aspecto de su vida, laboral y personal.

Arduino es buen ejemplo de ello. Al comenzar a trabajar con el concepto que presenta, parece imposible creer la cantidad de cosas y aplicaciones que puede llegar a tener una pequeña placa. El hecho de ser curioso y atreverse a realizar cosas antes no dominadas, como puede ser la programación hace que situaciones como esta se puedan dar. Conseguir realizar una estación meteorológica, poder obtener datos fiables sobre datos que siempre interesan saber con tan solo una mirada a una pantalla, se convierte en algo más accesible gracias a ello.

Este ejemplo llevado a gran escala es lo que ha conseguido que se viva en el mundo actual. Si se hubiera visto todo por encima de las posibilidades y se hubiera vivido con cierto pavor, los avances habrían ido más despacio, lo que supondría una peor calidad de vida. Y esto es aplicable a todas las labores de nuestra vida.

Las nuevas tecnologías solo hacen que las cosas imposibles sean solo un poco más difíciles que el resto y su correcta aplicación nos destina un poco más a una vida más cómoda y eficiente en todos sus aspectos.

## ANEXO III: PRESUPUESTO DETALLADO

Se ha realizado una estimación de costes según su naturaleza para analizar la viabilidad del proyecto en términos económicos. De esta forma se detallan cual sería el presupuesto final que supondría obtener una estación como la que se elaborado en el presente proyecto. Se debe aclarar que no se van a tener en cuenta por considerarse despreciables los gastos de luz.

### Capítulo 1. Coste de componentes ( $PP_1$ ).

Pese a que algunos de los sensores y materiales utilizados en la elaboración del TFG han sido reciclados y rehusados, el presupuesto que a continuación se detalla recoge la cantidad total que supondría elaborar una estación idéntica (ver Tabla A3-1).

Componente	Nº Unidades	€/ud	Precio (€)
Kit Arduino Mega	1	49,99	49,99
Sensor de temperatura (DTH22)	1	18,18	18,18
Sensor de presión (BMP280)	1	8,71	8,71
Sensor de lluvia (AISHAD)	2	2,99	6
Anemómetro/Veleta (SparkFun)	1	1	109,95
Sensor de intensidad de luz (DollaTek)	1	3	2,33
Sensor de luz UVGUVA-S12SD	1	1	11,71
Lector Micro SD	5	1,66	8,03
Pantalla OLED	1	1	6,99
Reloj	1	1	5,99
Módulo Solar	1	1	8,49
Placa Solar	1	1	15,49
Baterías	5	9,36	46,8
Soporte baterías	1	1	15,46
Micro SD	1	1	9,95
Total			320

**Tabla A3-1 Presupuesto de componentes.**

**Capítulo 2. Coste de montaje ( $PP_2$ ).**

Componente	Nº Unidades	€/ud	Precio (€)
Caja IP65	1	1	26,06
Placa Metacrilato	1	1	15
Tornillo M8x16	20	0,102	2,04
Arandela M8	20	0,0670	1,34
Tuerca M8	20	0,0680	1,36
Total			42,8

**Tabla A3-2 Presupuesto de montaje.**

**Capítulo 3. Presupuesto de ejecución material (PEM).**

La suma de los dos presupuestos parciales (PP) supondrá el presupuesto de ejecución material.

$$PEM = PP_1 + PP_2$$

$$PEM = 320 \text{ €} + 42,8 \text{ €} = 362,8 \text{ €}$$

**Capítulo 3. Presupuesto de licitación (PL).**

Para todo proyecto existe un concepto de Gastos Generales (GG) y Beneficio Industrial (BI) que suponen un suplemento de 13% y 6% respectivamente, aunque en este caso solo se va a tener en cuenta el primer tipo. La suma con el coste de ejecución material supondrá el presupuesto de licitación.

$$PL = PEM + GG$$

$$PL = 409,97 \text{ €}$$

**Capítulo 4. Presupuesto Total (PT).**

El presupuesto final del proyecto se obtiene sumando al presupuesto de licitación el impuesto de valor añadido (IVA), el 21%.

$$PT = PL + IVA$$

$$PT = 496,06 \text{ €}$$

Finalmente, el presupuesto total es: **CUATROCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS CON SEIS CÉNTIMOS.**