



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior (Jaén)

DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES

Alumno/a: Romero Fiances, Irene

Tutor/a: Catalina Rus Casas

Francisco José Muñoz Rodríguez

Dpto.: Ingeniería Electrónica y Automática



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Doña Catalina Rus Casas y Don Francisco José Muñoz Rodríguez, tutores del Trabajo Fin de Carrera titulado: ***DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES***, que presenta Irene Romero Fiances, autorizan su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, septiembre de 2017

El alumno:

Los tutores:

Irene Romero Fiances

Catalina Rus Casas

Francisco José Muñoz Rodríguez

Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	7
3. METODOLOGÍA.....	9
4. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA INSTRUMENTACIÓN ASOCIADA A LA ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS	10
4.1. Aplicaciones de una estación meteorológica	11
4.2. Parámetros meteorológicos monitorizados por la estación diseñada.....	17
4.3. Soluciones comerciales para la medida de parámetros meteorológicos.....	31
4.3.1. Estaciones meteorológicas de gama baja	31
4.3.2. Estaciones meteorológicas de gama media	34
4.3.3. Estaciones meteorológicas de gama alta	37
5. SOLUCIÓN ADOPTADA. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	42
5.1. Introducción.....	42
5.2. Solución hardware para el desarrollo de la estación meteorológica.....	43
5.2.1. Sistema de adquisición de datos	44
5.2.2. Sensores empleados en el desarrollo de la estación meteorológica.....	52
5.2.3. Comunicación con la interfaz	64
5.2.4. Conexiones realizadas entre los sensores y el sistema de adquisición de datos.....	70
5.2.5. Encapsulado de los sensores para su uso en la estación meteorológica	74
5.3. Solución software para el desarrollo de la estación meteorológica	80
5.3.1. Diseño del entorno de programación de la estación meteorológica.....	80
5.3.2. Calibración	89
6. ALMACENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN DE LOS DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	95
6.1. Plataforma de telemonitorización	95
6.2. Monitorización en dispositivos inteligentes	101
7. RESULTADOS EN DIFERENTES CASOS DE ESTUDIO	105
7.1. Día soleado	105
7.2. Día parcialmente nublado.....	107
7.3. Día nublado y con altas temperaturas	109
8. CONCLUSIONES. LÍNEAS FUTURAS	112
Anexo 1: Programación	116
Anexo 2: Calibración de los sensores.....	119
Bibliografía	141

1. INTRODUCCIÓN

La meteorología tiene multitud de aplicaciones, lo que hace que sea un tema de estudio relevante y de interés social. Esto lo demuestra el hecho de que todos los países del mundo tienen un espacio dedicado al tiempo en los informativos diarios; otro ejemplo sería la costumbre de los viajeros de consultar el servicio meteorológico para informarse sobre el clima (temperaturas, precipitaciones...) y sobre los riesgos de peligros naturales (huracanes, avalanchas, etc.) cuando planifican desplazamientos o tiempo de ocio.

Existen diferentes ámbitos en los que una estación meteorológica puede tener aplicaciones:

- Agricultura [3-7].
- Salud [8,9].
- Contaminación [10,11].
- Energías renovables [12-14].
- Cambio climático [15].
- Catástrofes naturales [16].
- Transporte aéreo [17].
- Logística [17].
- Eficiencia energética [18].

En epígrafes posteriores se hará referencia a diversos estudios científicos que avalan la aplicación de las estaciones meteorológicas en dichos campos.

Por otro lado, hay muchas plataformas orientadas hacia el campo del ahorro energético; estas plataformas almacenan datos en la nube, los cuales pueden ser consultados desde cualquier lugar y en cualquier momento. Asimismo existen aplicaciones en las que se pueden consultar valores instantáneos desde dispositivos inteligentes. Estos dos ámbitos hacen que la información obtenida (de la nube y en dispositivos inteligentes) promueva investigaciones que están haciendo las ciudades más habitables. Ciudades en las que la información disponible hará que las administraciones y los ciudadanos tomen decisiones acerca de su día a día. A este concepto se le conoce como “SmartCity” o “ciudades inteligentes”. La “ciudad

inteligente” a veces también llamada “ciudad eficiente”, se refiere a un tipo de desarrollo urbano basado en la sostenibilidad que es capaz de responder adecuadamente a las necesidades básicas de instituciones, empresas, y de los propios habitantes, tanto en el plano económico, como en los aspectos operativos, sociales y ambientales [1]. Existen diferentes estudios que avalan las aplicaciones que tiene este concepto y se estudiarán detenidamente en este trabajo fin de máster [19-20].

En posteriores epígrafes también se estudiarán ejemplos de aplicaciones que resultan de combinar la eficiencia energética aplicada a la meteorología y aplicada al concepto de *SmartCity* [21-23].

En este sentido, pensando en poder integrar la evolución de los parámetros meteorológicos en aplicaciones relacionadas con las *SmartCity* y que se puedan consultar en dispositivos móviles, se ha decidido plantear el presente Trabajo Fin de Máster: **“Diseño y desarrollo de una estación meteorológica para la monitorización de parámetros ambientales”**.

Para desarrollar esta estación se ha tenido que investigar qué tipo de estaciones meteorológicas hay en el mercado y cuáles son las ventajas e inconvenientes asociadas a cada una de ellas.

A continuación se ha estudiado qué tipo de sistema de adquisición de datos podría ser el más conveniente para este proyecto. Una vez elegido el sistema y, mediante el montaje adecuado, se podrán conocer los valores de las variables más importantes que intervienen en la meteorología.

Todo el sistema será calibrado con un patrón, para desarrollar un prototipo, que proporcione una medida fiable y con el menor error posible.

Además de lo mencionado se ha querido diseñar un prototipo que esté preparado para aplicaciones *SmartCity*. Para ello, el dispositivo puede almacenar los datos en la nube y está dotado de la posibilidad de consultarlos desde cualquier lugar con dispositivos inteligentes.

Una vez introducido el presente trabajo, se van a detallar los objetivos propuestos para, después, continuar con la metodología y el estado del arte de la instrumentación asociada a la medida de los parámetros meteorológicos. Posteriormente se continuará explicando cuál ha sido la solución adoptada, cómo se realiza el almacenamiento y la monitorización de los datos obtenidos mediante dicha estación. A continuación se expondrán los resultados obtenidos en este trabajo fin de máster junto con las características del prototipo finalmente desarrollado, así como las líneas futuras y conclusiones de este trabajo.

2. OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Máster se ha realizado planteando los siguientes objetivos, que de manera esquemática se muestran en la figura 2.1:

- Estudiar el estado del arte de la instrumentación asociada a la adquisición de parámetros meteorológicos.
- Estudiar las distintas propuestas de arquitectura de sistemas de adquisición de datos que integren los datos procedentes de los sensores que monitorizan los parámetros meteorológicos.
- Elegir los sensores usados en la monitorización de los parámetros meteorológicos.
- Implementar un sistema capaz de adquirir la información procedente de los sensores de forma correcta.
- Fabricar un prototipo de la estación meteorológica.
- Caracterizar y calibrar el sistema diseñado.
- Desarrollar una propuesta para la monitorización de las variables a visualizar. Así se podrá conocer el valor de los parámetros y se podrá mostrar en diferentes gráficas, la evolución de las variables. Además de que la solución propuesta pueda ser consultable desde Internet y a través de dispositivos inteligentes.
- Almacenar los datos para que pueda ser usados en estudios posteriores.



Figura 2.1. Objetivos de la estación meteorológica

A continuación se va a explicar la metodología seguida en el diseño y desarrollo de esta estación meteorológica de parámetros ambientales.

3. METODOLOGÍA

Para conseguir todos los objetivos detallados anteriormente, se han llevado a cabo las siguientes tareas.

- En primer lugar, se realiza una una revisión de los distintos tipos de estaciones hay en el mercado y de qué sensores suelen utilizar.
- Se estudian las distintas posibilidades de sistemas de adquisición de datos que permitan obtener los datos procedentes de los sensores elegidos.
- Se eligen los sensores más adecuados para este proyecto teniendo en cuenta los objetivos detallados previamente.
- Se configura el sistema para que sea capaz de adquirir la información procedente de los sensores.
- Se realiza un prototipo teniendo en cuenta las premisas detalladas.
- Se calibra el prototipo desarrollado de tal manera que de una medida fiable y con un error mínimo.
- Se monitorizan los datos en una plataforma, que permita consultarlos, a través de Internet y en dispositivos inteligentes.
- Se almacenan los datos en una plataforma configurada para tal fin.
- Se mostrarán los resultados obtenidos para distintos días de funcionamiento de la estación meteorológica, con lo que se permitirá caracterizar el funcionamiento de la misma.

A continuación se va a realizar el estado del arte de la instrumentación asociada a la adquisición de parámetros meteorológicos. Para ello, se comentarán algunas aplicaciones que puede tener, se definiran las variables meteorológicas usadas y se mostrarán algunas soluciones comerciales.

4. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA INSTRUMENTACIÓN ASOCIADA A LA ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

C.Donald Ahrens define la meteorología como “ciencia interdisciplinar que estudia: el tiempo, el ambiente atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen; y que utiliza la estación meteorológica como instrumento para medir los parámetros meteorológicos”. Por otra parte, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) define un parámetro meteorológico como una variable o fenómeno atmosférico que caracteriza el clima en un lugar específico y en cualquier momento determinado (temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, niebla, ciclones y anticiclones, etc.).

Como se verá más adelante, el tiempo afecta directamente al estado del ser humano. Los parámetros meteorológicos son el conjunto de variables que definen la climatología de un lugar. El clima va a permitir conocer a largo plazo las variables que influyen en el tiempo meteorológico y a su vez, a corto plazo, permite conocer el comportamiento atmosférico (de uno a varios días). Los valores que toman estos parámetros van a influir en muchos aspectos de la vida cotidiana, por eso es importante su estudio. El estudio de la evolución de los parámetros meteorológicos permite tener información representativa que puede ayudar en el desarrollo de diversas actividades como son: desarrollo urbano, agricultura, transporte, salud, prevención de desastres, clima, calentamiento global y cambio climático, la eficiencia energética y las *SmartCity* [2].

A continuación se van a exponer algunas aplicaciones que puede tener una estación meteorológica. Posteriormente, se abordará con más detalle este tema, definiendo los parámetros más importantes y dando una visión de soluciones comerciales de estaciones meteorológicas. Finalmente, se planteará una tabla en la que se compararán las diferentes soluciones estudiadas y se dará paso a justificar la solución planteada.

4.1. Aplicaciones de una estación meteorológica

El conocimiento de los parámetros meteorológicos tiene múltiples aplicaciones, por lo que a continuación se van a exponer diferentes ejemplos concretos. Dichos ejemplos abordan los siguientes campos: agricultura, salud, contaminación, energía renovables, cambio climático, catástrofes naturales, transporte aéreos y logística. A continuación se expondrán ejemplos en el campo de la eficiencia energética aplicados a la meteorología y otros aplicados a las ciudades inteligentes.

- **En el ámbito de la agricultura**

La predicción meteorológica ayuda en el campo de la agricultura, ya que esta depende fundamentalmente del tiempo. Las informaciones meteorológicas y climatológicas precisas contribuyen a que los agricultores obtengan cosechas y ganado sanos e incrementen su producción. Los pescadores, silvicultores y horticultores utilizan informaciones similares. Además de esto, se ha podido observar que el cambio climático tiene importantes consecuencias en la agricultura [3]. Por otro lado, a partir de los datos en tiempo real, obtenidos a partir de una estación meteorológica, se pueden realizar: pronóstico de plagas y enfermedades, planificación de tareas, gestión del riego más eficaz, aviso de heladas, golpe de calor, lluvia, etc. [4]

El siguiente ejemplo también hace referencia a la agricultura, en concreto se centra en el sistema de riego de pivote central. Este tipo de sistemas consiste en llevar el agua de riego hasta los cultivos mediante una tubería metálica, generalmente de acero galvanizado o aluminio. La tubería está montada sobre torres de metal que se mueven sobre conjuntos de ruedas, de modo que el pivote gira en círculos manteniendo uno de sus extremos fijos en el centro del campo. Sobre la tubería hay aspersores colgando, distribuidos de acuerdo a los requerimientos, cuyas cabezas de riego pueden ser ubicadas a distancias variables del suelo [5]. El objetivo de dicho estudio fue medir y modelar el efecto que tienen las variables meteorológicas sobre el patrón de distribución del agua, y de cómo afecta al crecimiento de maíz. Las variables meteorológicas estudiadas fueron la velocidad y dirección del viento, y se midieron con una frecuencia de un segundo con una estación meteorológica instalada en la granja. Se concluyó con que la velocidad y dirección del viento tiene una

influencia importante en la distribución del agua, así como la frecuencia con la que se riegue [6].

En el siguiente estudio se quiso investigar sobre si el impacto simultáneo de la variabilidad natural del clima y el cambio climático sobre la actividad agrícola, induce un riesgo en la seguridad alimentaria. El objetivo principal en este trabajo de investigación fue identificar tendencias tanto de incremento o decremento en temperatura y precipitación, así como variabilidad en los índices de cambio climático, con énfasis en la agricultura para dos regiones situadas en México, en 2014. Para ello se tomaron los datos de temperatura (máximas y mínimas), humedad y precipitaciones de una estación meteorológica cercana al municipio. En este estudio se llegó a la conclusión de que todas las variables son vitales para el desarrollo de un cultivo. Sin embargo, se confirmó que las heladas son consideradas decisivas, sin importar la etapa de crecimiento de un cultivo [7].

- **En el ámbito de la salud**

El siguiente estudio se hizo en Buenos Aires y se centra en la posible relación entre las variables meteorológicas y su incidencia en enfermedades respiratorias de niños menores de 14 años. Con ayuda de la estación meteorológica Ezeiza, se registraron los valores de temperatura (máxima, mínima y de rocío), presión y humedad relativa. El análisis mostró una fuerte relación entre las diferentes estaciones y las enfermedades respiratorias, con una relación máxima en los meses de bajas temperaturas y mínima en la estival. Las variables que mejor se correlacionan con los datos diarios y mensuales de todas las edades de los pacientes son las temperaturas (media, máxima, mínima y de rocío). Este estudio demuestra como la temperatura, en mayor medida, y la humedad y presión, en menor medida, influyen en la adquisición de enfermedades respiratorias por parte de los sujetos que han participado en dicho estudio [8].

El siguiente estudio pretende analizar la posible relación entre el calor y la mortalidad en diversas ciudades españolas, constatándose que las series temporales de mortalidad diaria presentan un comportamiento cíclico estacional, al igual que las series de temperaturas. Para realizar este estudio se recogieron datos de temperaturas, máximas y mínimas, de 114 estaciones climatológicas aragonesas. La

mortalidad diaria presenta un pico invernal o estival coincidiendo con los picos de temperaturas. Es decir, aumenta la mortalidad diaria a medida que se incrementa o decrecienta la temperatura ambiental a partir de una temperatura de confort o de mínima mortalidad. Esta relación varía según las características de la zona geográfica estudiada, destacando la climatología, la latitud, el crecimiento económico y la edad de la población. El exceso de mortalidad también se ha asociado a periodos de tres o más días consecutivos de temperaturas inhabituales, ya sea verano o invierno, y su efecto se puede observar en el mismo día o con un retraso de tres o más días después del incremento de temperaturas. Según el Informe de Impactos del Cambio Climático en España, la temperatura es vulnerable a los impactos del cambio climático pudiendo generar una serie de impactos directos o indirectos sobre la salud [9].

- **En el ámbito de la contaminación**

En el siguiente ejemplo se habla sobre la importancia que tiene la explotación y el transporte de petróleo para el desarrollo económico de la sociedad industrial moderna. Sin embargo, estas actividades exponen a las costas, en este caso patagónicas, a la posibilidad de sufrir un accidente y contaminarlas. En caso de ocurrir algún derrame de petróleo en el mar, el viento actúa como agente de dispersión y advección (contaminación debida al movimiento de las aguas), por lo que conocer las características de la deriva del derrame, bajo las condiciones específicas de viento, permite adoptar medidas para reducir su impacto. El objetivo de este estudio fue estudiar el comportamiento general del viento en localidades costeras de la región Patagónica. Para ello, se tomaron datos de intensidad y dirección del viento de 6 estaciones meteorológicas ubicadas alrededor de la zona a estudiar. Se concluyó que las regiones estudiadas estaban sujetas a la posibilidad de ocurrencia de eventos sinópticos en los cuales el viento podía soplar persistentemente hacia tierra, con intensidades de moderadas a fuerte, durante períodos que podían superar los 5 días de duración. Dichos eventos son los más indeseables desde el punto de vista de la contaminación costera y deberían ser considerados para el diseño de planes de contingencia. Por lo tanto, ante la eventualidad de que ocurriese un derrame de hidrocarburos en el mar, se podría contar con las informaciones proporcionadas por estaciones meteorológicas como una herramienta para la toma de decisiones [10].

Una estación podría evitar o prevenir la contaminación y el transporte de los contaminantes a través del aire [11].

- **En el ámbito de las energías renovables**

Otra de las aplicaciones fundamentales de las estaciones meteorológicas es el aprovechamiento de energías renovables como, por ejemplo, la solar. La energía solar produce electricidad limpia. Se pueden almacenar los datos recogidos por estaciones meteorológicas en bases de datos y utilizar aplicaciones que existen para calcular de forma sencilla la cantidad de energía que puede producir un panel y, con esto, aprovechar de manera óptima la radiación solar. Es decir, se podría saber a qué hora interesa utilizar, por ejemplo, los electrodomésticos [12] [13].

Los métodos para aprovechar la energía renovable dependen estrechamente del conocimiento del clima. Por ejemplo, el diseño y la gestión adecuados de la generación de energía hidráulica requieren parámetros como los valores diarios y mensuales de las precipitaciones, los niveles y el caudal del río, los promedios diarios y los valores extremos de las temperaturas. En cuanto al aprovechamiento de la luz solar se requieren datos sobre radiación solar, nubosidad, temperaturas, precipitaciones y humedad, así como sobre la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. [14]

- **En el ámbito del cambio climático**

Monitorizar la evolución de la meteorología, de un determinado lugar, también permite abordar estudios ligados al cambio climático; esto influye en una amplia gama de actividades humanas y reviste importancia para el bienestar social y económico de un país. De un año a otro, el clima varía naturalmente, lo cual puede ser causa de fenómenos meteorológicos extremos como tormentas violentas, inundaciones y sequías. Esto hace que la predicción del tiempo permita salvar vidas y bienes [15].

- **En el ámbito de las catástrofes naturales**

Las estaciones meteorológicas permiten conocer la velocidad y dirección del viento. Esto podría ayudar en zonas donde haya un incendio y se necesite saber en qué dirección va el viento. Con estos datos se podría controlar más rápidamente el

fuego. Es decir, las estaciones meteorológicas pueden contribuir a la predicción y el seguimiento de catástrofes naturales, como pueden ser tornados o huracanes [16].

- **En el ámbito de los transportes aéreos**

Otro de los objetivos de la meteorología es mejorar la seguridad de los transportes aéreos, es decir, se pretende reducir los retrasos en las salidas de los aviones, el tiempo de vuelo y el consumo de combustible; además de garantizar la seguridad y el confort de los pasajeros. Entre estos pronósticos, son particularmente importantes los que contienen avisos de condiciones meteorológicas que puedan representar un peligro para la aeronave en el momento del despegue, del aterrizaje o durante el vuelo, como en caso de fuertes vientos, tormentas o turbulencias [17].

- **En el ámbito de la logística**

Otra aplicación de las estaciones se produce en el campo de la logística. Este sector puede verse muy afectado por la meteorología. El conocer los parámetros ambientales favorecerá la toma de decisiones respecto a qué ruta escoger, ya que alguna vía puede estar afectada por: lluvias, nevadas, tornados o granizadas. Se puede intentar optimizar la ruta elegida e incluso reducir los accidentes. Además, se deben tener en cuenta los posibles ahorros económicos derivados de la selección de mejores rutas, ya que estas se verían menos afectadas por condiciones meteorológicas que influyan en el consumo de gasolina u otros elementos como el tiempo utilizado en los desplazamientos [17].

- **En el ámbito de la eficiencia energética**

Las estaciones meteorológicas pueden estar relacionadas con la eficiencia energética. Un ejemplo es el establecimiento de la cantidad adecuada de luz que se debe tener en una vivienda dependiendo de si el día es nublado o soleado. Además a través de una estación meteorológica se conoce la temperatura y esto puede ayudar a regular la calefacción o el aire acondicionado, proporcionando un ambiente de confort y bienestar, así como evitando malgastar el dinero y cuidando el medioambiente [18].

- **En el ámbito de las ciudades inteligentes**

En las SmartCity o “ciudades inteligentes” se está investigando sobre la posibilidad de que los vehículos estén conectados entre sí, de manera inteligente; es decir, el transporte inteligente [19]. Un ejemplo de SmartCity tiene lugar en la ciudad de Singapur, en la que se tiene desplegada una inmensa red de sensores conectados a Internet que recopila datos en tiempo real del funcionamiento de la ciudad. El objetivo es utilizar la información para llevar a cabo iniciativas que mejoren la vida de los ciudadanos. En la práctica, estos sensores permiten, por ejemplo, detectar el riesgo de inundación de los desagües, ofrecer información sobre el transporte público, detectar la calidad del aire, encontrar un parking libre, etc [20].

- **En el ámbito de la eficiencia energética y de las ciudades inteligentes**

Se pueden conectar los dos conceptos anteriores (eficiencia energética aplicada a estaciones meteorológicas y aplicada a *SmartCity*) ya que los datos de una estación meteorológica pueden enviarse a Internet y dichos datos pueden ser visualizados desde cualquier lugar. Existen diferentes plataformas que permiten almacenar y monitorizar datos en la nube. Esto permite establecer una conexión entre las personas y los objetos circundantes, y esta aplicación se puede integrar en el campo de las *SmartCity*. Un ejemplo puede ser el prever el tráfico que se puede generar por una tormenta que vaya a haber en las próximas horas [21]. Otro ejemplo puede ser un usuario que en su casa esté utilizando paneles fotovoltaicos. Dicho usuario desde cualquier lugar podría acceder a la plataforma mencionada y podría prever si necesitará mas o menos energía en función de si está nublado o no [22] [23].

Los distintos estudios expuestos avalan la importancia y la utilidad que tiene la meteorología en los diferentes campos. Por tanto, ahora que se conocen algunas de las aplicaciones más importantes que puede tener una estación meteorológica, se va a abordar el tema más en profundidad definiendo los parámetros meteorológicos que se pueden adquirir con una estación meteorológica.

4.2. Parámetros meteorológicos monitorizados por la estación diseñada

Para el diseño de la estación meteorológica se han evaluado los distintos parámetros ambientales que se podrían medir en base a posteriores aplicaciones que se desarrollarán en el ámbito de las ciudades inteligentes.

En este sentido se ha elegido la monitorización de la radiación solar por las aplicaciones de energía solar que usan el aprovechamiento de la energía solar en generación de electricidad en la energía solar fotovoltaica o como fuente de calor en la energía termosolar; por eso la monitorización de esta variable utiliza mucho en investigación, para la evaluación de estos sistemas. La aplicación que tiene un piranómetro puede observarse en, por ejemplo, la importancia que tiene la radiación en una casa en la cual se instalan módulos fotovoltaicos y en la que se pretende obtener la mayor eficiencia posible [24].

Se monitorizará la temperatura, entre otros aspectos, en: la predicción del tiempo, en investigación cuando sea necesario medir la temperatura ambiente y para conocer la temperatura del agua al ser calentada por módulos solares térmicos. También se ha demostrado que adquiere relevancia conocer la temperatura, por ejemplo, en el lugar de trabajo donde se persiga el confort térmico y el bienestar [25].

Conocer el valor de la humedad es importante en: invernaderos, en espacios industriales, en algunas incubadoras de huevos, saunas y museos. También se utilizan en el cuidado de los instrumentos musicales de madera tales como pianos, guitarras, violines y arpas, que pueden ser dañados por las condiciones de humedad inadecuadas. En entornos residenciales, los higrómetros se utilizan para ayudar en el control de la humedad (cuando es demasiado baja puede dañar la piel y el cuerpo humano, mientras que cuando es demasiado alta favorece el crecimiento de hongos y ácaros). En la industria de los recubrimientos tienen múltiples usos debido a que la aplicación de la pintura y otros recubrimientos puede ser muy sensible a la humedad y al punto de rocío. Otro ejemplo de aplicación es el de los adhesivos, ya que presentan una fuerte relación con la humedad [26].

La medida de la presión es útil en el campo de la meteorología profesional y en aplicaciones industriales exigentes que requieren control de presión. Los barómetros

se usan, por ejemplo, en los aviones comerciales. Esto es así porque deben mantener la cabina a una presión determinada, ya que si esto no fuese así se producirían alteraciones en el cuerpo humano [27].

Una de las aplicaciones más importantes que tiene el conocer la velocidad y dirección del viento es en la utilización de aerogeneradores. También puede ser necesario conocer estos parámetros en experimentos de investigación y en estaciones meteorológicas. Un ejemplo concreto se produce en la aspersion de plaguicidas mediante pulverizadores, ya que importa mucho la velocidad y dirección del viento [28].

Conocer la cantidad de lluvia acumulada es útil en aplicaciones meteorológicas. Un ejemplo puede ser en una zona donde se quiera evaluar el nivel de sequía [29].

A continuación se van a describir las principales variables meteorológicas, que van a ser medidas en este TFM, así como las características más relevantes de cada una de ellas.

En la figura 4.2.1 se resume de manera esquemática las variables medidas en este proyecto, es decir, la radiación solar, la temperatura ambiente, la presión barométrica, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento.



Figura 4.2.1. Variables meteorológicas

Para cada una de las variables meteorológicas se va a abordar los siguientes aspectos:

- Definición de la variable.
- La unidad en la que se mide la variable.
- Ecuación matemática que define a la variable.
- Instrumento con el que se mide la variable.
- Ejemplo de sensor que mide la variable.

➤ **Radiación solar global horizontal.**

Radiación solar global que incide sobre una superficie horizontal, resultado de sumar las componentes directa, difusa y la componente de albedo. La componente directa es aquella que proviene directamente del sol y la componente difusa es aquella que proviene de la atmosfera por dispersión de parte de la radiación solar en ella. Finalmente, la componente de albedo corresponde al porcentaje de radiación que proviene del reflejo de cualquier superficie [30]. La unidad de medida es el vatio por metro cuadrado (W/m^2).

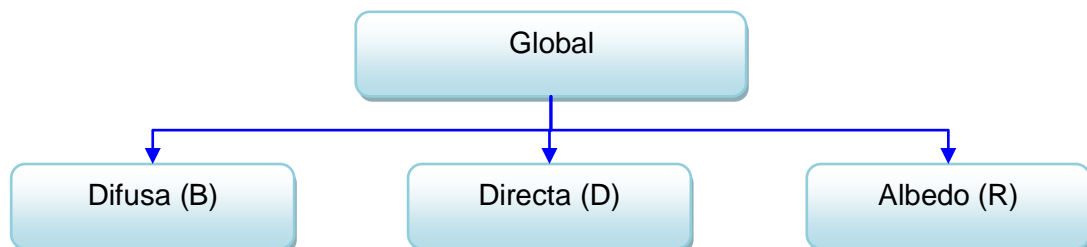


Figura 4.2.2. Componentes de la radiación global

Con la figura 4.2.2 se puede observar que la radiación global es la suma de las distintas componentes, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Global(\alpha, \beta) = B(\alpha, \beta) + D(\alpha, \beta) + R(\alpha, \beta)$$

(Ec. 4.2.1)

Para calcular la radiación global sobre una superficie horizontal primero hay que calcular los siguientes parámetros [31]:

$$\delta = \frac{23.45 \cdot \pi}{180} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{d + 284}{365}\right)$$

(Ec. 4.2.2)

$$r_0 = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{d}{365}\right)$$

(Ec. 4.2.3)

$$\bar{w}_s = -\cos^{-1}(-\operatorname{tg}\delta \cdot \operatorname{tg}\Phi)$$

(Ec. 4.2.4)

Donde:

- δ declinación solar en radianes.
- d es el día central de cada mes.
- r_0 distancia sol-tierra.
- \bar{w}_s ángulo de puesta de sol en radianes.

Para calcular las distintas componentes de la radiación solar es necesario conocer la irradiación sobre una superficie horizontal extraterrestre.

La irradiación a lo largo de un día se expresa como:

$$B_{CD}(0) = \frac{24}{\pi} \cdot B_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot (\cos \delta \cdot \cos \Phi) \cdot (\bar{w}_s \cdot \cos \bar{w}_s - \sin \bar{w}_s)$$

(Ec. 4.2.5)

Donde:

- B_0 es una constante solar de valor 1367 W/m^2 .

La determinación de la radiación global se aborda a partir del cálculo de la radiación horizontal directa y difusa, tomando los datos de partida $G_{dm}(0)$, el índice de claridad (K_T) y la fracción difusa (K_D).

Se define el índice de claridad (K_T) como la relación entre la radiación global y la radiación extraterrestre.

$$K_T = \frac{G_{dm}(0)}{B_{od}(0)}$$

(Ec. 4.2.6)

Para los valores medios mensuales, la relación entre la fracción difusa de la radiación sobre una superficie inclinada y el índice de claridad es:

$$K_{Dm} = 1 - 1.13 \cdot K_{Tm}$$

(Ec. 4.2.7)

La correlación entre la irradiancia horizontal ($G_d(0)$) y la fracción difusa ($K_d(0)$) se expresa:

$$D_{dm}(0) = K_D \cdot G_{dm}(0)$$

(Ec.4.2.8)

El instrumento necesario para medir la radiación global tradicionalmente es el piranómetro. Este se utiliza a veces para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada (albedo). Para medir solamente la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre por medio de un sistema de pantalla o sombreado [32].

Un piranómetro de alta gama es el MS-802, del fabricante "EKO-INSTRUMENTS", mostrado en la figura 4.2.3.



Figura 4.2.3. Piranómetro MS-802

Este piránometro es máximo referente en sensores de medida de radiación global ya que su tiempo de respuesta es muy pequeño ($95\% < 5s$), tiene un amplio rango de compensación de temperaturas y una cápsula de cristal de alta calidad óptica para la correcta respuesta del coseno.

A continuación se recogen algunas de las características específicas más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un piranómetro [33]:

Especificaciones (típicas)	MS-802
Tiempo de respuesta al 95% (sig.)	< 5
Ajuste a Cero – Radiación térmica ($200W/m^2$)	< $6 W/m^2$
Ajuste a Cero – Variación de temperatura (5K/h)	< $2 W/m^2$
Inestabilidad (variación/año)	< 0.5 %
No linealidad (a $1000W/m^2$)	< 0.2 %
Respuesta direccional (a $1000W/m^2$)	< $10 W/m^2$
Selectividad espectral (0.35-1.5 μm)	< 1 %
Tiempo de respuesta (para banda de 50°C)	< 1 %
Respuesta en inclinación (a $1000W/m^2$)	< 0.2 %
Sensibilidad ($\mu V/W \cdot m^{-2}$)	Aprox. 7
Impedancia (Ω)	Aprox. 500
Rango de temperatura de trabajo (°C)	- 40 a +80
Rango de Radiación	0 - $4000 W/m^2$
Longitud del Cable	10m
Rango de Longitud de onda	285 a 3000 nm

Tabla 4.2.1. Características del piranómetro MS-802

En la tabla 4.2.1 se puede observar que el tiempo de respuesta es pequeño, por lo que este piranómetro proporciona casi en tiempo real el valor de la variable a medir. Además, tiene un rango amplio de temperaturas en las que su funcionamiento es el adecuado.

➤ **Temperatura ambiente.**

La temperatura se define como [34] una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. También se define como la temperatura del aire circundante [35]. La unidad de medida en el sistema internacional es Kelvin (K).

Las escalas más empleadas para medir la temperatura son la escala Celsius o centígrada y la escala Kelvin. La relación entre las escalas se presenta a continuación:

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$$

(Ec. 4.2.9)

Donde:

- T es la temperatura en Kelvin.
- t es la temperatura en Celsius.

En la Escala Celsius se asigna el valor 0 °C a la temperatura de congelación del agua y el valor de 100 °C a la temperatura de ebullición del agua. En la Escala Kelvin se asignó el 0 aquella temperatura a la cual las partículas no se mueven (temperatura más baja posible) [36].

La temperatura se mide con un sensor de temperatura o termómetro. Para ello, solo hay que situar el sensor en el lugar donde se quiere medir y este proporcionará el valor de la medida.

En la figura 4.2.4 se muestra sonda de temperatura de alta gama (HMP45A). Este tipo de sonda debe estar protegido frente a la radiación y a la lluvia por una carcasa, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 4.2.4. Sonda de temperatura y carcasa protectora

La sonda se introduce dentro de un protector para evitar la radiación directa y para que haya una libre circulación del aire.

Las características específicas de esta sonda son [37]:

Especificaciones (<i>típicas</i>)	Sensor de temperatura
Rango de temperatura	-39.2 hasta 60 °C
Escala de salida	-40 - 60 °C equivale a 0 - 1 VDC
Precisión a 20 °C	± 0.2 °C
Tensión de alimentación	7 – 35 VDC
Tiempo de estabilización	500 ms
Consumo	<4 mA
Resistencia de salida	> 10 kΩ

Tabla 4.2.2. Características del sensor de temperatura

En la tabla 4.2.2 se puede observar que este sensor se caracteriza por tener un consumo bajo. Esta característica permitirá posteriormente evaluar la posibilidad de hacer la estación autónoma en cuanto a su alimentación.

➤ **Humedad relativa (HR).**

Relación entre el vapor de agua que contiene el aire y la cantidad máxima que puede tener el aire saturado a la misma temperatura [35]. Se suele expresar en porcentaje (%).

La humedad relativa se expresa de la siguiente manera:

$$HR = \frac{\text{masa de vapor que hay en el aire}}{\text{máxima masa de vapor que el aire puede llegar a contener}} = \frac{m_{vap}}{m_{vap \text{ máx.}}} \cdot 100$$

(Ec. 4.2.10)

De esta variable se pueden obtener otras asociadas a ella, como son:

- Humedad absoluta: Relación entre la masa de vapor de agua y el volumen de la humedad del aire en que está contenido.
- Temperatura de rocío (o punto de rocío): Temperatura a la cual el vapor de agua comienza a condensarse en el ambiente.
- Zona de bienestar: Límite de temperatura seca y humedad relativa dentro del cual el ser humano se encuentra confortable. También llamada zona de confort. Esto va asociado al concepto de ambiente inteligente y con el ámbito de la eficiencia energética o de las SmartCity mencionadas anteriormente.

La humedad relativa se puede medir mediante un higrómetro. Los instrumentos de medida de la humedad por lo general se basan en las mediciones de alguna otra magnitud como la temperatura, la presión, la masa o un cambio mecánico o eléctrico en una sustancia cuando absorbe la humedad. Mediante la calibración y el cálculo del funcionamiento del higrómetro, una vez conocidas estas otras magnitudes es posible deducir la medición de la humedad. Los dispositivos electrónicos modernos usan la temperatura de condensación (el punto de rocío), o cambios en la capacitancia o en la resistencia eléctrica para medir las diferencias de humedad. Un higrómetro que, para calcular la humedad, se basa en la diferencia de temperaturas entre un termómetro con el bulbo seco y otro con el bulbo húmedo, normalmente se denomina psicrómetro [1].

En la figura 4.2.5 se muestra un sensor de humedad utilizado en un entorno industrial (EE31 de “Sensovant”)



Figura 4.2.5. Sensor de humedad EE31

Además de la humedad relativa y la temperatura, el sensor calcula y ofrece la posibilidad de proporcionar dos salidas con las siguientes variables: humedad absoluta, punto de rocío, temperatura de congelación, entalpía, temperatura de bulbo seco y húmedo, presión de vapor y ratio mixto.

Otras características específicas [38]:

Especificaciones (<i>típicas</i>)	EE31
Rango medición	0 ... 100% HR, -40 ... 180 ° C
Salidas	0-5 V, 0-10V, 0-20mA, 4-20mA
Precisión	± 1,3% De humedad relativa, ± 0,2 ° C
Suministro	24 V AC / DC
Interfaz de serie	RS232C + RS485 opcional

Tabla 4.2.3. Características del sensor de humedad EE31

En la tabla 4.2.3 se puede observar que la interfaz es un tipo de comunicación habitual y que, además, ofrece varias salidas en tensión e intensidad.

➤ **Presión barométrica.**

La presión barométrica es la presión ejercida por la atmósfera de la tierra en un punto dado, equivalente a la presión ejercida por una columna de mercurio; también se le llama presión atmosférica. La presión depende de la altura a la que se encuentre el dispositivo [35].

La presión se mide en Pascales (Pa).

$$p = \frac{d}{dA} \int_S (f \cdot n) dS$$

(Ec. 4.2.11)

Donde:

- S es la superficie.
- f es la fuerza por unidad de superficie.
- n es el vector normal a la superficie.
- A es el área total de la superficie.

Si la superficie es plana y de área A, la fórmula anterior se puede simplificar a la siguiente:

$$Presión P = \frac{Fuerza (F)}{Área (A)}$$

(Ec. 4.2.12)

La presión se mide con un barómetro. Los barómetros están formados por una columna de líquido encerrada en un tubo cuya parte superior está cerrada. El peso de la columna de líquido compensa exactamente el peso de la atmósfera [1].

En la figura 4.2.6 se muestra un sensor de presión de alta gama (barómetro “PCE-THB 38” de PCE-Instruments).



Figura 4.2.6. Sensor de presión

El barómetro “PCE-THB 38” es adecuado para la medición y visualización digital de la presión barométrica, la humedad relativa y la temperatura ambiental. Además, este sensor también calcula el punto de rocío.

Otras características [39]:

Especificaciones (típicas)	DS5
Rangos de medida	10 -1100 hPa
Resolución	1 hPa
Precisión	± 2 hPa
Peso	160 g

Tabla 4.2.4. Características del sensor de presión

En la tabla 4.2.4 se puede observar que el barómetro seleccionado tiene un rango de medida de 10 mbar a 1100 mbar. Además tiene una precisión de 2 bares y esto será relevante ya que la estación diseñada constará de una resolución mayor.

➤ **Velocidad y dirección del viento.**

El viento es el aire en movimiento, el cual se produce en dirección horizontal a lo largo de la superficie terrestre. La dirección depende directamente de la distribución de las presiones, pues este tiende a soplar desde la región de altas presiones hacia la de presiones más bajas [40]. La velocidad del viento se mide en metros partido por segundo (m/s) y la dirección del viento se mide en grados (°).

La expresión matemática que permite conocer la velocidad del viento es la siguiente:

$$V = V_r \cdot \left(\frac{H}{H_r}\right)^{Sf}$$

(Ec. 4.2.13)

Donde [41]:

- V_r es la velocidad del viento a la altura de referencia.
- H_r es la altura de referencia.
- V es la velocidad del viento a la nueva altura.
- H es la nueva altura donde la nueva velocidad se desea calcular.
- Sf es el factor de corte de acuerdo con una tabla obtenida de manera experimental.

El instrumento empleado para medir la velocidad o la fuerza del viento es el anemómetro y el que mide la dirección es una veleta o un sensor específico para ello.

Un ejemplo de un sensor de alta gama que mide la velocidad y dirección del viento es el anemómetro ultrasónico "WindMaster HS" de "Sensovant".



Figura 4.2.7. Sensor de velocidad y dirección del viento

Este sensor se ha diseñado para aplicaciones de investigación científica que requieren precisión en la velocidad del viento de 3 ejes, en la dirección y en los datos de temperatura ultrasónicas. Este instrumento utiliza la tecnología avanzada de medición por ultrasonidos, con un diseño horizontal de la cabeza única que permite la medición precisa de altos ángulos de ataque con una interrupción mínima del flujo de la geometría del anemómetro.

Otras características para la velocidad del viento:

Especificaciones (<i>típicas</i>)	Velocidad del viento
Rango	0 – 45 m/s
Resolución	0.01 m/s o 0.001 m/s
Precisión	<1.5% RMS a 12 m/s

Tabla 4.2.5. Características del sensor de velocidad del viento

Otras características para la dirección del viento [38]:

Especificaciones (<i>típicas</i>)	Dirección del viento
Rangos	0 – 359.9°
Resolución	0.1°
Precisión	2° a 12 m/s

Tabla 4.2.6. Características del sensor de dirección del viento

En las tablas 4.2.5 y 4.2.6 se puede observar que los sensores de viento tienen una resolución alta. Además el rango en el sensor de dirección del viento es preciso porque va de 0 a 359.9°, siendo el máximo 360°.

➤ Precipitaciones o Lluvia.

La lluvia es un fenómeno atmosférico de tipo hidrometeorológico que se inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes [1]. Precipitación acuosa en forma de gotas. Se suele medir en litros partido por metro cuadrado (l/m²).

La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide con un pluviómetro. La medición se expresa en milímetros de agua y equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o solo en una parte del periodo de la misma.

Se puede conocer la intensidad de la lluvia en España con la siguiente fórmula:

$$I_t = I_{24} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{24}} \right)^{\frac{28^{0.1-t^{0.1}}}{28^{0.1}-1}}$$

(Ec. 4.2.14)

Donde [42]:

- I_{24} es la intensidad media diaria.
- I_1 es la intensidad media en la hora más lluviosa de ese día.
- t es el periodo de tiempo en horas para el que se quiere evaluar la intensidad.
- I_t es la intensidad media en el periodo t .

En la figura 4.2.8 se muestra un pluviómetro que viene integrado en la estación meteorológica “Ultra-Precisión” de PCE-Instruments.



Figura 4.2.8. Pluviómetro RG-11

Este sensor es capaz de transmitir datos de forma inalámbrica hasta 300 metros, lo que hace que sea fácil monitorizar microclimas. Está fabricado para profesionales y enfocado a un uso industrial. Dicho sensor es de muy alta precisión, lo que permite ser usado a nivel de investigación. Mide la tasa y niveles de lluvia, lluvia acumulada, lluvia caída en las últimas 24 horas y precipitaciones actuales.

Características específicas [39]:

Especificaciones (típicas)	RG-11
Medición	En mm o en pulgadas
Vaciado automático	Sí

Tabla 4.2.7. Características del pluviómetro

En la tabla 4.2.7 se especifica que el pluviómetro mide la cantidad de lluvia en milímetros o en pulgadas, estas unidades son equivalentes a litros por metro cuadrado.

Una vez definido el significado de cada parámetro y un ejemplo de sensores que lo miden, se va a continuar con las diferentes soluciones integradas, que existen comercialmente para la monitorización de los parámetros meteorológicos más comunes.

4.3. Soluciones comerciales para la medida de parámetros meteorológicos

Como se ha visto anteriormente, las estaciones meteorológicas tienen multitud de aplicaciones. Debido a esto, existen una gran variedad de soluciones comerciales.

De entre esta gran variedad de soluciones que se presentan, en este TFM se propone la siguiente clasificación: de gama alta, media y baja.



Figura 4.3.1. Categorías de estaciones

A continuación se van a poner ejemplos de cada una de las tres categorías mostradas en la figura 4.3.1 y se van a explicar sus características más importantes. Finalmente, se expondrán las principales características de todas las estaciones estudiadas en una tabla resumen. Esta clasificación ha servido para orientar la propuesta de diseño que posteriormente se desarrollará.

4.3.1. Estaciones meteorológicas de gama baja

Las estaciones meteorológicas de gama baja tienen un precio inferior a 300 euros y están orientadas al uso doméstico. Existen estaciones de más bajo coste que las elegidas pero no se van a considerar porque dichas estaciones monitorizan un menor número de parámetros. En la tabla 4.4.3 se muestran tres ejemplos de estaciones que pertenecen a esta categoría y que monitorizan gran parte de los parámetros estudiados en este proyecto.

Estaciones meteorológicas de gama baja
AS230055
Forever Speed Solar
100M Estación Meteorológica

Tabla 4.3.1.1. Estaciones meteorológicas de gama baja

- Estación meteorológica AS230055.

La estación meteorológica AS230055 se muestra en la figura 4.4.3.1 y permite medir: temperatura interior y exterior, humedad, cantidad de lluvia, velocidad y dirección del viento.

Su precio es aproximadamente de 205 € y sus principales ventajas son que permite conocer diferentes variables meteorológicas. Además, cualquier usuario puede comprarla ya que no requiere conocimientos previos para poder usarla. Por otro lado, incorpora una pantalla LCD en la que se puede ver la previsión del tiempo mediante iconos.



Figura 4.3.1.1. Estación meteorológica AS230055

La desventaja de esta estación es que el software es cerrado, no permite reemplazar ningún sensor y la fiabilidad de la medida no es tan alta como en las estaciones mencionadas en las otras categorías [43].

- Forever Speed Solar.

Esta estación, mostrada en la figura 4.3.1.2, permite medir los siguientes parámetros meteorológicos: temperatura, lluvia, presión, humedad, velocidad y dirección del viento.

Su precio es aproximadamente de 102 € y su principal ventaja es que es capaz de medir diferentes variables meteorológicas. También almacena los datos y permite descargarlos en el ordenador.



Figura 4.3.1.2. Estación meteorológica Forever Speed Solar

Como desventaja hay que destacar que la exactitud de la medida es limitada y el software es cerrado [44].

- 100M Estación Meteorológica.

La estación meteorológica 100M, mostrada en la figura 4.3.1.3, permite medir las siguientes variables: humedad, presión, lluvia, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Su precio es aproximadamente de 80 €. Su principal ventaja es que permite almacenar datos durante dos años. También permite descargar dichos datos al ordenador y pronostica el tiempo.



Figura 4.3.1.3. 100M Estación Meteorológica

Sus desventajas son que, al igual que las estaciones de bajo coste anteriores, esta estación posee un software cerrado y no permite la sustitución de ningún sensor por otro [45].

Las estaciones que se han expuesto están orientadas hacia el uso doméstico. Sin embargo, a continuación se presentan las estaciones de gama media, que tienen un precio más alto y que pueden dar una medida buena, siempre y cuando no se requiera de una fiabilidad extremadamente alta.

4.3.2. Estaciones meteorológicas de gama media

Las estaciones de gama media son de uso profesional. El precio de dichas estaciones está por encima de los 300 euros y hasta los 3000 euros.

En la tabla 4.3.2 se presentan unos ejemplos de estaciones que estarían incluidas en esta categoría:

Estaciones meteorológicas de gama media
Davis Vantage Vue Pro 2
WMR300
Estación meteorológica AM706D-4

Tabla 4.3.2. Estaciones meteorológicas de gama media

- Estación Meteorológica Davis Vantage Vue Pro 2

Esta estación meteorológica, mostrada en la figura 4.3.2.1, proporciona datos sobre las siguientes variables: radiación, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad interior y exterior, punto de rocío, lluvia y presión.

Esta estación tiene un precio aproximado de 1570 € y ofrece las siguientes ventajas: pronóstico meteorológico, información de la fase lunar, hora de puesta y salida del sol, valores mínimos y máximos diarios y cambios en las variables. También permite configurar un datalogger, es decir, un dispositivo que almacena datos y los gráficos registrados en una base de datos. Además ofrece la posibilidad de generar informes, exportar datos a hojas de cálculos y compartirlas en Internet.



Figura 4.3.2.1. Estación meteorológica David Vantage Vue Pro 2

La desventaja que presenta es que ya viene programada por el fabricante, es decir, es un sistema cerrado [46].

- Estación meteorológica profesional ultra-precisión WMR300.

Esta estación, mostrada en la figura 4.3.2.2, permite medir: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, sensación térmica, punto de rocío, presión atmosférica y cantidad de lluvia.

Su precio es aproximadamente de 700 € y sus principales ventajas son que permite configurar el intervalo de registros que se desea capturar y puede organizar los datos a partir de una pantalla táctil.



Figura 4.3.2.2. Estación meteorológica WMR300

La principal desventaja es que es un software cerrado y solo permite hacer ciertas modificaciones [47].

- Estación meteorológica AM706D-4.

Este tipo de estación, mostrada en la figura 4.3.2.3, puede medir: la velocidad y dirección del viento, la temperatura del aire, la humedad relativa y la presión barométrica.

Esta estación tiene un precio aproximado de 2660 €. Una de sus ventajas principales es mide de manera precisa y muestra en una pantalla, a tiempo real, los parámetros meteorológicos medidos.



Figura 4.3.2.3. Estación meteorológica AM706D-4

Esta estación es una solución comercial que no permite ningún tipo de modificación ni en el software ni en el hardware. Por tal motivo, no hay posibilidad de programación ni permite el procesamiento de datos con ninguna otra aplicación [48].

4.3.3. Estaciones meteorológicas de gama alta

Las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente son soluciones de gama baja y media, orientadas al uso doméstico o al uso profesional. Sin embargo, existen otras alternativas comerciales, es decir, estaciones meteorológicas de gama alta usadas para aplicaciones científicas y en investigación. En las estaciones estudiadas no se va a ofrecer un precio exacto debido a que los fabricantes no facilitan el presupuesto. Sin embargo, se sabe que el precio individual por separado de cada uno de los sensores de dichas estaciones es superior a 3000 euros.

Las estaciones de esta categoría se caracterizan porque tienen unas prestaciones muy altas. En la tabla 4.3.1.1 se van a exponer tres ejemplos.

Estaciones meteorológicas de gama alta
EKO
Kippzonen
Meteodata/Hidrodata 3000C Series de Geónica.SA

Tabla 4.3.1.1. Estaciones meteorológicas de gama alta

- Estación única de monitorización solar de EKO (SMS).

Esta estación, mostrada en la figura 4.3.3.1, mide todos los parámetros del ámbito de la radiación solar, como son: DNI, DHI y GNI. Además de la temperatura, presión, humedad relativa, precipitaciones, velocidad y dirección del viento.

Otras de las características es que es una solución totalmente integrada y viene preconfigurada; con una interfaz múltiple (RS-232 / Ethernet / GPRS) y con accionamiento de batería solar que la hace totalmente autónoma.



Figura 4.3.3.1. Estación meteorológica EKO

Esta estación meteorológica se usa principalmente en investigación ya que tiene las siguientes ventajas: permite su portabilidad, está calibrada y consta de unos equipos de precisión [33].

- Kippzonen:

La estación de monitorización solar de Kipp & Zonen, mostrada en la figura 4.3.3.2, permite mediciones de alta precisión de la irradiación directa, difusa y global. Posee un seguidor solar automático de alta precisión con monturas para diversos instrumentos Kipp & Zonen.



Figura 4.3.3.2. Estación meteorológica Kippzonen

Las principales ventajas son: sistema fiable, calibrado y equipos de medida de calidad [49].

- Meteodata/Hidrodata 3000C Series de Geónica.SA

Esta estación, mostrada en la figura 4.3.3.3, es de alta precisión y se usa en investigación. Es capaz de medir las siguientes variables: temperatura ambiente, humedad relativa, presión, punto de rocío, radiación directa, radiación global, velocidad y dirección del viento.



Figura 4.3.3.3. Estación meteorológica de Geónica

Las principales ventajas de esta estación son: tiene una resolución de 24 bits, una precisión de $\pm 0,02\%$ y la velocidad de muestreo es de 25 a 8192 muestras/s. Además tiene 6 puertos de comunicación y el rango de temperaturas de funcionamiento es de -30 a $+70$ °C. Es decir, es un sistema fiable ya que posee equipos de medida de gran calidad [50].

La Universidad de Jaén tiene instalada una estación Geónica, situada en la terraza del edificio de Ingeniería y Tecnología. Esta estación se va a utilizar en la calibración del prototipo desarrollado en este TFM.

Los tres ejemplos comentados en las estaciones de gama alta tienen las siguientes desventajas: sistema cerrado y propiedad de una empresa, no es configurable por el usuario, no permite configuración de ningún tipo de actuador, el sistema sólo recoge datos, es una estación de alto coste.

Como se ha visto en este epígrafe, las estaciones meteorológicas se pueden dividir en tres categorías: baja, media y alta. Cada categoría tiene sus ventajas y sus inconvenientes. A continuación se expone una tabla resumiendo las principales características de las soluciones comerciales estudiadas:

	AS23 0055	FSS	100M	David Vantage	WMR300	AM706D- 4	EKO	Kippzo- nen	Geó- nica
Tempera- tura	√	√	√	√	√	√	√		√
Radiación				√			√	√	√
Presión		√	√	√	√	√	√		√
Humedad	√	√	√	√	√	√	√		√
Lluvia	√	√	√	√	√		√		
Velocidad viento	√	√	√	√	√	√	√		√
Dirección viento	√	√	√	√	√	√	√		√
Alta							√	√	√

precisión									
Gama alta							√	√	√
Gama media				√	√	√			
Gama baja	√	√	√						

Tabla 4.3.2. Tabla resumen de las estaciones meteorológicas estudiadas

Como se puede observar en la tabla 4.3.2, a mayor calidad y fiabilidad en la medida, mayor precio. Se ha dado una visión general de las distintas estaciones meteorológicas que existen en el mercado, tanto para investigación como para uso profesional o como para uso doméstico. Así mismo, se ha podido comprobar que existen multitud de opciones en el momento de decantarse por una estación u otra, es decir, depende de para qué se va a usar, con qué finalidad y de las necesidades del usuario.

En este epígrafe se ha puesto de manifiesto que existen diferentes soluciones comerciales. Sin embargo, no hay ninguna que ofrezca una posibilidad abierta tanto en el hardware como en el software. Debido a esto, se ha realizado una propuesta de estación meteorológica, que se verá a continuación, capaz de medir las variables fundamentales en el campo de la meteorología y que da la posibilidad al usuario de adaptarla a sus necesidades.

5. SOLUCIÓN ADOPTADA. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

5.1. Introducción

Anteriormente se han visto las diferentes alternativas que el mercado ofrece a la hora de adquirir una estación meteorológica. En este epígrafe se va a dar una descripción detallada de la solución implementada. En la figura 5.1 se muestran los epígrafes desarrollados para alcanzar dicha solución.



Figura 5.1. Esquema de la solución planteada

Se va a comenzar explicando la solución hardware, es decir, la tarjeta de adquisición de datos elegida, qué sensores se han utilizado, la comunicación con la interfaz, así como la conexión y el encapsulado que se ha realizado.

Seguidamente se muestra la solución software, es decir, el código que se ha implementado y cómo se ha llevado a cabo la calibración.

5.2. Solución hardware para el desarrollo de la estación meteorológica

En el esquema de la figura 5.2 se muestra la solución hardware desarrollada. En ella se puede observar que dicha estación adquiere la señal a partir de unos sensores. Después se ha acondicionado la señal y se procesado la información gracias al sistema de adquisición de datos.

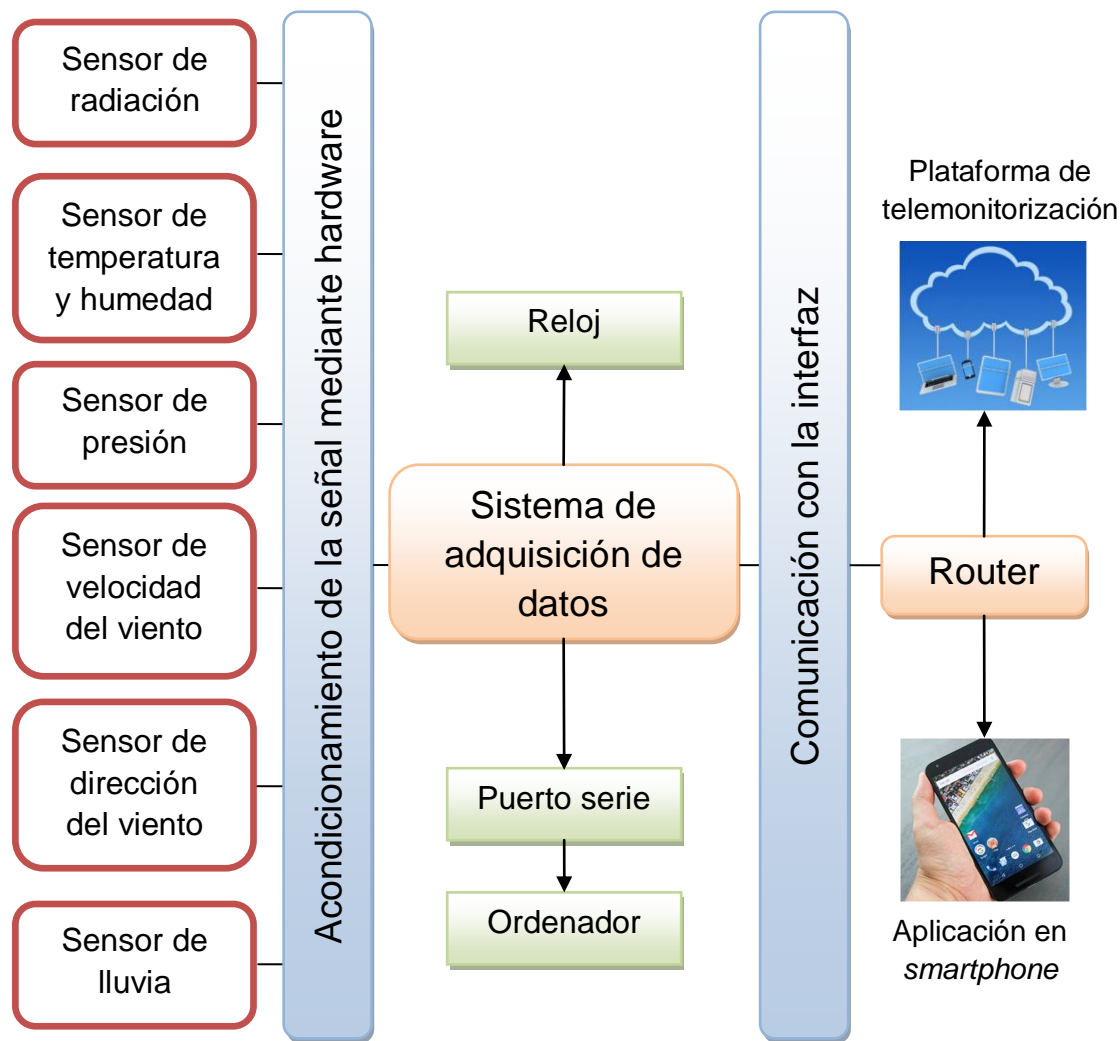


Figura 5.2. Esquema resumen de la estación meteorológica

La información puede ser transmitida por el puerto serie y se puede conocer la hora a la que se han tomado los datos gracias al reloj incorporado. Además se ha pretendido que la información esté disponible en cualquier lugar. Por tal motivo, se ha utilizado Internet mediante un router, para que los datos sean alojados en una plataforma de telemonitorización y sea posible consultarlos a través de una aplicación

en un *smartphone*, con el objetivo de que este proyecto pueda contribuir en los múltiples campos estudiados anteriormente y que, además, como se pretendía desde el principio de este TFM, fuese útil en el campo de la eficiencia energética (*SmartCity*).

5.2.1. Sistema de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos (SAD), son los productos y/o procesos utilizados para recopilar información para documentar o analizar un parámetro que interviene en un proceso. Los sistemas de adquisición de datos permiten la captación de información de sensores que indican la evolución de parámetros como la temperatura, humedad, radiación, cantidad de lluvia, presión o velocidad y dirección del viento a lo largo del tiempo.

Un SAD sigue el proceso mostrado en la figura 5.2.1.1. Inicialmente se capta cualquier variable física o eléctrica mediante los sensores. A continuación se acondiciona la señal, es decir, se transforma la señal adquirida en función del tipo de sensor y adapta el valor de las señales. Cabe destacar que no siempre es necesario acondicionar la señal pero si sí es necesario se pueden utilizar: atenuadores, amplificadores, convertidores tensión-intensidad (V/I) o intensidad-tensión (I/V), multiplexores, filtros, circuitos de muestreo y retención, y convertidores analógico-digital (A/D) y digital-analógico (D/A). Una vez que ya se tiene la señal acondicionada, se visualiza.

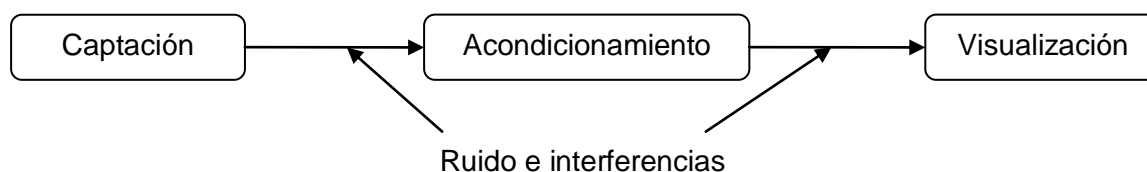


Figura 5.2.1.1. Estructura de un sistema de adquisición de datos

Un SAD también puede contener ruido e interferencias. La interferencia está asociada al canal que se utiliza para medir. Para evitarlas se pueden poner tomas de tierra o carcasas especiales en los aparatos. Por otro lado, el ruido es la parte que se incorpora a la medida y no contiene información [51].

Para elegir una tarjeta de adquisición de datos deberán considerarse los criterios mostrados en la figura 5.2.1.2.



Figura 5.2.1.2. Criterios para elegir un SAD

Dichos criterios se describen a continuación:

- Frecuencia de Muestreo: es la velocidad a la que un sistema de adquisición de datos recoge datos. La velocidad se expresa normalmente en muestras por segundo. Para los dispositivos multi-canal de adquisición de datos, la frecuencia de muestreo se presenta típicamente como la velocidad del convertidor analógico-a-digital (A / D). Para obtener una frecuencia de muestreo individual del canal, es necesario dividir la velocidad de la A / D por el número de canales que se muestra.
- Número de canales disponibles: los canales disponibles que tiene un SAD es importante debido a que esto limitará el número de sensores que pueden conectarse a dicho SAD, es decir, indica la cantidad de magnitudes distintas que se puede adquirir con la misma tarjeta. Es importante destacar el concepto de “entrada simple” (SE), ya que se refiere a la forma en que el cable de la señal es conectado a un dispositivo de adquisición de datos. Las entradas diferenciales tienen una conexión positiva y negativa para cada canal. Los dispositivos de adquisición de datos o bien tienen entradas simple o diferencial; muchos dispositivos soportan ambas configuraciones.

- Resolución: la señal más pequeña de incremento que puede ser detectada por un sistema de adquisición de datos.
- Rango de entrada: indica los márgenes entre los que debe estar la señal de entrada para que pueda ser convertida. Las tarjetas de adquisición de datos suelen dar varias posibilidades que se pueden seleccionar por hardware o por software. Algunos de los valores típicos son: 0-5 V, 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA.
- Protocolo de comunicación: existen diferentes buses de comunicación. A continuación se muestran algunos protocolos más usados:
 - General Purpose Interface Bus (GPIB): bus estándar que se utiliza para el control de instrumentos electrónicos con un ordenador. También llamado IEEE 488 en referencia a la definición de ANSI / IEEE.
 - RS232: es un estándar para una serie de comunicaciones, encontrado en muchos sistemas de adquisición de datos. RS232 es la comunicación más común. Sin embargo, está algo limitada, ya que solo permite la comunicación a un dispositivo, conectado al bus, a la vez y se especifica para distancias de transmisión de hasta 15 metros.
 - RS485: un estándar para una serie de comunicaciones que se encuentran en muchos sistemas de adquisición de datos. RS485 no es tan popular como RS232, sin embargo, es más flexible ya que permite la comunicación con un máximo de 32 dispositivos en el bus a la vez y distancias de transmisión de aproximadamente 1500 metros [52] [53].
 - USB: es un bus punto a punto. El protocolo se basa en el llamado paso de testigo (*token*). El ordenador proporciona el testigo al periférico seleccionado y seguidamente, éste le devuelve el testigo en su respuesta. Este bus permite la conexión y la desconexión en cualquier momento sin necesidad de apagar el equipo [54].
 - Bus de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface): este tipo de bus tiene una arquitectura de tipo maestro-esclavo. El dispositivo maestro (*master*) puede iniciar la comunicación con uno o varios dispositivos esclavos (*slave*), y enviar o recibir datos de ellos. Los

dispositivos esclavos no pueden iniciar la comunicación, ni intercambiar datos entre ellos directamente. Otra característica de SPI es que es un bus síncrono. El dispositivo maestro proporciona una señal de reloj, que mantiene a todos los dispositivos sincronizados. Esto reduce la complejidad del sistema frente a los sistemas asíncronos. Además, se requiere una línea adicional SS (*Slave Select*) para cada dispositivo esclavo conectado, para seleccionar el dispositivo con el que se va a realizar la comunicación. Por tanto, el bus SPI tiene la estructura que se muestra en la figura 5.2.3.7 [55].



Figura 5.2.1.3. Estructura del bus SPI

- Comunicación I2C. El estándar I2C (*Inter-Integrated Circuit*) requiere únicamente dos cables para su funcionamiento, uno para la señal de reloj (SCL) y otro para el envío de datos (SDA), lo cual es una ventaja frente al bus SPI. Por contra, su funcionamiento es un poco más complejo, así como la electrónica necesaria para implementarla. El bus I2C también tiene una arquitectura de tipo maestro-esclavo. Es posible disponer de más de un maestro, pero solo uno puede ser el maestro cada vez. El cambio de maestro supone una alta complejidad, por lo que no es algo frecuente. El bus I2C es síncrono. En la figura 5.2.1.4 se muestra un esquema de la arquitectura de este tipo de bus [56].

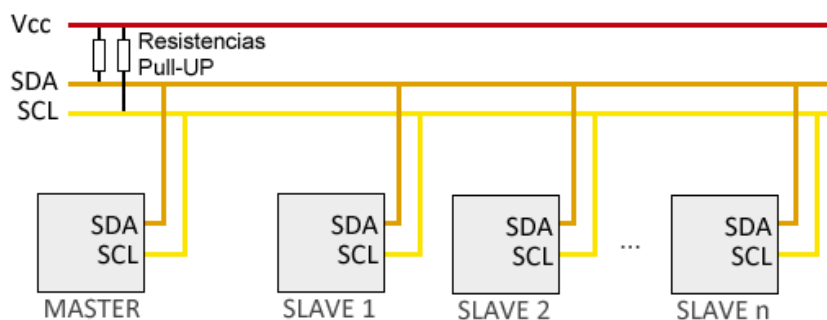


Figura 5.2.1.4. Estructura del bus I2C

- Coste: dependiendo de qué tipo de proyecto se esté haciendo, el precio puede ser un factor importante a tener en cuenta en la selección de dicho sistema [52] [53].

Existen diferentes tipos de SAD. Por tal motivo, a continuación se van a presentar ejemplos concretos de placas que pueden dar solución al problema planteado en esta memoria.

Por ejemplo, se puede usar la “Raspberry Pi”; esto es un ordenador de placa reducida. Este miniordenador, además de tener un tamaño reducido, tiene varios puertos de entrada y salida, dos USB (uno the Ethernet y otro de HDMI). Gracias a estos puertos la placa se puede conectar a otros dispositivos como: un teclado, ratón, pantalla de ordenador o un televisor. Además, esta placa es bastante económica. Sin embargo, tiene algunas limitaciones en cuanto a la posibilidad de usar placas complementarias (*shield*). Así, que aunque es una buena posibilidad y podría haber sido válida, se decidió estudiar otras alternativas.

Otra posibilidad, es usar directamente un ordenador. Interesaría que fuese de bajo coste para que cumpla con unos de los principales objetivos de este proyecto. Una ventaja es que un ordenador tendría la potencia que se necesita para este trabajo y ofrecería muchas posibilidades. Sin embargo, teniendo en cuenta que la estación meteorológica va a estar al sol durante mucho tiempo, tal vez un ordenador de bajo coste se podría calentar y posiblemente no esté preparado para estar en condiciones meteorológicas desfavorables. Por tal motivo se decidió descartar esta opción.

Otra alternativa es usar un “BeagleBone”, esto es un ordenador pequeño del tamaño de una tarjeta de crédito; donde se puede ejecutar un sistema operativo, como puede ser: Linux o Android 4.0. Otra ventaja es que tiene mucha capacidad de proceso. Sin embargo, aunque su precio no es excesivamente alto, teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece, tal vez no es el dispositivo más adecuado para lo que se busca en este proyecto [57].

Por otro lado, existe Arduino, que es un microcontralador basado en el ATmega1280, un chip sencillo y de bajo coste que permite el desarrollo de múltiples

diseños. La plataforma Arduino es una plataforma abierta y basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales. Además es una placa de tamaño reducido. Arduino tiene diferentes placas que varían dependiendo de las necesidades de cada proyecto. También posee la posibilidad de acoplar diferentes placas para, por ejemplo, permitir el acceso a Internet [58].

En la siguiente tabla se resumen los ejemplos que se acaban de explicar:

	Raspberry Pi	Ordenador	BeagleBone	Arduino
Sistema embebido	√		√	√
Económica	√		√	√
Posibilidad de acoplar Shield				√
Suficiente potencia	√	√	√	√
Conexión a Internet	√	√	√	√

Tabla 5.2.1.1. Tabla resumen de las estaciones meteorológicas estudiadas

Como se puede observar en la tabla 5.2.1.1 todas las alternativas estudiadas tienen suficiente potencia. Sin embargo, se busca un sistema embebido para que la estación meteorológica sea fácilmente transportable; esto hace que la opción del ordenador se descarte por imposibilitar esta característica. Por otro lado, Raspberry Pi se ha descartado porque tiene 8 entradas digitales pero no posee ninguna analógica, por lo que no se podrían conectar todos los sensores que se quieren en este TFM. Finalmente, el BeagleBone se ha descartado porque es más adecuado para proyectos que puedan ser un poco pesados para el Arduino. Por todos estos motivos, se ha decidido escoger **Arduino** como SAD, y porque cumple con todos los objetivos iniciales, con todos los requisitos impuestos para la realización de este proyecto y también puede controlar todos los sensores que se querían colocar. Además es un software libre lo que permite que sea accesible para todo tipo de usuarios y se puede aprender de manera autodidacta. Por otro lado permite la conexión con plataformas de monitorización de los datos, así como aplicaciones en dispositivos inteligentes ya que tiene acceso a Internet.

Como se puede apreciar en la imagen 5.2.1.5, Arduino tiene una gran variedad de productos. Dependiendo del proyecto y de la finalidad del mismo, se puede elegir una placa u otra.

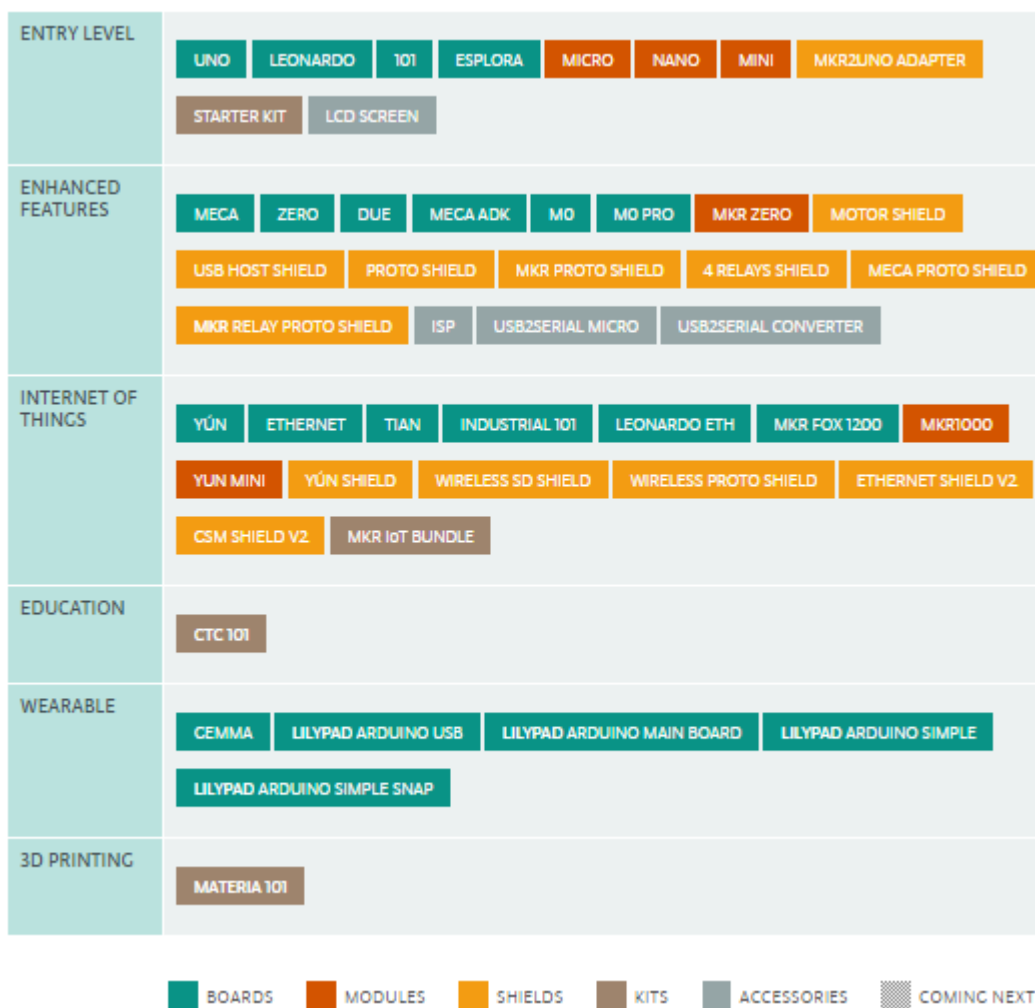


Figura 5.2.1.5. Productos de Arduino

En este TFM se pensó en utilizar Arduino Uno por ser el más utilizado y común pero, como se observa en la tabla 5.2.1.2, no tenía las interrupciones necesarias para abarcar todos los sensores. Así que se estudió la viabilidad de utilizar Arduino Mega, ya que hay una amplia variedad de información sobre dicha placa y cumple los objetivos detallados al inicio de esta memoria.

	Se necesita	Arduino Uno	Arduino Mega
Entradas/salidas digitales	12	14	54
Entradas/salidas analógicas	1	6	16
Interrupciones	5	2	6

Tabla 5.2.1.2. Tabla comparativa entre dos tipos de Arduino

Arduino Mega tiene la apariencia mostrada en la figura 5.2.1.6. Dicha placa tiene: 54 pines digitales de entradas/salidas (14 de ellas puede ser usadas como salidas PWM, es decir, salidas con modulación por ancho de pulsos), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie), un cristal de 16 MHz, 6 interrupciones y un

botón de reset, entre otras características. A Arduino se le transfiere el programa mediante USB. Además, es muy usado, por lo que hay mucha información disponible y es de bajo coste [59]. Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, posee diferentes “shields” o tarjetas de expansión que dotan al microcontrolador de características adicionales, como por ejemplo la conexión vía Wi-Fi o Ethernet.

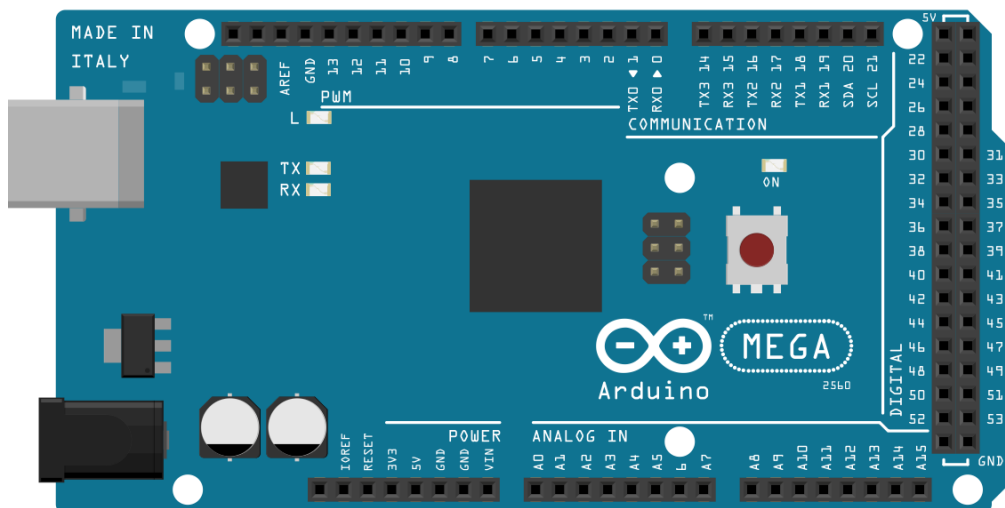


Figura 5.2.1.6. Arduino Mega

A continuación se muestra un resumen de los pines utilizados y del tipo de señal por el que se caracteriza dicho pin.

Pines	Señal	Pines	Señal
2	Digital/ INT 0	13	Digital/SPI
3	Digital/ INT 1	16	Digital
4	Digital	17	Digital
5	Digital	19	Digital/ INT 4
7	Digital	20	SDA/ INT 3
10	Digital/SPI	21	SCL/ INT 2
11	Digital/SPI	A0	Analógico
12	Digital/SPI		

Tabla 5.2.1.3. Resumen de los pines utilizados

Como se aprecia en la tabla 5.2.1.3, la mayoría de las entradas/salidas utilizadas son digitales. Se diferencian de las analógicas porque éstas son capaces de “entender” sólo dos niveles de señal, “low” o valores cercanos a 0 V y “high” o valores cercanos a 5 V. Puede parecer una desventaja pero en realidad puede ser todo lo contrario. Y no solo porque a veces únicamente se necesita saber dos estados (interruptor, pulsador, sensor de presencia, final de carrera...) sino porque así es

capaz de leer señales de pulsos digitales. Esto significa que puede comunicarse. En este proyecto casi todos los sensores se comunican mediante pulsos que va a ir contando Arduino. Por este motivo, se han utilizado casi todas las entradas digitales [60]. Por otro lado, los pines 10,11,12 y 13 pertenecen al bus de comunicación SPI y, los pines 20 y 21 permiten la comunicación I2C.

Una vez seleccionado el sistema de adquisición de datos, se va a proceder a mostrar las características de los sensores utilizados en este proyecto.

5.2.2. Sensores empleados en el desarrollo de la estación meteorológica

En este apartado se van a explicar los diferentes sensores utilizados en este TFM, así como sus características más importantes y cómo se conectan.

- **Sensor de radiación: TSL230RD**

El “Texas Advanced Optical Systems (TAOS) TSL230RD” mostrado en la figura 5.2.2.1, mide con precisión la intensidad de la luz utilizando una matriz de fotodiodos.

Existen estudios que avalan dicho sensor para la medida de radiación solar [61].



Figura 5.2.2.1. Sensor TDL230RD

El TSL230RD es programable y, como se muestra en la figura 5.2.2.2, combina un fotodiodo de silicio configurable y un convertidor de corriente a frecuencia en un solo circuito integrado CMOS. La

sensibilidad del dispositivo se puede seleccionar y varía entre cuatro valores predeterminados.

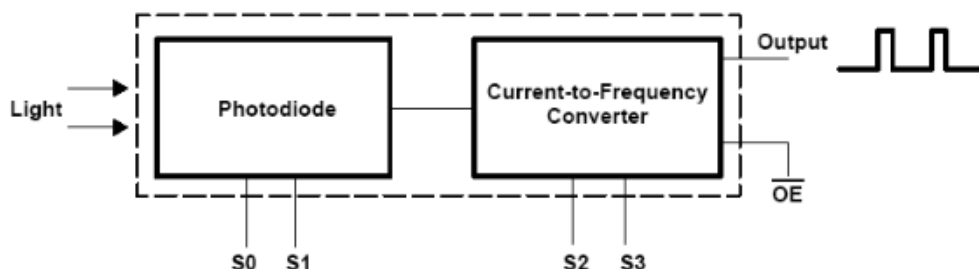


Figura 5.2.2.2. Diagrama funcional del TSL230RD

En la figura 5.2.2.3 se puede observar el sensor con sus patillas y en la tabla 5.2.2.1 las patillas utilizadas con su correspondiente descripción:

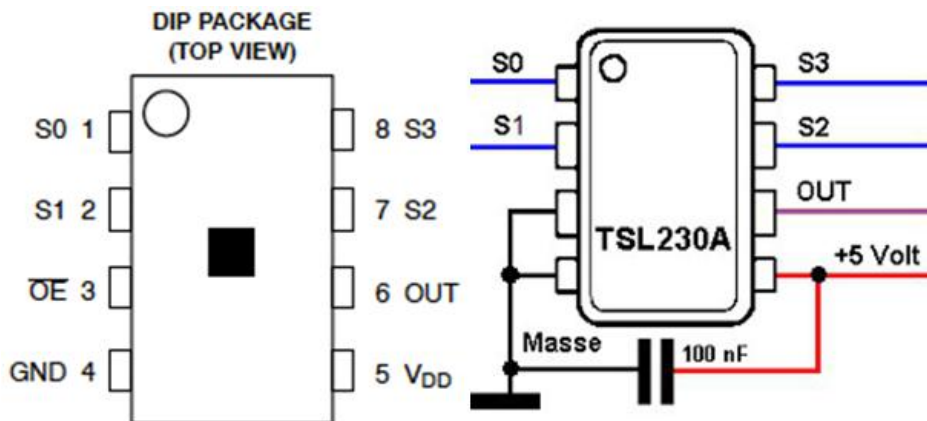


Figura 5.2.2.3. Esquema del TSL230RD

Nombre	Patilla	Descripción
GND	4	Tierra
OUT	6	Escala en frecuencia
S0,S1	1,2	Sensibilidad
VDD	5	Voltaje de entrada

Tabla 5.2.2.1. Patillas del TSL230RD

El TSL230 tiene dos tipos de resultados: un tren de pulsos y una onda cuadrada. El tren de pulsos es una serie de pulsos altos que indican la frecuencia exacta que se está obteniendo en ese momento. El inconveniente es que el tren de pulsos está en el orden de los nanosegundos, por lo que es difícil procesar los datos eficazmente con

Arduino. Por otro lado, la salida de onda cuadrada tiene un ciclo de trabajo del 50%, esto implica que los pulsos altos y bajos tienen exactamente la misma longitud - 1/2 de la frecuencia. Esto permite registrar los pulsos altos en microsegundos, lo que permitiría trabajar con Arduino.

Los pines S2 y S3 controlan el escalado de la salida, tal y como se muestra en la tabla 5.2.2.2; la división por tipos (2, 10 y 100) produce la onda cuadrada que se quiere. Se va a elegir dividir por 100, es decir, los pines “S2 y S3 High”. Para la captura de la frecuencia y su posterior interpretación es necesario un control de tiempos de muestreo muy preciso, la mejor manera es tomar una medida de cuántos pulsos hay por segundo. Este proceso se realiza en un microcontrolador gracias al uso de interrupciones.

S3	S2	Escala (se divide por)
L	L	1
L	H	2
H	L	10
H	H	100

Tabla 5.2.2.2. Divisor en frecuencia del TSL230RD

La sensibilidad, pines S1 y S0, controlan cuántos receptores están activos en el chip a la vez, tal y como se muestra en la tabla 5.2.2.3. A una mayor sensibilidad, el chip puede registrar cantidades cada vez más pequeñas de luz, pero pierde la posibilidad de registrar los niveles más altos de luz. En este proyecto se utilizará una sensibilidad “1x”, por lo que los pines estarían en “S0 High” y “S1 Low”.

S1	S0	Sensibilidad
L	L	Sin corriente
L	H	x1
H	L	x10
H	H	x100

Tabla 5.2.2.3. Ajuste de sensibilidad del TSL230RD

Otras características específicas de este sensor [62]:

- Rango de temperaturas: -25 °C a 70 °C.
- Se comunica directamente con el microcontrolador.
- Alta resistencia a la radiación: 790 Hz/($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) típica a 640 nm.
- Una sola fuente: 2.7 a 5.5 V.
- Función de desconexión: 5 μA .
- Error de no linealidad: 0.2% a 100 kHz.

- **Sensor de temperatura y humedad: DTH22.**

El DTH22 es un sensor que mide temperatura y humedad. En la figura 5.2.2.4 se muestra una imagen del mismo.

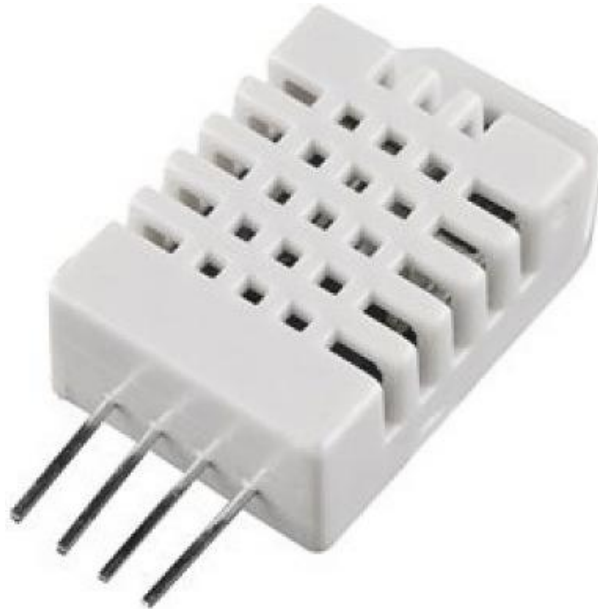


Figura 5.2.2.4. Sensor DTH22

La nomenclatura se muestra en la tabla 5.2.2.4 y el esquema que sigue este sensor se puede observar en la figura 5.2.2.5:

Pin	Nombre	Descripción
1	VDD	Voltaje
2	SDA	Bus de datos
3	NC	Vacío
4	GND	Tierra

Tabla 5.2.2.4. Nomenclatura del DTH22

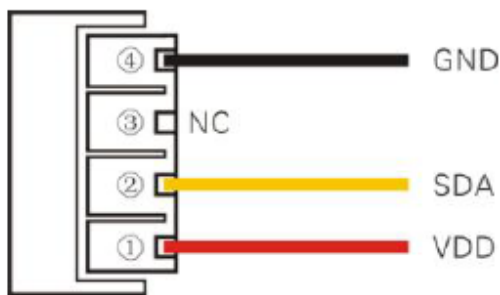


Figura 5.2.1.5. Esquema del DTH22

El DTH22 es un sensor fiable y estable. Este modelo está compensando en temperatura y calibrado con una cámara de calibración. Es muy pequeño y tiene un consumo muy bajo. Tiene una distancia de transmisión de hasta 100 metros. Este sensor, como se muestra en la imagen anterior, viene envasado y con cuatro pines, lo que facilita las posibles conexiones.

Las principales características de este sensor son: tiene una resolución decimal, esto implica que los valores tendrán una sola cifra decimal; el tiempo de muestreo es de 2 segundos; el rango de valores para la temperatura varía entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en condiciones adversas la precisión es de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un tiempo de respuesta menor a 10 segundos; el rango de valores para la humedad relativa varía de 0 a 99.9 %, con una precisión es de $\pm 2\text{ \%RH}$ y a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$; y el tiempo de respuesta para la humedad es menor a 5 segundos.

Otras características para el parámetro “humedad”:

- Resolución: 0.1 \%RH .
- Rango: 0 a 99.9 \%RH .
- Precisión: $25^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ \%RH}$.
- Repetitividad: $\pm 0.3\text{ \%RH}$.

Otras características para el parámetro “temperatura” [63] [64]:

- Resolución: $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 16 bit.
- Rango: -40 a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Precisión: $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Repetitividad: $\pm 0.2\text{ \%RH}$.

- **Sensor de presión: BMP180.**

El BMP180 es un sensor que mide presión. Dicho sensor se puede observar en la figura 5.2.2.6.



Figura 5.2.2.6. Sensor BMP180

Este sensor es un dispositivo que mide la presión del aire y que puede usarse como altímetro. Se puede conectar a un autómata o procesador como Arduino para registrar la medición de la presión del aire o estimar la altitud del sensor respecto al nivel del mar. El BMP180 es un sensor barométrico digital, que incorpora un sensor de temperatura para compensar sus efectos en la medición de la presión barométrica.

El consumo promedio es de 0.1 μA en stand-by, y 650 μA durante la medición, lo que supone un consumo promedio de 5 μA tomando 1 muestra por segundo en precisión estándar. El tiempo de respuesta es de unos 5 ms en resolución estándar, y 17 ms en alta resolución.

El BMP180 consta de un sensor piezo-resistivo, un convertidor analógico a digital, una unidad de control con E²PROM y una interfaz serie I2C. La E²PROM ha almacenado 176 bits de datos de calibración individuales. Esto se utiliza para compensar el offset, la dependencia de la temperatura y otros parámetros del sensor.

Este sensor se conecta a 5 V. Para ello lleva un regulador de tensión que adapta el voltaje a 3.3 V para que el sensor pueda trabajar de manera adecuada [65] [66]. Dicho sensor se muestra en la figura 5.2.2.7

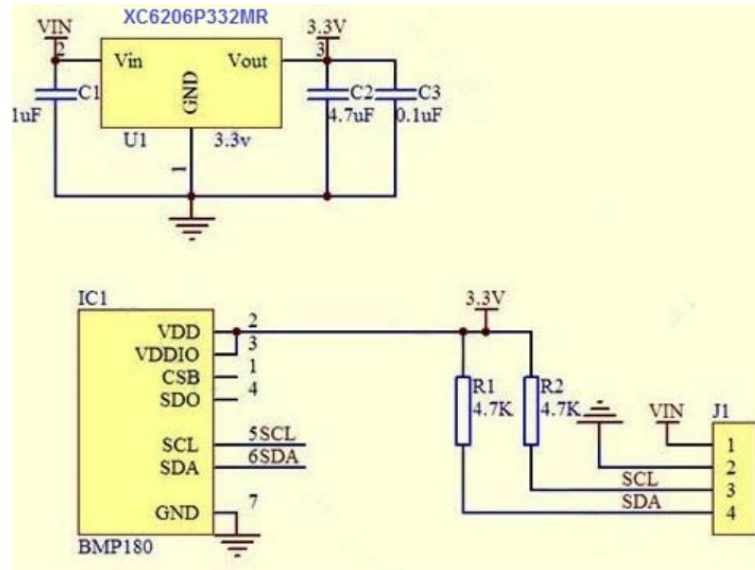


Figura 5.2.2.7. Esquema de conexiones del BMP180

El sensor de presión BMP180 está diseñado para conectarse directamente a un microcontrolador a través del bus I2C. Los datos de presión y temperatura han de ser compensados con la calibración de la E²PROM del BMP180.

Características [67]:

- Rango 300 hPa a 1100 hPa (4.351 psi a 15.954 psi). Rango de altura +9000 m a -500 m con respecto al nivel del mar).
- Resolución: 0.01 hPa y 0.1 °C.
- Medida digital, interface I²C.
- Interface de datos I²C.
- Velocidad de comunicación max: 3.4 MHz.
- Calibrado.
- Compensado en temperatura con exactitud completa de 0 a +65 °C, con medida de la temperatura incluida.
- Bajo consumo de potencia.
- Medida absoluta.
- Voltaje de alimentación de la tarjeta: 3.65 V a 6 V.
- Presión máxima: 10000 hPa (145 psi).
- Temperatura de operación: -40 a +85 °C.

- Incluye regleta de pines macho para soldadura por parte del usuario.
- Dimensiones aprox: largo 13 mm, Ancho 10.5 mm, Alto 2.5 mm.

- **Sensor de dirección del viento: PCE-FWS 20 WD**

La veleta es un dispositivo giratorio que consta de una placa que gira libremente y un señalador que indica la dirección del viento. En este proyecto se va utilizar la veleta del fabricante “*Argen Data Systems*” con referencia 80422 y se muestra en la figura 5.2.2.8



Figura 5.2.2.8. Veleta

En la tabla 5.2.2.5 se muestran los puntos cardinales más utilizados y su dirección en grados azimut [68]:

Dirección	Nombre	Grados Azimut
N	Norte	0°
NNE	Nornoreste	22.5°
NE	Noreste	45°
ENE	Estenoreste	67.5°
E	Este	90°
ESE	Estesureste	112.5°
SE	Sureste	135°
SSE	Sursureste	157°
S	Sur	180°
SSW	Sursuroeste	202.5°
SW	Suroeste	225°

WSW	Oestesuroeste	247.5°
W	Oeste	270°
WNW	Oestenoroeste	292.5°
NW	Noroeste	315°
NNW	Nornoroeste	337.5°

Tabla 5.2.2.5. Puntos cardinales

A continuación se muestra en la figura 5.2.2.9 representados los puntos cardinales, comentados en la tabla anterior, en una rosa de los vientos [69].

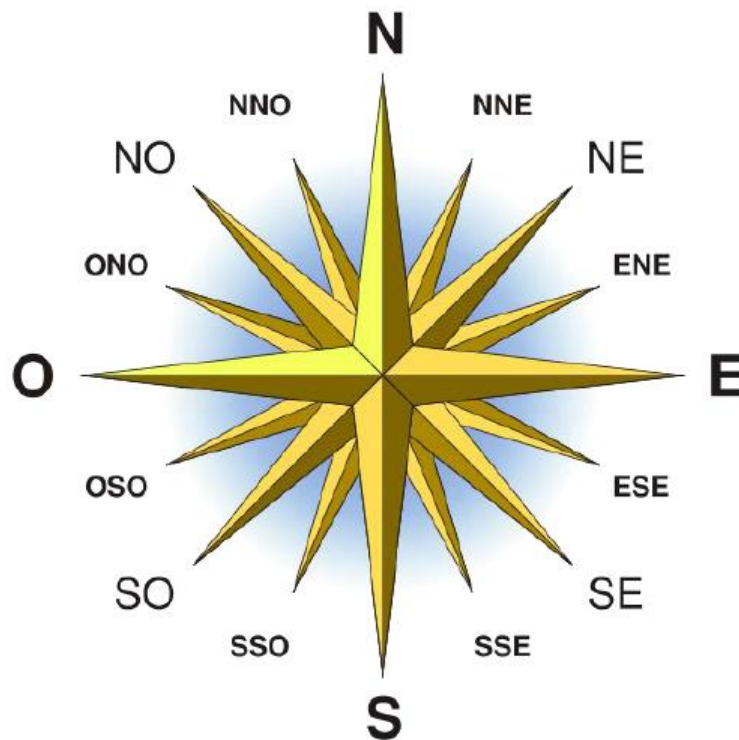


Figura 5.2.2.9. Rosa de los vientos

La veleta que se va a utilizar se compone de 8 interruptores magnéticos (figura 5.2.2.10), cada uno conectado a una resistencia diferente. Un imán de aleta puede cerrar dos interruptores a la vez, lo que permite hasta 16 posiciones diferentes con dos resistencias en paralelo.

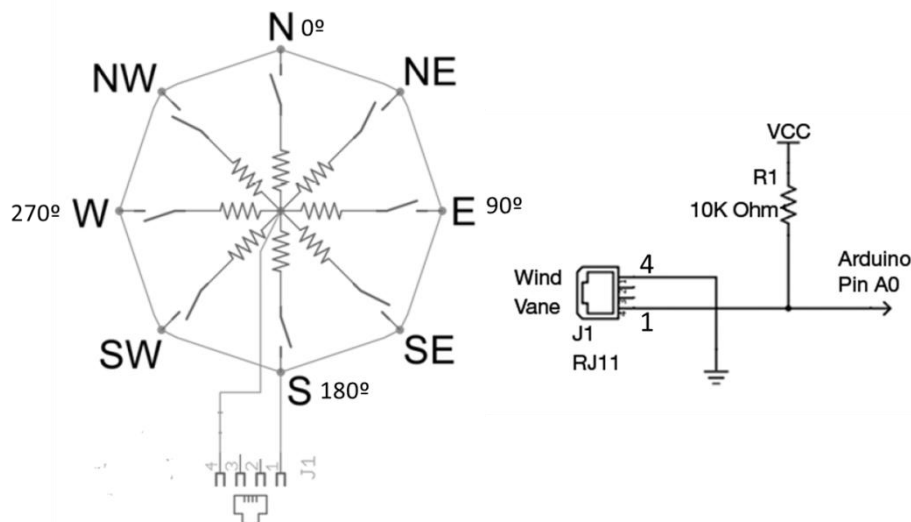


Figura 5.2.2.10. Esquema de conexiones de la veleta

Para el acondicionamiento de señal se añadirá una resistencia de 10 kΩ, lo que permite obtener un divisor resistivo. Con esto se conseguirá tener un valor de tensión diferente según la posición de la veleta. Dicho valor se medirá con el conversor analógico digital (ADC) del microcontrolador para obtener la dirección del viento.

En la siguiente tabla se muestra la equivalencia entre los grados y el voltaje.

Dirección (Grados)	Resistencia (Ohmios)	Voltaje (V = 5 V, R = 10 kΩ)
0	33k	3.84v
22.5	6.57k	1.98v
45	8.2k	2.25v
67.5	891	0.41v
90	1k	0.45v
112.5	688	0.32v
135	2.2k	0.90v
157.5	1.41k	0.62v
180	3.9k	1.40v
202.5	3.14k	1.19v
225	16k	3.08v
247.5	14.12k	2.93v
270	120k	4.62v
292.5	42.12k	4.04v
315	64.9k	4.78v
337.5	21.88k	3.43v

Tabla 5.2.2.6. Tensión en función de la resistencia

Con el fin de calcular la dirección, el fabricante proporciona la tabla 5.2.2.6, con los valores de tensión que se obtendrían del divisor de tensión anterior, teniendo en cuenta que la R es de 10 k Ω y la tensión de alimentación de 5V [70].

- **Sensor de velocidad del viento: PCE-FWS 20 WD**

El anemómetro utilizado es del tipo denominado de “cazoleta” o de “molinete” y se muestra en la figura 5.2.2.11. Es del fabricante “Argen Data Systems” y su referencia es: 80422 . Consiste en un elemento giratorio con varias aspas con cazoletas. Cuando el viento sopla, estas aspas comienzan a girar cerrando un interruptor magnético por cada revolución, lo que permite calcular la velocidad del viento. Según los datos del fabricante con una velocidad de 2.4 Km/h se produce un cierre del contacto magnético por segundo [70].



Figura 5.2.2.11. Anemómetro

Cada uno de los pulsos equivale a 2,4 Km/h, por tanto si se cuentan los pulsos que hay en un segundo y se multiplican por el factor que se indica en la hoja de características, se obtendrá la velocidad del viento.

Este sensor se conecta directamente a la patilla 3 de Arduino, tal y como indica el esquema mostrado en la figura 5.2.2.12:

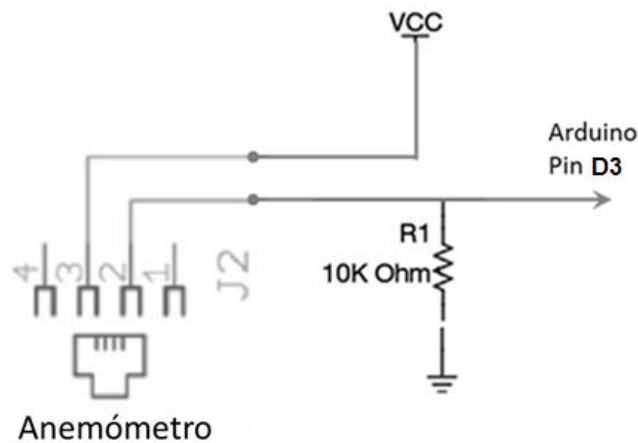


Figura 5.2.2.12. Esquema de conexiones del anemómetro

La principal característica de este sensor es que el rango de medición de la velocidad del viento es de 0 a 180 km/h [39].

- **Sensor de precipitación (pluviómetro): PCE-FWS 20 WD**

El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. Se usa para medir la cantidad de precipitaciones caídas en un lugar durante un tiempo determinado. El pluviómetro utilizado se muestra en la figura 5.2.2.13.

La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura (o equivalentemente en litros por metro cuadrado). El sensor elegido es del fabricante “Argen Data Systems” y su referencia es: 80422 [39].



Figura 5.2.2.13. Pluviómetro

El medidor es del tipo de cubo de vaciado automático. Consta de una balanza basculante que provoca el cierre momentáneo de un interruptor magnético por cada 0.2794 mm de lluvia [70].

Este sensor necesita una interrupción para funcionar correctamente, debido a esto se conecta a Arduino por la patilla 19, como se puede observar en la figura 5.2.2.14:

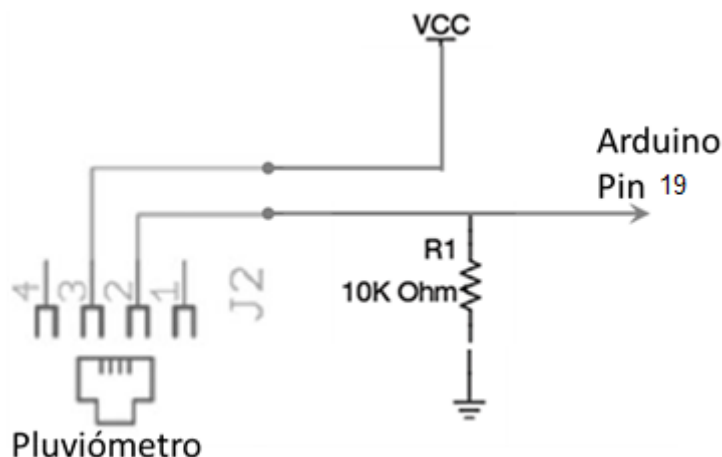


Figura 5.2.2.14. Esquema de conexiones del pluviómetro

Las características de este sensor son que el rango de medición del pluviómetro es de 0 a 9999 mm y la resolución del pluviómetro es 0.1 mm [39].

5.2.3. Comunicación con la interfaz

Una vez que se explicó los sensores escogidos para la estación meteorológica que se está desarrollando, se va a proceder a explicar cómo se ha llevado a cabo la comunicación con la interfaz.

La interfaz de usuario es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, equipo, computadora o dispositivo, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.

Para poder realizar dicha comunicación se necesita un router. Un router es un dispositivo que permite enviar o encaminar paquetes de datos de una red a otra [1]. Para que el router funcione correctamente se ha tenido que configurar y se ha instalado en un lugar cercano a la estación meteorológica diseñada.

Además del router, en la estación se ha instalado dos tarjetas de expansión o “shield”: Arduino Wifi Shield y la ESP 8266. Ambos módulos permiten la conexión Wi-Fi. Una vez hecho esto se ha programado la estación de manera adecuada para que, a través de estas *shield* y a través del router, tenga acceso a esta red de Internet.

Otro aspecto importante es la hora a la que se toman los datos. A priori no se sabe la hora en la que se ha obtenido cada dato, es decir, se tienen datos sin saber exactamente cuándo se han obtenido. Este problema se soluciona instalando un reloj RTC (*Real Time Clock*) o reloj a tiempo real. Dicho reloj lo que hace es decirle al Arduino la hora a tiempo real española. Este reloj lleva la cuenta de segundos, minutos, horas, día, mes y año.

Por otro lado, se desean almacenar los datos obtenidos mediante la estación diseñada. Se sabe que antiguamente para almacenar los datos se utilizaban las bibliotecas y toda clase de registros. Sin embargo, su búsqueda era lenta y poco eficaz y no se contaba con la ayuda de máquinas que pudiesen reemplazar el trabajo manual.

Posteriormente, el uso de las bases de datos se desarrolló a partir de las necesidades de almacenar grandes cantidades de información o datos, sobre todo desde la aparición de las primeras computadoras. Esto hace que el concepto de bases de datos haya estado siempre ligado a la informática.

En la época de los sesenta, las computadoras bajaron los precios para que las compañías privadas las pudiesen adquirir, dando paso a que se popularizara el uso de los discos, cosa que fue un adelanto muy efectivo en la época, debido a que a partir de este soporte se podía consultar la información directamente, sin tener que saber la ubicación exacta de los datos.

En esta misma época se dio inicio a las primeras generaciones de bases de datos de red y las bases de datos jerárquicas, ya que era posible guardar estructuras de datos en listas y árboles.

También en la época de los sesenta, se llevo a cabo el desarrollo de un nuevo tipo de sistema de bases de datos conocido como modelo en red. Este modelo permitió la creación de un estándar en los sistemas de bases de datos, gracias a la creación de nuevos lenguajes de sistemas de información.

Se siguió investigando en el tema de las bases de datos hasta que a principios de los años ochenta comenzó el auge de la comercialización de los sistemas relacionales, y SQL comenzó a ser el estándar de la industria, ya que las bases de datos relacionales con su sistema de tablas (compuesta por filas y columnas) pudieron competir con las bases jerárquicas y de red, como consecuencia de que su nivel de programación era sencillo y su nivel de programación era relativamente bajo.

En la década de los noventa, la investigación en bases de datos giró en torno a las bases de datos orientadas a objetos. Las cuales han tenido bastante éxito a la hora de gestionar datos complejos en los campos donde las bases de datos relacionales no han podido desarrollarse de forma eficiente. Así se desarrollaron herramientas como Excel y Access del paquete de Microsoft Office que marcan el inicio de las bases de datos orientadas a objetos [71].

Una vez que se tenía un fichero de datos con la información, se almacenaba en el ordenador. Sin embargo, han existido otras herramientas de almacenamiento de dicha información, como eran: los disquetes, discos, memorias, pendrive, móviles...

Actualmente, una herramienta muy utilizada es Internet. Esto es así porque la información que se guarde ahí estará disponible para cuando el usuario la necesite, esté donde esté. Por tal motivo, se ha visto conveniente usar dicha herramienta, no solo para almacenar los datos, si no también para la monitorización de estos.

Como se ha visto, existen multitud de herramientas para guardar la información. Sin embargo, se ha planteado una solución que permite almacenar la información, monitorizarla, procesarla y disponer de ella cuando se necesite; esta es el Internet de las Cosas (IoT).

IoT es una plataforma en la nube que tiene como objetivo ofrecer, a gran escala, a usuarios y/o a empresas, una aplicación en la web donde poder subir y almacenar datos de manera continua que podrán ser tratados posteriormente. Dicho de otra manera, IoT es una plataforma basada en la idea de guardar información en la nube y permite realizar un seguimiento de datos, recopilarlos y procesarlos.

Hay una amplia variedad de plataformas de este tipo que son utilizadas en distintos ámbitos: mundo empresarial, gobiernos, agricultores, salud, comunicación, transporte y fabricación.

Hay múltiples plataformas que dan solución al problema planteado, como pueden ser: KAA, CarrIoT, Temboo, InfoBright [72]... Sin embargo, se ha escogido *ThinkSpeak* por las siguientes razones:

- Mejora la eficiencia: conecta fácilmente diferentes dispositivos, lo que permite poder realizar un seguimiento de su estado y rendimiento en tiempo.
- Permite la innovación: las empresas están continuamente progresando. Mediante la supervisión y el análisis de datos de múltiples fuentes en tiempo real, se puede sacar el máximo partido de la situación dentro de, por ejemplo, una empresa.
- Se puede conectar con Matlab. Esto permite procesar los datos de diferentes maneras, así como crear alertas que notifiquen, en cada momento a la persona adecuada, cuándo es necesario una revisión de la estación o de cualquier otra cosa. Además de esto, el analizar los datos puede ayudar en la toma de decisiones dentro de una empresa, así como en la creación de nuevos modelos de negocio [73].

Un canal en *ThinkSpeak* tiene la apariencia mostrada en la figura 5.2.3.1.

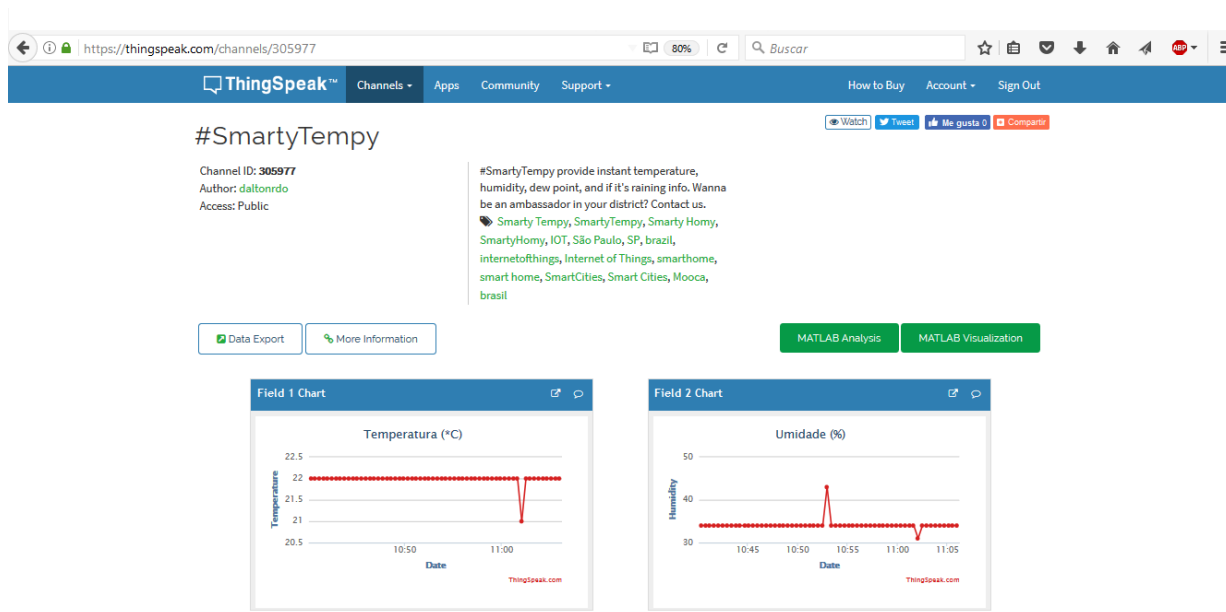


Figura 5.2.3.1. Apariencia de un canal en ThinkSpeak

Como se ha visto, los datos se pueden representar en *ThinkSpeak* de tal manera que quedan almacenados y pueden ser procesados posteriormente. Pero además de esta plataforma, en este proyecto se ha querido prestar atención a los dispositivos inteligentes, como pueden ser móviles o tablets. Se le ha querido dar importancia a estos dispositivos porque hoy en día se usan a diario y se ha considerado que una aplicación meteorológica que pueda ser utilizada en dichos dispositivos tiene una gran utilidad. Además una aplicación de estas características podría ser utilizada en la vida cotidiana de cualquier persona para, por ejemplo, conocer el tiempo que va a hacer ese día.

A continuación se van a exponer diferentes aplicaciones compatibles con Arduino y después se explicará cuál se ha escogido. Se pretende conseguir que, en dispositivos móviles o tablets, se puedan visualizar todos los valores recogidos por la estación meteorológica instantáneamente.

La primera aplicación compatible con Arduino es “Cayenne”. Esta aplicación consta de un panel de gestión y control para simplificar y agilizar el desarrollo de proyectos. Se configura de manera intuitiva, arrastrando y soltando widgets que se despliegan según se van necesitando [74]. Sin embargo, aunque es compatible con Arduino, la mayoría de los usuarios en la red la utilizan para conectarla con la

Raspberry Pi. Por este motivo se ha descartado el uso de esta aplicación para este proyecto.

ArduinoDroid es otra aplicación gratuita que permite editar, compilar y cargar programas a la placa Arduino directamente desde un teléfono o tableta Android. Se caracteriza por ser muy atractiva, ya que permite programar la placa de Arduino en cualquier sitio con un simple teléfono Android. Pudiendo también añadir librerías propias. En sus inicios solo soportaba unos tipos de placas pero actualmente, es compatible con casi todas. Sin embargo, aunque es una aplicación para Arduino, se utiliza para programarlo y controlarlo; y en este proyecto se busca el poder visualizar los valores en la aplicación, puesto que el código ya se ha programado directamente en Arduino [75].

Teniendo en cuenta esto último, cabe mencionar que hay multitud de aplicaciones como la que se acaba de mencionar que tienen funciones similares. Pero como lo que se busca es visualizar los datos obtenidos por Arduino en una aplicación móvil, se ha seguido investigando hasta que se ha encontrado una llamada “Blynk”.

Blynk es una aplicación para Android que permite controlar Arduino y Raspberry Pi. Es un panel digital donde se puede construir una interfaz gráfica para un proyecto, simplemente arrastrando y soltando widgets o displays. Una de las principales ventajas de esta aplicación es que es muy fácil configurarlo todo. Además, Blynk no está pensada para ser utilizada para una placa específica o shield. Esto hace que se pueda utilizar el hardware deseado, ya sea cualquier Arduino o Raspberry Pi. Lo único que necesita es que el hardware esté conectado a Internet mediante: Ethernet, Wi-Fi or el nuevo chip ESP8226. De esta manera Blynk estará online, es decir, enviará los datos instantáneamente y se podrán visualizar en un dispositivo móvil o tablet.

La aplicación se puede descargar directamente desde la página oficial de Blynk (<http://www.blynk.cc/>) o buscándola en la aplicación de Google: “Google Play” [76].

5.2.4. Conexiones realizadas entre los sensores y el sistema de adquisición de datos

Anteriormente se ha detallado las comunicaciones con la interfaz. A continuación, se van a explicar las conexiones realizadas.

El primer sensor es el TSL230RD. Para conectar dicho sensor se coloca un condensador de 100 nF lo más cercano posible a los pines de alimentación. Las conexiones de este sensor se realizan como se muestra en la figura 5.2.4.1, es decir, las patillas 1, 5, 7 y 8 se conectan a 5 V; la patilla 6 al pin 2; y las patillas 2, 3 y 4 a tierra.

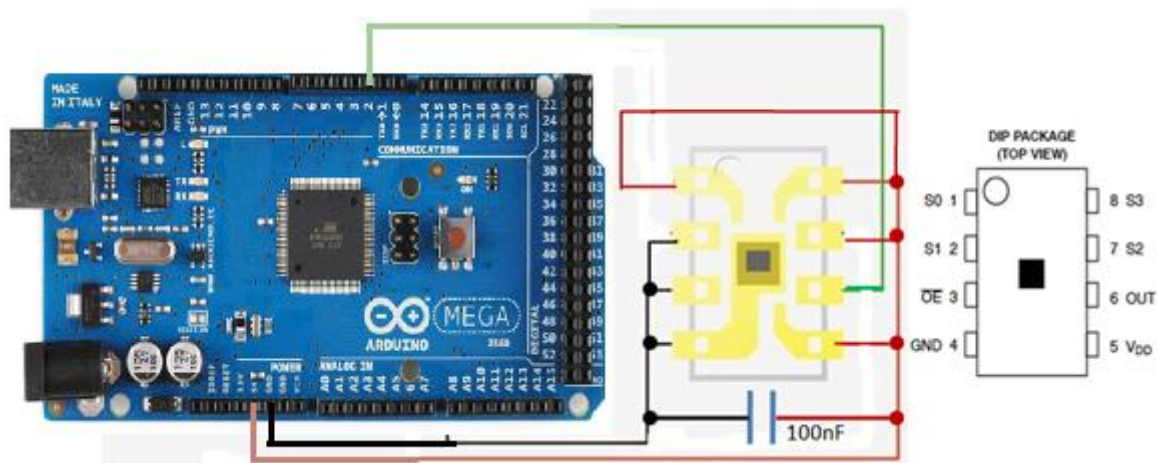


Figura 5.2.4.1. Esquema conexiones

El DTH22 se conecta de la misma manera que el anterior, tal y como muestra la figura 5.2.4.2. El pin 1 se conectará a 5 V y el 4 a tierra. El pin 2 del sensor será el que se comunique con el pin 5 de Arduino. Para conectarlo correctamente hace falta una resistencia entre el pin de alimentación y el de datos.

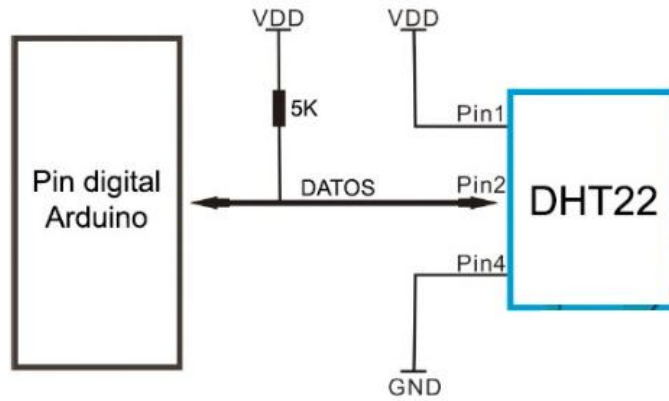


Figura 5.2.4.2. Esquema de conexiones del DHT22

Para conectar el BMP180 hay que conectar el bus I2C a la patilla 20 (SDA) y 21 (SCL) de Arduino. En la figura 5.2.4.3 se puede ver el esquema de conexiones.

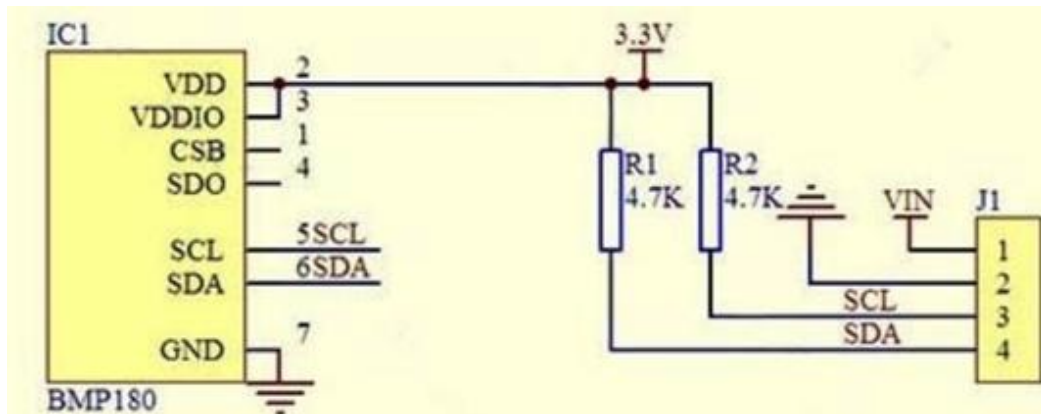


Figura 5.2.4.3. Esquema de conexiones del BMP180

Por otro lado, para configurar el sensor de dirección del viento solo hay que conectar dicho sensor a la patilla analógica A₀ de Arduino, como se muestra en la figura 5.2.4.4.

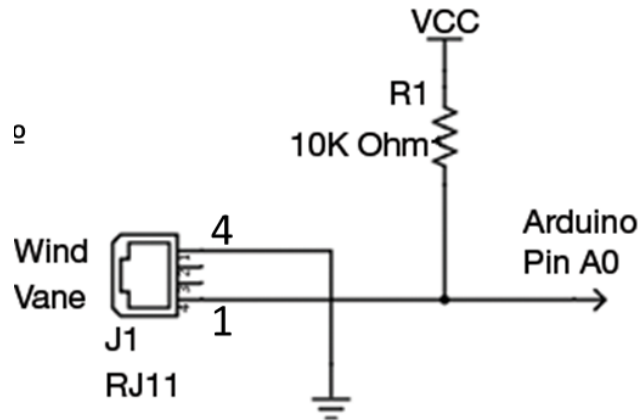


Figura 5.2.4.4. Esquema de conexiones sensor de dirección del viento

El anemómetro se conecta a la patilla 3 del Arduino como se muestra en la figura 5.2.4.5:

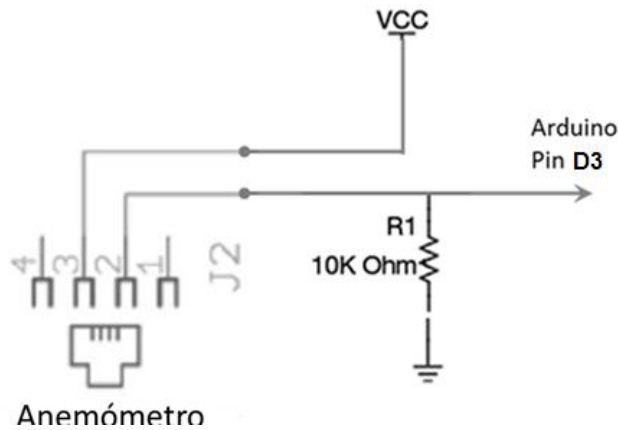


Figura 5.2.4.5. Esquema de conexiones del anemómetro

El pluviómetro se conecta a la patilla digital 19 del Arduino como se muestra en la figura 5.2.4.6.

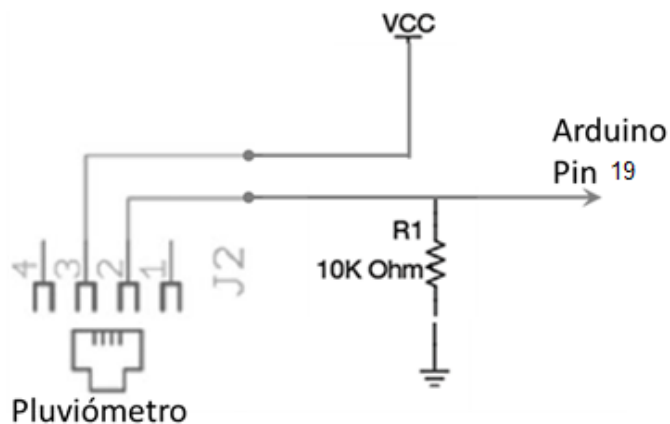


Figura 5.2.4.6. Esquema de conexiones del pluviómetro

Como se ha visto, gracias a que el Arduino Mega dispone de multitud de entradas digitales y salidas, se han podido programar todos los sensores. En la siguiente tabla se resumen qué entradas se han utilizado en esta estación meteorológica.

Pines	Señal	Uso/Sensor
2	Digital/ INT 0	TSL230RD (Radiación)
3	Digital/ INT 1	Velocidad viento
4	Digital	SS sd card (Wi-Fi)
5	Digital	DTH22 (Temperatura y Humedad)
6	Digital	
7	Digital	Handshake between shield and Arduino (Wi-Fi)
10	Digital/SPI	SS para Wi-Fi
11	Digital/SPI	MOSI para Wi-Fi
12	Digital/SPI	MISO para Wi-Fi
13	Digital/SPI	SCK para Wi-Fi
A0	Analógico	Dirección viento
16	Digital	ESP 8266 / Blynk
17	Digital	ESP 8266 / Blynk
18	Digital/ INT 5	
19	Digital/ INT 4	Pluviómetro
20	SDA/ INT 3	I2C (BMP180 presión y RTC)
21	SCL/ INT 2	I2C (BMP180 presión y RTC)

Tabla 5.2.4.1. Resumen de los pines utilizados

Una vez que se han realizado las conexiones mostradas en la tabla 5.2.4.1, se va a mostrar cómo han quedado físicamente montados cada uno de los sensores y qué se ha tenido en cuenta para protegerlos y al mismo tiempo que midan correctamente.

5.2.5. Encapsulado de los sensores para su uso en la estación meteorológica

En el epígrafe anterior se han detallado los distintos sensores que se han integrado y cómo se han conectado. A continuación se va a explicar cómo se ha montado físicamente la estación meteorológica y cómo quedaría la solución integrada.

El primer sensor que se ha montado ha sido el de radiación (TSL230RD). Una de las condiciones más importantes a la hora de montar este sensor es que debe captar la máxima radiación horizontal posible. Por tal motivo, como se muestra en la figura 5.2.5.1, se ha escogido una caja con una cúpula en la parte superior. Esta cúpula, además de captar una alta radiación, se autolimpia e impide la entrada de agua al interior de la caja para que no se dañe el sensor.

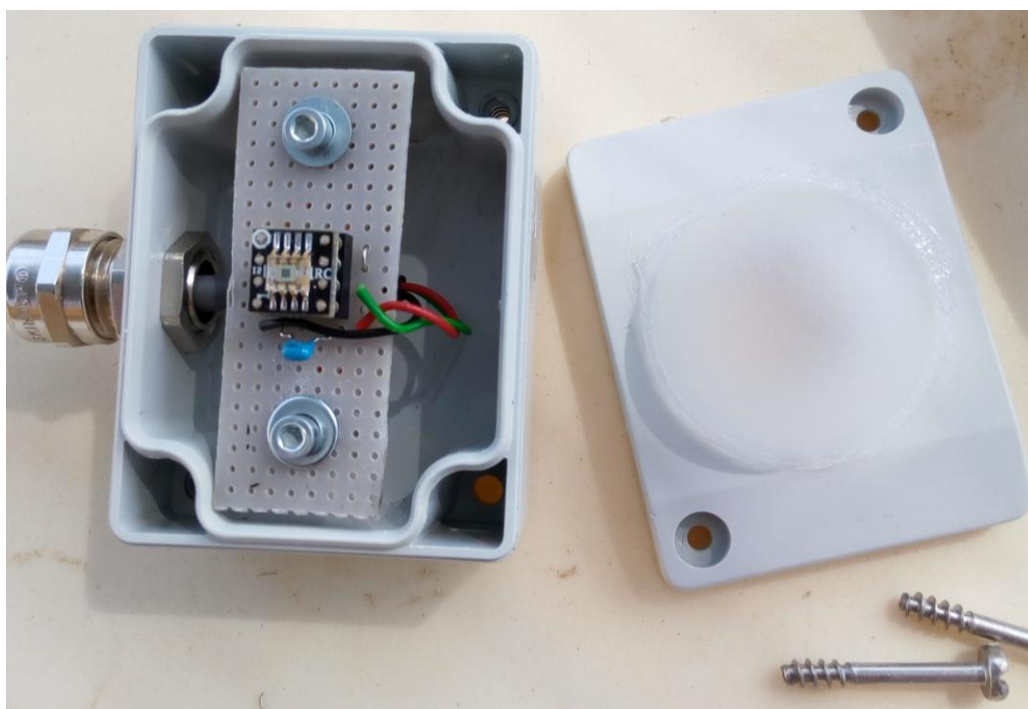


Figura 5.2.5.1. Sensor de radiación

El siguiente sensor es el de temperatura y humedad (DTH22). Este, como el anterior, no debe estar en contacto con el agua. Por tal motivo se ha montado en una caja con orificios, como se puede apreciar en la figura 5.2.5.2.



Figura 5.2.5.2. Caja sensor de temperatura y humedad

Esos orificios son suficientes para que el sensor pueda medir correctamente la temperatura y la humedad. Además, se le ha incluido una malla para que no pueda entrar ningún tipo de insecto como se muestra en la figura 5.2.5.3.

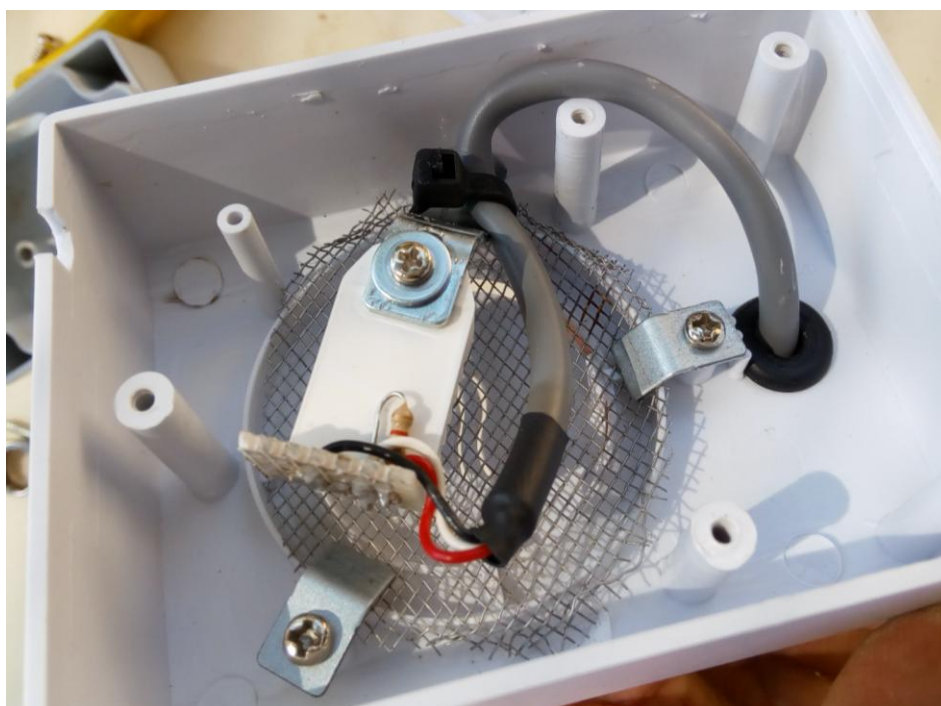


Figura 5.2.5.3. Sensor de temperatura y humedad

El sensor de presión (BMP180), al igual que el de DTH22, solo necesita una rendija para poder medir correctamente. Debido a esto se ha implementado el montaje como se muestra en la figura 5.2.5.4 y 5.2.5.5:



Figura 5.2.5.4. Sensor de presión



Figura 5.2.5.5. Caja sensor de presión

Los sensores “pluviómetro” y “velocidad del viento” no tienen ningún requisito especial a la hora de montarlos. El sensor de dirección del viento tiene que estar orientado teniendo en cuenta los puntos cardinales; para ello, al montarlo se ha orientado hacia el sur con la ayuda de una muesca integrada para tal fin. Por último, como se detallará más adelante, los sensores se conectan a Arduino. En la figura 5.2.5.6 se muestran dichos sensores.



Figura 5.2.5.6. Sensores: pluviómetro, velocidad y dirección del viento.

La conexión de todos los sensores se ha realizado dentro de la caja que se muestra en las figuras 5.2.5.7 y 5.2.5.8. Esto permite la posibilidad de que se pueda transportar la estación y de que no haya ningún peligro en los circuitos a causa de las condiciones meteorológicas. Además, en el lateral izquierdo, tiene una tapa negra que, si se retira, permite la conexión del Arduino con el ordenador.



Figura 5.2.5.7. Caja de conexiones de perfil.

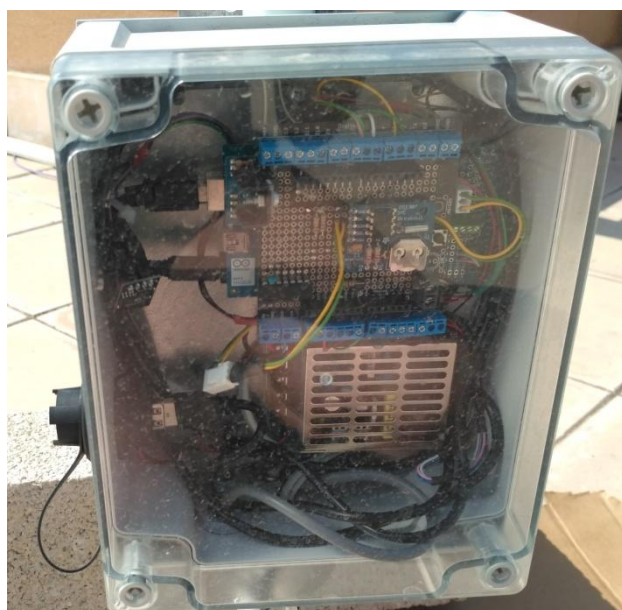


Figura 5.2.5.8. Caja de conexiones.

Una vez que se han comentado todos los sensores utilizados, se va a proceder a mostrar el montaje final en la figura 5.2.5.9.



Figura 5.2.5.9. Montaje final.

En este punto ya se han comentado las características de los sensores utilizados y su implementación. En el siguiente epígrafe se explicará cuál es la solución software.

5.3. Solución software para el desarrollo de la estación meteorológica

Anteriormente se ha detallado la solución hardware planteada. Además se ha elegido el sistema de adquisición de datos más adecuado para este proyecto, que en este caso es Arduino Mega ya que satisface todos los objetivos planteados al inicio de la memoria.

A continuación se va a explicar la solución software, que estará compuesta por la programación realizada en Arduino y por la calibración de los diferentes sensores.

5.3.1. Diseño del entorno de programación de la estación meteorológica

Como se ha comentado anteriormente, para la realización de este trabajo fin de máster se ha utilizado Arduino Mega debido a que este permite usar todas las entradas analógicas y digitales que se necesitan para conectar todos los sensores, así como las interrupciones necesarias. Además es un software libre y permite el aprendizaje de manera autodidacta, por lo que se pueden adaptar los ejemplos disponibles en la red que los usuarios de este tipo de dispositivos ponen a disposición del resto de usuarios de manera libre.

Para realizar el código que controla la estación hay que seguir los pasos que se explican en el flujograma mostrado en la figura 5.3.1.1.

En primer lugar se incluyen las librerías que se quieren utilizar. Cabe destacar que una librería es un código implementado que facilita la comunicación entre un dispositivo y Arduino, en este caso los sensores usados en el desarrollo de la estación. En este tipo de sistemas también se puede optar por implementar el protocolo de comunicación de las entradas seleccionadas de arduino con los sensores seleccionados en la estación meteorológica. Sin embargo, existen librerías que agilizan el proceso de programación en el caso de los protocolos de comunicación. En el anexo de programación, se detallan las librerías utilizadas para tal fin.

El siguiente paso es definir el hardware, es decir, declarar todas las variables necesarias para cada sensor. Las variables declaradas son las que nuestra estación

meteorológica será capaz de medir: temperatura, humedad, presión, radiación, lluvia, dirección y velocidad del viento. Además se configura el Wi-Fi y el reloj RTC.

Por otro lado, los datos se van a almacenar en *ThinkSpeak* y se va a visualizar a tiempo real en la aplicación *Blynk*. Por tal motivo, hay que definir las comunicaciones, especificando el canal y la contraseña en ThinkSpeak; así como la clave de Blynk.

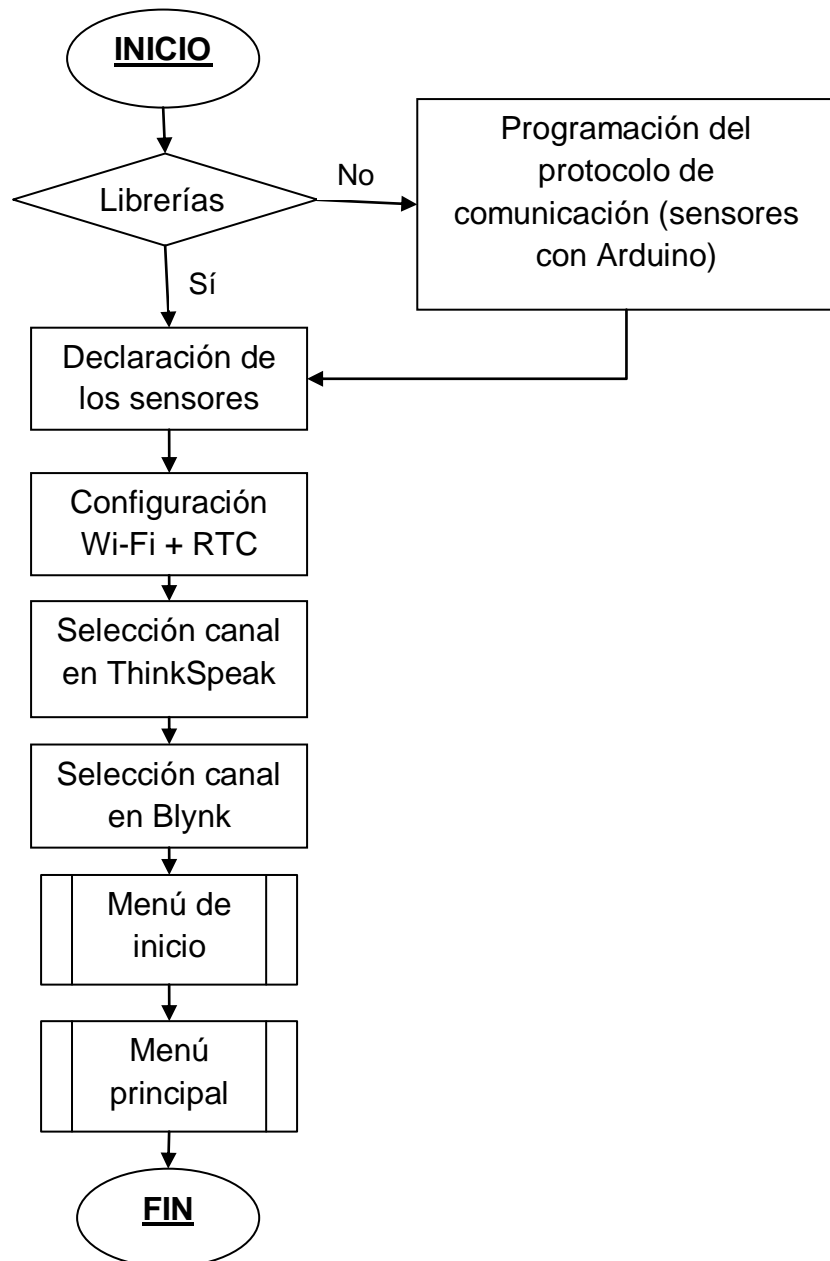


Figura 5.3.1.1. Diagrama de flujo completo

A continuación se debe programar el menú de inicio o “setup” y el menú principal. Para facilitar la comprensión, dichos menús se van a explicar en distintos flujogramas.

En el menú de inicio se inicializan los siete sensores declarados anteriormente como se muestra en la figura 5.3.1.2. Para ello, hay que ir uno a uno declarando qué entradas se han usado e indicar si alguno de ellos va a necesitar una interrupción.

A continuación, es necesario inicializar: el Wi-Fi, la plataforma ThinkSpeak, la aplicación Blynk y el reloj RTC. Además, se iniciará el puerto serie de Arduino por si fuese necesario o se quisiera utilizar.

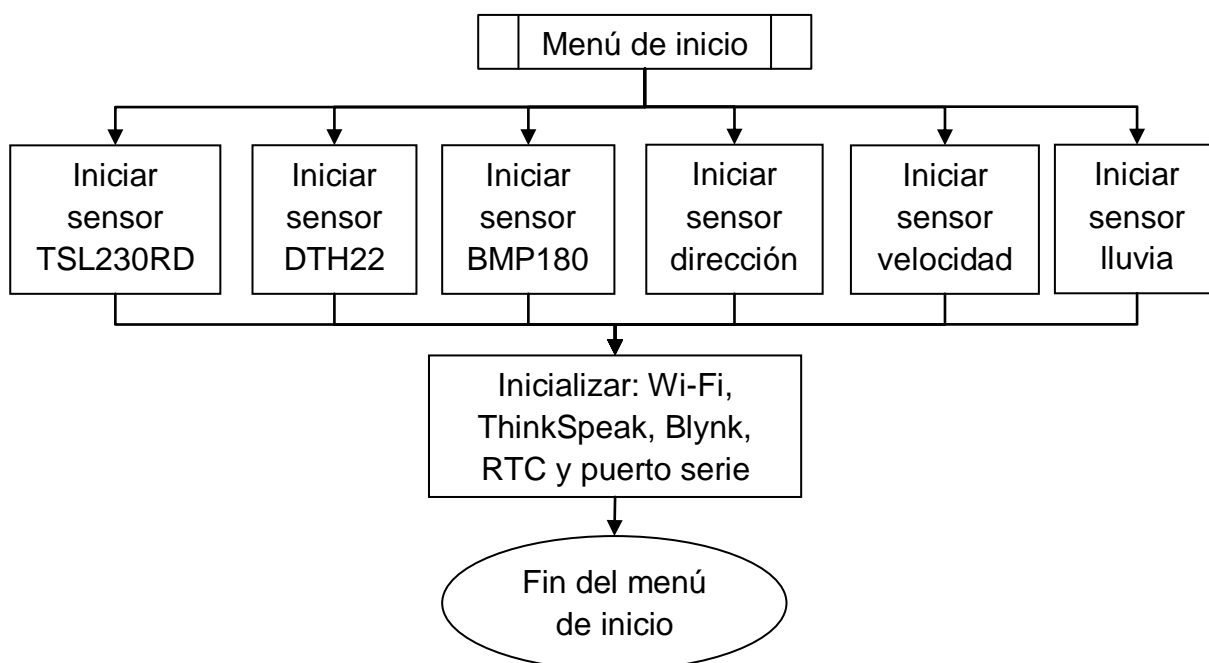


Figura 5.3.1.2. Flujograma del menú de inicio

En este punto ya se ha configurado el menú de inicio y se han establecido las conexiones que hay que realizar para que funcionen correctamente cada uno de los sensores. Así que ahora hay que configurar el menú principal (*loop*) mostrado en la figura 5.3.1.3.

Lo primero que hay que hacer en el menú principal es configurar las siete variables que se quieren adquirir. Para ello, hay que decirle a Arduino cómo convertir la señal adquirida, en la entrada correspondiente, en la unidad de medida adecuada para cada variable. Más adelante se explicará cómo se realiza proceso.

Si se han adquirido las medidas y se ha alcanzado la frecuencia de muestreo impuesta, se envían los datos a la plataforma ThinkSpeak y a la aplicación Blynk. Si no se ha alcanzado la frecuencia de muestreo se vuelve a repetir el proceso, adquiriendo de nuevo las medidas.

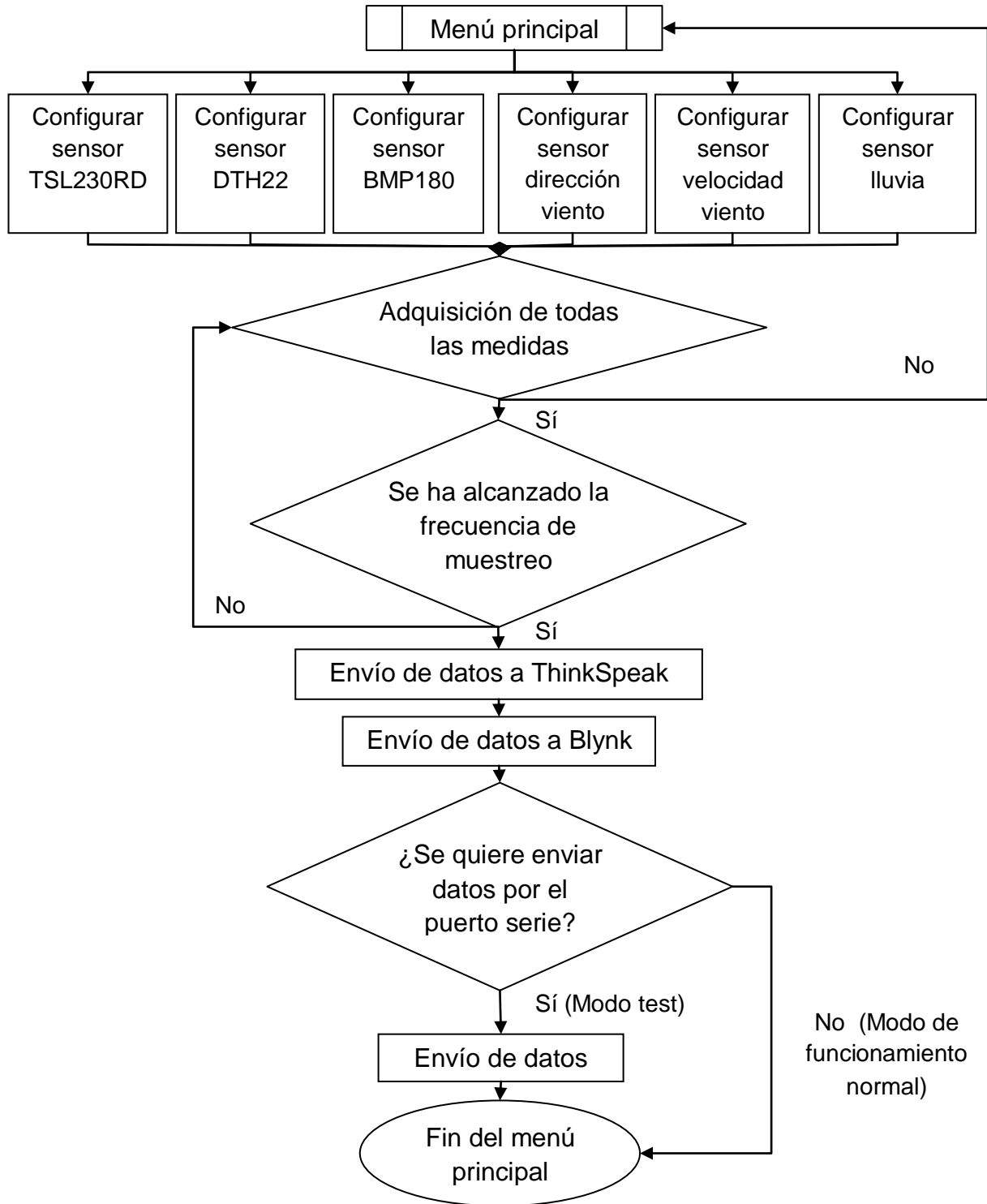


Figura 5.3.1.3. Flujoograma del menú principal

Una vez realizado este último paso, hay que preguntarse si el usuario necesita ver los datos en el programa Arduino (a través del puerto serie) o no. Para realizarlo, se consulta el estado de una variable de control. Si la respuesta es positiva se envían los datos al puerto serie (modo de funcionamiento como test o prueba) y si es negativa no se envían (modo de funcionamiento normal).

Con el modo de funcionamiento test se obtienen los datos offline. Sin embargo, con el modo de funcionamiento normal se obtienen los datos online, es decir, los datos se almacenarán en la nube.

En los esquemas que se muestran posteriormente, se indica de manera más detallada los programas realizados para la adquisición de datos medidos por los diferentes sensores utilizados.

- Sensor de radiación (TSL230RD)

En el sensor de radiación lo primero que se hace es comprobar si se ha adquirido la señal por el pin correspondiente. A continuación, cada vez que el sensor produzca un pulso con flanco ascendente, se activará una interrupción en la cual se irá contando el número de pulsos. En la figura 5.3.1.4 se muestran los pasos seguidos. Para poder operar con la señal, en frecuencia, se divide el número de pulsos entre el tiempo que ha tardado en darlos.

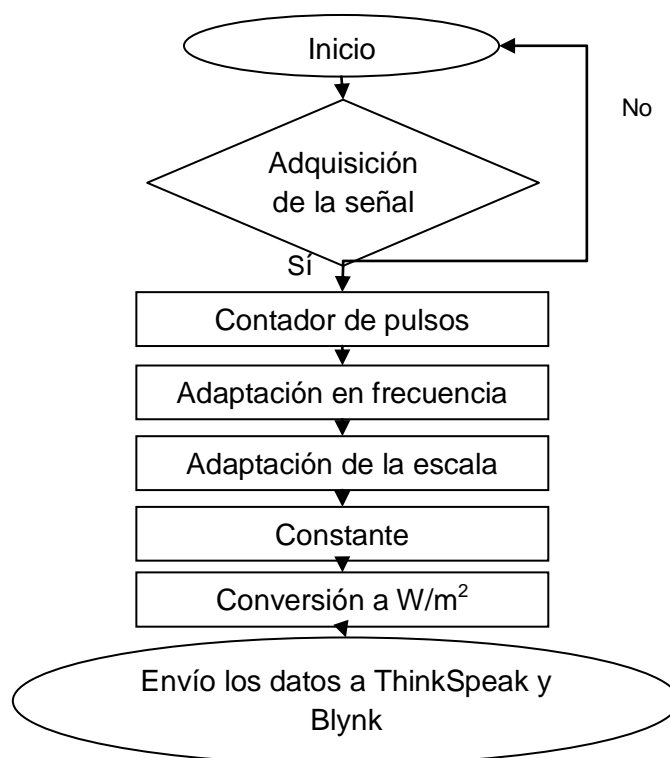


Figura 5.3.1.4. Flujoograma del TSL230RD

La hoja de características muestra que a una longitud de onda de 640 nm y una sensibilidad de 1x, la energía es: 1/10 por la frecuencia. Por tal motivo, se ha de multiplicar por 100 (debido a la escala) y dividir por 10 (para pasar a $\mu\text{W}/\text{cm}^2$). Por otro lado, el sensor se ha recubierto para que esté protegido frente a la lluvia, lo que hace que haya que multiplicar por una constante (0'07). Multiplicando el resultado obtenido en la anterior operación por dicha constante y pasando de $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ a W/m^2 , se obtiene el resultado final.

- Sensor de temperatura y humedad (DTH22)

Para obtener la medida, simplemente hay que decirle a Arduino que guarde el valor obtenido en la entrada correspondiente. En esta ocasión no es necesario realizar ninguna operación, ya que la señal obtenida en dicho pin está en la unidad de medida deseada. El flujoograma correspondiente se muestra en la figura 5.3.1.5.

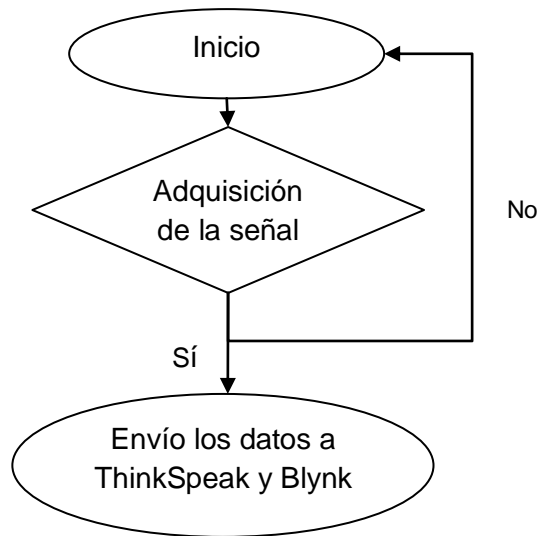


Figura 5.3.1.5. Flujograma del DTH22

- Sensor de presión (BMP180)

Como se comentó anteriormente, el BMP180 incorpora un sensor de temperatura para compensar sus efectos en la medición de la presión barométrica. Por tanto, para obtener la medida solo hay que obtener el valor de la temperatura y posteriormente la presión. Al igual que el sensor de temperatura y humedad, con esta operación ya se tiene la medida final.

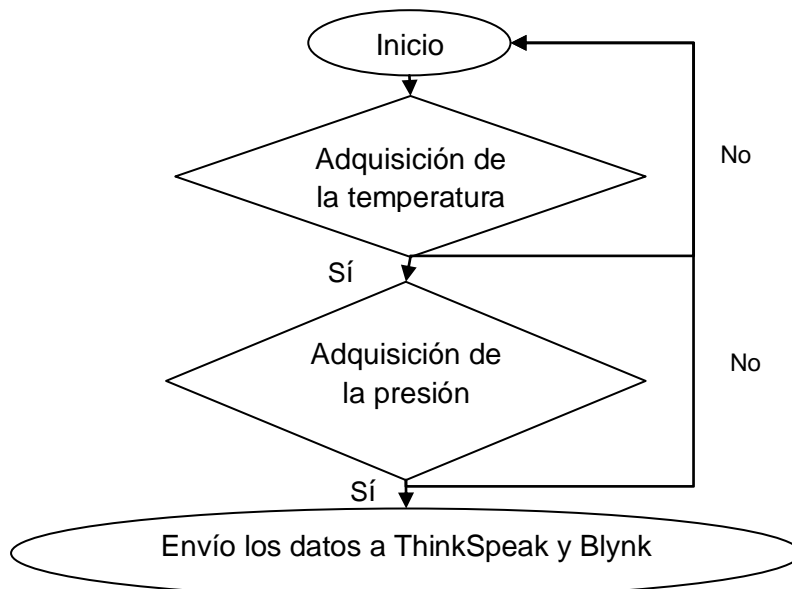


Figura 5.3.1.6. Flujograma del BMP180

En la figura 5.3.1.6 se muestra el flujograma que describe el procedimiento seguido por el sensor de presión BMP180.

- Sensor de dirección del viento

Este sensor lee el valor que hay en el pin analógico A0 del Arduino Mega. Ese valor se estudia comparándolo con la tabla llamada “Puntos cardinales” del apartado “Sensores empleados en el desarrollo de la estación meteorológica”, y se devuelve un resultado que indica a qué punto cardinal corresponde.

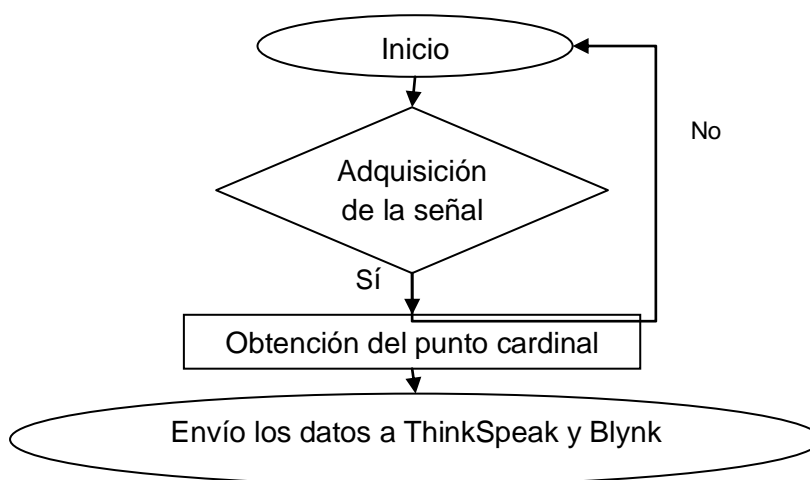


Figura 5.3.1.7. Flujograma del sensor de dirección del viento

En la figura 5.3.1.7 se muestra el flujograma del procedimiento seguido con el sensor de dirección del viento.

- Sensor de velocidad del viento

El sensor de velocidad del viento activa una interrupción con flanco de bajada cada vez que da un pulso. En esta interrupción se van contando los pulsos que se han dado. A continuación se divide la cantidad de pulsos entre el tiempo que se ha tardado.

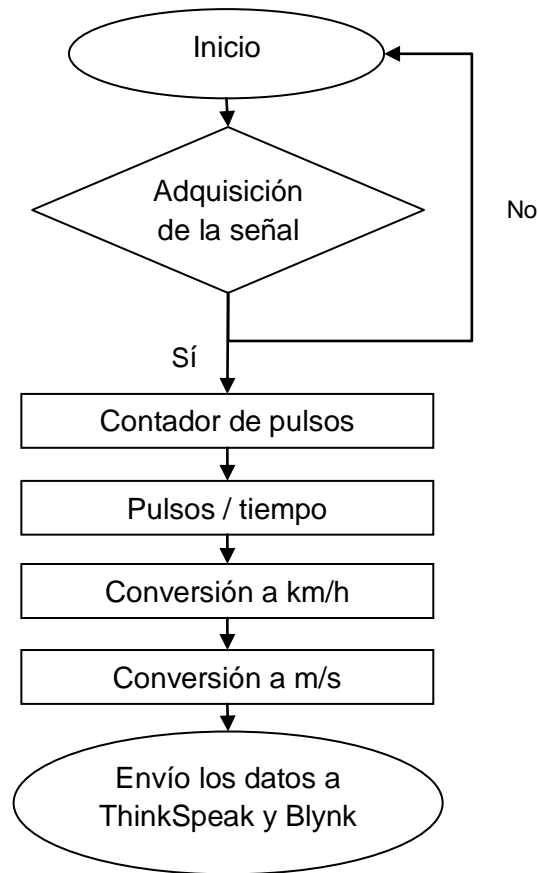


Figura 5.3.1.8. Flujograma del sensor de velocidad del viento

Según el fabricante, para pasar a kilómetros por hora (km/h) se multiplica por 2'4. Este valor se puede pasar a metros por segundo, dividiendo por 3'6. El procedimiento seguido se muestra en la figura 5.3.1.8.

- Pluviómetro

Al igual que el sensor de velocidad del viento, cada vez que se produce un pulso con flanco ascendente se activa la interrupción, en la que se van contando la cantidad de pulsos dados.

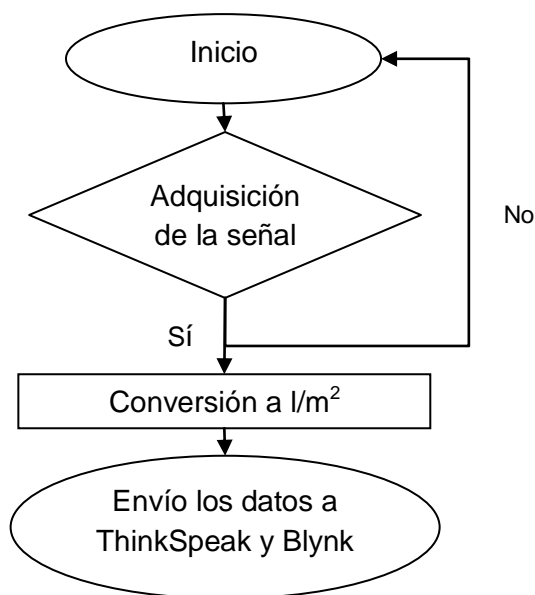


Figura 5.3.1.8. Flujograma del sensor de velocidad del viento

Según el fabricante, por cada 0.2794 mm de agua da un pulso; así que el resultado se obtiene al multiplicar la cantidad de pulsos por este valor. Este resultado final se obtiene en litros por metro cuadrado. Este procedimiento se muestra en la figura 5.3.1.8.

Una vez que se ha realizado la programación de la estación meteorológica, se va a ver cómo se ha realizado la calibración de los sensores para que la medida final se caracterice por tener poco error y ser fiable.

5.3.2. Calibración

Anteriormente se ha detallado cuál ha sido la solución hardware planteada y también se ha explicado cómo se ha realizado la programación en Arduino. En este apartado se van a calibrar los diferentes sensores utilizados.

La calibración es un aspecto importante y que hay que tener en cuenta a la hora de comprar o utilizar algún instrumento, ya que puede disminuir el error notablemente y puede dar una medida más fiable. El precio de un instrumento será superior si se compra calibrado a si no lo está. Por tal motivo, calibrar los sensores se ha considerado un aspecto relevante en este proyecto.

Calibrar es establecer con exactitud la correspondencia entre las indicaciones de un instrumento de medida y los valores de la magnitud que se mide con él [77].

A continuación se van a definir unos parámetros asociados a la calibración [78].

- Campo de medida: conjunto valores entre limite superior e inferior $\{X_i, X_s\}$
- Alcance: diferencia entre limite superior e inferior. $X_s - X_i$. También se conoce como fondo de escala.
- Salida a fondo de escala: diferencia entre las salidas de los extremos del campo de medida: $Y_s - Y_i$.
- Sensibilidad: pendiente de la curva de calibración.

En la figura 5.3.2.1 se representa, en el eje X, la magnitud que se quiere medir y, en el eje Y, la medida obtenida.

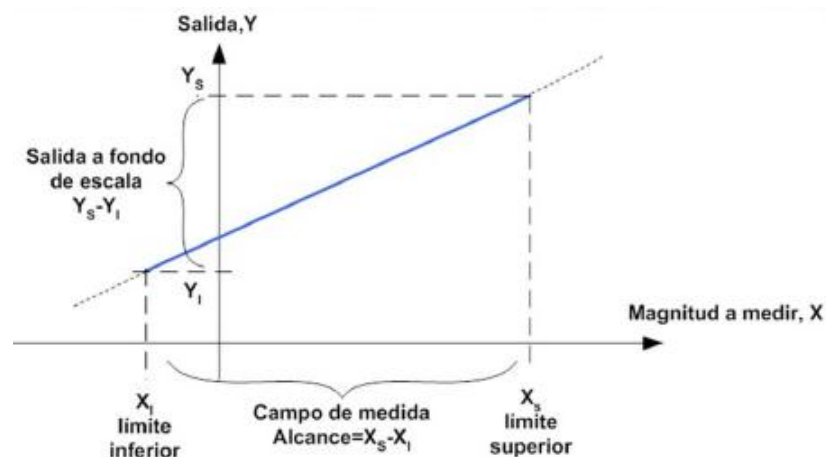


Figura 5.3.2.1. Parámetros asociados a la calibración

Además de estos parámetros, se pueden definir los errores asociados a la medida [78]:

- Error absoluto: valor medido menos valor exacto en valor absoluto.

$$\text{Error absoluto} = |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|$$

(Ec. 5.3.2.1)

- Error relativo: error absoluto dividido entre el valor exacto.

$$\text{Error relativo} = \frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}}$$

(Ec. 5.3.2.2)

A continuación, como se muestra en la figura 5.3.2.2, se va a explicar el procedimiento seguido para calibrar los distintos sensores utilizados en este TFM.

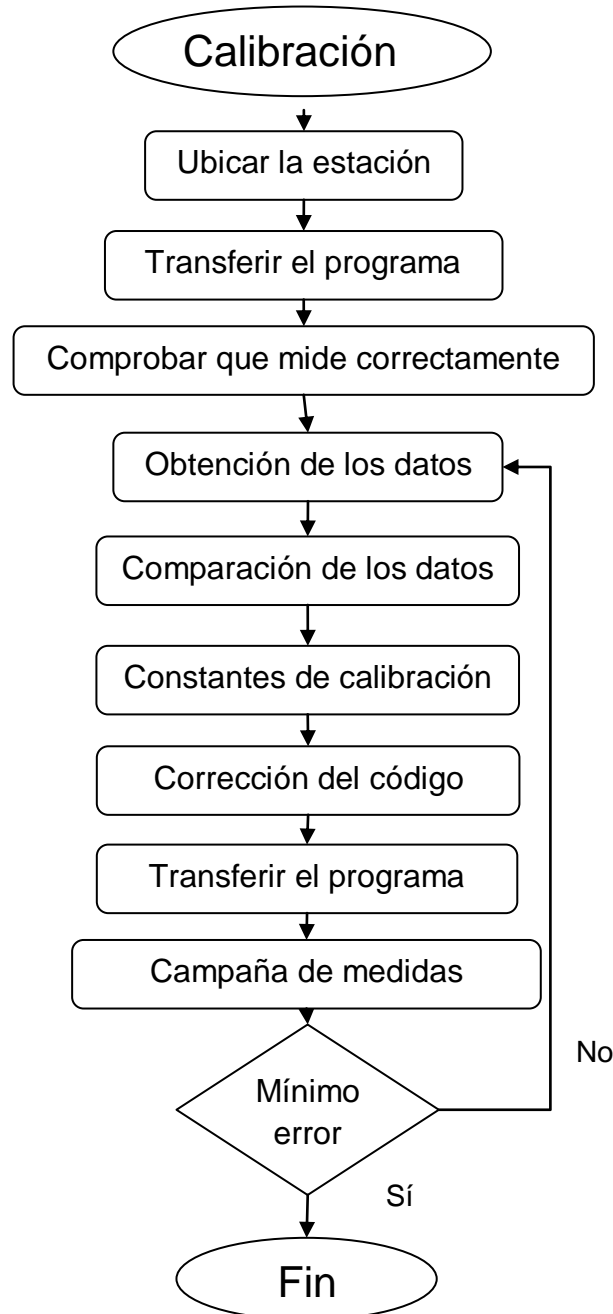


Figura 5.3.2.2. Flujograma de la calibración

Para calibrar los sensores se va a utilizar como referencia la estación meteorológica, explicada anteriormente en el apartado llamado “estaciones

meteorológicas de gama alta”, y que está instalada en el edificio de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de Jaén (UJA), en concreto es la: “Metodata/Hidrodata 3000C Series” de “Geónica.SA”.

Para que las medidas obtenidas por la estación meteorológica diseñada sean lo más parecidas posible a las de la estación de referencia, se ha instalado la estación diseñada al lado de la estación de referencia de la UJA. En la figura 5.3.2.3 se pueden observar dichas estaciones.



Figura 5.3.2.3. Estación meteorológica diseñada junto a la de referencia

Una vez que se ha ubicado en el lugar correcto, se ha transferido el código realizado y se ha dejado tomando datos. Después se ha estado observando la estación para comprobar que estaba midiendo correctamente.

A continuación se han descargado los datos almacenados de la estación diseñada y de la estación meteorológica de la UJA. Después de esto se han

comparado los datos de ambas estaciones. En algunos sensores se ha visto que hacía falta introducir una constante de calibración para que la medida obtenida tuviese el menor error posible al compararla con la medida de referencia.

Para realizar correctamente la calibración se ha realizado una campaña de medidas y en el anexo 2 se recogen a modo ejemplo dos días. En dicho anexo, se pueden observar las curvas de calibración y las constantes introducidas, así como el cálculo de los errores para cada uno de los sensores. También se han calculado otras características asociadas a las variables medidas.

Una vez hecho esto se ha corregido el código y se ha vuelto a introducir dicho código en la estación de bajo coste. A continuación se ha comprobado que la estación sigue midiendo correctamente y cómo los valores obtenidos son similares a los de referencia.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos en cada uno de los sensores de las diferentes características evaluadas:

Sensor	Constante de calibración	Error absoluto	Error relativo (%)	Campo de medida	Alcance	Salida a fondo de escala	Linealidad
Temperatura	Ninguna	1.8 °C	5.5 %	25-36.5 °C	11.5 °C	15 °C	1.26
Radiación	Ninguna	38.9 $\frac{W}{m^2}$	11 %	0-990 $\frac{W}{m^2}$	990 $\frac{W}{m^2}$	925 $\frac{W}{m^2}$	0.92
Humedad	Ninguna	2.13 %	7.5 %	10.5-33.5	23 %	26 %	1.09
Presión	(Valor experiment al-15.3)/0.99	0.8 mbar	0.08 %	963.65 – 966.9 mbar	3.25 mbar	3.2 mbar	1
Velocidad del viento	-0.17 * VE2 + 1.86*VE	0.5 m/s	25.5 %				
Dirección del viento	Ninguna	40 °	19.8 %				
Pluviómetro	Ninguna	0.0475 l/m2	1.11 %	0 – 10 l/m ²	10 l/m ²	10 l/m ²	1

Tabla 5.3.2.1. Características de la calibración

En la tabla 5.3.2.1 se puede observar que, una vez introducidas las constantes de calibración, la fiabilidad de la medida es bastante alta en casi todos los sensores. Los sensores de velocidad y dirección del viento tienen un error mayor debido a que

la estación diseñada no se encuentra a la misma altura que la de referencia. Además, es posible que haya influido negativamente en la medida el hecho de la presencia de elementos que obstaculizan el paso del aire hacia la estación diseñada, como módulos solares en la terraza donde se ha realizado la medida (se puede apreciar en la figura 5.3.2.5). Teniendo esto en cuenta y observando el resto de sensores, puede verse que la fiabilidad de la medida es muy alta y que se han obtenido valores muy próximos a los de referencia con unos dispositivos de bajo coste.



Figura 5.3.2.5. Estación diseñada rodeada de obstáculos

Una vez calibrados todos los sensores se va a proceder a explicar cómo se ha llevado a cabo el almacenamiento y monitorización de los datos obtenidos con la estación meteorológica diseñada.

6. ALMACENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

En el epígrafe anterior se ha explicado cómo se ha diseñado una estación meteorológica de bajo coste, tanto la parte hardware como la software. En este epígrafe se va a detallar cómo se están almacenando los datos obtenidos con la estación, así como cómo se pueden monitorizar dichos datos.

6.1. Plataforma de telemonitorización

La plataforma de telemonitorización elegida es ThinkSpeak. Como se ha explicado anteriormente, dicha plataforma permite almacenar y monitorizar los datos.

Para utilizar *ThingSpeak* es necesario crear una cuenta. En ella se representarán los datos de la estación meteorológica diseñada. El nombre del canal es “ESTACIÓN METEOROLÓGICA” y el enlace que lleva a dicho canal es el siguiente: <https://thingspeak.com/channels/235567>

Esta plataforma se usa para poder almacenar los datos obtenidos con la estación meteorológica, visualizarlos y permite que puedan ser procesados. En este TFM se han tomado datos de las 7 variables cada minuto y se han enviado a dicha plataforma.

La primera parte del canal tiene la apariencia mostrada en la figura 6.1.1:

The screenshot shows the ThinkSpeak channel interface. At the top, there is a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Community', and 'Support'. On the right, there are links for 'How to Buy', 'Account', and 'Sign Out'. The channel title is 'Estación Meteorológica'. Below the title, there are social media sharing buttons for Watch, Tweet, Me gusta, and Compartir. The channel ID is 235567, the author is irenerf, and the access is Public. A description in Spanish states: 'Una parte de este TFM, realizado en la Universidad de Jaén, consiste en monitorizar parámetros ambientales mediante una estación meteorológica de bajo coste. https://drive.google.com/file/d/0BwdkjjkkjEYRbFBLZ2JISm5INIU/view?usp=sharing'. Below the description, there are tabs for 'Private View', 'Public View', 'Channel Settings', 'API Keys', and 'Data Import / Export'. At the bottom, there are buttons for 'Add Visualizations', 'Data Export', 'More Information', 'MATLAB Analysis', and 'MATLAB Visualization'. The 'Channel Stats' section shows: Created: 4 months ago, Updated: about 16 hours ago, Last entry: about 16 hours ago, and Entries: 96344.

Figura 6.1.1. Apariencia canal en ThinkSpeak

Como se puede observar en la imagen anterior, lo primero que aparece es el nombre. A continuación se tiene un identificador que es el nombre de usuario y sirve para programar el código en Arduino. Después aparece el autor de ese canal y una breve descripción. En este canal se ha descrito brevemente en qué consiste este proyecto poniendo una introducción y un enlace a un documento que detalla el TFM más en profundidad.

Además hay tres botones más:

- Add visualizations: sirve para que el creador del canal añada algún código implementado en Matlab. Por ejemplo, algún tipo de gráfica específica.
- Data export: sirve para que la persona que visita la página se pueda descargar los datos que está visualizando en ese momento.
- More information: lleva a un documento que explica en qué consiste este proyecto. En la figura 6.1.2 se muestra un fragmento de este documento.

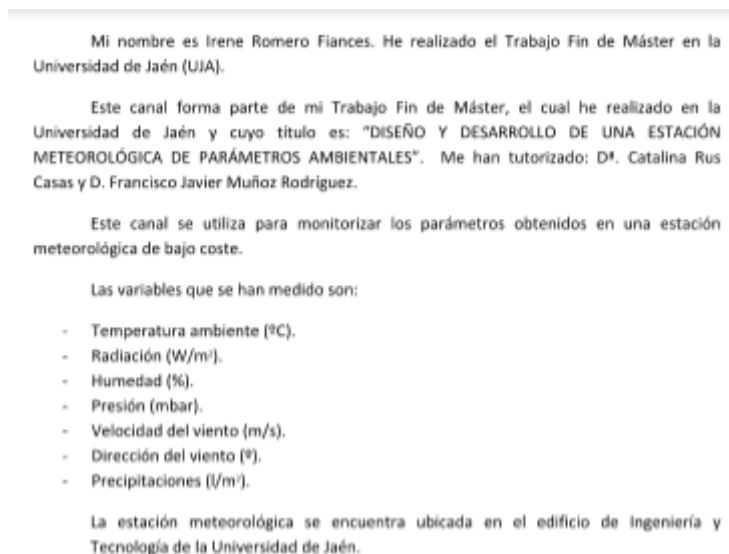


Figura 6.1.2. Documento en ThinkSpeak

Un canal en ThinkSpeak tiene la vista privada y la vista pública. La primera de ellas solo es visible por el propietario del canal y la segunda está abierta a cualquier persona. En cada una de las vistas se pueden añadir hasta 8 gráficas. En este caso se van a utilizar 7, una por cada variable meteorológica. Además también se puede poner la localización de los datos que se están representando.

En cada una de las gráficas se puede configurar la manera en la que se visualizan los datos, como por ejemplo, la cantidad de datos que se quiere mostrar. En la figura 6.1.3 se pueden ver las diferentes opciones. En este TFM se le ha modificado el título de la gráfica, la cantidad de datos a mostrar y dependiendo de la variable se ha seleccionado gráfica de línea o de barras (para el sensor de lluvia).

Field	Value	Field	Value
Title:	Radiación (W/m2)	Timescale:	
X-Axis:		Average:	
Y-Axis:		Median:	
Color:	#d62020	Sum:	
Background:	#ffffff	Rounding:	
Type:	line	Data Min:	
Dynamic?:	true	Data Max:	
Days:		Y-Axis Min:	
Results:	4700	Y-Axis Max:	

Save Cancel

Figura 6.1.3. Opciones de gráfica

Por otro lado, ThinkSpeak tiene una pestaña llamada “Apps” (mostrada en la figura 6.1.4). Dicha pestaña tiene diferentes aplicaciones, por ejemplo, permite cambiar la apariencia de las gráficas o conectar dicho canal con las redes sociales. En este TFM se ha realizado un código en Matlab, dentro de dicha pestaña; lo que ha permitido mostrar una lista con los valores actuales de las variables estudiadas como se muestra en la figura 6.1.5.

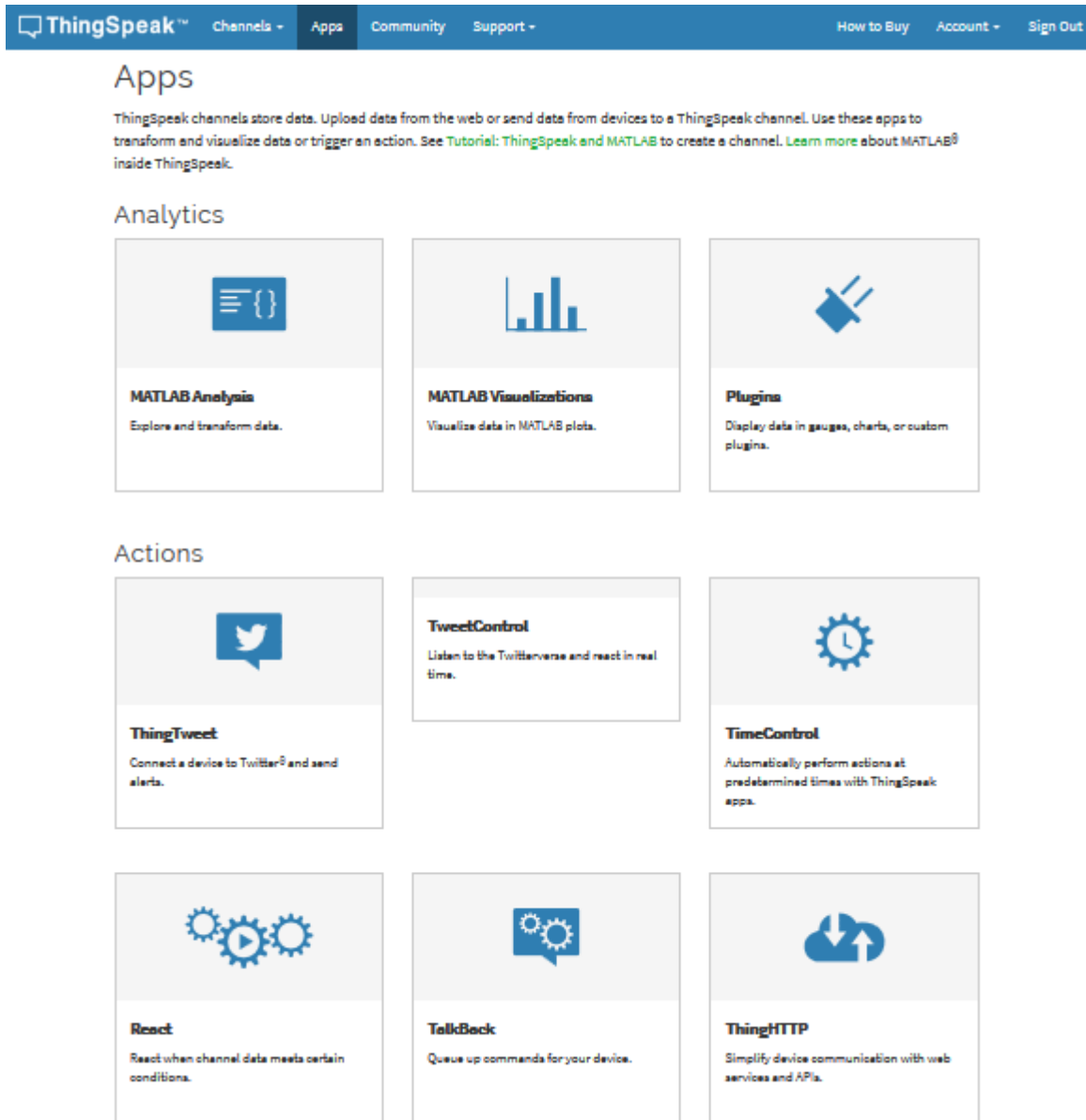


Figura 6.1.4. Opciones de gráfica

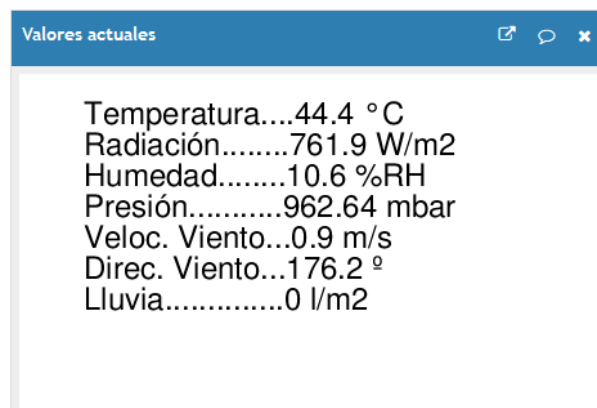


Figura 6.1.5. Opciones de gráfica

Si una persona cualquiera entra en el canal, accederá a la vista pública y podrá observar la apariencia mostrada en la figura 6.1.6.

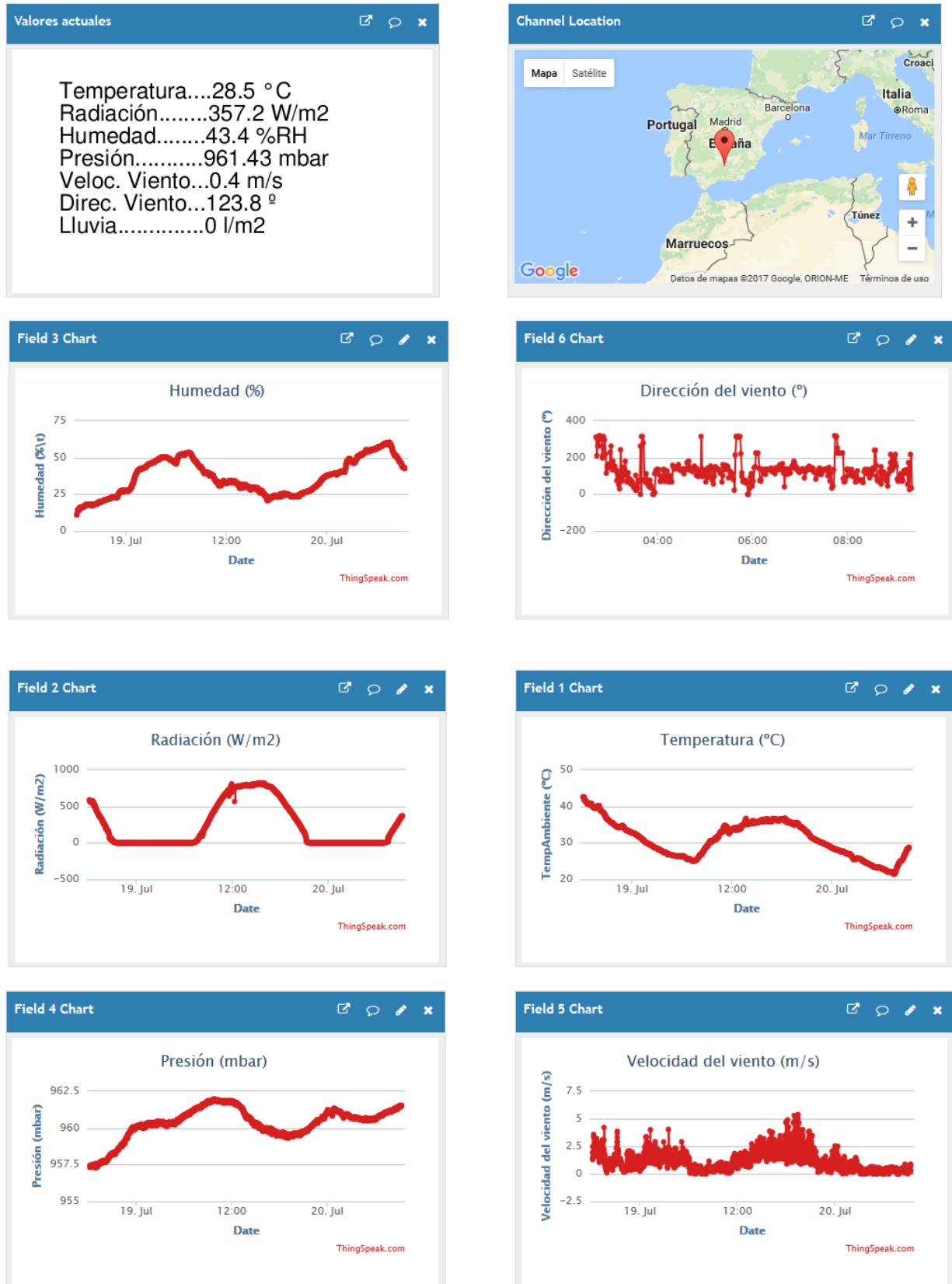


Figura 6.1.6. Apariencia pública canal ThinkSpeak

La figura 6.1.6 muestra una serie de gráficas en las que se van representado los datos enviados por el Arduino y, como se ha dicho anteriormente, se van almacenando. Sin embargo, ThinkSpeak permite almacenar 3 000 000 mensajes gratis (figura 6.1.7).

License Type: Free		
Free Messages	Messages Remaining	Expiration Date
3.000.000	2.837.827	13 Feb 2018

To purchase a license:
[How to Buy](#)

Recommended maximum daily usage based on your annual capacity: **8.219 messages**
 For questions about exceeding suggested daily usage rate or for purchasing new units, see the [Licensing FAQ](#)

Figura 6.1.7. Mensajes gratis en ThinkSpeak

Cabe mencionar, que a *ThinkSpeak* no se pueden enviar datos de las 7 variables a la vez. Por tal motivo, se ha enviado 4 variables en la primera mitad del minuto y, en la segunda mitad, las otras 3 variables restantes; es decir, se realizan dos mensajes o envíos por minuto. Si se hace el cálculo, como se indica en la ecuación 6.1.1, al día se envía 2880 mensajes.

$$2 \frac{\text{mensajes}}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 2880 \frac{\text{mensajes}}{\text{día}}$$

(Ec. 6.1.1)

Dividiendo la cantidad de mensajes gratis que la plataforma ofrece entre la cantidad de mensajes que se envía al día, se obtiene una autonomía de aproximadamente 1042 días.

$$\frac{3\,000\,000 \text{ mensajes gratis}}{2 \frac{\text{mensajes}}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{día}}} = 1041.7 \text{ día}$$

(Ec. 6.1.2)

La ecuación 6.1.2 representa la autonomía gratuita que ofrece ThinkSpeak o, lo que es lo mismo, la cantidad de información que se puede acumular en el canal.

6.2. Monitorización en dispositivos inteligentes

Los datos se pueden representar en ThinkSpeak de tal manera que quedan almacenados y pueden ser procesados posteriormente. Sin embargo, hoy en día es tendencia el uso de aplicaciones en los dispositivos móviles o tablets. Por este motivo y porque una estación meteorológica integrada en aplicaciones puede ser útil en los diferentes campos estudiados anteriormente, se ha decidido usar Blynk. Dicha aplicación permite visualizar los datos de manera instantánea.

Para configurar esta aplicación lo primero que hay que hacer es abrirla y crear un nuevo proyecto. Una vez hecho esto, se abre una nueva ventana en la cual se escribe el nombre del proyecto y se eligen la placa de Arduino escogida (Mega en este caso). Estos pasos se muestran en la figura 6.2.1.

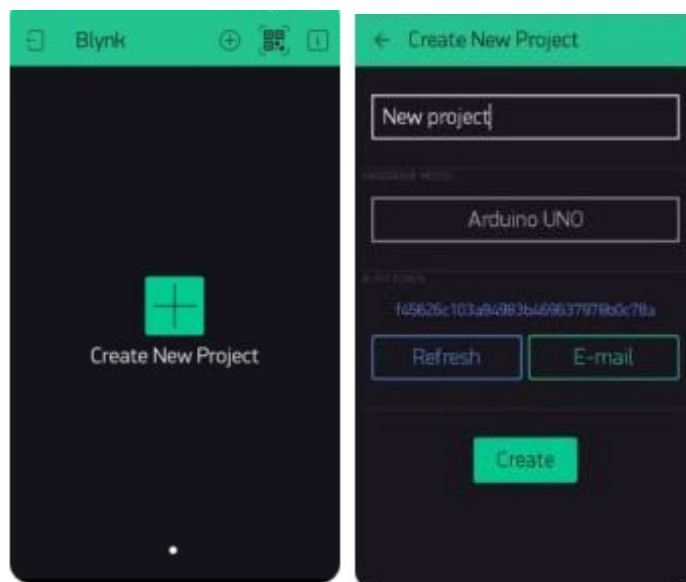


Figura 6.2.1. Configuración de Blynk

En la parte superior derecha de la figura 6.2.2, hay un signo más. Si se pulsa aparecerá una lista de iconos (widgets) para añadir al proyecto.

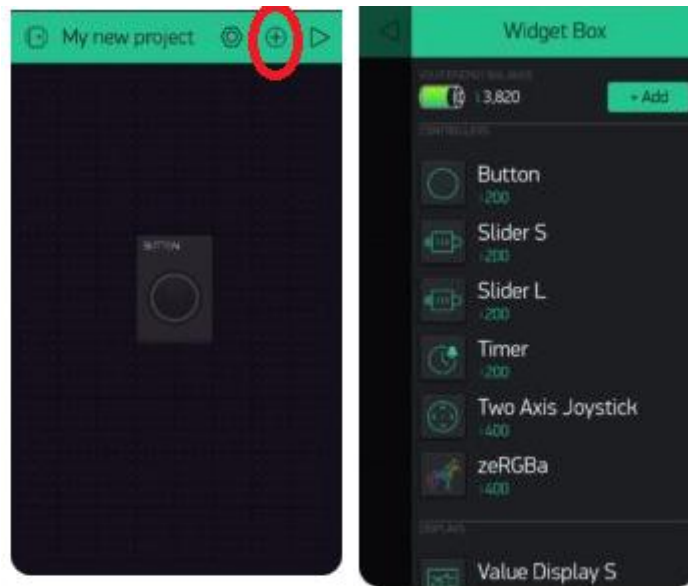


Figura 6.2.2. Widget Box

Cabe mencionar que Blynk ofrece una “energía” gratis, la cual permite añadir elementos; y que cada *widget* gasta una cantidad de “energía”. Si se acaba se puede adquirir más pagando una cierta cantidad de dinero [79].

Si se selecciona un *widget*, inmediatamente se añadirá al panel. En cada *widget* se podrá añadir un nombre. Además, se selecciona el pin por el que se va a comunicar con Arduino (en la figura 6.2.3 sería el V1).

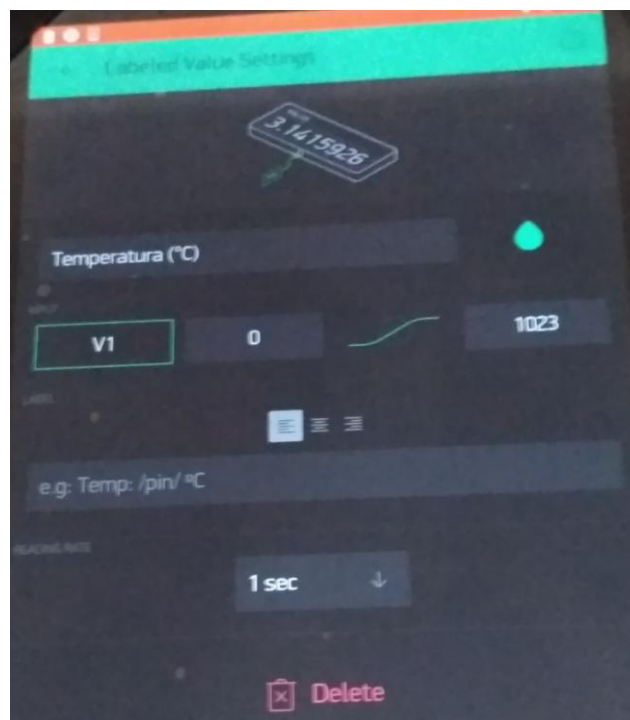


Figura 6.2.3. Widget Box

Una vez elegidos todos los displays y configurado la aplicación acorde a las necesidades de este TFM, se diseña la siguiente apariencia en la que se muestran los valores instantáneos.



Figura 6.2.4. Apariencia Blynk

Como se puede observar en la figura 6.2.4, en esta aplicación se va a representar la radiación en un gráfico. Las demás variables meteorológicas se van a mostrar únicamente con el valor que tengan en ese momento.

En este punto ya se ha diseñado la estación meteorológica, y se ha conseguido almacenar y monitorizar los datos obtenidos mediante dicha estación. A continuación se van a mostrar los resultados obtenidos en este TFM.

7. RESULTADOS EN DIFERENTES CASOS DE ESTUDIO

En anteriores epígrafes se ha diseñado y desarrollado una estación meteorológica de bajo coste. La estación diseñada tiene las siguientes ventajas:

- Se utiliza Arduino y es un software libre. Esto implica que cualquier usuario tiene acceso a él y, además, permite al usuario programar libremente.
- A este prototipo de estación se le pueden añadir los sensores que se deseen y/o cambiarlos por otros distintos.
- Es una estación meteorológica de bajo coste (115 €).
- Los parámetros registrados se suben a la nube a través de Internet. Esto implica que quedan almacenados en ThinkSpeak y no existe la posibilidad de pérdida de los mismos.
- Ofrece la posibilidad de monitorizar, a tiempo real, los valores de las diferentes variables en la aplicación Blynk.
- Permite descargar los datos desde ThinkSpeak usando Matlab. Como consecuencia de esto, también posibilita tratar los datos realizando, por ejemplo, la representación gráfica de la variable que se necesite.
- Con todos los datos almacenados se puede investigar la influencia de los parámetros meteorológicos en distintos ámbitos de la vida.

Tras realizar el diseño y desarrollo de la estación, así como la calibración, el prototipo ha sido probado con éxito y a continuación se muestran algunos de los valores recogidos. Como se ha comentado anteriormente, los datos se puede ver en el canal de ThinkSpeak y de manera instantanea en la aplicación Blynk. En este epígrafe se van a poner tres ejemplos: un día soleado, otro parcialmente nublado y otro nublado con altas temperaturas.

7.1. Día soleado

Un día soleado fue el 20 de julio de 2017. En la figura 7.1.1 se representa el sensor de radiación y el de temperatura. Ambos sensores tienen un buen comportamiento. El error que se produce en las horas más altas de radiación se debe a que el sensor cuando alcanza una determinada radiación ya no puede dar valores

más altos. Sin embargo, excepto esas horas en las que se produce el pico de radiación, el sensor ofrece una medida muy real.

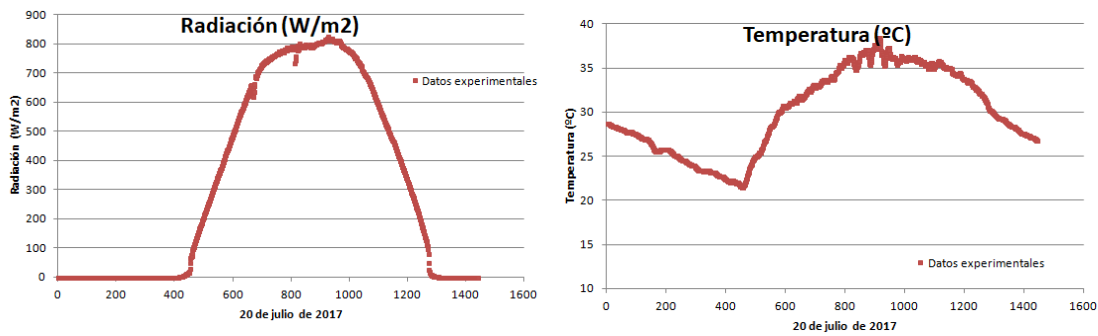


Figura 7.1.1. Radiación y temperatura de un día soleado

En la figura 7.1.2 se muestra que el sensor de presión y el de humedad.

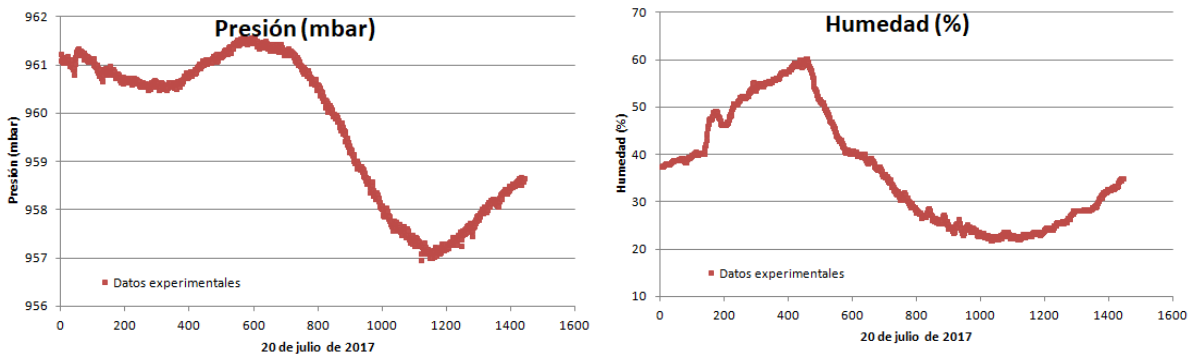


Figura 7.1.2. Presión y humedad de un día soleado

La figura 7.1.3 se muestran los sensores de velocidad y dirección del viento. A

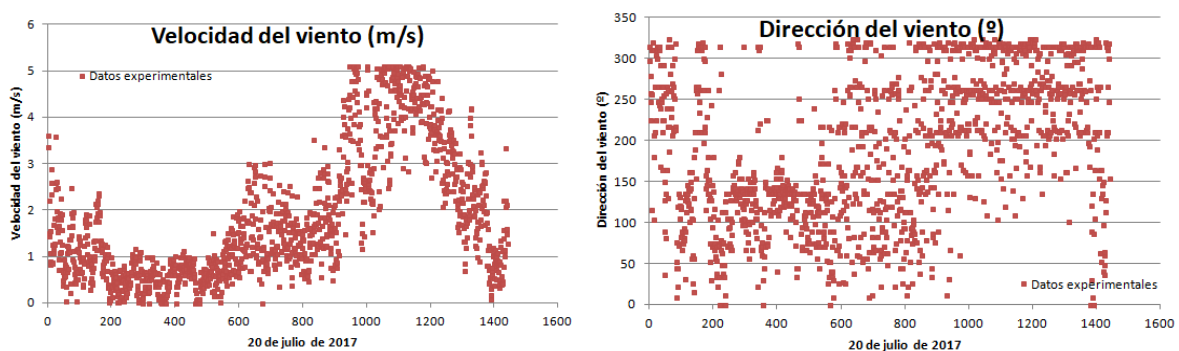


Figura 7.1.3. Velocidad y dirección del viento de un día soleado

A continuación se detallan el resultado de los errores obtenidos en este ejemplo expuesto:

Sensor	Temperatura	Radiación	Humedad	Presión	Veloc. Viento	Direc. Viento
Error absoluto	2 °C	43 $\frac{W}{m^2}$	3.7 %	0.8 mbar	0.4 m/s	42 °
Error relativo	9 %	12.7 %	10 %	0.08 %	25 %*	20% *

Tabla 7.2.1. Características de un día parcialmente nublado

(*) En un minuto se toman varios valores. El valor obtenido por minuto es la media de todos los valores obtenidos durante dicho minuto. Cada estación toma los valores en un determinado segundo, por lo que si hay ráfagas probablemente no va a coincidir el valor medio obtenido entre una estación y otra. Es decir, si durante un minuto hay ráfagas de viento, la media obtenida no será representativa del viento ya que dependiendo del segundo en el que se tome la velocidad tendrá un valor u otro. Por tanto, para calcular este valor se han eliminado los datos producidos durante las ráfagas de viento.

Como se puede observar en la tabla 7.2.1, en un día soleado los sensores se comportan correctamente y el error que se produce es similar al que se ha obtenido en la calibración. Ambos motivos avalan la correcta calibración de los sensores.

7.2. Día parcialmente nublado

El día 22 de julio de 2017 fue un día parcialmente nublado y con bastantes ráfagas de viento. En la figura 7.2.1 se puede observar que hubo algunas nubes que hicieron que la radiación bajase. Por otro lado, el sensor de radiación siguió una buena tendencia aunque aumentó un poco el error cometido.

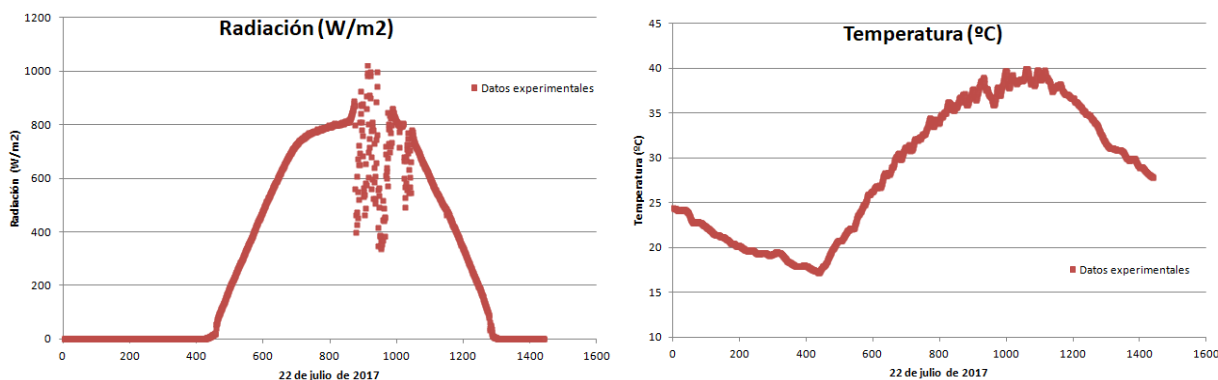


Figura 7.2.1. Radiación y temperatura de un día parcialmente nublado

En la figura 7.2.2 se puede observar la representación gráfica de la presión y del sensor de humedad.

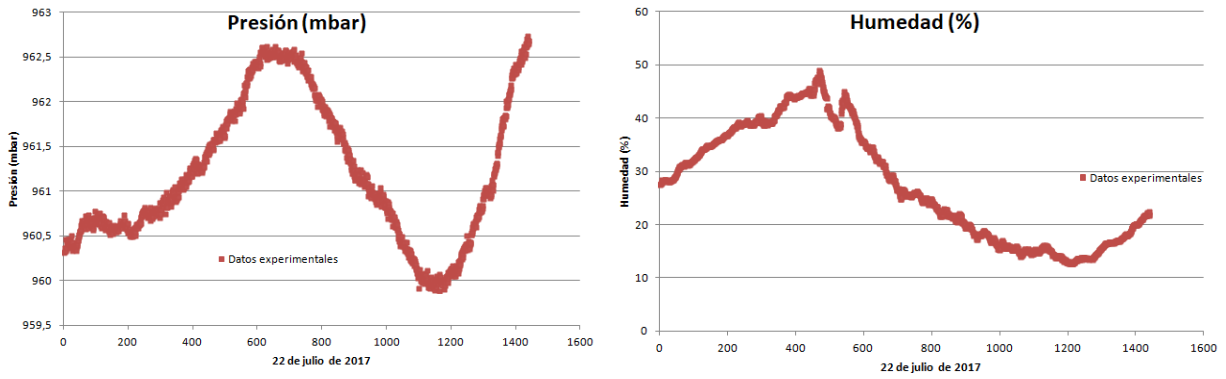


Figura 7.2.2. Presión y humedad de un día parcialmente nublado

En la figura 7.2.3 se puede apreciar que durante este día hubo fuertes ráfagas de viento, lo que hace que el error en los sensores aumente.

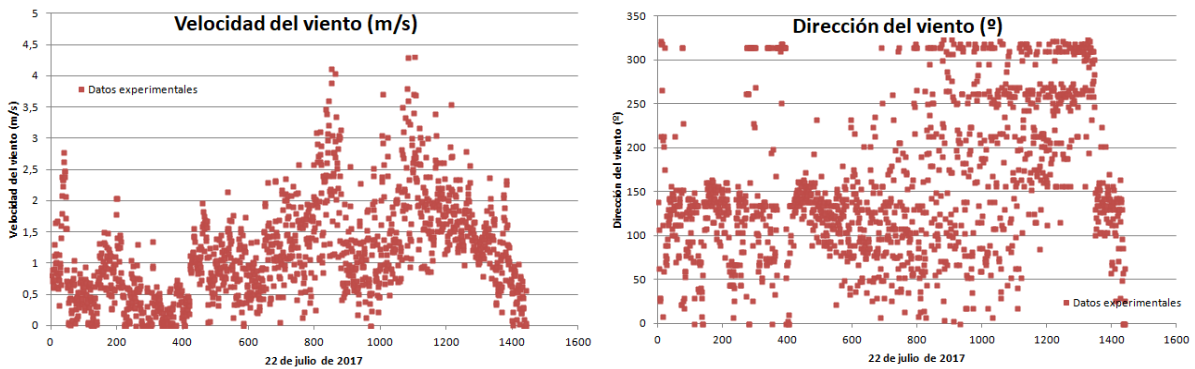


Figura 7.2.3. Velocidad y dirección del viento de un día parcialmente nublado

Si se cuantifica el error de las gráficas del día expuesto se obtiene la siguiente tabla:

Sensor	Temperatura	Radiación	Humedad	Presión	Veloc.Viento	Direc. Viento
Error absoluto	2.7 °C	44 $\frac{W}{m^2}$	3 %	0.13 mbar	0.3 m/s	43 °
Error relativo	10 %	13.7 %	12 %	0.013 %	26 %*	24%*

Tabla 7.2.1. Características de un día parcialmente nublado

(*) No se han tenido en cuenta los datos obtenidos durante ráfagas de viento.

En la tabla 7.2.1 se puede apreciar una pequeña variación del error relativo cometido en los sensores de temperatura, radiación, humedad y presión con respecto al ejemplo anterior.

7.3. Día nublado y con altas temperaturas

El día 18 de julio de 2017 fue un día nublado y, como consecuencia del verano, las temperaturas eran altas. En la figura 7.3.1 se puede observar que hubo nubes que hicieron que la radiación bajase y en esos instantes el sensor calibrado respondió bien al dar una radiación más baja. Cabe destacar que el error en el sensor de temperatura se produce cuando las temperaturas son más altas.

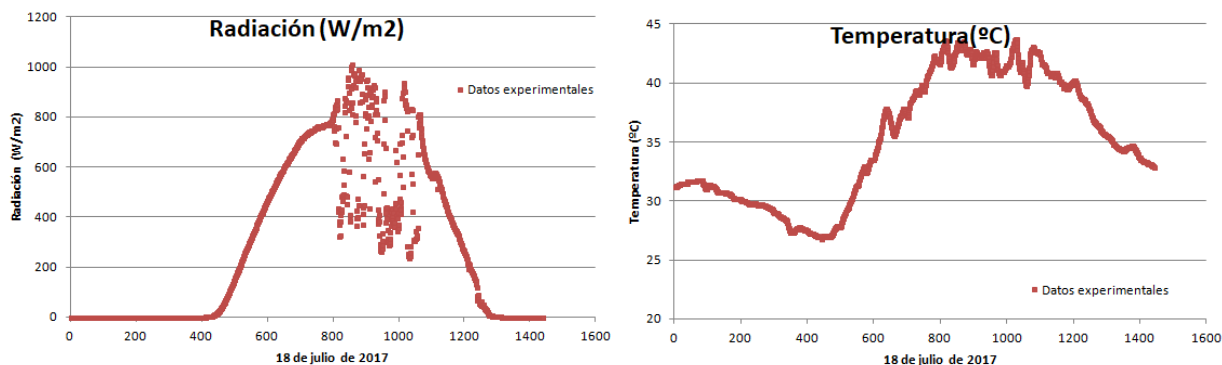


Figura 7.3.1. Radiación y temperatura de un día nublado

En la figura 7.3.2 se puede observar la gráfica de la presión y de la humedad..

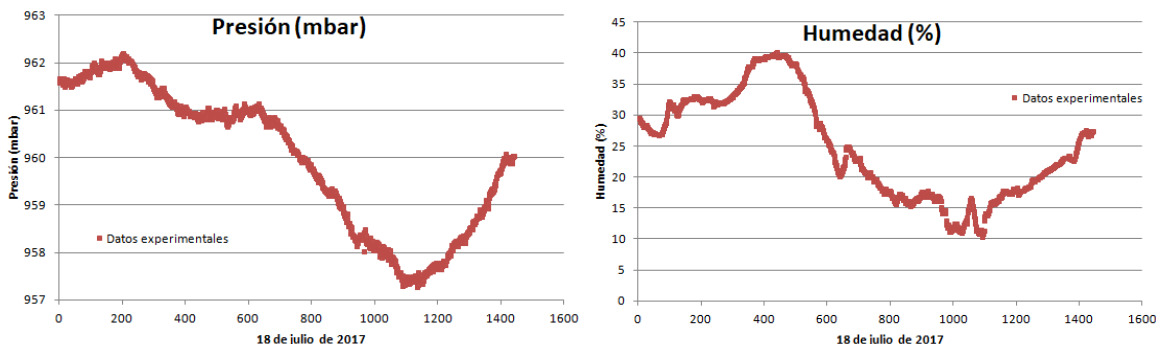


Figura 7.3.2. Presión y humedad de un día nublado

El viento no sigue una tendencia constante o un patrón, es decir, es variable. Sin embargo, en la figura 7.3.3 se puede observar que pese a que hay ráfagas de viento en el día escogido pero los sensores tienen una respuesta con un error similar a los días anteriores.

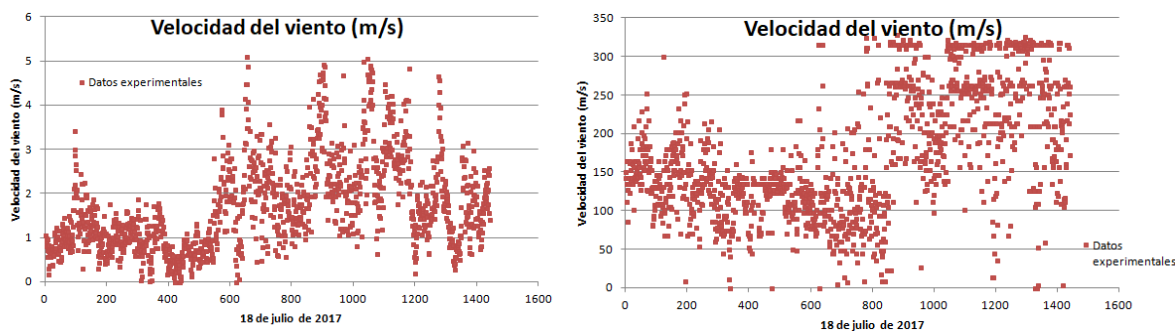


Figura 7.3.3. Velocidad y dirección del viento de un día nublado

Si se cuantifica el error de las gráficas del día expuesto se obtiene la siguiente tabla:

Sensor	Temperatura	Radiación	Humedad	Presión	Veloc. Viento	Direc. Viento
Error absoluto	2 °C	41 $\frac{W}{m^2}$	2.9 %	0.8 mbar	0.5 m/s	41 °
Error relativo	6 %	14 %	13 %	0.08 %	26 %*	22%

Tabla 7.3.1. Características de un día nublado

(*) No se han tenido en cuenta los datos obtenidos durante ráfagas de viento.

En la tabla 7.3.1 se puede observar que el mayor error se produce en los sensores de viento por los motivos comentados anteriormente. Sin embargo, todos los sensores siguen la tendencia correcta y, no influye que sea un día nublado y con temperaturas altas.

En estos ejemplos se puede observar que los sensores siguen la tendencia esperada. Esto implica que aunque pueda haber errores debido a los factores mencionados en el apartado de calibración, pero la estación diseñada nos da una medida bastante fiable de las variables medidas. Lo más significativo es que los sensores se comportan de manera correcta en diferentes condiciones meteorológicas.

Por otro lado, se puede analizar el coeficiente de correlación de Pearson (R^2), es decir, el grado de relación entre dos variables. Si la relación es totalmente lineal, R^2 tomará el valor 1. En este caso se van a comparar los datos reales y los experimentales de los tres casos estudiados.

Sensor	Temperatura	Radiación	Humedad	Presión
R^2 día soleado	0.83	0.98	0.9	0.998
R^2 día parcialmente nublado	0.91	0.96	0.91	0.98
R^2 día nublado	0.92	0.93	0.96	0.996

Tabla 7.1. Grado de relación entre los datos experimentales y los reales

Como se puede apreciar en la tabla 7.1, todos los coeficientes obtenidos son mayores de 0'8. Esto implica que hay una correlación entre las variables muy buena, es decir, la medida obtenida es muy fiable. Cabe destacar que no se han encontrado los sensores de viento ya que dichos sensores no siguen una tendencia lineal, por lo que no cobra sentido hacer este tipo de estudio.

Finalmente en la figura 7.1 se muestra una foto del resultado final de la estación diseñada.



Figura 7.1. Foto del resultado final de la estación diseñada

8. CONCLUSIONES. LÍNEAS FUTURAS

En este TFM se ha realizado el diseño y desarrollo de una estación meteorológica de parámetros ambientes. Además, se ha pretendido que dicha estación fuese fácil de transportar y que pueda ser ubicada en cualquier lugar, abriendo la posibilidad de que se utilicen para diferentes aplicaciones.

Desde el principio se ha enfocado este TFM como un proyecto de investigación, con el objetivo de que pueda competir con estaciones de alta gama, similar a las usadas en los centros de investigación, para poder hacer estudios con cierto rigor.

Para la selección de los sensores que monitorizan las variables que es capaz de medir la estación meteorológica desarrollada, se han tenido en cuenta dos premisas fundamentales:

- Fiabilidad; es decir, que sean lo más precisos posible y que den un error de medida mínimo. Para ello, se han calibrado los sensores. Esto se ha conseguido comparando los datos obtenidos de la estación diseñada, con los datos tomados en la estación de referencia (Geónica) instalada en la Universidad de Jaén.
- Bajo coste. Se ha procurado que la estación se pueda montar con un presupuesto mínimo (115 €).

Además se ha utilizado un Arduino Mega con el objetivo de satisfacer las necesidades de este proyecto y pensando en que en un futuro, si se desea, se pueda ampliar con la monitorización de otras variables. Esto implica que permite que se pueda conectar cualquier sensor compatible con Arduino; es decir, esta estación no viene limitada por unos sensores concretos, si no que en cualquier momento se pueden sustituir por otros modelos. Asimismo durante el estudio del estado del arte, se comprobó que muchas estaciones poseen un software cerrado. Por tal motivo, se ha diseñado la estación de manera que tenga un software libre y que pueda ser modificado por un usuario con conocimiento en programación.

Se ha prestado mucha importancia al almacenamiento de los datos obtenidos con la estación meteorológica. Se estudiaron diferentes alternativas, pero finalmente se optó por usar ThinkSpeak. Esta plataforma no solo ha proporcionado la posibilidad de almacenar los datos, sino que también ha permitido que se monitoricen a tiempo real dichos datos mediante gráficas o mostrando los valores actuales numéricamente. Además, también permite que se descarguen los datos para que puedan ser procesados. Por otro lado, permite la conexión con Matlab, de tal manera que puedan hacerse programas para, por ejemplo, modificar la apariencia de dicha plataforma. La utilización del Arduino junto con ThinkSpeak, también permite añadir aplicaciones como, por ejemplo, la creación una interfaz (GUI) en Matlab.

Por otro lado, se consideró imprescindible poder consultar los datos de manera instantánea, a tiempo real. Para ello, se configuró Blynk. Con esta aplicación se ha conseguido tener los valores actuales de los parámetros meteorológicos obtenidos mediante la estación diseñada. Se pueden observar de manera gráfica o con valores numéricos.

Como se ha explicado anteriormente, conocer los parámetros ambientales mediante las estaciones meteorológicas tienen multitud de aplicaciones. Por ejemplo, se puede usar para confort o bienestar en un puesto de trabajo, en el campo de la agricultura, la salud, en investigación, eficiencia energética, para luchar contra el cambio climático, etc.

A continuación se resume lo expuesto en este epígrafe y el TFM desarrollado en la figura 9.1.

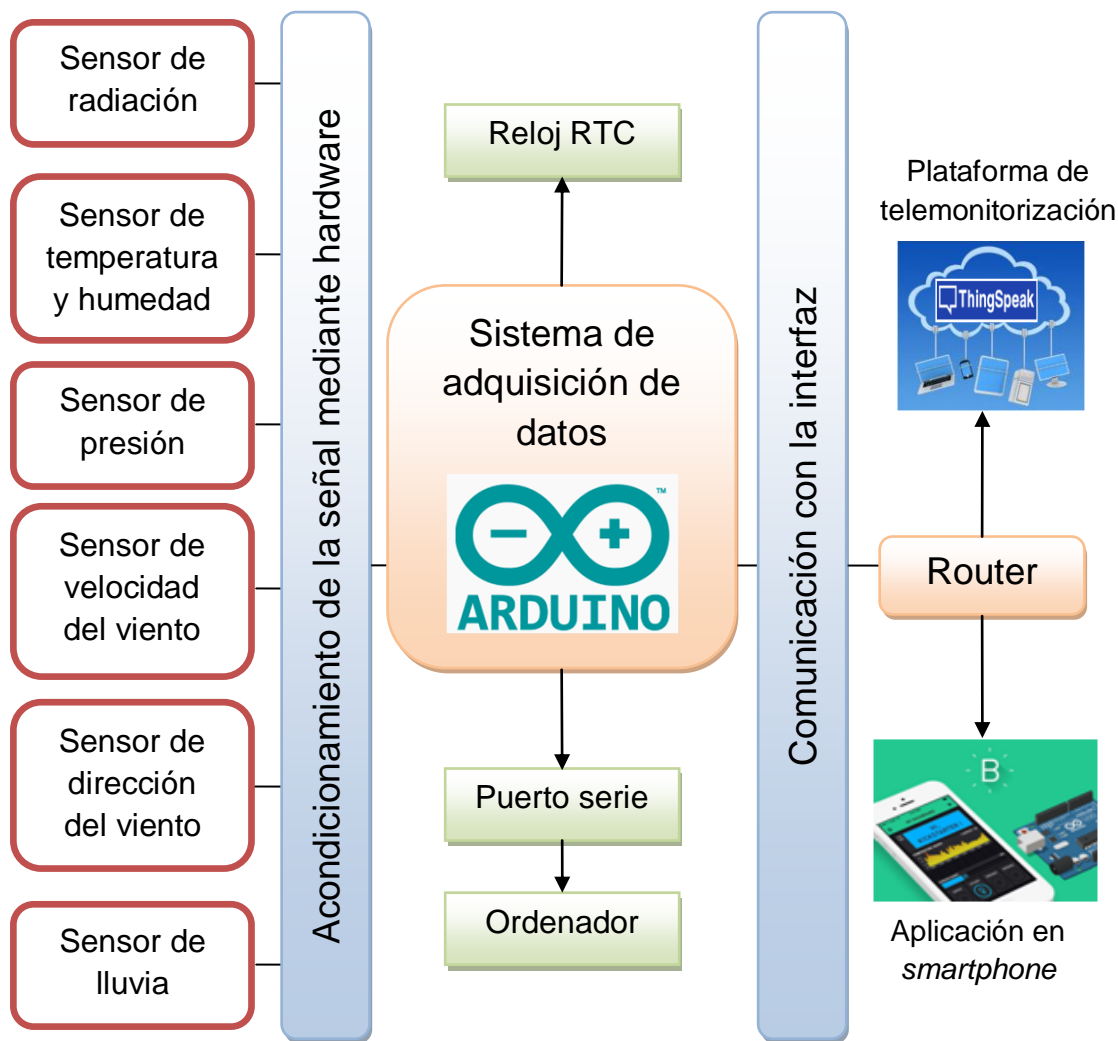


Figura 9.1. Esquema resumen de la estación meteorológica

Sin embargo, las posibilidades de esta estación no acaban en este proyecto; existen diferentes líneas de investigación por las que se podrían continuar:

Actualmente el prototipo necesita Internet para almacenar los datos. Una línea de trabajo sería estudiar este campo y ver qué otras alternativas hay, como por ejemplo, añadir una tarjeta de memoria interna al Arduino en la que se puedan almacenar los datos.

Además, se puede estudiar la manera de hacer que la estación meteorológica diseñada no necesite estar conectada a la red eléctrica para funcionar. Se podría implementar un sistema de baterías para solucionar dicho inconveniente o usar

módulos fotovoltaicos, ya que para diseñar la estación se ha tenido en cuenta que los sensores utilizados tengan un consumo bajo.

Por otro lado, se ha visto que en los sensores de medición del viento se produce un error mayor, en comparación con los demás, debido a que la estación diseñada no recibe el viento de la misma manera que la de referencia, como consecuencia de la diferencia de altura y a causa de los elementos (módulos solares) que obstaculizan el paso de aire hacia la estación diseñada. Se propone utilizar un tubo telescópico con el fin de colocar estos sensores a la misma altura que los de la estación de referencia. Además, como este tubo permite reducir su longitud, la estación seguiría teniendo la cualidad de ser fácilmente transportable.

Otra posible línea futura es la de crear un GUI en Matlab, de manera que se puedan monitorizar los datos desde dicha interfaz gráfica.

ANEXO 1: Programación

En este apartado se pretende detallar o incidir en algunos detalles del código de programación diseñado en Arduino.

En el apartado “manual de usuario” se explicó el flujograma general que representa el código implementado. En dicho epígrafe, se dijo que el primer paso en el código es incluir o no librerías. Esto depende de si se quiere programar el protocolo de comunicación o se quiere usar alguna librería implementada por el fabricante u otro usuario. En este proyecto se han utilizado librerías para la configuración del Wi-Fi, del IoT, del sensor DHT22, BMP180, Blynk y para la comunicación I2C. Las librerías incluidas se muestran en la figura A1.1.

```
//Librerías:
#include "ThingSpeak.h" // Librería IoT
#include <WiFi.h> // Librería WiFi
#include "DHT.h" // Librería sensor temperatura y humedad
#include <SFE_BMP180.h> // Librería sensor de presión BMP180
#include <Wire.h> // Librería comunicación I2C
#include <SPI.h> // Librería comunicación SPI para WIFI
#include <ESP8266_Lib.h> // Librería WiFi
#include "RTCLib.h" // Librería RTC
#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h> //Librería Blynk
```

Figura A1.1. Librerías

Lo siguiente que se hace es configurar el Wi-Fi, IoT y Blynk. Para ello, hay que especificar: la red de Internet a la que se quiere conectar Arduino, la contraseña, el canal de IoT y la contraseña del IoT; así como la clave de Blynk. En la figura A1.2 se muestra cómo se ha realizado en este proyecto.

```
////////////////////////////////////// WiFi: ////////////////////////////////////////
char ssid[] = "RED DE INTERNET"; // Nombre de la Red de Internet (Network SSID)
char pass[] = "CONTRASEÑA"; // Contraseña de la Red de Internet
int status = WL_IDLE_STATUS;
WiFiClient client;
////////////////////////////////////// IOT: ////////////////////////////////////////
unsigned long myChannelNumber = CANAL; // CANAL EN EL IOT
const char * myWriteAPIKey = "CONTRASEÑA"; // CONTRASEÑA EN EL IOT
//////////////////////////////////////BLINK: ////////////////////////////////////////
char auth[] = "CONTRASEÑA DE BLYNK"; //CONTRASEÑA EN BLYNK
#define EspSerial Serial2
#define ESP8266_BAUD 115200
ESP8266 wifi(&EspSerial);
//////////////////////////////////////
```

Figura A1.2. Declaración de Wi-Fi, IoT y Blynk

Aparte de esto, también se ha declarado un reloj RTC. Dicho reloj lo que hace es decirle al Arduino la hora a tiempo real Española. Es necesario dicho reloj porque el pluviómetro va acumulados los pulsos y dichos pulsos no se borran; es decir, se muestra la lluvia acumulada durante un día. Entonces se desea que al final de cada día, el contador de pulsos se ponga a cero. Para ello, es necesario recurrir al reloj RTC inicializado en el menú de inicio.

Por tanto, se le indica a Arduino que obtenga la hora actual y después simplemente se le indicará que a las 00:00 horas tiene que poner el contador del pluviómetro a cero.

En el menú de inicio (*setup*) se inicia el puerto serie con las instrucción: “Serial.begin(9600)”. Por otro lado, se configuran las interrupciones para el sensor de: radiación, velocidad del viento y pluviómetro. Se configura con la instrucción: “attachInterrupt (*número de la instrucción, nombre de la interrupción, se activa con flanco ascendente o descendente*)”. Estas instrucciones sirven para que cuando el sensor correspondiente de un pulso, el programa deje de hacer lo que está haciendo y contabilice ese pulso. Si no se pusieran interrupciones, podría ocurrir que un sensor diese un pulso y el programa no se diese cuenta de que hay que contabilizar el pulso. Esto haría que se tuviese una medida errónea. Además, con la instrucción comentada antes en el puerto serie, se inicializa: el reloj, Wi-Fi, IoT y BlynK. Para ello, solo es necesario poner el nombre de lo que se quiere inicializar seguido de “.begin();”.

```
//RTC:
Serial.begin(9600);
rtc.begin(); //Se inicializa el RTC

//WiFi:
WiFi.begin(ssid, pass);
ThingSpeak.begin(client);
delay(100);

//BLINK
EspSerial.begin(ESP8266_BAUD);
delay(10);
Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass);
```

Figura A1.3. Inicialización de RTC, Wi-Fi, IoT y Blynk

En la figura A1.3, se puede observar que a veces se pone “delay”. Esta instrucción sirve para decirle al programa que espere durante un tiempo determinado. Esto ayuda a que se realicen todas las instrucciones correctamente.

El resto de sensores se inicializan de igual manera que el Wi-Fi, IoT o Blynk; es decir, poniendo el nombre del sensor y añadiendo “.begin()”. También se indica que el pin al que está conectado cada sensor se va a usar como entrada, con la instrucción: `pinMode(número de pin, INPUT)`.

En este punto, ya se ha configurado el menú de inicio y se han establecido las conexiones que hay que realizar para que funcionen correctamente cada uno de los sensores. Así que ahora hay que configurar el menú principal (*loop*). Este menú se subdivide en los 6 sensores instalados. Además, es este menú también se da la instrucción de mandar los datos al IoT, Blynk y por el puerto serie.

Arduino enviará al Internet de las Cosas datos cada minuto, de cada uno de los sensores. Cabe mencionar, que al IoT no se pueden enviar datos de las 7 variables a la vez. Por tal motivo, se ha enviado 4 variables en la primera mitad del minuto y, en la segunda mitad, las otras 3 variables restantes. La instrucción para enviar los datos es la siguiente: `ThingSpeak.setField(número de campo, variable);`. Además, esta instrucción va seguida de esta otra: `ThingSpeak.writeFields(número del canal, contraseña)`.

Por otro lado, se enviarán los datos de las 7 variables a Blynk. Para ello, se utiliza la instrucción `Blynk.virtualWrite(número de campo, variable, "unidad")`, seguida de lo siguiente: `Blynk.run();`.

Finalmente, el programa termina enviando los datos por el puerto serie si el usuario así lo desea. Para conseguir esto, se utiliza la instrucción: `Serial.print(Variable, n° de decimales);`.

ANEXO 2: Calibración de los sensores

En esta memoria se ha visto cómo se ha diseñado una estación meteorológica de bajo coste, tanto su hardware como su software. A continuación, se va a explicar cómo se han calibrado los diferentes sensores.

Para calibrar los diferentes sensores se ha representado los datos de diferentes días y se han comparado los datos con la estación meteorológica de la UJA. Se han representado los datos en una hoja excel como muestra la tabla A1.1 y se han ido realizando las correspondientes gráficas para cada sensor.

1	2	ESTACIÓN DISEÑADA						GEÓNICA					
		V.Viento (m/s)	D.Viento (°)	Temp (°C)	Humedad (%)	Presión (mbar)	Radiación (W/m2)	V.Viento (m/s)	D.Viento (°)	Temp. Ai (°C)	Hum. Rel (%)	Presion (mbar)	Radiación (W/m2)
4	14/07/2017 0:00	0,6388	139,5	35	11,1	963,48279	0,15007	1,862499	143,405	34,42185	9,129453	963,1991	0
5	14/07/2017 0:01	0,90443	131,25	35	11,3	963,48657	0,15007	1,952499	175,7666	34,25942	9,276969	963,199	0
6	14/07/2017 0:02	1,3167	138,75	35	11,3	963,47168	0,15007	2,221666	178,3565	34,41308	9,121949	963,1982	0
7	14/07/2017 0:03	0,62547	176,25	34,9	11,2	963,48859	0,15007	2,049999	197,5063	34,41291	9,208392	963,2003	0
8	14/07/2017 0:04	0,39553	135	34,9	11,3	963,53864	0,15007	1,862499	207,1749	34,43502	9,103681	963,201	0
9	14/07/2017 0:05	0,32444	157,5	34,9	11,3	963,50507	0,15007	0,8375004	175,852	34,4443	9,144867	963,2458	0
10	14/07/2017 0:06	0,42269	146,25	34,9	11,1	963,3999	0,15007	1,255833	185,8782	34,47528	9,036815	963,1992	0
11	14/07/2017 0:07	0,99913	148,5	35	10,2	963,44086	0,15007	2,612499	174,4884	34,84159	8,767482	963,1989	0
12	14/07/2017 0:08	1,44005	191,25	35,2	13,6	963,44128	0,15007	3,312498	166,3091	35,88236	8,456686	963,1982	0
13	14/07/2017 0:09	0,4519	108,75	35,3	11,7	963,50787	0,15007	0,3033333	169,7919	37,41632	9,571671	963,1984	0
14	14/07/2017 0:10	0,29753	168,75	35,4	11,1	963,45532	0,15007	0,6850002	319,7197	37,08619	8,337345	963,199	0
15	14/07/2017 0:11	0,39731	130,5	35,5	10,9	963,51935	0,15007	0,8258336	209,1471	36,42696	8,308283	963,198	0
16	14/07/2017 0:12	0,4715	127,5	35,5	10,6	963,42139	0,15007	1,587499	176,4994	35,92524	8,35271	963,1976	0
17	14/07/2017 0:13	0,79653	191,25	35,6	10,7	963,41547	0,15007	2,187499	173,9171	35,75106	8,195704	963,198	0
18	14/07/2017 0:14	0,67974	157,5	35,6	10,7	963,45087	0,15007	1,874999	168,5575	35,63094	8,322458	963,1998	0
19	14/07/2017 0:15	0,50954	157,5	35,6	10,8	963,45325	0,15007	1,487499	163,9663	35,43125	8,439172	963,1991	0
20	14/07/2017 0:16	0,82914	138,75	35,6	10,9	963,45782	0,15007	1,887499	164,1506	35,44594	8,438714	963,1986	0
21	14/07/2017 0:17	0,79822	139,5	35,5	10,9	963,34955	0,15007	2,137499	156,2629	35,03014	8,662822	963,1991	0
22	14/07/2017 0:18	0,8978	150	35,4	11,1	963,46381	0,15007	2,449999	147,1506	34,75309	8,833367	963,199	0
23	14/07/2017 0:19	0,59211	138,75	35,3	11,2	963,39606	0,15007	0,7983337	126,0505	34,53418	9,086263	963,1998	0
24	14/07/2017 0:20	0,46666	161,25	35,2	11,3	963,42615	0,15007	1,054167	164,1806	34,24071	9,293204	963,1996	0
25	14/07/2017 0:21	0,58109	117	35,1	11,5	963,44727	0,15007	1,842499	208,6365	34,01038	9,488003	963,1993	0,1477474

Tabla A1.1. Temperatura 25 de junio 2017

El primer sensor que se ha calibrado ha sido el de temperatura ambiente. Para ello, se han comparado los datos experimentales obtenido con la estación de bajo coste (Arduino) con los de la estación de referencia instalada en la UJA. Si se representan estos datos en los ejes X e Y, respectivamente, se obtiene que los datos intentan seguir una tendencia lineal. Sin embargo, como se ve en la siguiente figura A2.1, la recta de regresión es más precisa al principio y al final. Es decir, la mayor dispersión se produce durante las horas de sol.

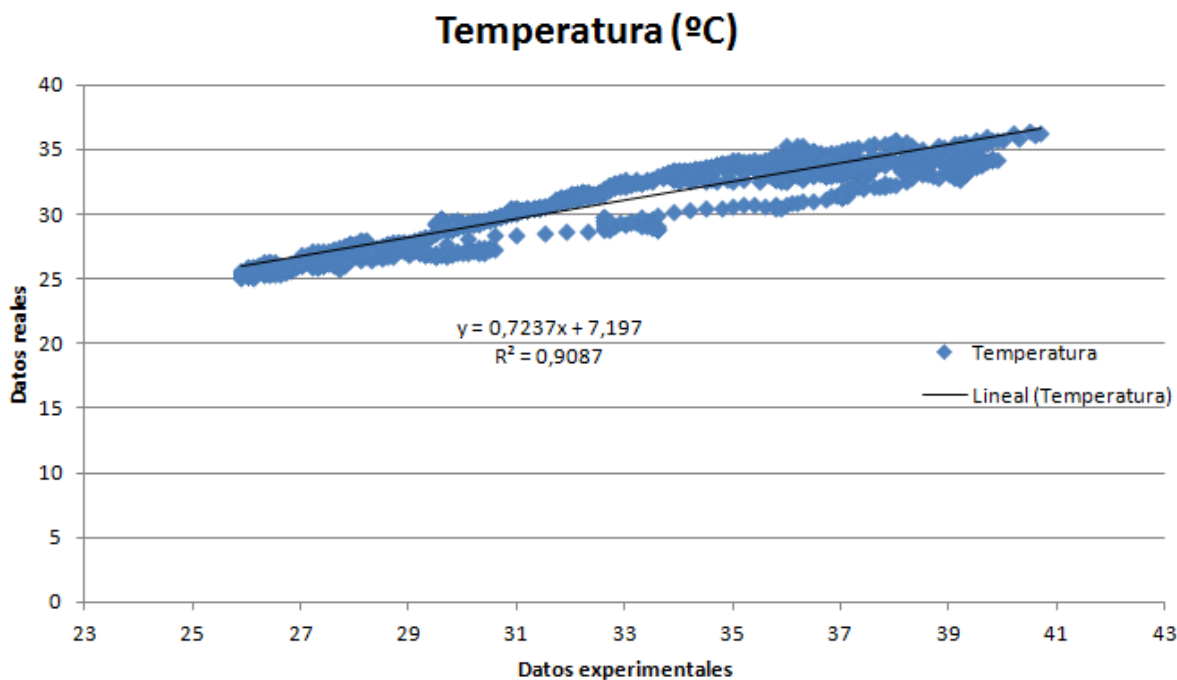


Figura A2.1. Temperatura 25 de junio 2017

Si se representan los datos reales y experimentales frente al tiempo se obtiene la siguiente gráfica. En dicha gráfica se puede observar que, aproximadamente, desde las 10:00 horas hasta las 22:00 horas, se produce la mayor dispersión de los datos. Esto puede deberse a que el sensor de temperatura, de la estación meteorológica de bajo coste, esté próximo al suelo y durante las horas de sol se produce un calentamiento en dicho suelo, y esto se puede estar reflejando en las medidas tomadas. Por el contrario, la estación de referencia se encuentra a una altura considerable, por lo que este fenómeno posiblemente no le esté afectando.

En la figura A2.2 se puede observar las diferencias existentes entre los datos reales y experimentales.

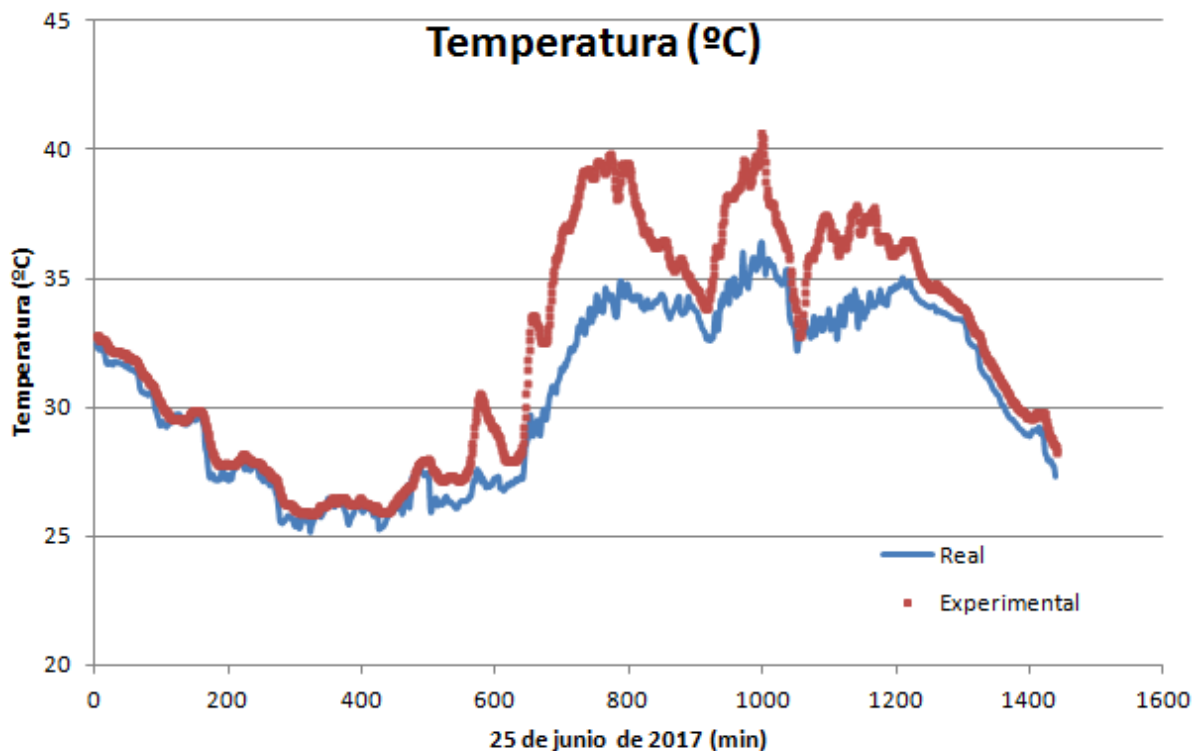


Figura A2.2. Temperatura 25 de junio 2017

En este punto, se sabe que el sensor de temperatura tiene un error que se acentúa durante las horas de sol. Por tal motivo, se va a calcular el error relativo y absoluto:

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 1.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(Ec. A2.1)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 5.5 \%$$

(Ec. A2.2)

Estos errores quieren decir que con la máxima diferencia que se produce entre el error real de la temperatura y el obtenido por la estación meteorológica de bajo coste es de 1.8 °C. Sin embargo, normalmente el porcentaje de error que se produce es próximo a 5.5%.

A continuación, se va a calcular el campo de medida, es decir, el conjunto de valores entre el límite superior e inferior en el eje X. Además, se va a calcular el alcance que es la diferencia entre el límite superior e inferior en el eje X. Por otro lado,

la salida a fondo de escala es la diferencia entre las salidas de los extremos del campo de medida.

Haciendo los cálculos pertinentes se obtiene la gráfica mostrada en la figura A2.3.

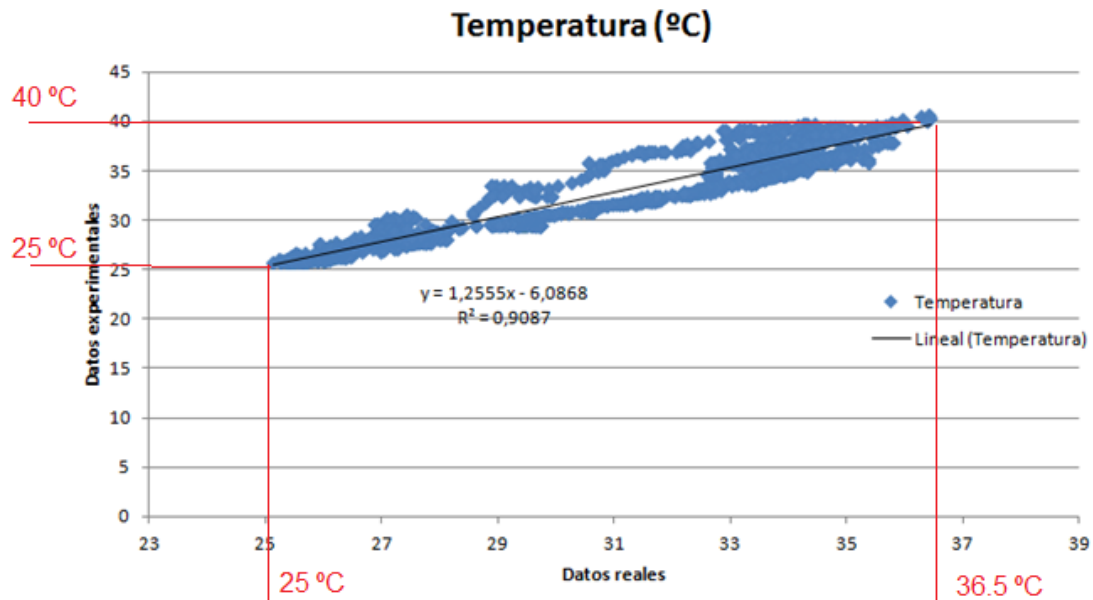


Figura A2.3. Características del sensor de temperatura

$$\text{Campo de medida} = [25, 36.5] \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Ec. A2.3)

$$\text{Alcance} = 36.5 - 25 = 11.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Ec. A2.4)

$$\text{Salida a fondo de escala} = 40 - 25 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Ec. A2.5)

La sensibilidad en la pendiente de la curva de calibración, en este caso tiene un valor de 1'26.

El siguiente sensor calibrado es el de radiación. Este sensor es bastante preciso, ya que los valores que se han obtenido con él son muy próximo a los valores obtenidos por la estación meteorológica de la UJA y que se han tomado como referencia. Para calibrar este sensor, se ha realizado la recta de regresión de los valores reales frente a los experimentales. Como se puede apreciar en la figura A2.4, el sensor sigue una tendencia lineal. Se ha considerado que no es necesario

introducir ninguna constante de calibración puesto que los valores obtenidos son muy próximos a los de referencia.

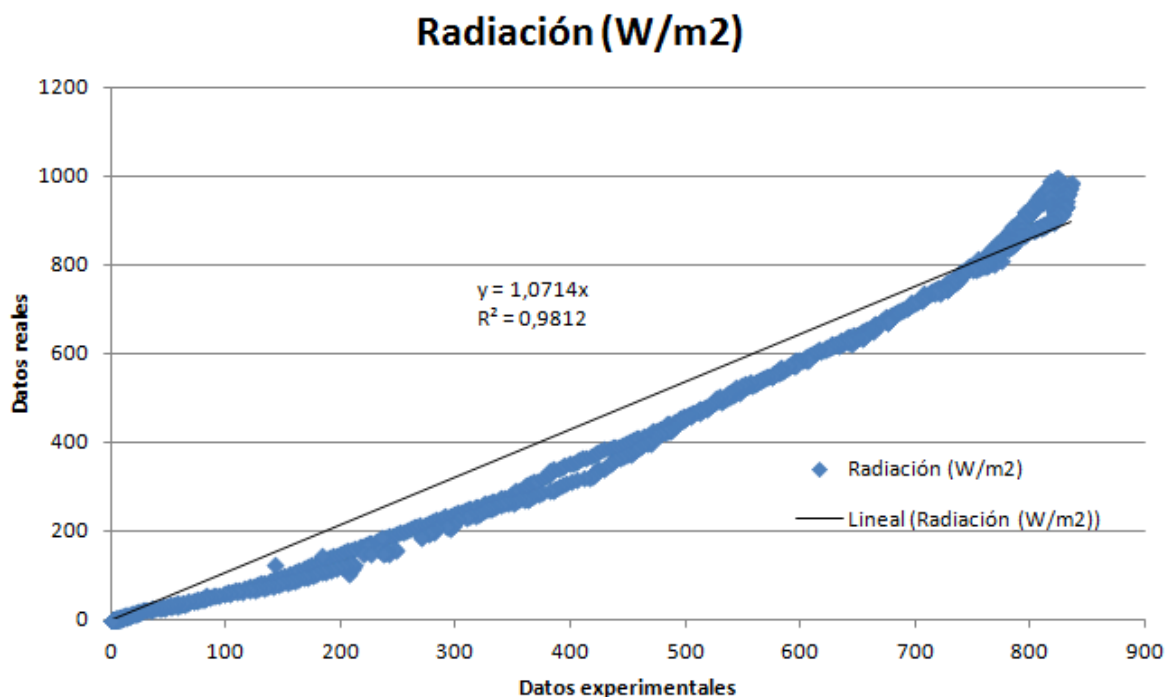


Figura A2.4. Radiación 14 de julio 2017

Como se puede ver en la figura A2.5, la máxima dispersión se produce entre las 12:00 horas y las 18:00 horas. Esto es así porque el sensor no es capaz de marcar una radiación tan alta.

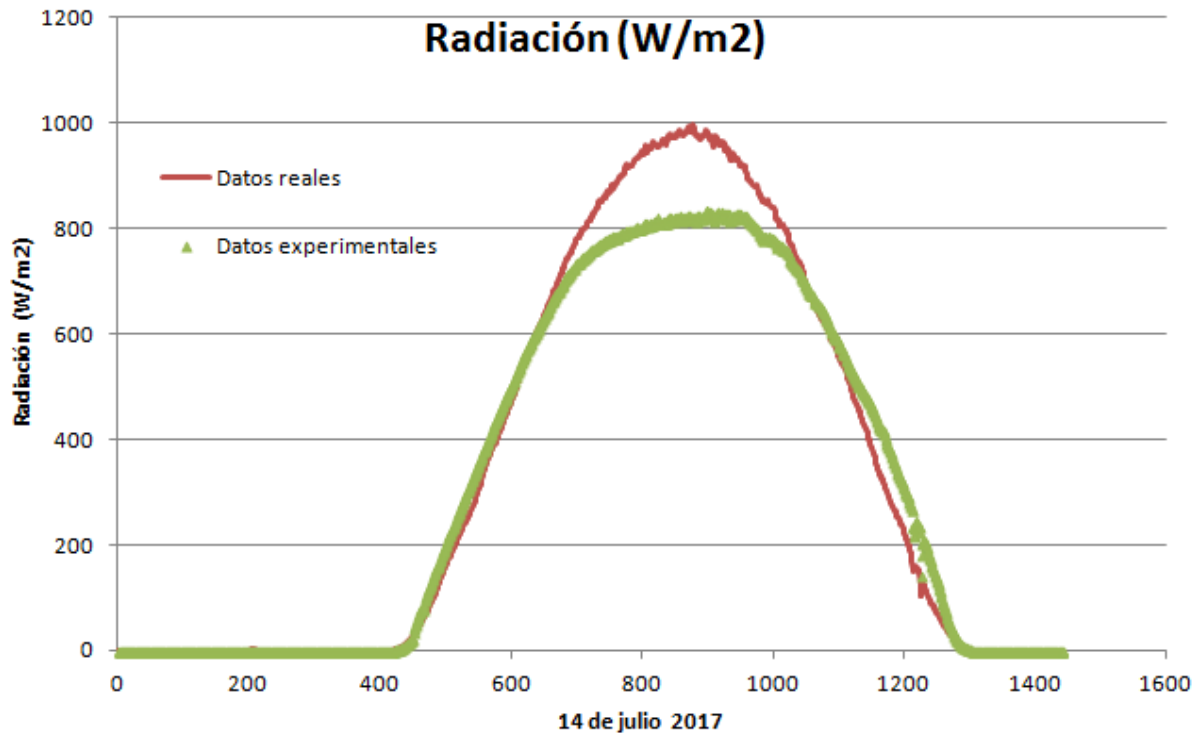


Figura A2.5. Radiación 14 de julio 2017

A continuación se van a calcular los errores, en los cuales se puede ver que el error que se suele producir es de 38.9 W/m^2 . Si se calcula el error absoluto, se puede ver que es del 11 %.

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 38.9 \text{ W/m}^2$$

(Ec. A2.6)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 11 \%$$

(Ec. A2.7)

Una vez calculado el error, se va a calcular el campo de medida, el alcance y la salida a fondo de escala (figura A2.6).

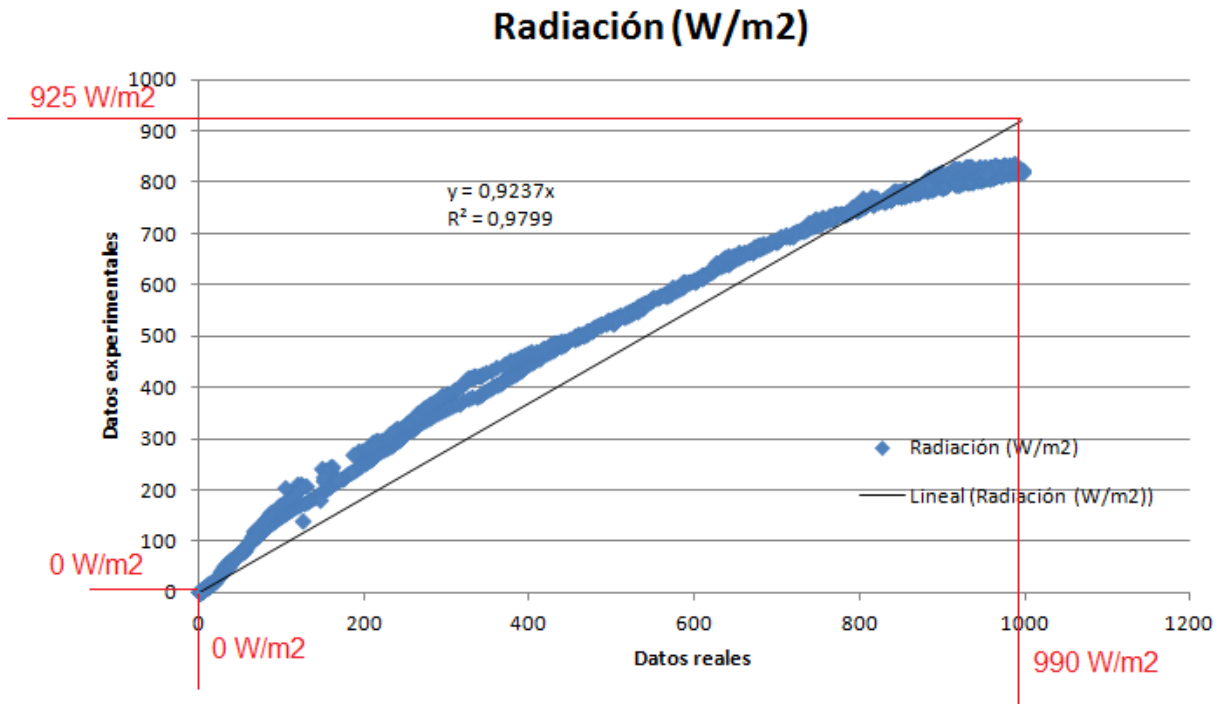


Figura A2.6. Características del sensor de radiación

$$\text{Campo de medida} = [0, 990] \frac{W}{m^2}$$

(Ec. A2.8)

$$\text{Alcance} = 990 - 0 = 990 \frac{W}{m^2}$$

(Ec. A2.9)

$$\text{Salida a fondo de escala} = 925 - 0 = 925 \frac{W}{m^2}$$

(Ec. A2.10)

La sensibilidad es la pendiente de la recta de regresión, en este caso vale 0,92.

El sensor de humedad no ha hecho falta añadirle ninguna constante de calibración, ya que la medida obtenida con este es la más próxima a la real posible. A continuación se exponen la gráfica (figura A2.7) y los errores.

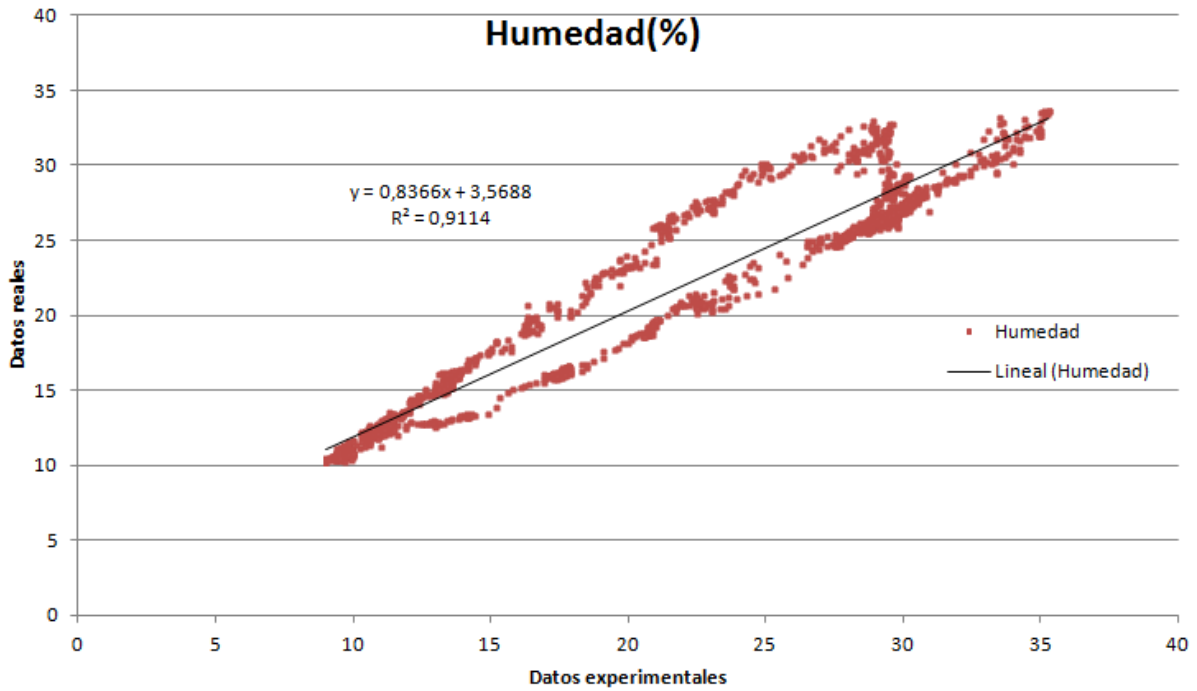


Figura A2.7. Humedad 17 de junio 2017

En la figura A2.8 se observa que la humedad sigue perfectamente la misma tendencia que la de referencia o real. Esto significa que el sensor se está comportando de manera adecuada.

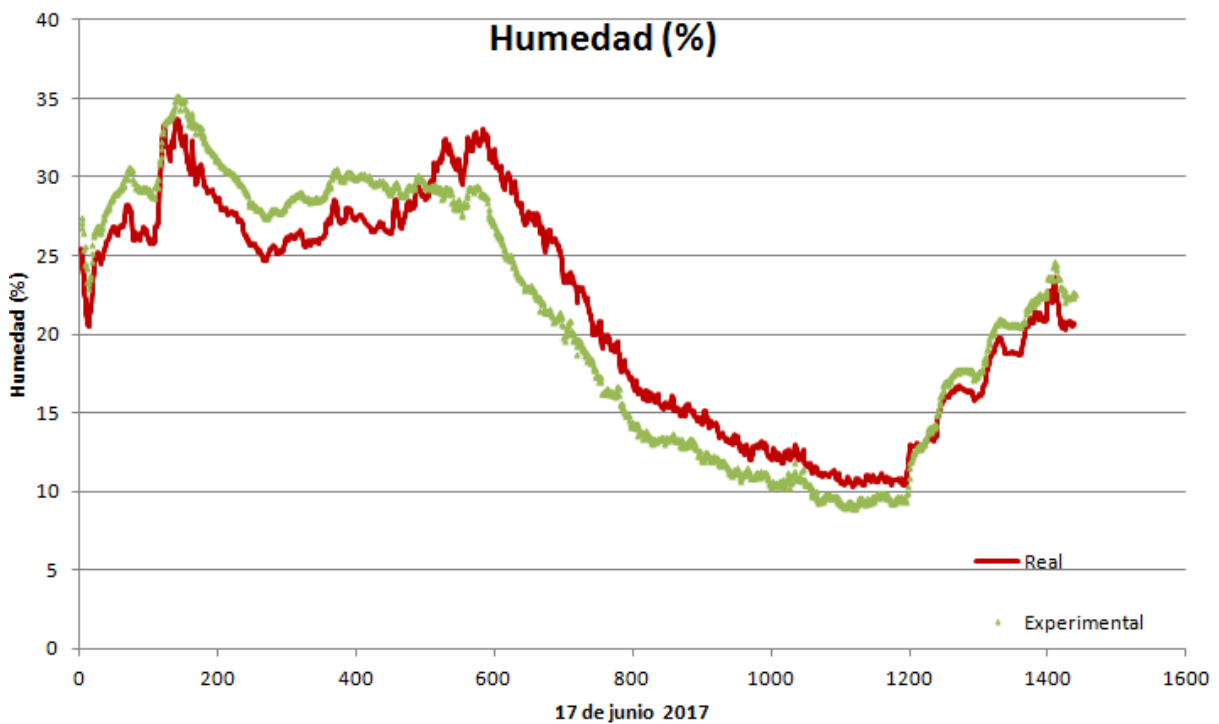


Figura A2.8. Humedad 17 de junio 2017

Sin embargo, se produce un error en la medida y es el siguiente:

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 2.13 \%$$

(Ec. A2.11)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 7 \%$$

(Ec. A2.12)

Si se calcula las características de este sensor, se tiene lo observado en la figura A2.9:

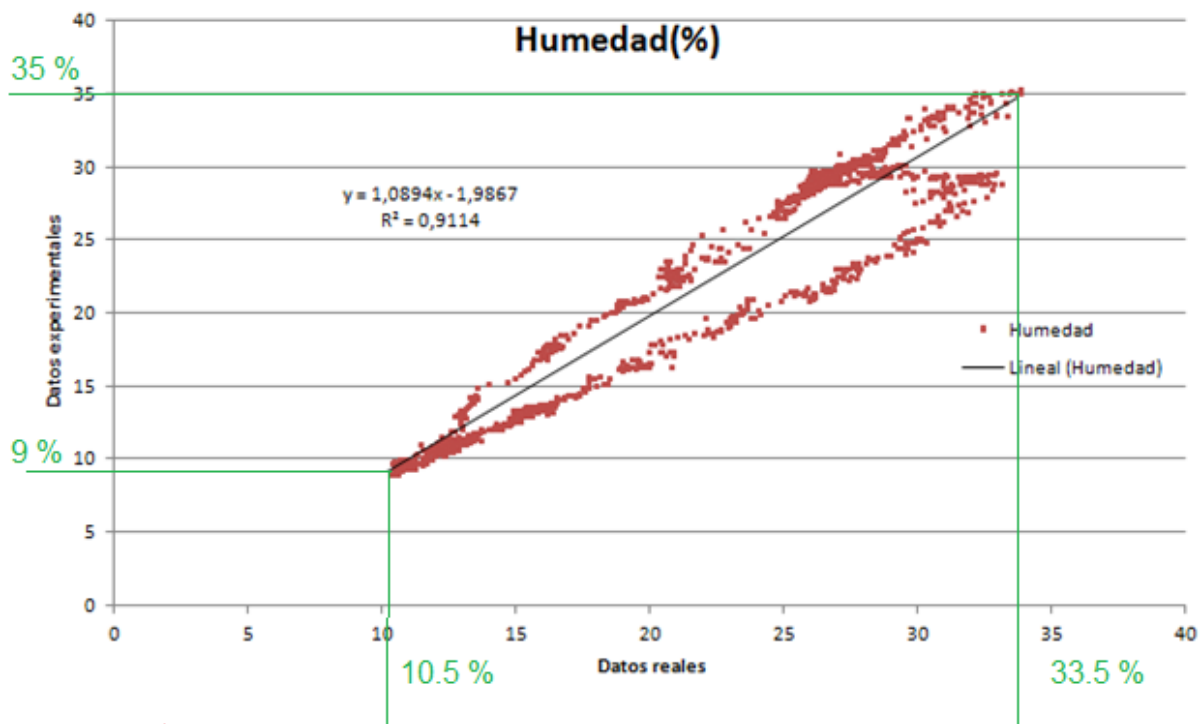


Figura A2.9. Características del sensor de humedad

$$\text{Campo de medida} = [33.5, 10.5] \%$$

(Ec. A2.13)

$$\text{Alcance} = 33.5 - 10.5 = 23 \%$$

(Ec. A2.14)

$$\text{Salida a fondo de escala} = 35 - 9 = 26 \%$$

(Ec. A2.15)

La sensibilidad en la pendiente de la curva de calibración, en este caso tiene un valor de 1'09.

El sensor de presión se puede observar que tiene un comportamiento prácticamente ideal, lo único que la curva está desplazada hacia arriba con respecto a la de referencia. Debido a este desplazamiento, se ha calibrado el sensor obteniendo la recta de regresión indicada en la figura A2.10.

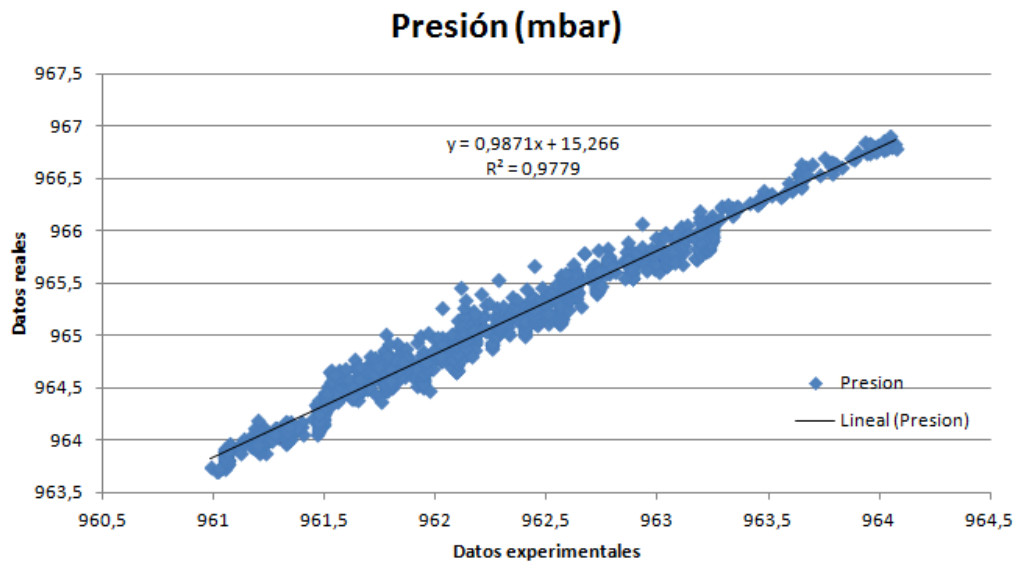


Figura A2.10. Presión 19 de junio 2017

En este caso, la constante de calibración se obtiene restando 15'266 al valor experimental y dividiéndolo por 0'9871. Haciendo eso con todos los valores, se obtiene la gráfica de la figura A2.11:

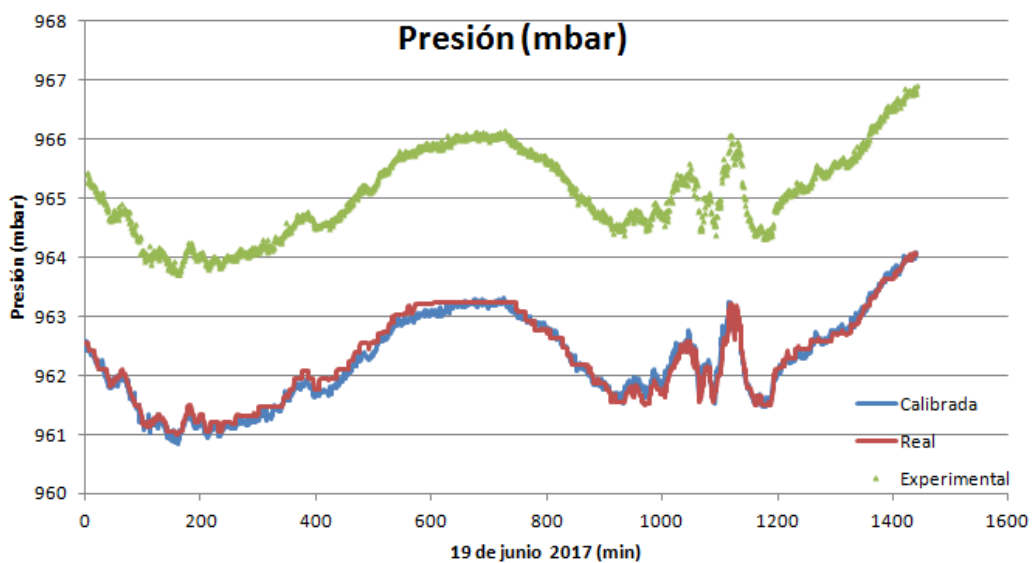


Figura A2.11. Presión 19 de junio 2017

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la curva calibrada y la experimental son prácticamente iguales. Si se calcula el error para el sensor de presión, se observa que el error absoluto medio es de 0.8 mbar. Además, el error relativo es de 0.08 %, es decir, prácticamente nulo. Esto implica que la medida que realiza este sensor es muy precisa y fiable.

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 0.8 \text{ mbar}$$

(Ec. A2.16)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 0.08 \%$$

(Ec. A2.17)

A continuación se van a calcular las características del sensor de presión (figura A2.12):

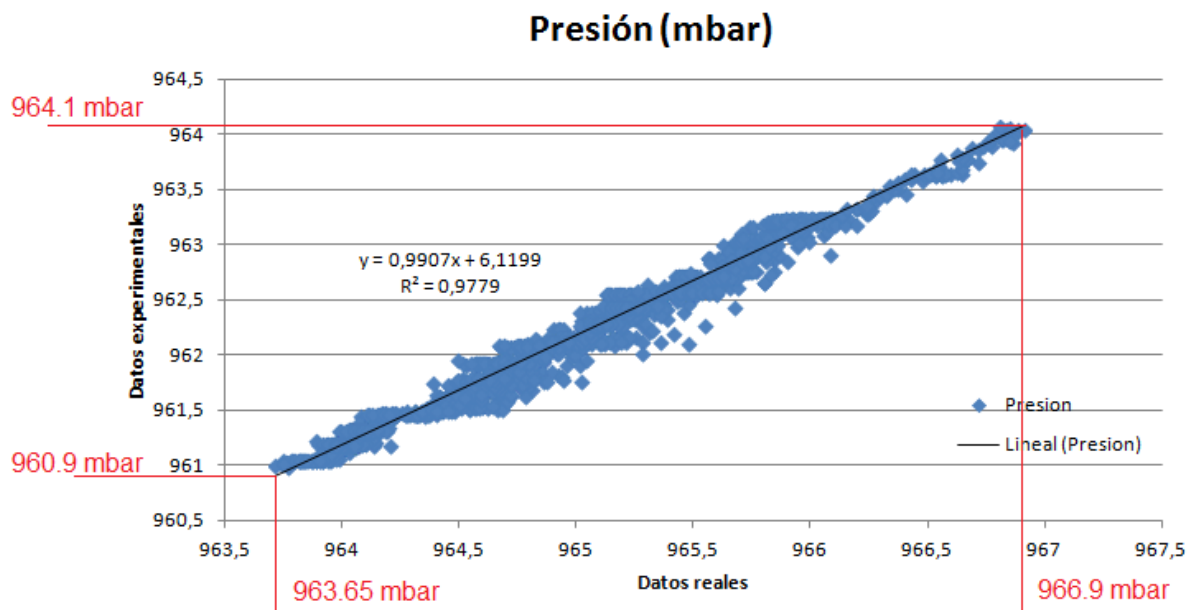


Figura A2.12. Características del sensor de humedad

$$\text{Campo de medida} = [963.65, 966.9] \text{ mbar}$$

(Ec. A2.18)

$$\text{Alcance} = 966.9 - 963.65 = 3.25 \text{ mbar}$$

(Ec. A2.19)

Salida a fondo de escala = $964.1 - 960.9 = 3.2$ mbar

(Ec. A2.20)

La sensibilidad en la pendiente de la curva de calibración, en este caso tiene un valor de prácticamente 1.

Normalmente la velocidad del viento se toma cada 10 minutos. Sin embargo, para poder calibrar el sensor de la manera más precisa, se ha tomado valores con una frecuencia de un minuto y se han obtenido las siguientes gráficas.

A continuación se muestra en la figura A2.13 la gráfica de la velocidad del viento, la cual se puede ajustar mediante un polinomio de grado dos, obteniendo una aproximación bastante buena.

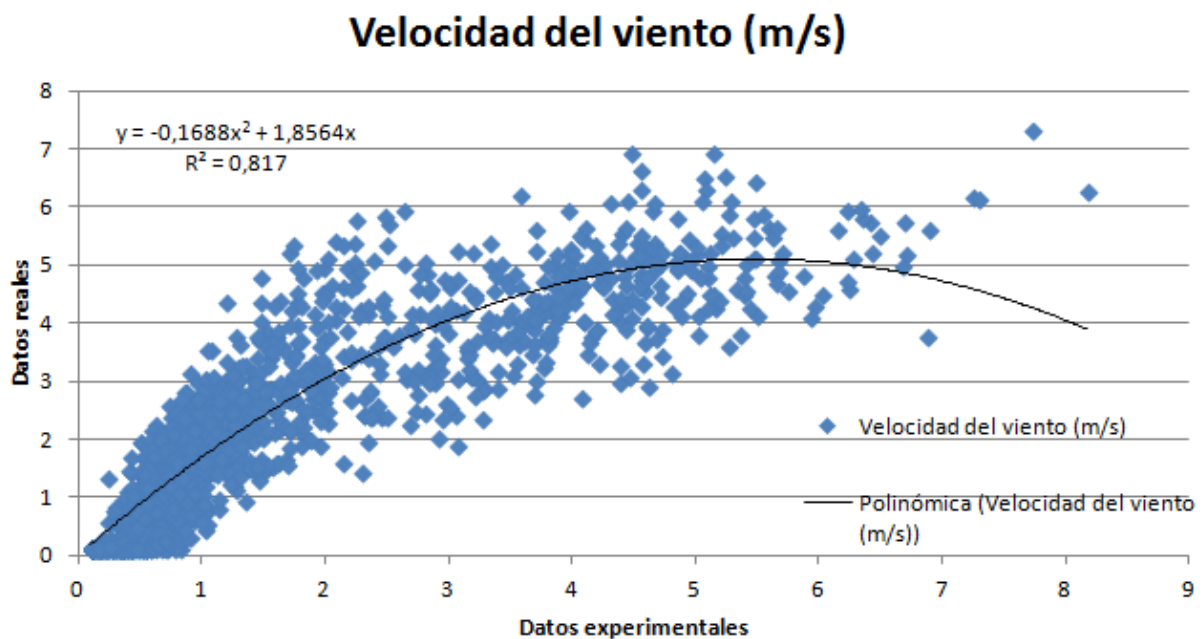


Figura A2.13. Velocidad del viento 14 de julio 2017

Si se representan los datos experimentales y los de referencia frente al tiempo se obtiene la figura A2.14. En ella se puede observar que el sensor experimental sigue bastante bien la tendencia real. Sin embargo, se puede apreciar que se produce una dispersión en los datos. La razón de por qué se puede estar produciendo esta diferencia se explicará más adelante.

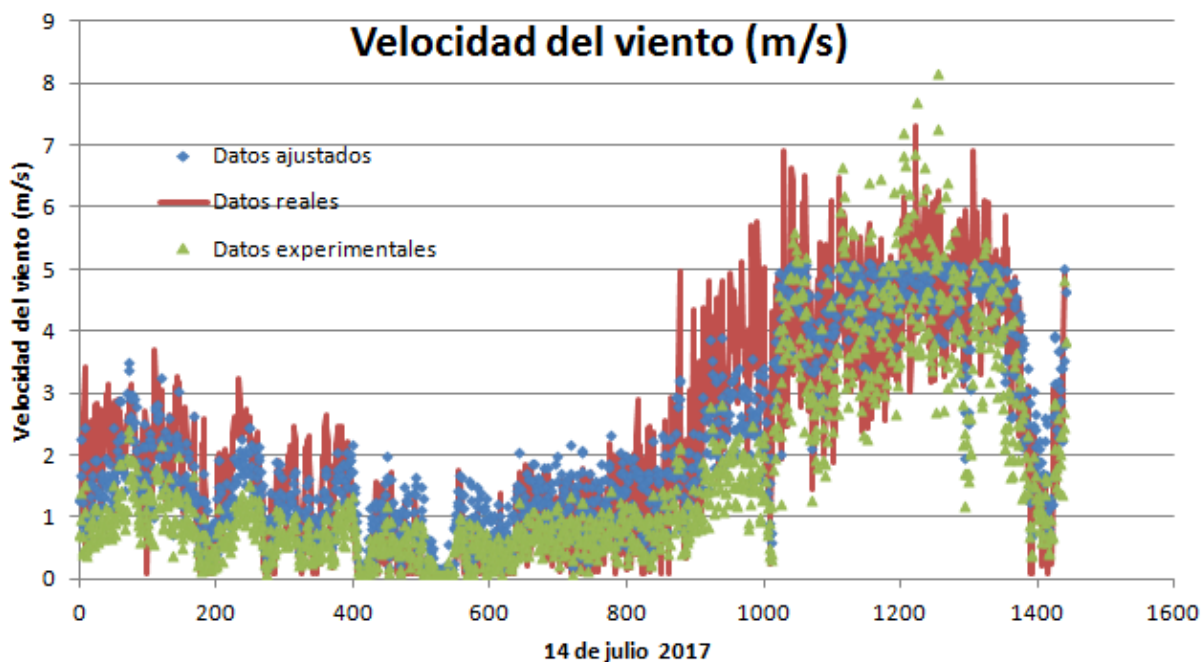


Figura A2.14. Velocidad del viento 14 de julio 2017

Los errores asociados a la velocidad del viento se muestran a continuación.

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 0.56 \text{ m/s}$$

(Ec. A2.21)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 25.3 \%$$

(Ec. A2.22)

En esta ocasión, se puede observar que el error absoluto es de 0.56 m/s pero el error absoluto es del 25.3 %. Esto puede ser consecuencia de que la estación meteorológica de la UJA no está a la misma altura que la que se ha diseñado, siendo esta última la que está más baja. Además, se encuentra en una terraza en la que hay más obstáculos que pueden dificultar el paso de aire. A todo esto, hay que sumarle que el viento no ha sido constante y se produce ráfagas de aire. Debido a todos estos inconvenientes, el error producido es mayor de lo normal.

Por otro lado, se tiene el sensor de dirección del viento, al cual no se le ha añadido ninguna constante de calibración. Este sensor al igual que el de dirección del viento depende mucho de la altura a la que se estén tomando las medidas. Como se puede apreciar en la figura A2.15 no sigue ninguna tendencia.

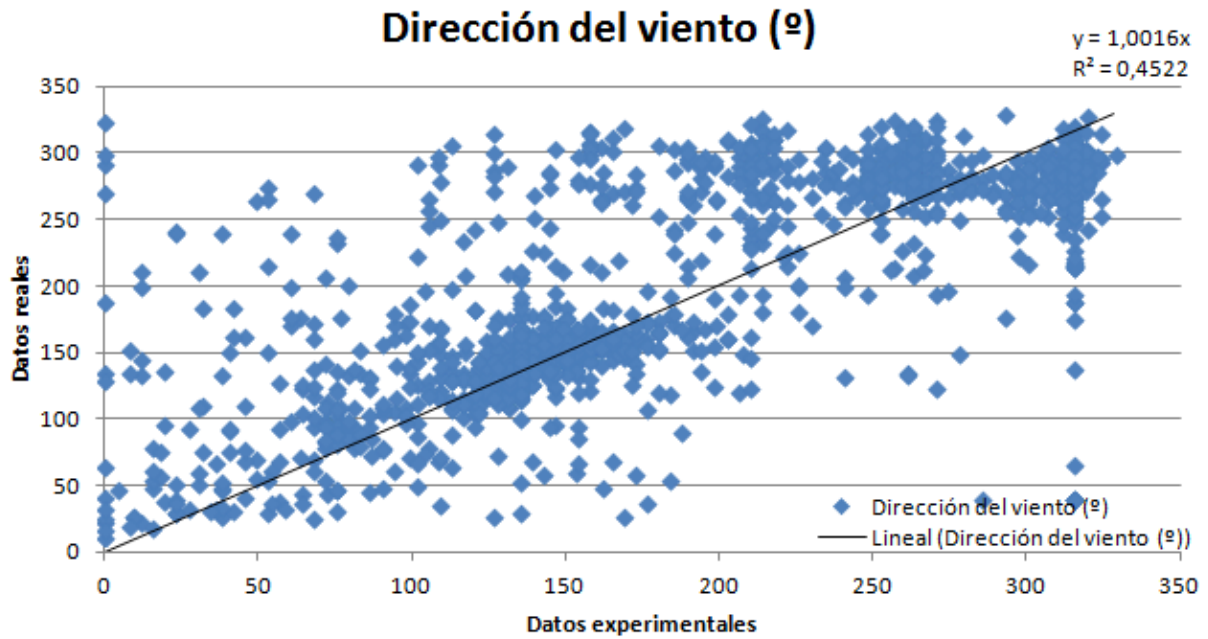


Figura A2.15. Dirección del viento 14 de julio 2017

Si se representan los datos reales y experimentales frente al tiempo se puede observar que la estación diseñada coincide con la de referencia cuando el viento sigue una tendencia constante. Sin embargo, cuando el viento empieza a ir a ráfagas el error aumenta (figura A2.16).

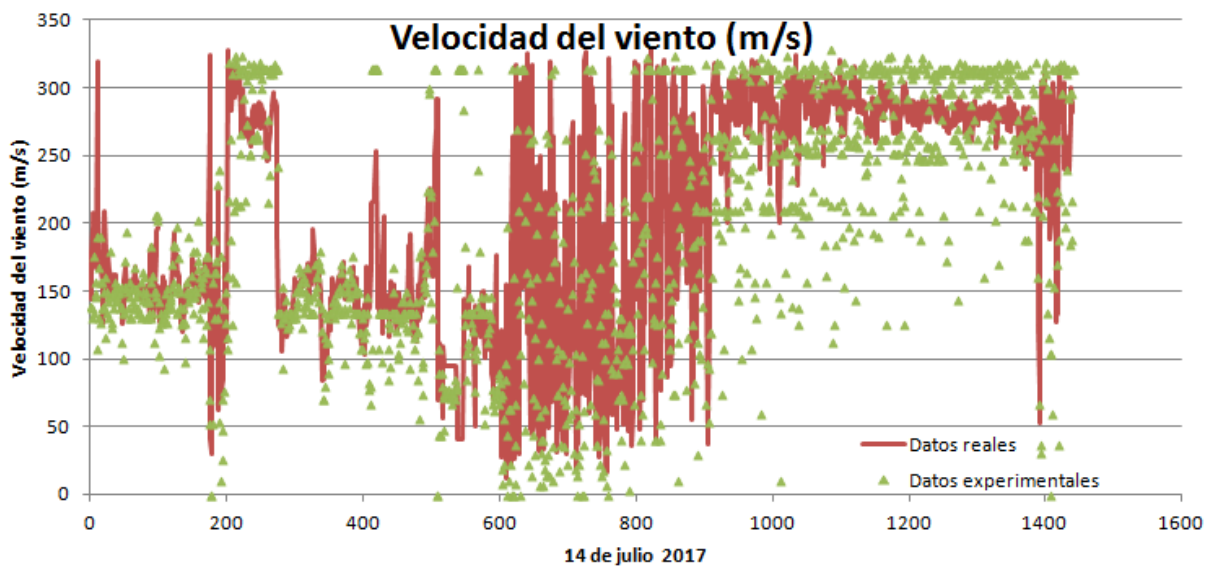


Figura A2.16. Dirección del viento 14 de julio 2017

Si se calcula el error, se puede observar que el error medio absoluto que se produce es de 40° , siendo el error relativo del 19.8 %. En esta ocasión, el error es más alto que en sensores anteriores. Sin embargo, como se ha comentado en el

sensor anterior, esta estación está a menor altura que la que se ha tomado como referencia y eso, en los sensores de viento, se está viendo reflejado en la medida.

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 40 \text{ }^{\circ}$$

(Ec. A2.23)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 19.8 \%$$

(Ec. A2.24)

Como se puede observar en las gráficas anteriores, los sensores de velocidad y dirección del viento no siguen una tendencia concreta, ya que depende de si hay ráfagas de aire o no. Debido a esto, se han calculado los errores y se ha considerado irrelevante calcular los demás parámetros asociados a la medida.

El último sensor que se va a calibrar es el pluviómetro. Para ello, se ha introducido agua en dicho pluviómetro de manera controlada y se ha anotado el valor que el Arduino ha obtenido. En la tabla A2.2 se puede observar parte de los datos tomados.

Reales (L/m2)	Medidos por Arduino (L/m2)
0	0
0,290909091	0,28
0,545454545	0,56
0,854545455	0,84
1,1	1,12
1,409090909	1,4
1,654545455	1,68
1,963636364	1,96
2,236363636	2,24
2,554545455	2,51
2,809090909	2,79
3,172727273	3,07
3,363636364	3,35
3,690909091	3,63
3,945454545	3,91
4,254545455	4,19
4,509090909	4,47
4,818181818	4,75
5,067272727	5,03
5,372727273	5,31
5,618181818	5,59
5,927272727	5,87
6,190909091	6,15
6,5	6,43

Tabla A2.2. Datos tomados en el pluviómetro

El Arduino mide la cantidad de lluvia en litros por metro cuadrado. Inicialmente, el agua se introdujo en centilitros, por lo que para pasar a litros por metro cuadrado, es necesario conocer las dimensiones del pluviómetro. Como se muestra en la figura A2.17, el área resulta ser de 55 cm^2 . Por lo que dividiendo la cantidad introducida por dicho número se obtiene la medida en litros por metro cuadrado, y así ya se pueden comparar las medidas introducidas o reales con lo que el programa de Arduino a obtenido.



Figura A2.17. Dimensiones del pluviómetro

Representando los datos, se obtiene la gráfica de la figura A2.18. En la cual, se puede observar que la diferencia máxima que se produce entre los datos es de una décima.

Pluviómetro

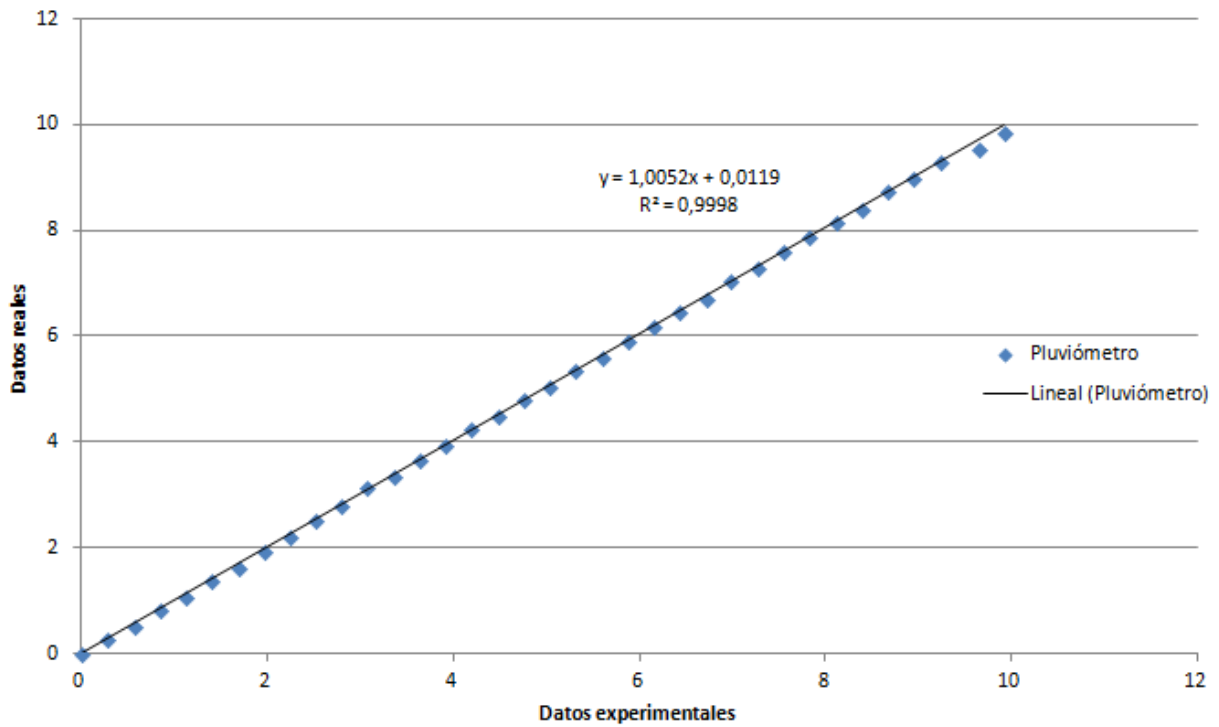


Figura A2.18. Pluviómetro

Ajustando los datos mediante una recta lineal, se puede observar en la figura A2.19 que el ajuste es prácticamente perfecto.

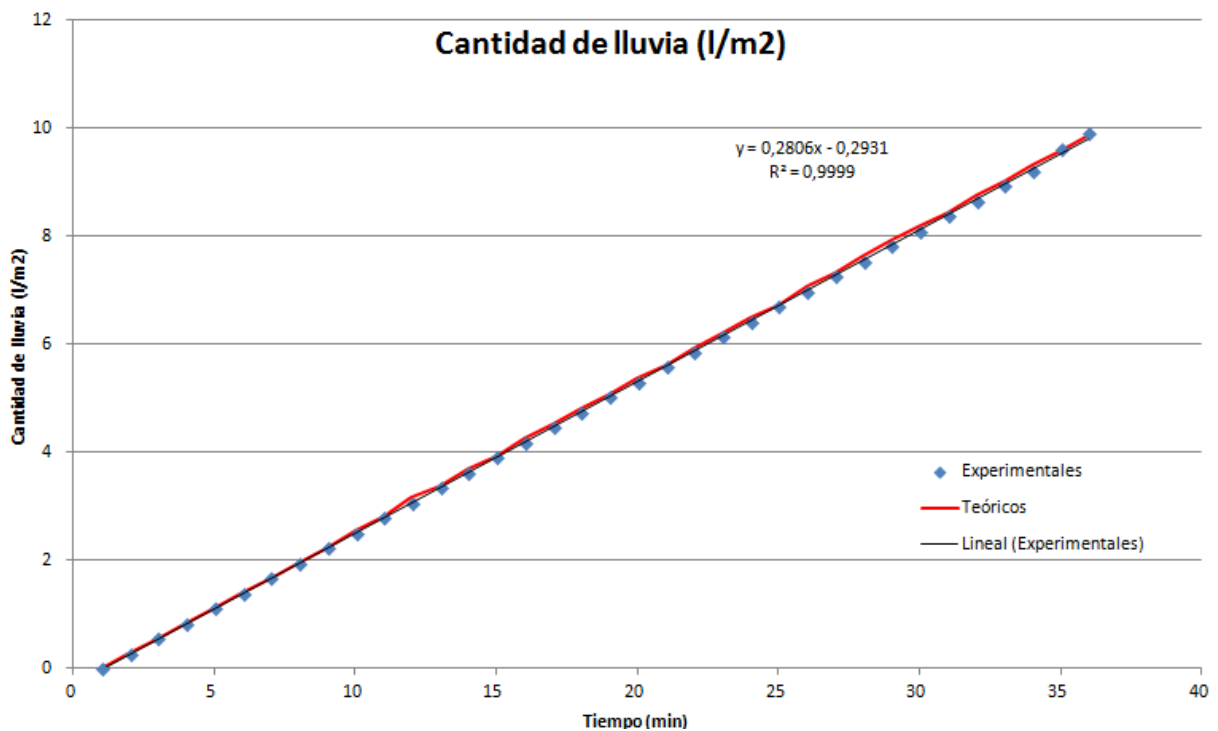


Figura A2.19. Calibración del pluviómetro

Debido a los motivos anteriormente mencionados, se ha considerado que el pluviómetro está bien calibrado. El error absoluto es de 0.0475, siendo el máximo error de 0.1 litro por metro cuadrado. El error relativo es del 1.11%, es decir la fiabilidad de la medida es muy alta.

$$\text{Error absoluto} = \frac{\sum |\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{n^{\circ} \text{valores}} \approx 0.0475 \text{ l/m}^2$$

(Ec. A2.25)

$$\text{Error relativo} = \frac{100}{n^{\circ} \text{valores}} \cdot \sum \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor exacto}|}{\text{Valor exacto}} \right) \approx 1.11 \%$$

(Ec. A2.26)

Por otro lado, se van a calcular las características del pluviómetro con ayuda de la figura 2.20:

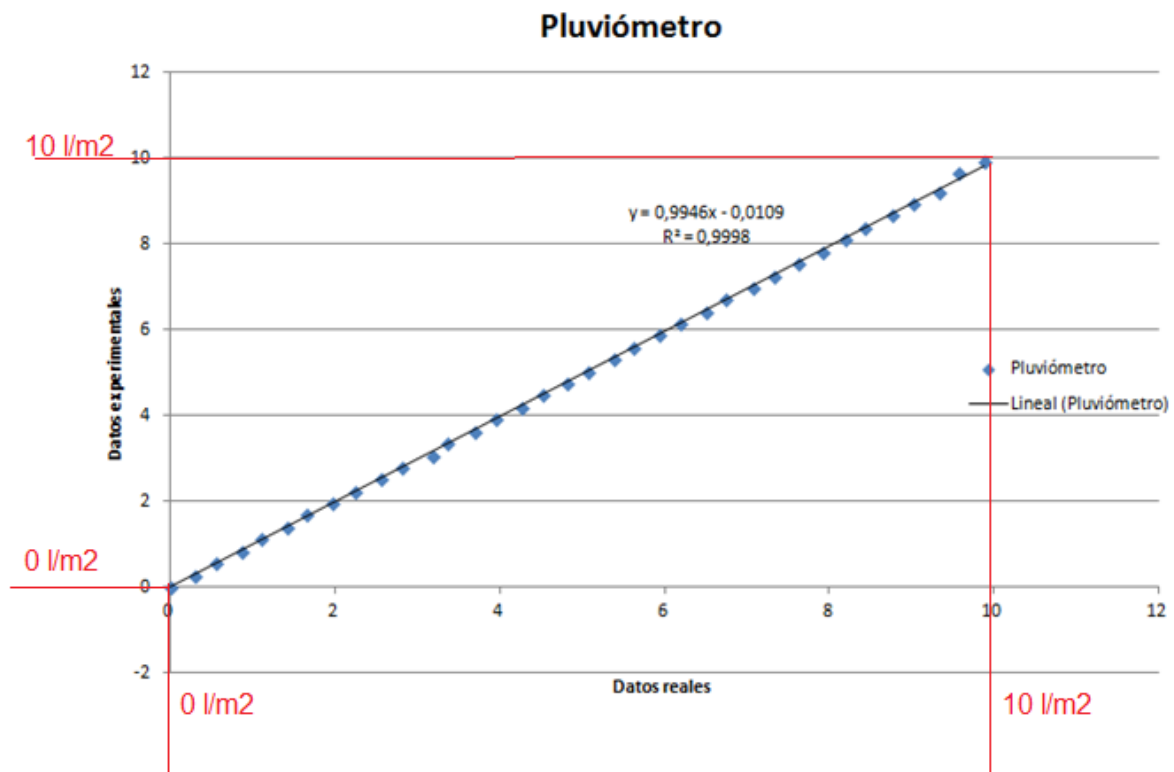


Figura A2.20. Características del pluviómetro

$$\text{Campo de medida} = [0, 10] \text{ l/m}^2$$

(Ec. A2.27)

$$\text{Alcance} = 10 - 0 = 10 \text{ l/m}^2$$

(Ec. A2.28)

$$\text{Salida a fondo de escala} = 10 - 0 = 10 \text{ l/m}^2$$

(Ec. A2.29)

Este sensor tiene una linealidad de prácticamente 1.

Una vez que se han calibrado todos los 7 parámetros, se va a exponer una tabla resumen con las principales características:

Sensor	Constante de calibración	Error absoluto	Error relativo (%)	Campo de medida	Alcance	Salida a fondo de escala	Linealidad
Temperatura	Ninguna	1.8 °C	5.5	25-36.5 °C	11.5 °C	15 °C	1.26
Radiación	Ninguna	38.9 $\frac{W}{m^2}$	11 %	0-990 $\frac{W}{m^2}$	990 $\frac{W}{m^2}$	925 $\frac{W}{m^2}$	0.92
Humedad	Ninguna	2.13 %	7.5 %	10.5-33.5	23 %	26 %	1.09
Presión	(Valor experiment al-15.3)/0.99	0.8 mbar	0.08 %	963.65 – 966.9 mbar	3.25 mbar	3.2 mbar	1
Velocidad del viento	-0.17 * VE2 + 1.86*VE	0.5 m/s	25.5 %				
Dirección del viento	Ninguna	40 °	19.8 %				
Pluviómetro	Ninguna	0.0475 l/m2	1.11 %	0 – 10 l/m ²	10 l/m ²	10 l/m ²	1

Tabla A2.3. Características de la calibración

En la tabla A2.3 se puede observar que el error que se produce en los sensores calibrados es bastante pequeño. Además, el error que se produce en los sensores de viento como se ha explicado está justificado. Por tanto, se está dando una medida bastante precisa y fiable.

En la siguiente tabla se resume las ecuaciones obtenidas en la calibración junto con el coeficiente de correlación de Pearson (R^2):

Sensor	Ecuación	R^2 absoluto
Temperatura	$y = 0.7237 \cdot x + 7.197$	0.9087
Radiación	$y = 1.0714 \cdot x$	0.9812

Humedad	$y = 0.8366 \cdot x + 3.5688$	0.9114
Presión	$y = 0.987 \cdot x + 15.266$	0.9779
Velocidad del viento	$y = -0.1688 \cdot x^2 + 1.8564 \cdot x$	0.8170
Pluviómetro	$y = 1.0052 \cdot x + 0.0119$	0.9998

Tabla A2.4. Ecuaciones obtenidas

Como se muestra en la tabla A2.4, los coeficientes obtenidos de los sensores que siguen una tendencia es bastante alta, teniendo todos un coeficiente de correlación superior a 0’9 (excepto el de velocidad del viento que tiene 0’8). El sensor de dirección de viento no se ha contemplado en esta tabla debido a que no sigue ninguna tendencia y no se puede obtener ninguna recta de calibración a partir de él.

En este punto, ya se se han calibrado los sensores. A continuación se va a exponer un ejemplo de un día posterior a la calibración realizada para cada uno de los sensores, de tal manera que quede de manifiesto que se ha realizado correctamente todos los cálculos realizados anteriormente.

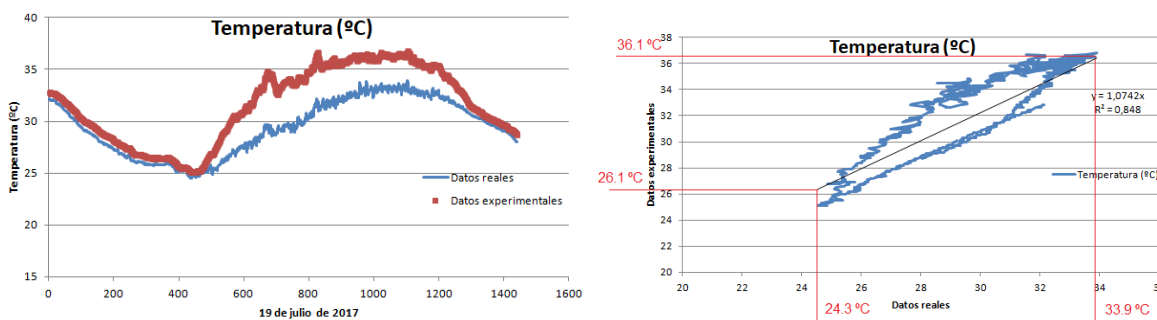


Figura A2.21. Temperatura

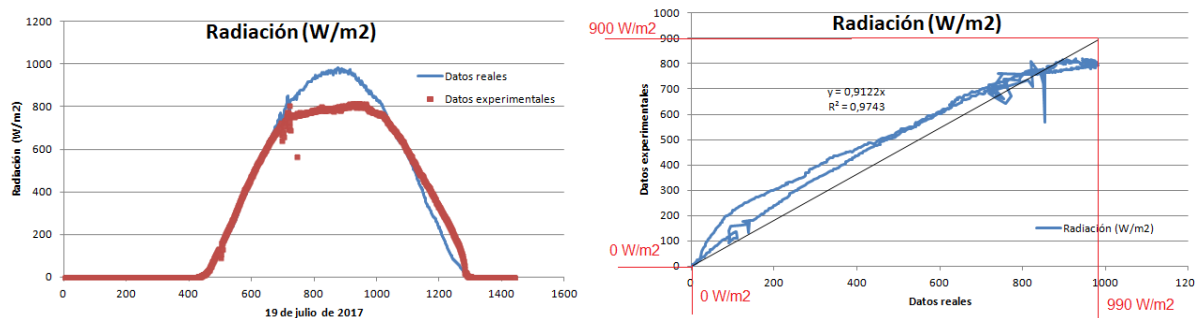


Figura A2.22. Radiación

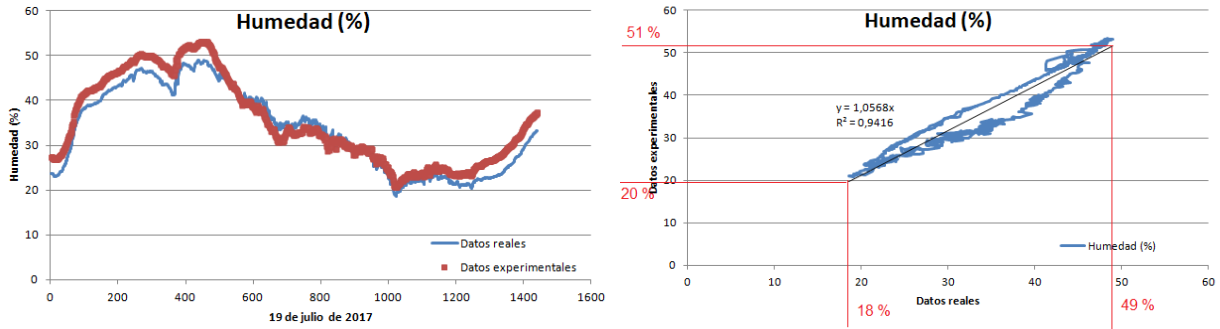


Figura A2.23. Humedad

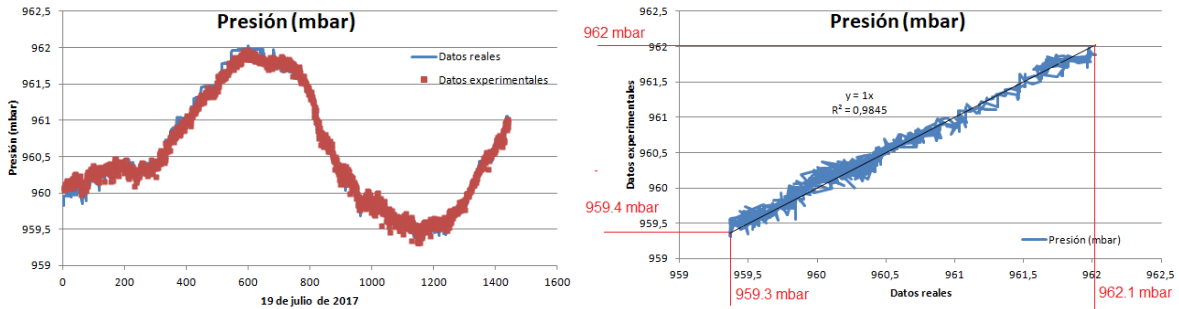


Figura A2.24. Presión

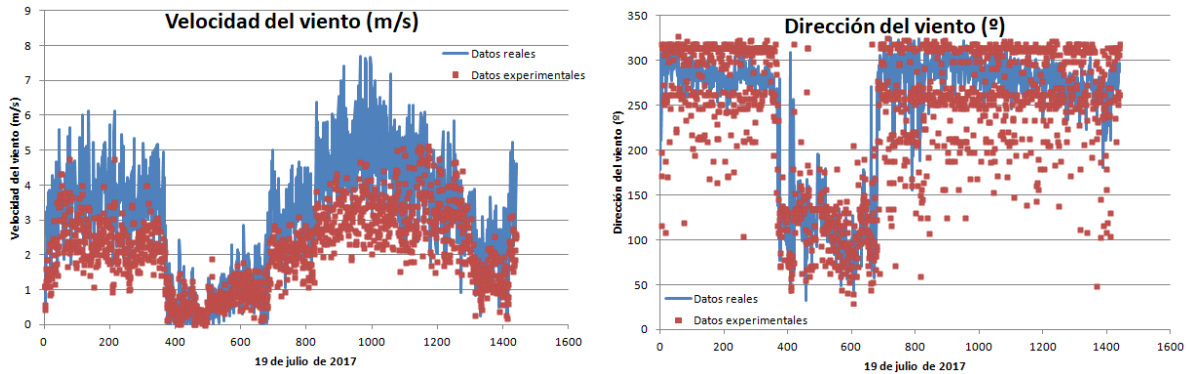


Figura A2.24. Velocidad y dirección del viento

En la siguiente tabla se resumen las características de cada sensor junto con sus errores:

Sensor	Constante de calibración	Error absoluto	Error relativo (%)	Campo de medida	Alcance	Salida a fondo de escala	Linealidad
Temperatura	Ninguna	2.1 °C	7	24.3-33.9 °C	9.6 °C	10 °C	1.1
Radiación	Ninguna	42 $\frac{W}{m^2}$	12 %	0-990 $\frac{W}{m^2}$	990 $\frac{W}{m^2}$	900 $\frac{W}{m^2}$	0.91
Humedad	Ninguna	2.7 %	8 %	18-49 %	31 %	31 %	1.05
Presión	(Valor experimental-15.3)/0.99	0.7 mbar	0.08 %	959.3 – 962.1 mbar	2.8 mbar	2.6 mbar	1

Velocidad del viento	-0.17 * VE2 + 1.86*VE	1.1 m/s	25% (*)				
Dirección del viento	Ninguna	38 °	15.6 %				

Tabla A2.5. Características de la calibración

(*) No se han tenido en cuenta los datos obtenidos durante ráfagas de viento.

En la tabla A2.5 se puede observar que los valores obtenidos son muy similares a los obtenidos durante la calibración. Obviamente hay diferencias porque cada día se obtienen datos distintos dependiendo de la meteorología que haya en dicho día. Sin embargo, se obtienen unos datos muy próximos, lo que indica que se ha realizado correctamente la calibración.

Bibliografía

- [1] «Wikipedia,» 2017. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org>. [Último acceso: 17 abril 2017].
- [2] «SCIELO,» octubre 2015. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org>. [Último acceso: 14 abril 2017].
- [3] B. C. d. Moraes, E. B. d. Souza, J. B. M. Ribeiro, D. B. d. S. Ferreira y W. J. d. M. e. S. Maia, «Impacts of climate change in the ecoclimatology of *Aleurocanthus Woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) in the state of Pará,» *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 29, nº 1, pp. 77-84, 2014-03. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862014000100008>
- [4] «miRiego,» [En línea]. Available: <https://miriego-blog.com/2016/02/17/importancia-de-las-estaciones-meteorologicas-en-la-agricultura/>. [Último acceso: 28 junio 2017].
- [5] «Ptolomeo UNAM,» [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/355/5/A5.pdf>. [Último acceso: 12 junio 2017].
- [6] B. L. J. B. N. Z. S. Ouazaa, «Effect of intra-irrigation meteorological variability on seasonal center-pivot irrigation performance and corn yield,» *Agricultural Water Management*, vol. 177, pp. 201-214, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.020>
- [7] M. d. I. Á. Velasco Hernández, T. Morales Acoltzi, N. G. Estrella Chulim, R. Díaz Ramos, J. P. Juárez Sánchez, M. Hernández Vázquez, R. Bernal Morales y R. Díaz Ramos, «Tendencias y variabilidad de índices de cambio climático: enfoque agrícola en dos regiones de México,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, nº 7, pp. 1587-1599, 2015.
- [8] A. P. Alessandro, «Variables meteorológicas y su incidencia en enfermedades respiratorias de niños en el Gran Buenos Aires,» *Meteorológica*, vol. 39, nº 1, pp. 27-39, 2014.
- [9] E. Roldán García, M. Gómez Barrera, M. R. Pino Otín, M. E. Pradas y J. Díaz Jiménez, «Determinación de zonas isotérmicas y selección de estaciones meteorológicas representativas en Aragón como base para la estimación del impacto del cambio climático sobre la posible relación entre mortalidad y temperatura,» *Revista Española Salud Pública*, vol. 85, nº 6, pp. 603-10, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1135-57272011000600009>
- [10] P. Martin, L. Serio y A. y. D. W. Pescio, «Persistencias de vientos superficiales del cuadrante este en estaciones costeras de la Patagonia,» *GEOACTA*, vol. 40, nº 2, pp. 87-97, 2016.

- [11] D. L. Moscoso-Vanegas, V. E. Vázquez-Freire y A. L. Astudillo-Alemán, «Modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca-Ecuador,» *Iteckne*, vol. 12, nº 2, pp. 188-197, 2015-12.
- [12] M. Jiménez-Torres, C. Rus-Casas, L. G. Lemus-Zúñiga y L. Hontoria, «The Importance of Accurate Solar Data for Designing Solar Photovoltaic Systems—Case Studies in Spain,» *Sustainability*, vol. 9, nº 247, p. 14, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su9020247>
- [13] M. Jiménez-Torres, L. Hontoria, C. Rus-Casas y J. Fernández-Carrasco, «Evaluación de la radiación solar incidente. Consideraciones fotovoltaicas para obtener configuraciones eficientes energéticamente,» *ERA SOLAR DIGITAL*, pp. 6-15, 2016.
- [14] «World Meteorological Organization,» 2012. [En línea]. Available: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1012_es.pdf. [Último acceso: 7 abril 2017].
- [15] F. Ballester, «Contaminacion atmosferica, cambio climatico y salud,» *Revista espanola de salud publica*, vol. 79, nº 2, pp. 159-75, 2005 Mar-Apr.
- [16] «Ehow en Español,» [En línea]. Available: http://www.ehowenespanol.com/utilizan-estaciones-meteorologicas-hechos_324117/. [Último acceso: 28 junio 2017].
- [17] «Estación de meteorología,» [En línea]. Available: <http://estaciondemeteorologia.com/usos-de-estaciones-meteorologicas-en-diferentes-sectores-de-la-industria-agricultura-los-servicios-y-los-deportes/>. [Último acceso: 28 junio 2017].
- [18] M. G. Merçon, «Universidad Politècnica de Catalunya,» septiembre 2008. [En línea]. Available: <https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2007-08-tesinascompletas/confort-termico-y-tipologia-arquitectonica-en-clima-calido-humedo>. [Último acceso: 1 agosto 2017].
- [19] F. Bonom y C. Fellow, «The Smart and Connected Vehicle and the Internet of Things,» [En línea]. Available: http://tf.nist.gov/seminars/WSTS/PDFs/1-0_Cisco_FBonomi_ConnectedVehicles.pdf. [Último acceso: 25 julio 2017].
- [20] «webconsultas,» [En línea]. Available: <http://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/medioambiente/smart-city-o-ciudad-inteligente/ejemplos-de-smart-city-o-ciudad-inteligente-en-el-mundo>. [Último acceso: 1 agosto 2017].
- [21] M. M. Rathore, A. Paul, A. Ahmad y G. Jeon, «IoT-Based Big Data: From Smart City towards Next Generation Super City Planning,» *International journal on semantic web and information systems*, vol. 13, nº 1, pp. 28-47, JAN-MAR 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4018/IJSWIS.2017010103>
- [22] P. P. Ray, «A survey of IoT cloud platforms,» *ScienceDirect*, pp. 1-12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001>

- [23] M. Selinger, A. Sepulveda y J. Buchan, «Education and the Internet of Everything,» 2013. [En línea]. Available: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/education/education_internet.pdf. [Último acceso: 25 julio 2017].
- [24] J. Leal Iga y C. Leal Iga, «Solar radiation in urban projects: financial analysis of a photovoltaic system for a habitation house in the metropolitan area of monterrey, nuevo leon, mexico,» *Revista de la construcción*, vol. 14, nº 3, pp. 30-40, DEC 2015.
- [25] H. Silva y E. Calado, «Investigación sobre el confort térmico en taquillas, en aparcamientos de superficie, en Lisboa,» *Medicina y Seguridad del Trabajo*, vol. 57, nº 225, pp. 272-293, 2011-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.4321/s0465-546x2011000400002>
- [26] L. Nass Kunstmann y A. R. Carpentieri, «Correlación entre el Comportamiento Térmico y Composición de Sistemas Adhesivos,» *International journal of odontostomatology*, vol. 11, nº 1, pp. 53-60, 2017-04. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2017000100008>
- [27] I. Caviedes S y R. Soto F, «Evaluación de pacientes con patología respiratoria que efectúan vuelos en avión,» *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, vol. 22, nº 3, pp. 181-188, 2006-09. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482006000300006>
- [28] M. I. Herrera Prat, A. E. García de la Figal Costales, H. de las Cuevas Milán y M. Martins Teixeira, «Efecto del viento en el flujo de aire de un pulverizador,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 24, nº 2, pp. 44-48, 2015-06.
- [29] S. Márdero, E. Nickl, B. Schmook, L. Schneider, J. Rogan, Z. Christman y D. Lawrence, «Sequías en el sur de la península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación,» *Investigaciones geográficas*, nº 78, pp. 19-33, 2012-08.
- [30] «Real Academia de Ingeniería,» [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es>. [Último acceso: 10 abril 2017].
- [31] «Universidad de Jaén,» [En línea]. Available: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/02_intermedio/ej_cal_radiacion.htm. [Último acceso: 15 abril 2017].
- [32] «AEMET,» [En línea]. Available: <http://www.aemet.es>. [Último acceso: 10 abril 2017].
- [33] «EKO INSTRUMENTS,» 2017. [En línea]. Available: <https://eko-eu.com>. [Último acceso: 23 abril 2017].
- [34] «RAE,» 2017. [En línea]. Available: <http://dle.rae.es/?w=diccionario>. [Último acceso: 16 abril 2017].
- [35] «Diccionario de Arquitectura y Construcción,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.parro.com>. [Último acceso: 11 abril 2017].

- [36] «Peraltablog,» [En línea]. Available: <https://peraltablog.wordpress.com/fisica/segundo-corte/calor-y-temperatura/>. [Último acceso: 5 abril 2017].
- [37] «Fondriest Environmental,» [En línea]. Available: http://www.fondriest.com/pdf/vaisala_hmp45a_spec.pdf. [Último acceso: 27 junio 2017].
- [38] «Sensovant,» 2017. [En línea]. Available: <http://sensovant.com>. [Último acceso: 24 abril 2017].
- [39] «PCE Instruments,» [En línea]. Available: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/estacion-meteorologica-pce-instruments-estaci_n-meteorol_gica-pce-fws20-det_97435.htm?_list=kat&_listpos=1. [Último acceso: 28 abril 2017].
- [40] «Mail x mail,» 18 febrero 2003. [En línea]. Available: <http://www.mailxmail.com>. [Último acceso: 11 abril 2017].
- [41] «Industria y Tecnología,» [En línea]. Available: <http://www.industriaytecnologia.com>. [Último acceso: 17 abril 2017].
- [42] «Universidad de Salamanca,» [En línea]. Available: http://hidrologia.usal.es/Complementos/calculo_IDF_Salas.pdf. [Último acceso: 17 abril 2017].
- [43] «RELOJESDECO,» [En línea]. Available: <https://relojesdeco.es/tienda/ofertas-estaciones-meteorologicas/estacion-meteorologica-digital/>. [Último acceso: 27 junio 2017].
- [44] «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/>. [Último acceso: 27 junio 2017].
- [45] «Aliexpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/>. [Último acceso: 27 junio 2017].
- [46] «Raig,» [En línea]. Available: <https://www.raig.com/tienda/meteorologia/estaciones-meteorologicas/estaciones-meteorologicas-digitales/estaciones-meteorologicas-digitales-profesionales/estacion-meteorologica-davis-vantage-pro-2-plus-wireless-autoaspirada>. [Último acceso: 9 abril 2017].
- [47] «Oregon Scientific,» [En línea]. Available: <http://store.oregonscientific.com/es/wmr300-estacion-meteorologica-ultra-precision-mide-la-presion-barometrica-temperatura-interior-exterior-velocidad-del-viento-precipitaciones-registro-de-datos.html>. [Último acceso: 27 junio 2017].
- [48] «Made in China,» [En línea]. Available: <http://hrvanguard-apparel.en.made-in-china.com>. [Último acceso: 9 abril 2017].
- [49] «Kippzonen,» [En línea]. Available: <http://www.kippzonen.es>. [Último acceso: 15 febrero 2017].

- 2017].
- [50] «Geónica,» [En línea]. Available: <http://www.geonica.com/>. [Último acceso: 7 junio 2017].
- [51] C. R. Casas, «Tema 1: Introducción a los sistemas de medida,» de *Instrumentación Electrónica II*, 2014.
- [52] «Omega,» [En línea]. Available: <http://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>. [Último acceso: 19 julio 2017].
- [53] R. I. d. I. U. d. Alicante. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>. [Último acceso: 23 julio 2017].
- [54] E. L. Pérez, «i-micro,» [En línea]. Available: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/usb.pdf>. [Último acceso: 2 agosto 2017].
- [55] «Luis Llamas,» [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/>. [Último acceso: 24 julio 2017].
- [56] «Luis Llamas,» [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-i2c/>. [Último acceso: 24 julio 2017].
- [57] «Blogthinkbig.com,» 9 enero 2013. [En línea]. Available: blogthinkbig.com/4-alternativas-arduino-bleaglebone-raspberrypi-nanode-waspmote/. [Último acceso: 25 junio 2017].
- [58] «platea.pntic,» [En línea]. Available: http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/documentos/02_PlataformaArduino.pdf. [Último acceso: 2 agosto 2017].
- [59] «Arduino,» [En línea]. Available: www.arduino.cc. [Último acceso: 25 junio 2017].
- [60] «OpenWebinars,» [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/tutorial-arduino-entradas-analogicas-y-digitales/>. [Último acceso: 20 julio 2017].
- [61] «OEPM,» [En línea]. Available: <https://www.oepm.es/es/index.html>. [Último acceso: 30 mayo 2017].
- [62] «RS,» [En línea]. Available: <http://es.rs-online.com>. [Último acceso: 23 abril 2017].
- [63] «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: http://www.naylampmechatronics.com/blog/43_Tutorial-sensor-de-presi%C3%B3n-barom%C3%A9trica-BMP180.html. [Último acceso: 26 abril 2017].
- [64] «Rduinostar.com,» [En línea]. Available: <http://rduinostar.com/documentacion/datasheets/dht22-caracteristicas-am2302/>. [Último

- acceso: 26 abril 2017].
- [65] «Luisllamas,» [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/medir-presion-del-aire-y-altitud-con-arduino-y-barometro-bmp180/>. [Último acceso: 26 abril 2017].
- [66] «Sunrom,» [En línea]. Available: <http://www.sunrom.com/p/atmospheric-pressure-altimeter-based-on-bmp180>. [Último acceso: 26 abril 2017].
- [67] «Hetpro,» [En línea]. Available: <https://www.hetpro-store.com/TUTORIALES/bmp180-sensor-barometrico/>. [Último acceso: 26 abril 2017].
- [68] «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Velocidad_del_viento. [Último acceso: 11 abril 2017].
- [69] «La Guía,» [En línea]. Available: <http://geografia.laguia2000.com/general/rosa-de-los-vientos>. [Último acceso: 28 abril 2017].
- [70] «Sparkfun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly..pdf>. [Último acceso: 28 abril 2017].
- [71] «Vix,» [En línea]. Available: <http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4627/la-historia-de-los-disquetes-antecesores-de-los-usb>. [Último acceso: 8 junio 2017].
- [72] P.P.Ray, «A survey of IoT cloud platforms,» *ScienceDirect*, p. 12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001>
- [73] «Sogeti,» [En línea]. Available: <https://www.sogeti.es/soluciones/azure-internet-of-things/>. [Último acceso: 5 mayo 2017].
- [74] «Wwwwhat's new,» 6 abril 2016. [En línea]. Available: <https://www.whatsnew.com/2016/04/06/se-renueva-cayenne-herramienta-para-gestionar-de-forma-avanzada-la-raspberry-pi/>. [Último acceso: 10 julio 2017].
- [75] «Ardublog,» [En línea]. Available: <http://www.ardublog.com/arduino-droid-el-ide-de-arduino-para-smartphones-o-tablets-con-android/>. [Último acceso: 10 julio 2017].
- [76] «Blynk,» [En línea]. Available: <http://www.blynk.cc/>. [Último acceso: 6 mayo 2017].
- [77] «WordReference,» [En línea]. Available: <http://www.wordreference.com/definicion/calibrar>. [Último acceso: 14 julio 2017].
- [78] L. Hontoria, «Sistemas de medidas. Generalidades y definiciones,» Jaén, 2015-2016.
- [79] «Diario electrónico hoy,» [En línea]. Available: <http://www.diarioelectronicohoy.com/blog/alarma-wifi-con-blynk>. [Último acceso: 3 agosto 2017].

- [80] J. G. Velasco, *Energías renovables*, Editorial Reverte, 2009.
- [81] P. Pérez-Higueras, G. Almonacid, E. Fernandez, E. Muñoz, F. Almonacid y C. Rus, «Operating Experience of Photovoltaic Systems installed at the University of Jaen,» *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY AND ENVIRONMENT*, vol. 4, nº 4, pp. 189-196, 2010.
- [82] D. Talavera, E. Munoz-Cerón, J. de la Casa, M. Ortega y G. Almonacid, «Energy and economic analysis for large-scale integration of small photovoltaic systems in buildings: The case of a public location in Southern Spain,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 15, pp. 4310-4319, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.119>